

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLERİN ÜRETİLMESİ VE
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Arş. Gör. Bayram GÜNDÜZ

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Katıhal Fiziği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

AĞUSTOS-2011

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLERİN ÜRETİLMESİ VE
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Arş. Gör. Bayram GÜNDÜZ

(07114201)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Katıhal Fiziği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.07.2011

AĞUSTOS-2011

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLERİN ÜRETİLMESİ VE
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Arş. Gör. Bayram GÜNDÜZ

(07114201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Temmuz 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Ağustos 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yusuf ATICI (F.Ü)

Doç. Dr. Ertan EVİN (F.Ü)

Doç. Dr. M. Enver AYDIN (D.Ü)

Doç. Dr. Şükrü KARATAŞ (KSÜ)

AĞUSTOS-2011

ÖNSÖZ

“Organik Alan Etkili Transistörlerin Üretilmesi ve Elektriksel Karakteristiklerinin Belirlenmesi” konulu doktora tezimin hazırlanmasında; benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, desteğinden hep onur duyduğum, bilgi ve tecrübesi ile çalışmalarına destek olan ve yol gösteren, karşılaştığım tüm zorlukların çözümlenmesinde yardımcı olan çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU’na,

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, dualarını ve desteklerini benden hiç esirgemeyen başta annem olmak üzere tüm aileme,

Lisansımdan itibaren maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, Fizik Bölümü’nde görev yapan değerli hocam Doç. Dr. Niyazi BULUT ve arkadaşım Cihat AYDIN’a,

Hoşgörüsü, sevgisi, fedakârlığı ve desteğiyle hep yanımda olan sevgili eşim Hatice Sultan GÜNDÜZ’e,

Varlığıyla bana güç veren oğlum, M. Kerem GÜNDÜZ’e,

gönülden teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi, 1983 No’lu Proje kapsamında desteklenmiştir.

Bayram GÜNDÜZ

ELAZIĞ - 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ...	VIII
TABLolar LİSTESİ..	XVIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIX
KISALTMALAR LİSTESİ	XX
1. GİRİŞ	1
2. ORGANİK YARIİLETKENLER	7
2.1. Oligotiyofen'ler	12
2.2. Diğer Küçük Moleküller	13
2.2.1. Çözünebilir-İşlemli Küçük Moleküller	13
2.2.2. Fitalosiyanınlar	16
2.2.3. Pentasen.....	16
2.2.4. n-Tipi Yarıiletkenler	18
2.3. Polimerler	19
2.3.1. Konjuge Polimerler	20
2.4. Organik Malzemelerde Yük Taşınımı	23
2.4.1. Sıçrama İletkenliği	27
2.4.2. Küçük Polaronlar	28
2.4.3. Mobilitenin Elektrik Alana Bağlılığı.....	30
2.4.4. Çoklu Tuzaklama ve Bırakma (MTR) Modeli	30
3. ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLER	31
3.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken Alan Etkili Transistör	31
3.1.1. Çalışma Prensipleri.....	33
3.2. Metal-Yarıiletken Alan Etkili Transistör	38
3.3. İnce Film Transistörler	40
3.4. Temel OFET Yapısı ve Çalışma Prensibi	40

4.	ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	45
4.1.	Fiziksel Kaplama Yöntemleri.....	46
4.1.1.	Buharlaştırma Yöntemi	46
4.1.1.1.	Vakum İçinde Buharlaştırma Yöntemi.....	46
4.1.1.2.	Reaktif Buharlaştırma Yöntemi.....	49
4.1.2.	Sputtering Yöntemi	49
4.2.	Kimyasal Kaplama Yöntemleri	50
4.2.1.	Sol-Jel Yöntemi.....	50
4.2.1.1.	Sol-Jel Yönteminin Avantajları.....	50
4.2.1.2.	Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları	51
4.2.2.	Anadizasyon Yöntemi	51
4.2.3.	Kimyasal Buhar Birikimi Yöntemi	51
4.2.4.	Elektrokaplama Yöntemi.....	52
4.2.5.	Kimyasal Banyo Birikimi Yöntemi.....	52
4.2.6.	Termophoresis Yöntemi	52
4.2.7.	Elektrophoresis Yöntemi	52
4.2.8.	Püskürtme Yöntemi.....	52
4.2.9.	Çözelti Tekniği İle Kaplama Yöntemi	53
4.3.	Elektropolimerizasyon Yöntemi.....	53
4.4.	Altlık ve Yalıtkan Seçim Metodu.....	54
5.	DİELEKTRİK MALZEMELER.....	55
6.	ORGANİK ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖR KARAKTERİSTİKLERİ...	58
6.1.	Akım-Voltaj Karakteristikleri	58
6.2.	Alan Etkili Transistörlerin Performans Karakteristikleri	63
6.2.1.	Mobilite	63
6.2.1.1.	Elektrik Alanın Etkisi.....	64
6.2.1.2.	Reorganization Enerjisinin Etkisi.....	65
6.2.1.3.	Moleküller Arası Mesafenin Etkisi	66
6.2.1.4.	Moleküller Dönüşümlerin Etkisi.....	67
6.2.2.	Alt Eşik Salınım Değeri	68
6.2.3.	Açma/Kapama Oranı.....	69
6.2.4.	Geçiş İletkenlik Değeri.....	69

6.2.5.	Eşik Voltajı.....	70
6.2.6.	Kontak Direnci	72
6.2.6.1.	Kontak Direncinin Hesaplanması.....	72
6.2.6.2.	Kontak Direncinin Kaynağı.....	74
6.2.6.3.	Mobilite Bozulması	75
7.	DENEYSEL İŞLEMLER VE ÖLÇÜM SONUÇLARI	76
7.1.	OFET'lerin Hazırlanmasında Kullanılan Organik Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri	76
7.1.1.	Pentasen İnce Filmin Optik Özellikleri	76
7.1.2.	Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Filminin Optik Özellikleri	80
7.2.	Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Hazırlanması...	82
7.2.1.	Termal Yolla Büyütülen SiO ₂ Geçit Yalıtkanı ile Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler.....	83
7.2.1.1.	n-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması	83
7.2.1.2.	n-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması	84
7.2.1.3.	p-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması	85
7.2.2.	Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Geçit Yalıtkan Tabakalarla Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler.....	86
7.2.2.1.	n-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması	86
7.2.2.2.	n-Si/BaTiO ₃ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması.....	87
7.2.3.	Termal Yolla Büyütülen SiO ₂ Geçit Yalıtkanı Üzerine Sol-Jel Yöntemiyle Oluşturulan Yalıtkan Tabakalarla Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler.....	89
7.2.3.1.	n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması.....	89
7.2.3.2.	p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentasen OFET'inin Hazırlanması.....	90
7.3.	Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) ile Organik Alan Etkili Transistörlerin Hazırlanması	93
7.3.1.	n-Si/SiO ₂ /Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması	93
7.3.2.	p-Si/SiO ₂ /Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması	94
7.3.3.	p-Si/SiO ₂ /Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması	95
7.4.	Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) ile Yapısal Özellikleri.....	96
7.5.	Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Performans Karakteristikleri.....	106
7.5.1.	Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri.....	107
7.5.1.1.	Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri.....	107

7.5.1.2. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri	119
7.5.1.3. Kanal Genişliğinin OFET'lerin Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	124
7.5.1.4. Oksit Kalınlığının OFET'lerin Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi.....	128
7.5.1.5. Oksit Tipinin OFET'in Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	129
7.5.1.6. Aydınlanmanın OFET'in Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	130
7.5.2. Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri.....	155
7.5.2.1. Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri.....	155
7.5.2.2. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri.....	188
7.5.2.3. Kanal Genişliğinin Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi.....	199
7.5.2.4. Oksit Kalınlığının Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	203
7.5.2.5. Oksit Tipinin Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	205
7.5.2.6. Aydınlanmanın Transistörün Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	206
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	248
9. ÖNERİLER.....	255
KAYNAKLAR.....	256
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu tez çalışmasında, pentasen ve pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletkenleri, organik alan etkili transistör (OFET)'lerin hazırlanmasında aktif tabakalar olarak kullanıldı. Termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak cam üzerine kaplanan pentasen ve pentasen türevi TIPS filmlerinin optik özellikleri incelenerek, filmlerin soğurma band kuyusu ve yasak enerji aralığı gibi optik parametreler hesaplandı.

Pentasen esaslı OFET'ler, farklı silisyum altlıkları üzerine SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ve BaTiO_3 gibi çeşitli geçit yalıtkan tabakalar kaplanarak, farklı kanal genişlikleri ile hazırlandı. Pentasen türevi TIPS esaslı OFET'ler, SiO_2 geçit yalıtkan tabakası kullanılarak farklı kalınlıklı TIPS filmleri ile üretildi. Farklı kanal genişlikleri, oksit tipleri, oksit kalınlıkları, organik yarıiletkenler, kaplama metodları ve aktif tabaka (pentasen ve TIPS) kalınlıkları kullanılarak hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'lerin performans (çıkış ve transfer) karakteristikleri, karanlık ve aydınlatma şartları altında araştırıldı. Hazırlanan OFET'lerin, mobilite, eşik voltajı, açma/kapama $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ oranı, alt-eşik salınım değeri, fotoduyarlılık, arayüzey tuzak yoğunluğu ve yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı gibi transistörlerin elektriksel parametreleri, karanlık ve aydınlatma şartları için hesaplandı. n-Si/ BaTiO_3 /pentasen OFET'i, $41.171 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'lik en yüksek mobilitayı sergiledi. Aydınlatma şiddeti arttırıldığında, OFET'lerin yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı N_{tuzak} ve alt-eşik salınım S değerleri azalmaktadır.

Üretilen pentasen ve pentasen türevi TIPS esaslı OFET'lerin negatif voltajlar ile kanal akımındaki artıştan dolayı iyi kontrol edilebilen bir geçit ile p-tipi OFET karakteristikleri sergiledikleri, yani üretilen OFET'lerin tipik olarak p-kanal çalışma modunda çalıştığı görüldü. Pentasen ve pentasen türevi TIPS esaslı OFET'lerin elektriksel performansının, farklı kanal genişlikleri, oksit tipleri, oksit kalınlıkları, kaplama metodları ve aktif tabaka (pentasen ve TIPS) kalınlıkları gibi üretim şartlarına bağlı olarak geliştirilebileceği değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: OFET, mobilite, pentasen, TIPS, çıkış-transfer karakteristikleri.

SUMMARY

Fabrication of Organic Field Effect Transistors and Determination of Their Electrical Characteristics

In this thesis study, pentacene and its derivative, 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene (TIPS) organic semiconductors were used as the active layers in the preparation of organic field-effect transistors (OFETs). By investigating of the optical properties of pentacene and pentacene derivative TIPS films coated on the glass using thermal evaporation method, the optical parameters such as absorption band edge and band gap were calculated.

Pentacene based OFETs were prepared by coating various gate insulator layers such as SiO₂, Al₂O₃ SiO₂/Al₂O₃ and BaTiO₃ on different Si wafers with various widths of channel. Also, pentacene derivative TIPS based OFETs were fabricated using SiO₂ gate insulator layer with various thicknesses TIPS film. The performance (output and transfer) characteristics of organic field effect transistors (OFETs) prepared using different widths of channel, oxide types, oxide thicknesses, organic semiconductors, coating-methods and the active layer (pentacene and TIPS) thicknesses were investigated under dark and illumination conditions. The electrical parameters of transistors such as mobility, threshold voltage, I_{on}/I_{off} ratio, sub-threshold swing value, photosensitivity, interface trap density and number of charge carriers per surface unit of prepared OFETs were calculated for dark and illumination conditions. The n-Si/BaTiO₃/pentacene OFET exhibited the highest mobility of 41.171 cm²/Vs. While illumination intensity is increased, the number of charge carriers per surface unit N_{trap} and sub-threshold swing S values of OFETs are decreased.

The fabricated pentacene and its derivative TIPS based OFETs indicate a p-type OFET characteristics with good gate controllability due to increase in drain current with negative voltages, that is, the fabricated OFETs work in a p-channel operational mode. It is evaluated that the electrical performance of pentacene and its derivative TIPS based OFETs can be improved by depending on preparation conditions such as different widths of channel, oxide types, oxide thicknesses, coating-methods and the active layer (pentacene and TIPS) thicknesses.

Keywords: OFET, mobility, pentacene, TIPS, output-transfer characteristics.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	OFET’lerde kullanılan başlıca p-tipi organik yarıiletken malzemelerin kimyasal yapıları [140].....	11
Şekil 2.2.	OFET’lerde kullanılan başlıca n-tipi organik yarıiletken materyallerin kimyasal yapıları [140].....	11
Şekil 2.3.	Temsil edilmeyen ($R=H$) ve alkyl end-temsil edilen ($R=C_nH_{2n+1}$) oligotiyofen’lerin kimyasal yapısı [138]	12
Şekil 2.4.	Düşük sıcaklık (LT) ve yüksek sıcaklık (HT)’ta 4T kristalinin tek eksen boyunca görünümü [138].....	13
Şekil 2.5.	(a) Aktif bir arayüzeydeki enerjik bozulma üzerine düzensiz polar grupların etkisinin şematik diyagramı, (b) PTAA’nın uçuş zamanının ve alan etkili mobilitesinin sıcaklığa bağlılığı [125]	21
Şekil 2.6.	Farklı film oluşturma şartları (triklobenzen’den spin-dökme, kloroformdan spin-dökme ve damlatarak-dökme gibi) için moleküler ağırlığın bir fonksiyonu olarak SiO_2 geçit dielektriği ile P3HT FET’lerin mobilite bağlılığı [125]	22
Şekil 2.7.	(a) Bir standart TFT aygıt tasarımı kullanılarak üretilen bir üst-geçit OFET’in şematik diyagramı. (b) Kapsüllenmeyen bir OFET’in, hava ve ışık (dolu semboller=üretimden sonra ölçülen malzeme için, boş semboller=iki hafta sonra ölçülen malzeme için) şartları altındaki çıkış karakteristikleri [138]	27
Şekil 2.8.	Politiyofendeki bir polaron. Üstte: Kimyasal yapıdaki değişim. Altta: Eşdeğer enerji diyagramı [138]	28
Şekil 3.1.	Alan etkili transistör (FET)’lerin üç çeşidinin şematik görünümü: (a) metal-yalıtkan-yarıiletken FET (MISFET), (b) metal-yarıiletken FET (MESFET) ve (c) ince film transistörü (TFT) [113]	32
Şekil 3.2.	Denge durumunda ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının enerji bant diyagramı [138].....	33
Şekil 3.3.	Bir kutuplu MIS diyodu için (a) toplanma, (b) tükenim ve (c) terslenme bölgeleri durumundaki enerji bant diyagramları[138].....	33
Şekil 3.4.	Farklı geçit voltajları için bir MISFET’in akım-voltaj karakteristikleri [138].....	36
Şekil 3.5.	n-kanallı MOSFET’in V_{gs} ’ye karşı $\log(I_{ds})$ grafiği [170].....	37
Şekil 3.6.	n-kanallı bir MOSFET’in V_{ds} ’ye karşı I_{ds} grafiği [170]	37
Şekil 3.7.	MOS transistor sembolleri, (a) kanal oluşturmali NMOS, (b) kanal ayarlamali NMOS, (c) kanal oluşturmali PMOS ve (d) kanal ayarlamali PMOS [170].....	38

Şekil 3.8.	Alan etkili transistörün yapısı: a) üst-geçit yapısı; b) alt-geçit yapısı, soldaki: alt kontak, sağdaki: üst kontak. Siyah: altlık, gri: kaynak ve kanal elektrodları, kırmızı: yarıiletken, mavi: yalıtkan, beyaz: geçit elektrodlarıdır [173].....	41
Şekil 3.9.	OFET devresi: V_D : kanal voltajı; I_D : kaynak akımı; L: kanal uzunluğu; W: kanal genişliği; S: kaynak elektrodu; D: kanal elektrodu; G: geçit elektrodu; V_G : geçit voltajı; I_G : geçit akımı [173].....	43
Şekil 3.10.	Yarıiletken olarak poli (3-heksiltiyofen) ile hazırlanan OFET'in çıkış karakteristik grafiği [173].....	44
Şekil 4.1.	(a) Daha yüksek ve (b) daha düşük basınçlarda gazın varlığını gösteren şematik gösterimi [176].....	47
Şekil 4.2.	Dirençle ısınan kayıkların birkaç sitilinin şematik gösterimi. (a) bükülü kayık, (b) ortası çukur olan kayık, (c) merkezde küçük bir deliği olan folyo kayık ve (d) bakır elektrodla bağlı bükülü kayık [176].....	49
Şekil 5.1.	OFET'lerde yalıtkan olarak kullanılan bazı polimerlerin kimyasal yapıları [126].....	56
Şekil 6.1.	Bir DH6T-esaslı OFET'in, hem toplanma ($V_g < 0$) hem de tükenim ($V_g > 0$) durumundaki kanal akım-voltaj karakteristiği [138].....	61
Şekil 6.2.	4 Å'da moleküller arası mesafe ile cofacial yapılandırmada pentasen moleküllerin tek-boyutlu serisi için hesaplanan boşluk ve elektron mobilitelerinin elektrik alana bağlılığı [125].....	65
Şekil 6.3.	Mobilitenin λ_s 'ye göre değişimi [125].....	66
Şekil 6.4.	Moleküler arası mesafeye bağlı olarak mobilitenin değişimi [125].....	67
Şekil 6.5.	Stacking eksenine dik d mesafesi ile her diğer molekül için dönüşüm olduğu durumdaki boşluk mobilitelerinin değişimi [125].....	68
Şekil 6.6.	V_g 'ye karşı $I_D^{0.5}$ ' grafiği.-10 ve -15 V arasında linner bir fit yapılmış. Düşük geçit voltajında eğrinin eğriliği artmakta ve yüksek voltajda ise eğrilik azalmaktadır [125].....	71
Şekil 6.7.	Lineer bir bölgeden eşik voltajının hesaplanması için TC metodu [125].....	71
Şekil 6.8.	Transfer çizgi metodunun gösterimi [191].....	73
Şekil 6.9.	Dört-prob tekniğinin prensibi [125].....	74
Şekil 6.10.	UV fotoelektron spektroskopisi ile belirlendiği gibi Au-pentasen eklemesindeki gerçek enerji seviye diyagramı [192].....	75
Şekil 7.1.	Optik ölçümler için kullanılan UV-Vis Shimadzu 3600 spektrometresi.....	76
Şekil 7.2.	Termal buharlaştırma için kullanılan PVD-HANDY/2S-TE (Vaksis Şirketi) termal buharlaştırma sistemi.....	77
Şekil 7.3.	Pentasen ince filmin (a) absorpsiyon A ve (b) geçirgenlik T spektrumları	78
Şekil 7.4.	Pentasen ince filminin foton enerjisine karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği	79

Şekil 7.5.	Pentasen türevi TIPS ince filmin (a) absorbands A ve (b) geçirgenlik T spektrumları	81
Şekil 7.6.	TIPS ince filminin foton enerjisine karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği	82
Şekil 7.7.	n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) optik mikroskobu görüntüsü	84
Şekil 7.8.	n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin optik mikroskobu görüntüsü	85
Şekil 7.9.	p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin şematik yapısı	86
Şekil 7.10.	n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'inin şematik yapısı.....	88
Şekil 7.11.	n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentasen OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 µm ve W=500 µm için ve (c) L=100 µm ve W=1000 µm için optik mikroskobu görüntüleri.....	90
Şekil 7.12.	p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 µm ve W=500 µm için, (c) L=100 µm ve W=1000 µm için ve (d) L=100 µm ve W=1500 µm için optik mikroskobu görüntüleri.....	92
Şekil 7.13.	n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin şematik yapısı	94
Şekil 7.14.	p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 µm ve W=1000 µm için ve (c) L=100 µm ve W=1500 µm için optik mikroskobu görüntüleri.....	95
Şekil 7.15.	7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri	97
Şekil 7.16.	7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri	98
Şekil 7.17.	7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri	99
Şekil 7.18.	7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri	100
Şekil 7.19.	7.2.2.2. kısmında anlatılan n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri.....	101
Şekil 7.20.	7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri.....	102
Şekil 7.21.	7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri.....	103
Şekil 7.22.	7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri.....	104
Şekil 7.23.	7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri.....	105
Şekil 7.24.	Hazırlanan OFET'lerin (a) karanlık ve (b) aydınlatma durumunda ölçüm esnasındaki görünümü	106

Şekil 7.25. Pentasen transistörünün enerji seviye diyagramı [47].....	108
Şekil 7.26. (a) $W=500\ \mu\text{m}$, (b) $W=1000\ \mu\text{m}$, (c) $W=1500\ \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri	110
Şekil 7.27. 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristiği	111
Şekil 7.28. (a) $W=500\ \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri.....	113
Şekil 7.29. $W=2500\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin $V_g=0\ \text{V}$ 'dan -80 V'a kadar farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri.....	114
Şekil 7.30. $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'inin $V_g=0\ \text{V}$ 'dan -5 V'a kadar farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri.....	115
Şekil 7.31. (a) $W=500\ \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri	116
Şekil 7.32. (a) $W=500\ \mu\text{m}$, (b) $W=1000\ \mu\text{m}$, (c) $W=1500\ \mu\text{m}$ ve (b) $W=2000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri	119
Şekil 7.33. $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri	120
Şekil 7.34. (a) $W=1000\ \mu\text{m}$, (b) $W=1500\ \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri.....	122
Şekil 7.35. (a) $W=500\ \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri.....	123
Şekil 7.36. n-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	124
Şekil 7.37. p-Si/SiO ₂ /Pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	126
Şekil 7.38. n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	126
Şekil 7.39. p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	127
Şekil 7.40. p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	127
Şekil 7.41. p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri.....	128

Şekil 7.42. n-Si/SiO ₂ /Pentase OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-5 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	132
Şekil 7.43. n-Si/SiO ₂ /Pentase OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	133
Şekil 7.44. p-Si/SiO ₂ /Pentase OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-10 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	134
Şekil 7.45. p-Si/SiO ₂ /Pentase OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	135
Şekil 7.46. Kanal genişliği (W), 500 µm olan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentase OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-20 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	137
Şekil 7.47. Kanal genişliği (W), 1000 µm olan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentase OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-20 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri.....	138
Şekil 7.48. Kanal genişliği (W), (a) 500 µm ve (b) 1000 µm olan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentase OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	139
Şekil 7.49. Kanal genişliği (W), (a) 500 µm ve (b) 500 µm olan p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentase OFET'lerinin V _g =-50 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	141
Şekil 7.50. Kanal genişliği (W), (a) 500 µm ve (b) 1000 µm olan p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Pentase p-Si/SiO ₂ /Pentase OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	142
Şekil 7.51. n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-6 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri.	144
Şekil 7.52. n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	145
Şekil 7.53. n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 365 nm dalga boylu UV aydınlatması altındaki ve (b) V _g =-6, -8, -10 ve -12 V geçit voltajları ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	146
Şekil 7.54. Kanal genişliği (W), 1500 µm olan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) V _g =-100 V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V _{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	148

Şekil 7.55. Kanal genişliği (W), 2000 μm p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g=-100$ V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	149
Şekil 7.56. Kanal genişliği (W), (a) 1500 μm ve (b) 2000 μm olan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	150
Şekil 7.57. Kanal genişliği (W), 500 μm olan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g=-50$ V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	152
Şekil 7.58. Kanal genişliği (W), 1000 μm p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm ² 'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g=-50$ V, 20 den 100 mW/cm ² 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri	153
Şekil 7.59. Kanal genişliği (W), (a) 500 μm ve (b) 1000 μm olan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri	154
Şekil 7.60. n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin (a) W=500 μm , (b) W=1000 μm , (c) W=1500 μm ve (d) W=2000 μm kanal genişliklerindeki -20 V altında, $-I_{ds}-V_g$ grafikleri	159
Şekil 7.61. n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin (a) W=500 μm , (b) W=1000 μm , (c) W=1500 μm ve (d) W=2000 μm kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri.....	161
Şekil 7.62. n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin (a) W=500 μm , (b) W=1000 μm , (c) W=1500 μm ve (d) W=2000 μm kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri	164
Şekil 7.63. 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -20 V altında, $-I_{ds}-V_g$ grafikleri	166
Şekil 7.64. 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri.....	166
Şekil 7.65. 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri	167
Şekil 7.66. 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) W=500 μm ve (b) W=1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında, $-I_{ds}-V_g$ grafikleri. 169	
Şekil 7.67. 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) W=500 μm ve (b) W=1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafiği.....	170
Şekil 7.68. 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) W=500 μm ve (b) W=1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri	171

Şekil 7.69. 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -80 V altında, -I _{ds} -V _g grafiği	173
Şekil 7.70. 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -80 V altında V _g 'ye karşı -I _{ds} ^{1/2} grafiği.....	173
Şekil 7.71. 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -80 V altında V _g 'ye karşı -logI _{ds} grafiği.....	174
Şekil 7.72. 7.2.2.2. kısmında anlatılan n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'inin -20 V altında, -I _{ds} -V _g grafiği	175
Şekil 7.73. 7.2.2.2. kısmında anlatılan n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'inin -20 V altında V _g 'ye karşı -I _{ds} ^{1/2} grafiği.....	176
Şekil 7.74. 7.2.2.2. kısmında anlatılan n-Si/BaTiO ₃ /pentasen OFET'inin -20 V altında V _g 'ye karşı -logI _{ds} grafiği.....	176
Şekil 7.75. 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) W=500 µm ve (b) W=1000 µm kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında, -I _{ds} -V _g grafikleri	178
Şekil 7.76. 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) W=500 µm ve (b) W=1000 µm kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V _g 'ye karşı -I _{ds} ^{1/2} grafikleri	179
Şekil 7.77. 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) W=500 µm ve (b) W=1000 µm kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V _g 'ye karşı -logI _{ds} grafikleri.....	180
Şekil 7.78. 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) W=500 µm, (b) W=1000 µm, (c) W=1500 µm ve (d) W=2000 µm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı V _{ds} voltajlarında -I _{ds} -V _g grafikleri.....	183
Şekil 7.79. 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) W=500 µm, (b) W=1000 µm, (c) W=1500 µm ve (d) W=2000 µm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı V _{ds} voltajlarında V _g 'ye karşı -I _{ds} ^{1/2} grafikleri.....	185
Şekil 7.80. 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) W=500 µm, (b) W=1000 µm, (c) W=1500 µm ve (d) W=2000 µm kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin farklı V _{ds} voltajlarında V _g 'ye karşı -logI _{ds} grafikleri.....	187
Şekil 7.81. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -20 V altında, -I _{ds} -V _g grafiği.....	188
Şekil 7.82. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -20 V altında V _g 'ye karşı -I _{ds} ^{1/2} grafiği.....	189
Şekil 7.83. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -20 V altında V _g 'ye karşı -logI _{ds} grafiği	189

Şekil 7.84. 7.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında - I_{ds} - V_g grafikleri	192
Şekil 7.85. 7.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin $V_{ds} = -100 \text{ V}$ altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri.....	193
Şekil 7.86. 7.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri	195
Şekil 7.87. 7.3.3. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında $-I_{ds}$ - V_g grafikleri	196
Şekil 7.88. 7.3.3. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri	197
Şekil 7.89. 7.3.3. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri.....	198
Şekil 7.90. n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin $W=500, 1000, 1500$ ve $2000 \mu\text{m}$ kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri.....	199
Şekil 7.91. 7.2.1.3. kısmında anlatılan $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri	201
Şekil 7.92. 7.2.3.1. kısmında anlatılan $W=500, 1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri.....	201
Şekil 7.93. 7.2.3.2. kısmında anlatılan $W=500, 1000$ ve $1500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin -50 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri.....	202
Şekil 7.94. 7.3.2. kısmında anlatılan $W=1000, 1500$ ve $2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin -100 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri.....	202
Şekil 7.95. 7.3.3. kısmında anlatılan $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri	203
Şekil 7.96. 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği.....	207
Şekil 7.97. 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi	209

Şekil 7.98. n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği	211
Şekil 7.99. 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği.....	214
Şekil 7.100. 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	215
Şekil 7.101. p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği	217
Şekil 7.102. 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği	219
Şekil 7.103. 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	221
Şekil 7.104. n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği.....	222
Şekil 7.105. 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin -50 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği	225
Şekil 7.106. 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	227
Şekil 7.107. p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği.....	228
Şekil 7.108. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -20 V altında karanlık-UV durumundaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği.....	230
Şekil 7.109. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği.....	232
Şekil 7.110. 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlanma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	234
Şekil 7.111. n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği	236
Şekil 7.112. 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -100 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği.....	238
Şekil 7.113. 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	240

Şekil 7.114.	7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği.....	241
Şekil 7.115.	7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin -60 V ve aydınlatma şartları altındaki V _g 'ye karşı (a) -I _{ds} , (b) -I _{ds} ^{1/2} ve (c) -logI _{ds} grafiği.....	244
Şekil 8.116.	7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi.....	245
Şekil 7.117.	7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D _{it} ve (b) N _{tuzak} grafiği.....	246

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Farklı kaplama metodları ve altlık sıcaklıkları ile pentasenın alan-etkili mobilite değeri 17	17
Tablo 2.2. n-tipi organik yarıiletkenlerin alan etkili mobilite değeri 19	19
Tablo 7.1. Farklı kanal genişlikli n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 162	162
Tablo 7.2. Farklı kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 181	181
Tablo 7.3. Farklı kanal genişlikli p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 190	190
Tablo 7.4. Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 208	208
Tablo 7.5. Karanlık ve aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 212	212
Tablo 7.6. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 214	214
Tablo 7.7. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /pentasen OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 216	216
Tablo 7.8. Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 220	220
Tablo 7.9. Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 223	223
Tablo 7.10. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 225	225
Tablo 7.11. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /pentasen OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 229	229
Tablo 7.12. Karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 232	232
Tablo 7.13. Karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 235	235
Tablo 7.14. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 238	238
Tablo 7.15. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 239	239
Tablo 7.16. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değeri 242	242
Tablo 7.17. Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO ₂ /TIPS OFET'inin D _{it} ve N _{tuzak} değeri 247	247

SEMBOLLER LİSTESİ

ϵ_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
μ	: Mobilite
V_{th}	: Eşik voltajı
T	: Mutlak sıcaklık
$I_{d,sat}$	: Doyum (saturasyon) akımı
V_g	: Geçit voltajı
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
E_g	: Yasak enerji aralığı
q	: Elektron yükü
E_f	: Fermi enerjisi
C_i	: Birim alan başına yalıtkan kapasitansı
W	: Kanal genişliği
L	: Kanal uzunluğu
I_{on}/I_{off}	: Akım açma/kapama oranı
I_{ds}	: Kanal-kaynak akımı
V_{ds}	: Kanal-kaynak voltajı
N_{tuzak}	: Toplam tuzak yoğunluğu
R	: Fotoduyarlılık
S	: Alt-eşik salınım değeri
D_{it}	: Arayüzey durum yoğunluğu
P	: Aydınlanma şiddeti

KISALTMALAR LİSTESİ

AFM	: Atomik kuvvet mikroskopu
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
BaTiO₃	: Baryum titanyum oksit
CP	: Konjuge polimer
FET	: Alan-etkili transistör
IGFET	: Yalıtılmış geçit alan-etkili transistör
IP	: İyonlaşma potansiyeli
MESFET	: Metal-yarıiletken alan etkili transistör
MISFET	: Metal-yalıtkan-yarıiletken alan etkili transistör
MOSFET	: Metal-oksit-yarıiletken alan etkili transistör
OFET	: Organik alan etkili transistör
OLED	: Organik ışık yayan diyot
OPT	: Organik fototransistör
OPVC	: Organik fotovoltaiik pil
OSC	: Organik güneş pili
OTFT	: Organik ince film transistör
Pc	: Fitalosiyanin
PCBM	: Fulleren türevi fenil C ₆₁ butrik asit metil ester
RFID	: Radyo frekans tanımlama kimliği
SiO₂	: Silisyum dioksit
TFT	: İnce film transistör
TIPS	: Pentasen türevi (6,13-Bis(triisopropilsilietinil) pentasen
UPS	: Ultraviyole fotoelektron spektroskopisi
UV	: Ultraviyole

1. GİRİŞ

Son yıllarda organik yarıiletkenler, ilginç elektriksel ve optik özelliklerinden dolayı yaygın olarak araştırılmaktadır. Organik yarıiletken kullanılarak organik güneş pil (OSC)'leri, organik ince-film transistör (OTFT)'leri ve organik ışık yayan diyot (OLED)'lar yapılmaktadır. Bunlar arasında OTFT'ler, düşük-maliyet, hafif-ağırlıklı ve esneklik özelliklerinden dolayı, organik optoelektronik aygıtlar için umut vermektedirler [1]. Son yıllarda, düşük maliyet, geniş-alan elektronik aygıtlar dahil onların çeşitli uygulamalarından dolayı geleneksel silisyum-esaslı transistörlere alternatif olarak organik ince-film transistörlere büyük bir ilgi vardır [2-6]. Hafif-ağırlıklı, esnek ve düşük maliyetli OTFT elektronik aygıtları geliştirebilir [7]. p-tipi organik yarıiletken esaslı ince film transistörler, yüksek verimli ve $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ mertebesinde yüksek boşluk mobiliteler sergilemektedirler [8-10]. p-tipi organik yarıiletkenler, pentasen, rubrene, antrasen veya tiyofen organik yarıiletkenler, OTFT uygulamalarında genişçe kullanılmaktadırlar [1, 9-16] ve ayrıca yüksek verimli OTFT'ler, pentasen türevleri, rubrene, antrasen veya tiyofen'nin kullanılmasıyla geliştirilebilirler. Organik fototransistör (OPT)'ler, ultraviyole (UV) ve görünür ışık ve organik yarıiletkenlerin fotoakım üretim verimindeki geniş soğurma özelliklerinden dolayı, OTFT'lerin mümkün uygulamalarından biri olarak düşünülür [17-21].

Organik ince-film transistör (OTFT)'ler, entegre devreler ve aktif matriks ekranlar gibi elektronik uygulamalarından dolayı geniş bir şekilde araştırılmaktadır [22-27]. Aslında pentasen, bilim ve mühendisliklerde büyük ilgi çeken bir organik yarıiletken malzeme olup, organik ince film transistör (OTFT)'lerin yapımında kullanılmaktadır [22-28]. Pentasen, $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'den daha büyük bir mobilite sergilemektedir [13,28-37]. Başka bir deyişle, fototransistör (PT)'ler, fotosensör, görüntü sensörü, optiksel olarak kontrol edilen faz değiştirici, optoelektronik anahtar ve bellek aygıtları gibi potansiyel uygulamalarından dolayı geniş bir şekilde araştırılmaktadır [38-41]. Fotodiyotlar, organik veya inorganiklerden farklı olarak, organik fototransistörlerin fotoduyarlılığı, aygıt uçları karşısına uygulanan beslemenin büyüklüğü ve polaritesi ile değiştirilebilir [19,42]. Son yıllarda, foto-algılama sensörleri için, bir aktif tabaka olarak kullanılabilen organik yarıiletken malzemelerin ışığa-duyarlı karakteristikleri üzerine birkaç makale vardır

[21,43-45]. Pentasen esaslı UV fototransistörler, UV-duyarlılığı, basit ve düşük maliyet işleminden dolayı araştırma ve gelişimde umut veren avantajlar sunabilir. Pentasen transistörün UV-fotoalgılama özellikleri, birkaç çalışma dışında geniş bir şekilde araştırılmadı [46,47].

OTFT aygıtları; tüm-polimer entegre devreleri [48,49], polimer aktif-matriks ekranları [27,50,51], geniş-alan sensörleri [52,53], biyokimyasal sensörler [54] ve radyo frekans tanımlama kimlik (RFID)'leri [55] gibi düşük-maliyetli, geniş-alanlı, esnek elektronik uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Bir OTFT'nin aktif tabakası, genellikle bakır-fitalosiyenin (CuPc) [56] veya pentasen [57,58] gibi yüksekçe konjuge n-kanallı [59,60] veya p-kanallı [61-63] küçük moleküllerin ince filminden yapılmaktadır. Bu organik moleküller arasında, OTFT'ler [13,64,65] ve optoelektronik aygıtlar [5,66,67] için, pentasen bir yarıiletken taşıma tabakası olarak kullanıldığı zaman, pentasen ($C_{22}H_{14}$) en yüksek taşıyıcı mobilitesine ($5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'den daha fazla) ve açma/kapama oranına [10,68] sahiptir. Bu durum pentaseni, en çok umut veren organik yarıiletkenlerden biri yapmaktadır. Van der Waals kuvvetleri, onun moleküler tabakaları arasında etkilidir [69,70]. Fotoelektron emisyon mikroskobu (PES) [71], potansiyel görüntüleme haritası [72] ve tarama Kelvin prob mikroskobu (SKPM) [73,74] gibi birkaç teknik, pentasen tabakasının yapısal kusurlarından olan, kristal tane boyutundan, şeklinden ve ağırlığından kaynaklanan yerel kusurları araştırmak için kullanılmaktadır. Uzay-yükü sınırlı akım spektroskopisi [75] kullanılarak besleme voltajı altında metastable kusurları, elektrik kuvvet mikroskobu [76] ile derin yük tuzakları ve tarama tünelleme mikroskobu (STM) [77] ile derin olmayan tuzakları, çeşitli altlıklar üzerindeki pentasen ve yalıtkan dielektrik tabakalar arasındaki arayüzeyde yük taşıma mekanizmasını açıklamak için gösterilmektedir [78]. Aynı zamanda, bir OTFT aygıtın alan-etkili mobilitesi ve verimi, kaplama hızına ve altlık sıcaklığına bağlı olup, bu pentasen gibi yarı-kristalin organik yarıiletkenlerin moleküler dizilimini ve morfolojisini etkilemektedir [79,80].

UV ve görünür bölgelerdeki pentasenin optik cevabı, fototransistör uygulamalarında kullanılması için umut vermektedir [81,82]. Gürültü problemleri olmaksızın, bir tek aygıtta ışık deteksiyonu ve sinyal dönüştürücünün kombinasyonu [83,84], foto-sensör uygulamaları için pentasen-esaslı OTFT'lere yüksek bir verim sağlamaktadır [85].

Son zamanlarda birçok araştırma grubu, OTFT'leri geliştirmektedirler. Özellikle, plastik altlık üzerine disposable (kullanıldıktan sonra atılan) elektronik devreleri oluşturmak için, spin-kaplama [86], ekran baskı [87], damlatarak-dökme [88] ve nanobaskı

litografi [89] gibi çözelti işlemleri kaplama işlemleri kolayca kullanılabilir. Araştırmalara göre, aktif kanal olarak kullanılan pentasen, organik elektronikler için çok umut veren bir organik yarıiletkenlerdir [90]. Son zamanlarda birkaç grup, pentasen TFT'lerini ve uygulamalarını araştırmaktadırlar [36,91]. Ayrıca, yüksek verimli OTFT'yi üretmek için, geçit yalıtkan malzemeyi seçmek çok önemlidir. Yani, bir yalıtkan geçit alan-etkili transistörde, yalıtkan tabaka en az bir yarıiletken kadar önemlidir. Aynı zamanda yalıtkan tabaka, özellikle yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi ve OTFT'lerin verimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü OTFT'ler toplanma bölgesinde çalışmaktadır ve değiştirilen yük, arayüzeye yakın bir alan (yaklaşık 10 nm kalınlıklı) içerisine uzanmaktadır. Bu yüzden, birçok araştırma grubu, organik yarıiletken ve dielektrik tabaka arasındaki ilişkiyi araştırmaya çalışmışlardır [37,92].

Organik bileşikler ve polimer esaslı organik yarıiletkenler; düşük üretim maliyeti ve esnekliklerinden dolayı, OTFT'ler için en ilginç aday malzemelerdir. Organik yarıiletkenler, düşük mobilitelere sahip olmalarına rağmen, OTFT'lerin verimi üzerine yapılan çalışmalarda, organik yarıiletkenlerin yeni OTFT uygulamalarındaki iyi verimlerinden dolayı büyük ilgi çekmektedirler [93]. OTFT'lerin verimi, organik dielektrik malzemeler kullanılarak önemli ölçüde geliştirilmektedir. Transistör performanslarından biri, pratik uygulamalar için daha düşük çalışma voltajı ile ilgili olan daha düşük güç tüketimidir. Bir diğeri ise, daha yüksek malzeme hızı olup, bu daha yüksek taşıyıcı mobiliteler ile yapılmalıdır [65]. Malzemelerin verimini geliştirmek, organik elektronikler alanındaki araştırmacılar için hala önemli bir problemdir [94]. OTFT veriminin, yeni organik yalıtkan tabaka kullanılarak geliştirilebileceği düşünülmektedir. Pentasen filmi, bir dielektrik üzerine hazırlanan pentasen esaslı ince-film transistörler, genellikle alt geçit TFT yapıları kullanılarak üretilmektedir. Pentasen TFT'lerin verimi, dielektriğin özelliklerine, pentasen moleküllerin büyütme şartlarına ve filmin yapısal özelliklerine güçlü bir şekilde bağlıdır [95,96].

Organik ince-film transistörler (OTFT), radyo-frekans tanımlama kimlik (RFID)'leri, organik ışık yayan diyot (OLED)'ler, elektronik kâğıt, sensörler, güneş pilleri, küçük kartlar ve katlanabilir ekranlar gibi birçok organik elektronik uygulamalar için, büyük ilgi çekmektedirler [5,97-99]. Birçok organik malzemeler arasında pentasen, yüksek alan-etkili mobilitesi ve çevresel kararlılığından [9,85,91,100-102] dolayı en çok tercih edilen bir malzemedir, pentasenin boşluk taşıyıcıları (p-kanallı) için, en yüksek mobilitelere sahip olduğu bulundu ve pentasen, organik yarıiletken kanalı ile ince-film transistör (TFT)'lerde

iyi bir verim sağlamaktadır [64]. Ayrıca, çok yakın zamanlarda entegre devre içeren 1800 pentasen TFT'den daha fazlası üretilmiştir [103]. Pentasen, ultraviyole ve beyaz ışığı algılayabilen bir kapasiteye sahip olabilir. Bu nedenle, katlanabilir (esnek) pentasen ince film transistörü, UV ve muhtemel görünür fotonları algılamak için kullanılabilir [104].

Bilinen inorganik TFT'lerle kıyaslandığında OTFT'ler, düşük maliyet, esnek altlık ile uyumluluk ve geniş alan işlemcisi gibi doğal avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Son zamanlarda, pentasen-esaslı OTFT'lerin verimi, amorf silikon malzemelerin seviyesine yakın olduğu görülmektedir. Alan-etkili mobilité, organik yarıiletkenlerin elektriksel taşıma verimi için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Alan-etkili mobilitenin büyüklüğü, organik malzemenin önemli bir karakteristiğidir, çünkü alan-etkili mobilité organik malzemenin akım taşıma kapasitesini tanımlar. Mevcut materyaller optimize edilerek ve yeni materyaller tasarlanarak bir organik yarıiletkenin mobilité artışı üzerine, birçok çalışma yapılmıştır [105].

İlk ince-film transistör (TFT), 1962'de Paul K. Weimer tarafından bildirildi [106]. 20 yıl sonraki raporlar, inorganik dielektrikler üzerine organik yarıiletkenleri kullanarak hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'ler olarak ortaya çıktı [9,107,108]. Farklı organik dielektrikler test edilerek, yapılan tüm organik OFET'lerin ilk çalışmaları, Peng ve yardımcıları tarafından yapıldı [109]. OFET'lerin alanındaki en geniş ilgi [110,111], yük taşıma [112,113], OFET'ler için yarıiletkenler [114], geçit dielektrikler [115,116], plastik elektronik malzemelerdeki gelişim [57] ve sensörler olarak OFET'ler için çeşitli bilimsel makaleler yayınlandı [117]. Organik ince film transistör (OTFT)'ler, organik entegre devre ve polimer devre tasarımlarında ticari olarak uygulama alanına sahiptirler. En çok kullanılan yaygın malzeme şekli, geçit dielektriği için termal olarak büyütülen Si/SiO₂'nin kullanılmasıyla hazırlanan ince film silikon transistör (TFT)'ün görünüşünden dolayı üst kontaklı alt geçit transistörüdür. Ticari olarak mevcut yüksek kaliteli Si/SiO₂ altlıkların olması da avantaj sağlamaktadır. Son yıllarda, organik dielektriklerin kullanılmasıyla yüksek verimli OFET'ler elde edilmektedir [106,107,109-112,118-123]. Organik dielektrikler; (i) çözünebilir-işlemli olabilir, (ii) saydam cam ve plastik yüzeylerde düzgün filmler sağlar, (iii) yüksek optik saydamlığından dolayı ışığa-duyarlı OFET'ler gibi opto-elektronik için uygundur (iv) göreceli olarak küçük bir termal genleşme katsayısı ile termal olarak 200 °C'ye kadar kararlı olabilirler ve (v) 18'e kadar oldukça yüksek dielektrik sabitine sahip parçacıklar bulunur.

OFET'ler, inorganik ince film transistör (TFT)'lerden daha düşük sıcaklıklarda üretilirler, böylece çok kullanılan geniş esnek altlıkların çeşitleri üzerine OFET'lerin hazırlanmasını sağlar. Bu durum, elektronik pano ekranları gibi geniş-alanlı elektronik malzemelerin üretimini sağlamaktadır [124]. Düşük maliyet, esnek, kırılmaz, çok düşük ağırlıklı düz panel ekranlara sahip olmalarından dolayı ticari alanda da önemli bir role sahiptirler. Ancak, son yıllarda yapılan önemli ilerlemelere rağmen, organik yarıiletkenler ile yüksek taşıyıcı mobiliteleri elde etmek kolay değildir. Daha iyi yarıiletken malzemeler geliştirilerek ve onların morfolojisi ve yük taşıma mekanizması araştırılarak, OFET'lerin mobilitesi artırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, yalıtkan ve yarıiletken malzemeler arasındaki arayüzeyin, taşıyıcı taşınmasında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Birçok organik dielektrikler, geçit malzemesi olarak kullanılmasına rağmen, organik FET'ler üzerinde yapılan çalışmaların çoğu, hala geçit dielektrik olarak SiO_2 'yi kullanmaktadırlar. Ancak organik yarıiletkenler kullanılarak düşük maliyetli ve geniş alanlı elektronikleri elde etmek için, SiO_2 'in organik bir dielektrik yerine kullanılması oldukça önemlidir [125].

Son yıllarda yapılan çalışmalara göre, rubrene tek kristal tabanlı organik alan etkili transistörlerde mobilité, $15.4 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ olarak elde edilmiş ve bu mobilité değeri ile amorf silikon tabanlı transistörlerin mobilité değerlerine ulaşmıştır. Üstelik inorganik transistörlerdeki verim hızla limit değerlere doğru gitmesine rağmen, organik alan etkili transistörler, ileri teknolojik uygulamalar bakımından gelişmekte olan mükemmel bir potansiyele sahiptir [126].

OFET'ler, en çok standart üst-geçit ve alt-geçit ince film transistör (TFT) tasarımları kullanılarak üretilmektedir. OFET'lerin teknoloji de cazip olmasının temel sebeplerinden biri, bir OFET'in tüm tabakaları düşük maliyetli bileşen, çözünebilir işlemler ve doğrudan-baskı ile düşük oda sıcaklıklarında kaplanabilir ve maskelenebilir olmasıdır. Doğrudan-baskı, esnek altlıklar üzerine düşük-maliyetli, geniş-alanlı elektronik fonksiyonların üretilmesini mümkün kılmaktadır [125].

Bu tez çalışmasında, alt geçit ve üst kontak geometrisi ile aktif tabaka olarak pentasen ve pentasen türevi (6,13-Bis(triisopropylsilyl)ethynyl) pentasen (TIPS) kullanılarak, oda sıcaklığında termal buharlaştırma tekniği ve spin-kaplama ile organik alan-etkili transistör (OFET)'ler hazırlandı. Dielektrik tabakasının, organik alan etkili transistör (OFET)'lerin, transistör karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, dielektrik geçit tabakaları; silisyum üzerine termal olarak büyütülmüş SiO_2 'li altlıklar satın alındı, silisyum

üzerine SiO₂ tabakası termal olarak büyütüldü ve yalıtkan dielektrik geçit tabakalar, sol-jel yöntemiyle SiO₂, BaTiO₃ ve Al₂O₃ jelleri kullanılarak hazırlandı. Kanal genişliğinin organik alan etkili transistörlerin, transistör karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, transistörler farklı kanal genişliklerinde hazırlandı. Bu çalışmada, hazırlanan pentasen ve pentasen türevi (6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) esaslı ince film transistörlerinin fotoalgılama (fotoduyarlılık) özellikleri, 365 nm deki UV ışık uyarmasının şartları ve farklı beyaz ışık aydınlatmaları altında araştırıldı. Böylece, dielektrik geçit tabakaları ve bunların kalınlıkları ile kanal genişlikleri değiştirilerek karanlıktaki ve aydınlatma şartları altındaki transistörlerin mobiliteleri ve transistör verimleri geliştirilmeye çalışıldı. Cam üzerine kaplanan pentasen ve pentasen türevi (TIPS) ince filmlerin optiksel özellikleri araştırıldı. Böylece, aktif tabaka olarak kullanılan pentasen ve türevi TIPS organik yarıiletkenlerin, hazırlanan organik alan etkili transistörlerin, transistör parametreleri üzerindeki etkileri araştırıldı. Son olarak, hazırlanan organik alan etkili transistörlerin, elektronik teknolojisinde olası kullanılabilme özellikleri araştırılarak, transistörlerin elektronik özellikleri literatürdeki mevcut bilinen OFET'lerle karşılaştırılarak, avantaj ve dezavantajları belirlendi.

2. ORGANİK YARIİLETKENLER

Organik kimya içerisinde sınıflandırılan kimyasalların büyük çoğunluğu, genelde elektriksel yalıtkanlıkları bakımından önemli rol oynarlar. Son yıllarda, uygun elektriksel karakteristikler sergileyen organik bileşikler keşfedildi [127,128]. “Organik yarıiletkenler” terimi, önemli bir ölçüde karbon-karbon (C-C) bağına içeren organik katıların tanımlanmasında kullanılır, fakat bazen elektron iletim kabiliyeti de sergilemektedirler [129]. Bütün tanımlamalarda ortak ayırt edici faktör, materyal karakteristiği olarak elektriksel öz direnç özelliğinin olmasıdır. Organik yarıiletkenler, metallerin (10^4 ile 10^6 ohm⁻¹cm⁻¹) ve yalıtkanların (10^{-22} ile 10^{-10} ohm⁻¹cm⁻¹) arasında elektronik iletkenlikleri sergileyen ve genelde iletkenlikleri 10^{-9} - 10^3 ohm⁻¹cm⁻¹ arasında olan malzemelerdir. Organik yarıiletkenler, karbon ve hidrojen atomlarından meydana geldikleri için organik yarıiletkenler olarak adlandırılır. Organik yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliği, sıcaklıkla üssel bir artış göstermektedir. İletkenlik mekanizmaları, yarıiletkenlerin iletkenlik mekanizmalarına benzerdir.

20. yüzyılın ortalarına doğru, transistörlerin icadı ile Si ve Ge gibi inorganik yarıiletkenler önceki yaygın metallerden daha çok, elektroniklerde baskın bir rol oynadılar. Aynı zamanda, 20. yüzyılın sonunda katıhal malzemelerine bağlı vakum tüplü elektroniklerin yerine, günlük yaşamımızdaki yarıiletken mikro-elektroniklerin bulunduğu elektronikler gelişti. 21. yüzyılın başlarında ise, materyallerin yeni bir sınıfının anlaşılmasını ve gelişmesine sebep olan gelişmeleri mümkün kılan ve çoğunlukla organik yarıiletkenler olarak bilinen yeni bir elektronik devir ile karşı karşıyayız. Tam manasıyla organik yarıiletkenlerin konuşulması yeni değildir. Antrasen kristallerinin (bir protip organik yarıiletken) karanlık ve fotoiletkenliğinin ilk çalışılması, 20.yüzyılın başlarına dayanmaktadır [130]. Daha sonra 1960’larda, elektro-aydınlanmanın keşfedilmesiyle [131,132], birçok araştırmacı tarafından moleküler kristaller, geniş bir şekilde araştırıldı. Bu araştırmalar, optiksel uyarmaları ve yük taşıma mekanizmasıyla ilgili temel konuları açıkladı. 1970’lerden beri, konjuge polimerlerin [133] başarılı sentezi ve kontrollü katkılanmasıyla, 2000 yılında da kimyada Nobel ödülü alan organik yarıiletkenlerin önemli ikinci bir sınıfı tespit edildi.

1980’de konjuge polimerler ve oligomerlerden ince film transistörlerin ilk başarılı üretimiyle ve p- ve n-iletken materyalleri [134] ile verimli bir organik hetero-eklem fotovoltaiik pilinin yapısından dolayı, katkısız organik yarıiletkenlere olan ilgi giderek artmaktadır. Son yıllarda, hem akademik hem de endüstriyel araştırma laboratuvarlarındaki büyük çabalardan dolayı, organik ışık-yayan diyot (OLED)’lar hızla gelişti ve aynı zamanda ilk ticari OLED’lerin üretilmesine sebep oldu. Organik alan-etkili transistör (OFET)’ler veya organik fotovoltaiik pil (OPVC)’ler gibi organik yarıiletkenlerin diğer uygulamalarında da yakın gelecekte daha da geliştirileceği umulmaktadır.

Organik yarıiletkenlerin başlıca iki sınıfı vardır. Bunlar: düşük moleküler ağırlıklı materyaller ve polimerlerdir. Her ikisi de moleküllerinde sp^2 -hibritleşmesi olan C-atomlarının p_z –orbitalleri ile oluşan ortak bir konjuge π -elektron sistemine sahiptir. Moleküllerin π ve σ -bağlarının görünümü, her ne kadar benzerde olsa, π -bağı daha zayıftır. Böylece, konjuge moleküllerin en düşük elektronik uyarılmaları, görünür spektral aralıkta ışık soğrulmasına veya emisyonuna sebep olan bir 1.5 ve 3 eV enerji bant aralığı ile uyarılan $\pi-\pi^*$ geçişleridir. Materyallerin bu iki sınıfı arasındaki önemli bir fark, ince filmlerinin oluşmasının farklı oluşudur. Organik yarıiletkenlerdeki bantların yapısı temel olarak inorganik yarıiletkenlerinkinden farklıdır. Organik yarıiletkenler, elektronik özelliklerinden ve üretimin kolay olmasından dolayı, son yıllarda büyük ilgi çekmektedirler [135].

Konjuge organik malzemeler, ince film elektroniğinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Son zamanlarda, organik yarıiletkenler ve onların türevleri kullanılarak, Schottky diyotlar ve organik alan etkili transistör gibi yapılar hazırlanmakta ve elektronik karakterizasyonları yapılmaktadır. Organik yarıiletkenler, elektronik malzemelerde aktif bileşenler olarak kullanılabilir ve bu malzemeler, kolay üretilebilirliği, düşük maliyet ve geniş alan malzeme karakterizasyonundan dolayı olası avantajlara sahiptir. Bu durum, organik malzemeler ile inorganik malzemelerin yer değiştirmesine yeni bir olanak sağlamaktadır. Çoğu organik malzemeler, akım taşıyıcıları olarak boşluklar ile p-tipi yarıiletkenleridir [136].

Transistör teknolojisinde, pentasen bileşiği bu alanda kullanılan p-tipi (yani elektron olması gerekip de elektron olmayan boşlukların iletkenlik de rol oynadığı) yarıiletkenlerden ilkidir. Bir sistemde pi elektronlarının delokalize olması, moleköl

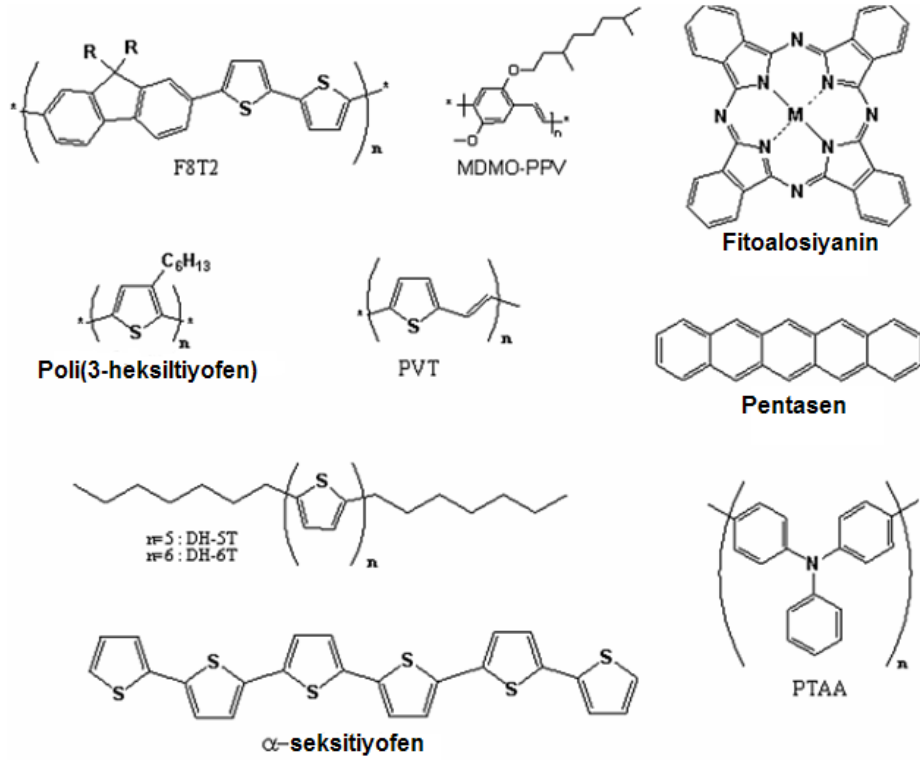
üzerinde elektron mobilitesini ve iletkenliğini artırırken, bu etki tek başına yeterli değildir. Pentasen moleküllerinin birbirlerine göre nasıl düzenlendikleri, yani istiflenme şekli, iletkenlik için çok önemli bir parametredir. Düşük sıcaklıklarda yapılan kaplama tekniklerinde, iletkenliği düşük amorf bileşikler elde edilirken, yüksek sıcaklıklarda ince film veya tek kristal özelliğine sahip iletkenliği yüksek materyaller elde edilmiştir. Elektronların bir pentasen'den diğerine atlarken (ki buna "sıçrama mekanizması" denilir) düşük bir enerji engeli olması gerekir, bunun için de pentasen moleküllerinin yüz-yüze olarak dizilmeleri gerekir. Eğer kenar-yüzey şeklinde kristaller elde edilirse, iletkenliğin çok düşük olduğu görülmüştür. Yüz-yüze durumunda, pentasen moleküllerinin pi orbitalleri molekül düzlemine dik düzlemde örtüşebilmekte ve böylece elektronların moleküller arasındaki delokalizasyonu artmakta ve sıçrama mekanizmasındaki enerji engeli azalmaktadır. Son zamanlarda, oldukça yaygın şekilde kullanılan organik yarıiletken, pentasendir. Elektron mobilitesi $2\text{cm}^2/\text{V-saniye}$ civarlarında olup, bu amorf silikondaki elektron mobilitesinden de daha yüksek bir değerdir. Şuan p-tipi materyallerden beklenen verim, silikon teknolojisinin sunduğu seviyede değildir, zaten amaç, silikon teknolojisindeki gibi çok yüksek voltajlar değil, daha ucuz, kullanımı daha kolay, düşük voltajlı işlerde kullanılacak materyaller üretmektir.

Yarıiletkenlerde elektrik iletkenliği (metallerden ve yalıtkanlardan farklı olarak), başka elementler katkılanarak değiştirilebilir. n- tipi ve p- tipi denilen iki tip katkılama vardır. Elektrik iletkenliği, sadece negatif yüklü elektronlarla değil; aynı zamanda pozitif yüklü boşluklarla da ilgilidir. Metallerden farklı ama yalıtkanlarla ortak olan özelliği ise, yarıiletkenlerde değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında bir enerji aralığı vardır. Bu enerji aralığı yalıtkanlarda 5 eV'dan fazla iken, yarı iletkenlerde 3,5 eV dolaylarındadır. Yarıiletkenlerin iletkenlikleri sıcaklık ve manyetik alana da duyarlıdır. Organik yarıiletkenlerin rezistansı inorganik yarıiletkenlerden daha fazladır, hatta neredeyse yalıtkanlar kadar yüksektir. Maliyetleri inorganik yarıiletkenlere göre daha düşüktür. Esnek altlıkların üzerine bile ince bir film tabakası şeklinde yerleştirilebilir. Polimer elektroniği, iletken polimerlerin 1977'de keşfedilmesinden beri çok hızlı bir şekilde gelişmektedir. İletken polimerler, ışık yayan diyot (LED)'lar, alan etkili transistör (FET)'ler ve fotodiyotlar gibi birkaç optoelektronik malzemelerde aktif bir malzeme olarak kullanılmaktadırlar [137].

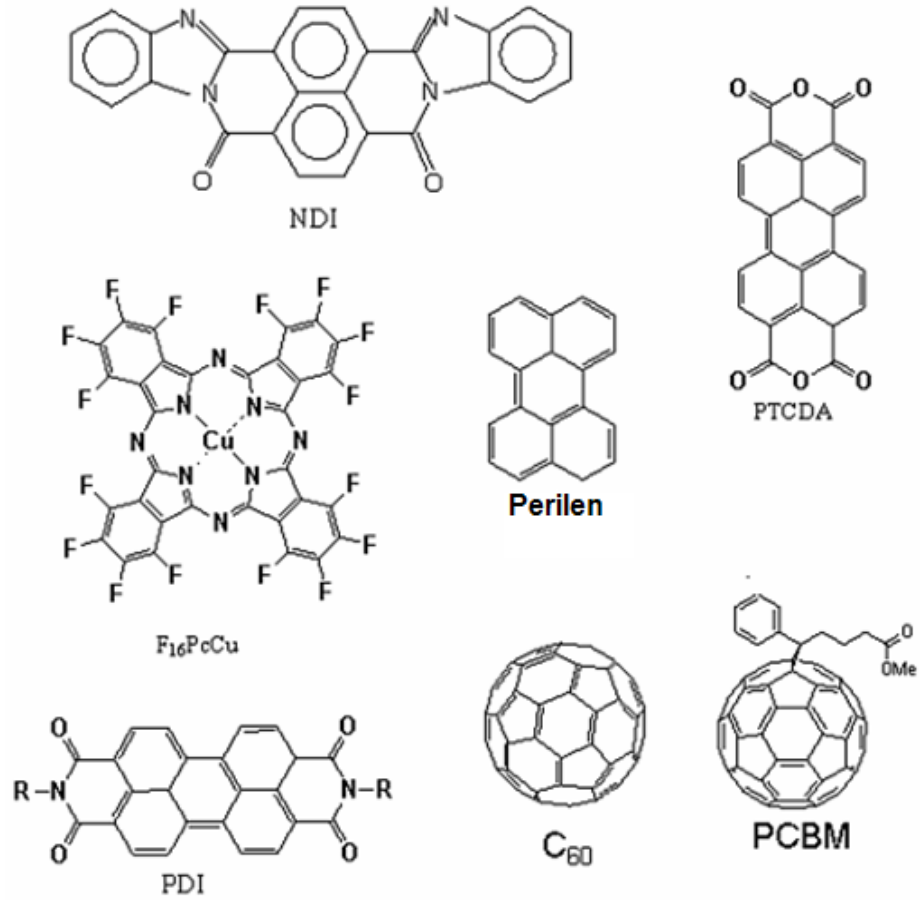
1987'deki ilk rapordan beri, OFET'lerin verimi hızla gelişmektedir. Son yıllarda, çok somut gelişmeler görülmektedir ve OFET'ler, şimdilerde amorf silisyum malzemeleri gibi diğer ince film transistörler ile yarışmaktadırlar [138]. Özellikle kaliteli filmlerin üretilmesinden dolayı, gelişmeler sağlanmış ve böylece küçük moleküller malzemeler polimerlerden daha çok önem kazanmıştır. OFET'lerde, alan etkili mobilite ve açma-kapama akım oranı birincil öneme sahiptir. MOSFET'lerin açma-kapama oranları, 10^9 mertebesindeyken, Si:H TFT'lerde bu oran, 10^6 civarlarındadır. Yüksek mobilitenin yüksek akımlarda sağlandığı, dolayısıyla yüksek açma-kapama oranı elde edildiği görülmektedir [138].

Son zamanlarda, organik yarıiletken malzemeler içerisinde, polimerler ve π -konjuge organik oligomerler önemli bir araştırma konusu oluşturmaktadır. Organik yarıiletken malzemeler, p-tipi veya n-tipi gibi farklı yük taşıyıcı özelliklerine sahiptir. p-tipi malzemeler, düşük iyonlaşma potansiyel değerlerine sahip ve n-tipi malzemeler ise yüksek elektron ilgilerine sahiptirler. Çoğunluk taşıyıcıları boşluklar olan yarıiletkenler p-tipi ve çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olan yarıiletkenler n-tipi yarıiletken olarak adlandırılmaktadır. Organik alan etkili transistör (OFET)'lerin hazırlanmasında kullanılan n-tipi yarıiletken malzemelere göre, p-tipi organik yarıiletken malzemelerin havaya karşı daha kararlı olması ve daha yüksek mobilite sahip olduklarından organik yarıiletken malzemeler içerisinde, p-tipi organik yarıiletkenler daha çok kullanılmaktadır. n-tipi organik yarıiletken malzemelerin bir çoğu, yapısında bulunan su ve oksijen ile reaksiyona giren organik anyonlar ve birtakım karbanyonlardan dolayı p-tipi organik yarıiletken malzemelere göre havaya karşı daha hassas olup [139], n-tipi organik yarıiletken malzemelere göre, p-tipi organik yarıiletken malzemelerin alan etkili mobiliteleri daha yüksektir. Böylece, organik yarıiletkenlerin yük taşıma taşıyıcılarına göre, transistörler n-tipi veya p-tipi olarak tanımlanır. Şekil 3.1 ve 3.2'de sırasıyla, organik alan etkili transistörlerde kullanılan p tipi ve n tipi organik yarıiletken malzemelerin kimyasal yapıları gösterilmektedir.

Organik alan etkili transistörlerde kullanılan organik yarıiletken malzemelerden başlıcaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. OFET’lerde kullanılan başlıca p-tipi organik yarıiletken malzemelerin kimyasal yapıları [140].



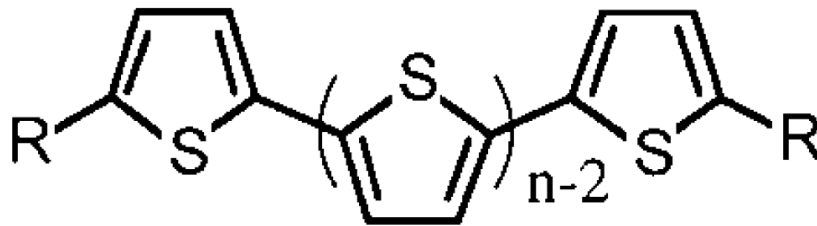
Şekil 2.2. OFET’lerde kullanılan başlıca n-tipi organik yarıiletken materyallerin kimyasal yapıları [140].

2.1. Oligotiyofen'ler

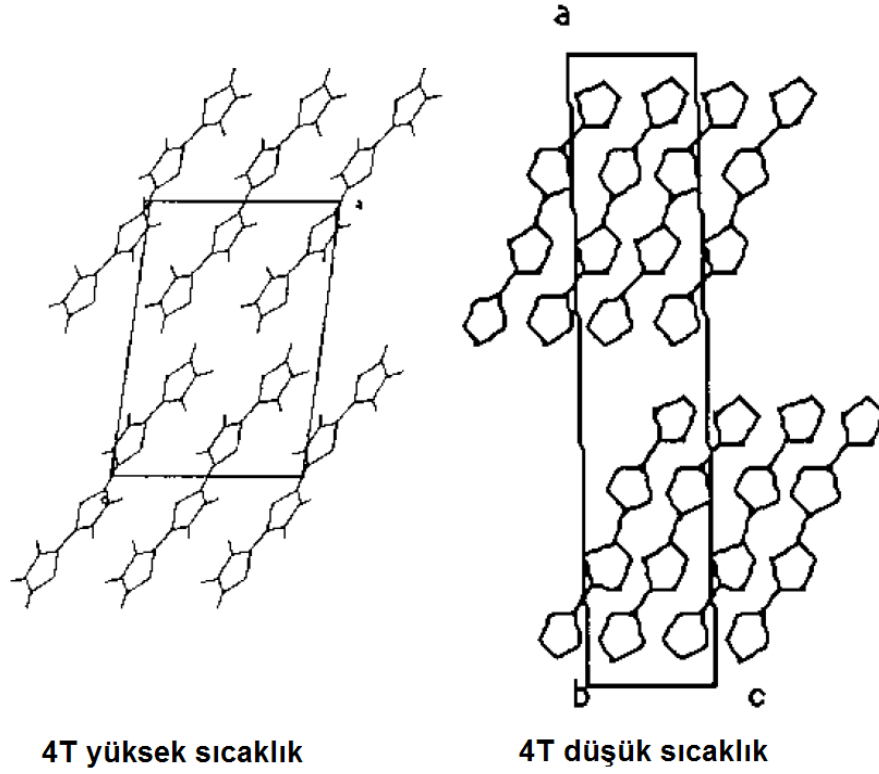
Oligotiyofen'lerin kimyasal yapısı, Şekil 2.3'de gösterilmektedir (nT , burada n tiyofen birimlerinin sayısı için kısaltmadır). OFET'lerde kullanılan oligotiyofen'ler, lineer alkil grup tarafından her iki uçta, temsil edilen veya temsil edilmeyen organik malzemelerdir. 6T-esaslı ilk OFET, 1989'un gerisine dayanıp [138], bu OFET küçük bir konjuge molekül ile yapılan ilk OFET'tir. 3T ve 5T'nin dimetil son temsili, onların temsil edilmeyen benzerlerine göre, mobilitenin 10 ile 100 kat artmasına sebep olmaktadır.

Son zamanlarda, makroskopik boyutta 6T tek kristalleri Thiais [141] tarafından geliştirildi. Bu kristaller üzerine (PMMA geçit yalıtkanı ile) üretilen OFET'lerin mobilitesi $0,1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ civarında değişmektedir. Bu değer, polikristalin 6T ($0,02 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) ve DH6T ($0,05 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) üzerine elde edilen mobilite değerlerinden çok daha büyüktür. Ayrıca, polikristalin silikon mobilitesi, tek kristal malzemenin mobilitesinden neredeyse 100 kat daha düşüktür. Bu durum, öncelikle tek kristal 6T OFET'lerde alan etkili mobilitenin sadece malzemedeki kusurlar (yüksek dirençli kontaklar veya düşük yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi gibi) tarafından sınırlanıp sınırlanmayacağını veya gerçekten bu malzemedeki üst sınırı gösterip göstermeyeceğini belirlemeyi sağlamaktadır. Şekil 2.4, düşük sıcaklık (LT) ve yüksek sıcaklık (HT)'ta 4T kristalinin tek eksen boyunca görünümünü göstermektedir. Bu görünüm, HT formunda yük taşıma özelliklerinin LT formundan daha iyi olup olmayacağı konusunda oldukça önemlidir.

Konjuge oligotiyofenlerin yük taşıyıcı mobilite değeri, oligotiyofen halkasının sonuna eklenen alkil zinciri sayesinde artmaktadır. Bütün tiyofen oligomerler arasında α -seksitiyofen (α -6T) ve türevleri, aktif organik malzeme olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. α -6T OFET'lerin taşıyıcı mobilite değeri, $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ile $0,01 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ arasında elde edilmiştir [142]. Son yıllarda, Halik ve arkadaşları, alkil grubu içeren oligotiyofenler için mobilite değerini $1,1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak elde etmişlerdir [14].



Şekil 2.3 Temsil edilmeyen ($R=H$) ve alkyl end-temsil edilen ($R=C_nH_{2n+1}$) oligotiyofen'lerin kimyasal yapısı [138].



Şekil 2.4 Düşük sıcaklık (LT) ve yüksek sıcaklık (HT)'ta 4T kristalinin tek eksen boyunca görünümü [138].

2.2. Diğer Küçük Moleküller

2.2.1. Çözünebilir-İşlemleri Küçük Moleküller

Çözünebilir-işlemleri organik yarıiletkenlerde, çözücü-kaplama ile uyumlu olacak şekilde tasarlanan küçük molekülü yarıiletkenler kullanılabilir.

Öncü Yolları: Bir konjuge molekülün polikristalin ince filmleri, bir altlık üzerine termal veya ışınlama ile tam konjuge yapıya dönüştürölüp, çözünebilir ince filmi oluşturularak elde edilebilir. Pentasen öncüleri, 150-200 °C'de termal dönüşümden sonra 0.01-0.1 cm²/Vs ve 0.1-0.8 cm²/Vs'lik alan-etkili mobiliteler sağladığı görölmektedir. Son zamanlarda, pentasen'in yüksek sıcaklıklarda ve yüksek-kaynama noktalı çözücülerden bile çözünebilir kaplama yapılabilmektedir. Ester gruplarının yer aldığı 150-260 °C'de termoliz ile kaldırılabilen sexitiyofen SiO₂ üzerinde, 0.07 cm²/Vs'ye kadar akan-etkili mobiliteler sergilemektedir [125].

Yan-Zincir Değişimi: Küçük organik yarıiletkenler, esnek yan zincirlerin eklenmesiyle çözünebilir duruma getirebilir. Katz, diheksilanthraditiyofen gibi yan zinciri değişen küçük molekülü yarıiletkenlerin çözünebilir kaplama ile 0.01-0.02 cm²/Vs'lik mobiliteler

verebileceğini bildirmektedir. Isıtılmış bir SiO₂ altlık üzerine bis (heksil-bitiyofen) benzene çözücü-dökmesinde, 0.03 cm²/Vs'ye kadar mobiliteler elde edilmiştir. Bu moleküllerin nispeten düşük çözünürlüklerinden dolayı, üretim esnasında çözücüdeki moleküllerin yığılmasını ve kristalleşmesini önlemeye dikkat edilmelidir. Bu durum, filmlerde tanelerin yönelimine ve zayıf bağlantı ile üç-boyutlu film morfolojisine sebep olabilir.

Sıvı Kristal Molekülleri: Yüksek sıcaklıklarda sıvı kristal fazlarını sergileyen, küçük yan-zinciri-değişen moleküller çözücünden yüksekçe kristalin ince filmlerin oluşması için alternatif yollar sağlamaktadır [125].

Polimer materyallere alternatif olarak kullanılan ve belirli bir çözücü içerisinde çözünebilen küçük molekülü organik yarıiletken malzemeler, bir çözücüde çözülerek veya belli bir sıcaklık altında buharlaştırma yöntemi kullanılarak istenilen şekilde bir ince film oluşturulabilirler. Böyle buharlaştırma yöntemi kullanarak üretilen malzemelere en iyi örnek, beş benzen zincirine sahip aromatik bir birleşik olan, pentasen yarıiletkenidir. Pentasen, organik alan etkili transistör (OFET)'lerde p-tipi organik yarıiletken olarak en yaygın kullanım alanına sahip bir malzemedir. Polimerik yalıtkan kullanılarak hazırlanan pentasen organik transistörlerdeki en yüksek mobilité, 3 cm²/Vs [57] ve kimyasal olarak değiştirilen SiO₂/Si tabaka üzerine oluşturulan pentasen organik transistördeki en yüksek mobilité, 6 cm²/Vs olarak bulunmuştur. SiO₂ ve Al₂O₃ gibi inorganik yalıtkan kullanılarak hazırlanan pentasen esaslı organik transistörler, yaygın olarak kullanılmaktadır. Al₂O₃ yalıtkanı üzerinde oluşturulan pentasen esaslı organik alan etkili transistörlerde mobilité değeri, 3.4 cm²/Vs'ye kadar geliştirilmiştir [57]. Pentasen organik yarıiletkeni kullanılarak elde edilen en yüksek mobilité değeri 6 cm²/Vs'dir [125].

n-tipi organik malzemeler içerisinde fulleren ve türevleri, transistör uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Küçük molekülü organik yarıiletken malzemelerden fulleren türevi fenil C₆₁ butrik asit metil ester (PCBM) yapısındaki yan zincir bağından dolayı bir çözücüde çözünebilir. Böylece, PCBM'nin metanofulleren gibi bir çözücüde çözülerek düzgün bir ince film oluşturulmasını sağlar. Polimerik yalıtkan kullanılarak hazırlanan PCBM esaslı OFET'lerde mobilité değeri 0.2 cm²/Vs değerlerinde elde edilmiştir [111]. Farklı sıcaklıklarda sıvı kristal fazı oluşturan organik malzemelere bağlı küçük molekülü yan zincir bağlarıyla yüksek kristal yapılı ince filmler elde edilmektedir. C₆₀ esaslı organik alan etkili transistör çalışmalarının ilki, 1993 yılında yapılmış ve elektron mobilité değeri 10⁻³cm²/Vs olarak elde edilmiştir [143]. Daha sonra,

1995 yılında Bell laboratuvarlarında, mobilite değeri $0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak bulunmuştur [144]. 2003 yılında yapılan çalışmada, mobilite değeri $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'ye yükselmiştir [145]. Son yıllarda, organik yalıtkanın belirli sıcaklıklarda ısıtma işlemine tabi tutulmasıyla fulleren C_{60} organik yarıiletkeni ile hazırlanan organik alan etkili transistörün mobilite değeri, $6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak elde edilmiştir [140].

Organik yarıiletkenlerin çoğu, sadece p-tipi iletken özelliği (yani, SiO_2 geçit dielektrikli bir kontakta) göstermektedir. Örneğin toplanma bölgesinde, negatif geçit beslemesi ile kolayca boşluk oluşabilir. Böylece, organik yarıiletkenin iyonlaşma potansiyeline uyumlu bir iş fonksiyonu ile kaynak-kanal (D) metalinin kullanılması sağlanır. Fakat n-tipi organik yarıiletkenlerde, pozitif geçit beslemesi uygulanmasıyla, uygun bir düşük çalışma iş fonksiyonlu kaynak-kanal (D) metali ile kontak halinde elektron taşıma özelliği gösterirler.

Yüksek elektron-ilgisine sahip malzemeler, elektron-tuzaklama safsızlıklarının varlığına daha az duyarlıdır, çünkü böyle tuzaklama grupların, organik yarıiletkenin LUMO seviyesi üzerindeki enerjide yer almaları daha muhtemeldir.

Aygıtlar, elektron tuzaklamasından dolayı, daha yüksek eşik voltajlarına ($V_t > 25 \text{ V}$) maruz kalmaktadır. n-tipi alan-etkili iletim methanofullerene fenil C_{61} -butrik asit metil ester (PCBM) ve 6,6-fenil- C_{71} -butrik asit metil ester C_{60} türevi ile hazırlanan transistörün alan-etkili mobiliteleri $3\text{-}4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'ye kadar ulaşmaktadır. Son zamanlarda, ambipolar organik yarıiletkenlere ilgi artmaktadır. Ambipolar yarıiletkenlerin bir uygulaması ışık-yayan FET'ler olup, bunlar; bir kaynak kontağı ile birlikte bir boşluk toplanma tabakası ve kanal (D) kontağı ile birlikte bir elektron toplanma tabakası oluşturmak için kaynak ve kanal (D) voltajının değerleri arasında bir geçit voltajı uygulanarak çalışmaktadır. Meijer ve arkadaşları tarafından ambipolar iletim, çözünebilir-işlemli boşluk (poli(methoksi-dimethyloctyloxy)-fenilen vinil OC_1C_{10} -PPV veya P3HT) ve elektron (PCBM) taşıyıcı organik yarıiletkenlerin karışımlarıyla gösterilmektedir. Böyle karışımlarda elektron mobilitesi ($7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), PCBM'nin saf filminin elektron mobilitelerinden büyüklük olarak iki kat daha düşüktür; boşluk mobilitesi tek-bileşenli OC_1C_{10} -PPV'kine yakın olarak elde edilmiştir ($3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$). Benzer bir şekilde, Babel, BBL ve CuPc 'nin karışımlarında atmosfer ortamında ölçülen ambipolar iletimi göstermişlerdir. Aynı zamanda, bu durumda elektron ($1.7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$) ve boşluk ($3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$) mobiliteleri, tek bileşenli filmlerin mobilitelerinden büyüklük olarak birkaç kat daha küçüktür [125].

2.2.2. Fitalosiyaninler

Fitalosiyanin (Pc)'ler, muhtemelen ilk bildirilen organik yarıiletkenlerdir [146] ve çok çalışılmaktadır. Fitalosiyaninler termal olarak 400 °C'ye kadar kararlıdır ve bunları vakum altında buharlaştırmak çok kolaydır. Şekil 2.1'de görülen Pc molekülünün yapısı çeşitli metallerle tanımlanan bir moleküler kafes yapıya sahiptir. Alan etkisi 1970'lerin başlarında bir Pc'de gösterildi ve Pc ile ilk OFET'ler 1988 yılında yapıldı. Onların alan etkili mobilitesi, 0.0001 ve 0.01 cm²V⁻¹s⁻¹ arasında değişmektedir. Pc'lerin hem n- hem de p-tipi yarıiletkenler gibi davranacağı belirtilmesine rağmen, Pc esaslı OFET'lerin tümü p-tipidir. Pc'lerin temel dezavantajı, oksijene karşı aşırı hassas olmalarıdır [138].

Fitalosiyaninler, kusursuz optoelektronik ve kuvvetli optik soğurma özellikleri nedeniyle, organik yarıiletken olarak yaygın kullanım alanına sahip malzemelerdir. Fitalosiyaninler, güneş pilleri ve fotoiletkenlerde geniş uygulama alanlarına sahiptirler [63].

2.2.3. Pentasen

Pentasen, poliasen ailesine ait olup, 1960 ve 1970'lerde organik yarıiletkenler olarak kapsamlı bir şekilde çalışıldı. Pentasen esaslı OFET'lerin çoğu, vakumla buharlaştırılan filmler olmasına rağmen, bir çözünabilir öncü molekül kullanılarak hazırlanan çözünabilir işlemler de bulunmaktadır. Pentasen filmler, titreşimli lazer kaplama tekniği kullanılarak da elde edilebilirler, bu teknik yüksek T_c süperiletkenlerin elektrik alanında yaygın olarak kullanılmakta ve kaplama hızı ve basıncın uygun oranları durumunda birçok avantaja sahiptirler. Tablo 2.1, bu farklı kaplama teknikleri ile elde edilen pentasen alan-etkili mobilitelerini göstermektedir. Mobilité değeri, 0.001-0.62 cm²V⁻¹s⁻¹ arasında değişmektedir [147]. Bu farklılık, yüksek sıralı morfolojiye ve tek kristal yapısına yakın olmasına atfedilmektedir [148]. Pentasen OFET'lerin açma-kapama oranı 10⁸'e ulaştığı görülmektedir [29]. Ancak, böyle bir oran -100 ve +100 V arasında bir geçit voltajı uygulanarak ölçüldü, bu oran mikroelettronikteki uygulamalarda elde edilmedi.

Tablo 2.1 Farklı kaplama metodları ve altlık sıcaklıkları ile pentasenin alan-etkili mobilite değerleri [138].

Kaplama Modeli	Altlık Sıcaklığı (°C)	Mobilite ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Kaynak
Vakumlu Buharlaştırma	25	0.002	[149]
Spin-Kaplama		0.001	[150]
Titreşimli-Lazer	25	0.03	[151]
Vakumlu Buharlaştırma	25	0.038	[29]
Vakumlu Buharlaştırma	85	0.4	[148]
Vakumlu Buharlaştırma	120	0.62	[147]

İnce film oluşturma yöntemi de, buharlaştırma yöntemidir. Buharlaştırma yöntemi kullanarak üretilen malzemelere en iyi örnek, beş benzen zincirine sahip aromatik bir birleşik olan pentasen yarıiletkenidir. Pentasen, organik alan etkili transistör (OFET)'lerde p-tipi organik yarıiletken olarak en yaygın kullanım alanına sahip bir malzemedir. Pentasen, bilim ve mühendisliklerde büyük ilgi çeken, p-tipi organik bir yarıiletken malzeme olup, organik ince film transistör (OTFT)'lerin yapımında kullanılmaktadır [48]. Birçok organik malzemeler arasında pentasen, yüksek alan-etkili mobilitesi ve çevresel kararlılığından [9,91,100,102] dolayı en çok tercih edilen bir malzemedir, pentasenin boşluk taşıyıcıları (p-kanallı) için, en yüksek mobilitelere sahip olduğu bulundu ve pentasen, organik yarıiletken kanalı ile ince-film transistörler (TFT)'lerde iyi bir verim sağlamaktadırlar. Ayrıca, çok yakın zamanlarda entegre devre içeren 1800 pentasen TFT'den daha fazlası üretilmiştir [103]. Pentasen, ultraviyole ve beyaz ışığı algılayabilen bir kapasiteye sahip olabilir. Bu nedenle, katlanabilir (esnek) pentasen ince film transistörü, UV ve muhtemel görünür fotonları algılamak için kullanılabilir [104]. Pentasen, organik ince film transistör (OTFT) uygulamalarında genişçe kullanılmaktadırlar ve ayrıca pentasen ile yüksek verimli OTFT'ler geliştirilebilmektedir [23,30-37]. Pentasen, $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'den daha büyük önemli bir yüksek alan-etkili mobilite sergilemektedir [28-37]. Pentasen esaslı UV fototransistörler, UV-duyarlılığı, basit ve düşük maliyet işleminden dolayı araştırma ve gelişimde umut veren avantajlar sunmaktadırlar.

Organik moleküller arasında, OTFT'ler [64,65] ve optoelektronik aygıtlar [66,67] için, pentasen bir yarıiletken taşıma tabakası olarak kullanıldığı zaman, pentasen ($C_{22}H_{14}$) en yüksek taşıyıcı mobilitesine ($5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'den daha fazla) ve açma/kapama oranına [10] sahiptir. Bu durum pentaseni, en çok umut veren organik yarıiletkenlerden biri yapmaktadır. Araştırmalara göre, aktif kanal olarak kullanılan pentasen, organik elektronikler için çok umut veren bir organik yarıiletkendir. Son zamanlarda birkaç grup, pentasen TFT'lerini ve uygulamalarını araştırmaktadırlar [152]. Pentasen filmi, bir dielektrik üzerine hazırlanan pentasen esaslı ince-film transistörler, genellikle alt geçit TFT yapıları kullanılarak üretilmektedir. Pentasen TFT'lerin verimi, dielektriğin özelliklerine, pentasen moleküllerin büyütme şartlarına ve filmin yapısal özelliklerine güçlü bir şekilde bağlıdır [96]. Son zamanlarda, pentasen-esaslı OTFT'lerin verimi, amorf silikon malzemelerin seviyesine yakın olduğu görülmektedir [105].

2.2.4. n-Tipi Yarıiletkenler

Şu ana kadar, araştırılan organik yarıiletkenlerin çoğu, p-tipidir. Organik ışık yayan diyotların geliştirilmesi, boşluk ve elektron taşıma malzemelerinin kavramını ortaya koymaktadır. n-tipi ve p-tipi malzemeler sırasıyla yüksek elektron ilgisi ve düşük iyonizasyon potansiyeli tarafından karakterize edilmektedir. Çünkü bir organik metal-yarıiletken (Schottky) diyot, her zaman düşük iş fonksiyonu malzemesi (yani alüminyum veya kalsiyum) ve yüksek iş fonksiyonu metali (altın veya ITO) arasındaki sandviç yapılı bir ince organik filminden oluşmaktadır. Bunun akım-voltaj karakteristikleri yarıiletkenin p-veya n-tipi olup olmadığını belirlemektedir. OFET'lerde, iletken kanaldaki taşıyıcıların işareti değiştiği için, toplanma bölgesi, bir n-tipi yarıiletkende pozitif geçit beslemeleri için ve p-tipi yarıiletkende negatif beslemeleri için oluşmaktadır. Dolayısıyla, organik alan etkili transistör (OFET), bir yarıiletkeni karakterize etmek için güvenilir bir malzemedir. n-tipi iletkenliğin ispatı, çeşitli malzemeler için Tablo 2.2'de verilmiştir. n-tipi malzemelerin önemli bir özelliği, oksijene karşı onların hassas olmasıdır. Bu durum C_{60} ile örneklenmektedir [144,153], bunun mobilitesi ultra yüksek vakumda $0.08 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 'ye kadar yükselebilir, fakat havaya maruz bırakılması durumunda mobilitenin büyüklüğü 4 veya 5 kat azalmaktadır [144]. Bu durumun, kontakların problemlerinden kaynaklandığı, tetrakisdimethyl-aminoethylene (TDAE) ile kaynak ve kanal elektrotların yüzeyi değiştirilmesiyle mobilitede önemli bir artışa sebep olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 2.2 n-tipi organik yarıiletkenlerin alan etkili mobilite değerleri [125].

Bileşik	Mobilite ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Kaynak
TCNQ [a]	1.9×10^{-5}	[154]
C_{60}	0.002-0.08	[144,153]
$\text{C}_{60} + \text{TDAE}$ [b]	0.3	[144]
C_{70}	0.002	[155]
Perylene-diimide	1.5×10^{-5}	[156]
NDTCA [c]	0.002	[157]
PDTCA [d]	10^{-4}	[157]

[a] TCNQ: tetracyanoquinodimethane. [b] TDAE: tetrakisdimethylaminoethylene. [c] NDTCA: naphthalene tetracarboxylic dianhydride. [d] PDTCA: perylene tetracarboxylic dianhydride [125].

2.3. Polimerler

Polimerlerin verimi, küçük moleküllerin veriminden daha düşüktür. Bu sonuç, çözünabilir-işlemleri malzemelerin buharlaştırılan küçük moleküllerin daha az dizilimlerinden anlaşılabilir. Ancak, son zamanlarda çözünabilir regioregular politiyofen ile mobilite $0.01 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 'ye kadar ulaşmıştır. 1993'de politienilenvinilin için daha yüksek bir mobilite ($0.1 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ üzerinde) bildirildi, ancak bu mobilite değeri o zamandan beri artırılamadı. Poli (para-phenylenevinylene) (PPV), organik ışık yayan diyotlarda en çok kullanılan CP, çok düşük alan etkili mobilite ($10^{-7} \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$) sergilemektedirler.

Brown ve meslektaşları [150], çözünabilir politiyofen'in mobilitesinin polimer katkılanmasıyla artırılabilirliğini göstermiştir. Ancak bu artış iletkenlikle eşdeğer bir artış ile gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, mobilitedeki kazanç, açma-kapama oranının kaybında elde edildiğinden teknolojik ilgi azalmaktadır. Bu davranış, bir değişken dizi sıçrama modeli kullanılarak gerçekleştirilmekte ve bu özellik iletkenliğin sıcaklığa bağlılığını göstermekte olup, Mott tarafından tahmin edilen $\exp [-(T_0/T)^{1/4}]$ kanunu ile verilir.

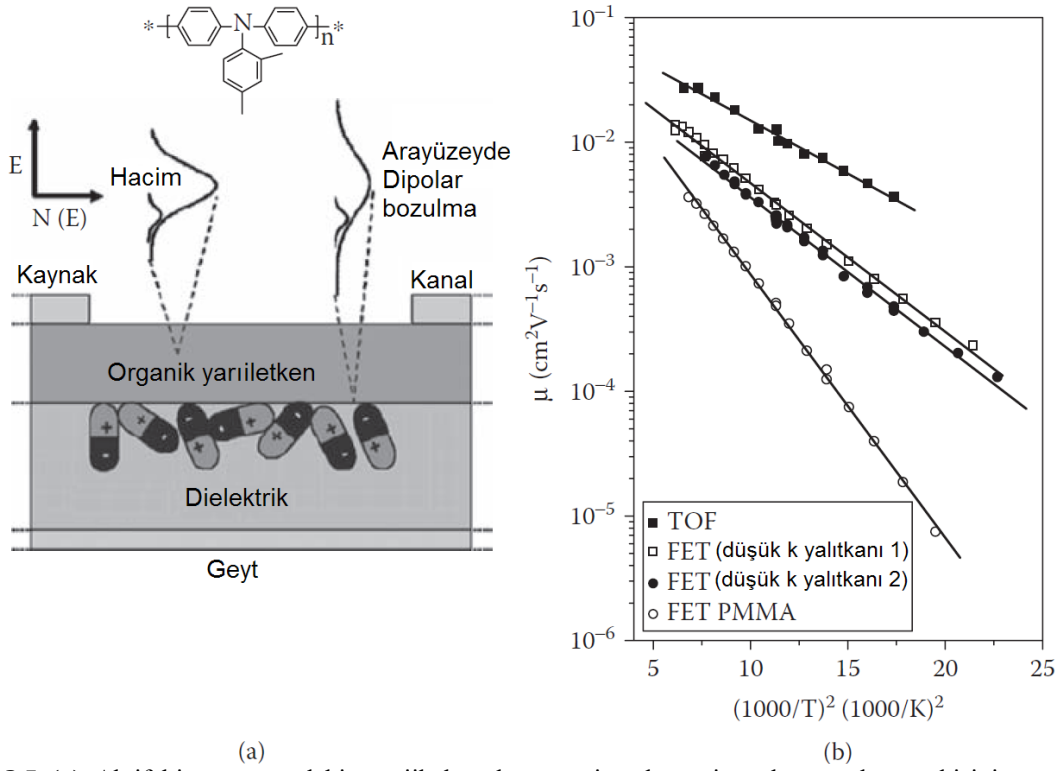
Mobilite-iletkenlik ilişkisi basit bir güç yasası ile 0.7 civarında δ ile $\mu\sigma^\delta$ ifadesi ile tanımlanabilir.

2.3.1. Konjuge Polimerler

Herhangi bir katkı maddesi olmadan elektrik akımını ileten polimerlere, iletken polimerler denilmektedir. İletken polimerler, üstün fiziksel ve elektriksel özelliklere sahip olup, elektronik cihazlarda, iyon değiştiricilerde, akümülatörlerde, fotovoltaiik pillerde, sensörlerde, elektrokromik cihazlarda, diyotlarda, şarj olabilen pillerde vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır.

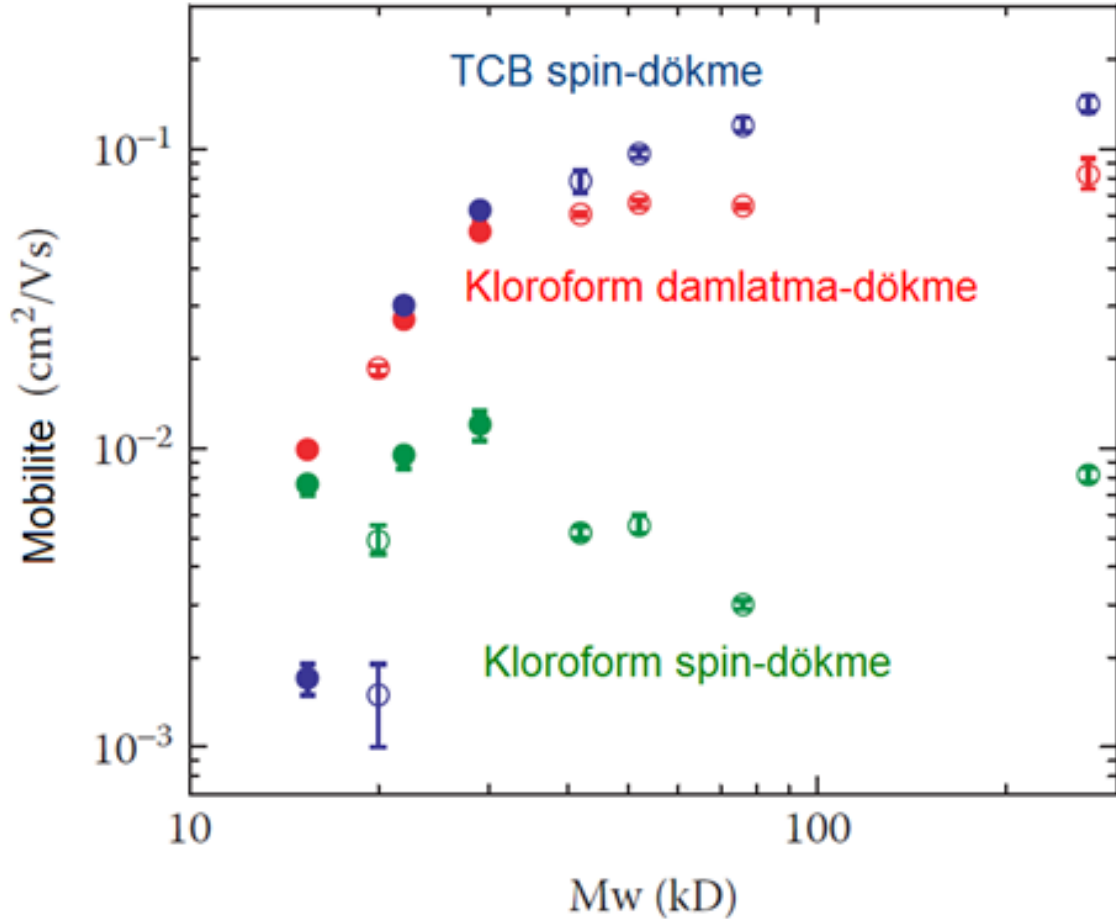
Yüksek-verim, çözünebilir işlemleri polimer yarıiletkenler için iki farklı yaklaşım ortaya çıkarmıştır. İlk yaklaşım, self-organizasyon yoluyla ve şablon bir altlık ile belirli etkileşimlerden yararlanarak, mikro kristal veya sıvı kristal sergileyen malzemeleri tasarlayarak yüksek yük taşıyıcı mobilitelerini sağlamaya dayanır. İkinci yaklaşım ise, yük taşıma süresince, düzgün bir yolu sağlayan tamamen amorf mikro yapıyı üretmeyi hedeflemektedir, böylece taşıyıcılar, site enerji dalgalanmalarının minimum derecesini belirler. Neticede, ilk yaklaşımın olasılıkla daha yüksek mobilitelere vesile olmasına rağmen, son zamanlarda etkileyici malzeme verimi ve kararlılığı ikinci yaklaşım ile gösterilmiştir.

Amorf Polimerler: regioirregular politiyofen veya poliasetilenin gibi amorf, düzensiz konjuge polimerler üzerine ilk FET çalışmaları, amorf mikro yapılarda alan-etkili mobilitelerin $<10^{-3}$ - 10^{-4} cm^2/Vs 'lik düşük değerlerde sınırlı olabildiklerini göstermektedirler [158]. Veres ve arkadaşları [159], polytriarylamine (PTAA) türevlerinin bir serisi esaslı, düşük eşik voltajlı iyi bir malzeme kararlılığına sahip olan ve 1.10^{-2} cm^2/Vs 'lik alan-etkili mobiliteleri ile yüksek-verimli FET'leri bildirdiler. Bunlar apolar, düşük-k polimer dielektrikleri ile birlikte kullanılırlar (Şekil 2.5). Benzocyclobutene dielektriği ile kontaklı (9,9-dialkylfluorene-alt-triarylamine) (TFB) ile, 120 °C'de malzeme bozulması olmaksızın sürekli geçiş esnasında çok kararlı malzeme çalışması gösterildi. Alan etkili mobilite için, PMMA geçit dielektriği ve iki farklı düşük k dielektrikleri ile üst-geçit FET'ler için veri gösterildi



Şekil 2.5 (a) Aktif bir arayüzeydeki enerjik bozulma üzerine düzensiz polar grupların etkisinin şematik diyagramı, **(b)** PTAA'nın uçuş zamanının ve alan etkili mobilitesinin sıcaklığa bağlılığı [125].

Son zamanlarda, mobilitenin moleküler ağırlığına bağlılığının anlaşılması için büyük çabalar sarf edilmektedir. Şekil 2.6, alan-etkili mobilitenin, film oluşum kinetiklerinin karmaşık etkileri ve moleküler ağırlık (M_w) ile bağlılığını göstermektedir. Şekil 2.6'da, kaplama metodlarının üç çeşidi için eğriler gösterilmektedir: düşük-kaynama noktasına sahip çözücünden (kloroform) spin-dökme yapılarak hızlı film oluşumu gerçekleşir ve kloroformdan damlatarak-dökme yapılarak ve yüksek kaynama noktasına sahip olan çözücünden (triklorobenzen) spin-dökme yapılarak yavaş film oluşumu gerçekleşir. Bu şekildeki bir mikroyapıyla, polimer zinciri katlanabilir ve polimer filmin kristalin derecesi kontrol edilebilir. Triklorobenzen spin-dökme aygıtlarda, mobilite M_w ile 10^{-3} den ($M_w=15.4$ ve 20 kD) 10^{-1} cm^2/Vs (52 kD)'ye kadar hızlı bir şekilde artmaktadır ve daha sonra daha yüksek moleküler ağırlıklarda bile yatay duruma gelmeye başlamaktadır. Kloroform çözüsü ve damlatarak-dökme yöntemi kullanılan aygıtlarda, mobilitenin M_w 'ye bağlılığında benzer bir şekilde değişmektedir, fakat 10^{-1} cm^2/Vs ' den biraz daha düşük bir değerde doyuma (saturasyona) uğramaktadır. Buna karşılık, kloroformdan spin-dökme filmlerde, 15 den 270 kD'ye kadar olan bir M_w aralığında mobilite sadece 3×10^{-3} den 10^{-2} cm^2/Vs arasında küçük bir değişim göstermektedir, fakat M_w üzerine sistematik bağlılık gözlenmemektedir.



Şekil 2.6 Farklı film oluşturma şartları (triklobenzen'den spin-dökme, kloroformdan spin-dökme ve damlatarak-dökme gibi) için moleküler ağırlığın bir fonksiyonu olarak SiO₂ geçit dielektriği ile P3HT FET'lerin mobilite bağıllığı [125].

Kline ve arkadaşları [160] tarafından, düşük mobilite bölgesindeki ($\mu < 10^{-2}$ cm²/Vs) davranış, düşük moleküler ağırlıklı numunelerde taşımayı sınırlayan tane sınırlarına ve aynı zamanda polimer kristalinlerin daha izotropik yönelimlerine [161] atfedilmektedir. Zen ve arkadaşları [162] düşük moleküler ağırlıklı kesirler durumunda filmin amorf bölgelerinde daha az düzlemsel bir polimerin omurgası açısında benzer bir gösterimi açıklamaktadır. Regiregular P3HT gibi düşük iyonlaşma potansiyeline (tipik olarak 4.9-5.0 eV'dan daha düşük) sahip p-tipi yarıiletken malzemeler, polimerin muhtemel katkılamasından dolayı, havaya maruz kalmasına bağlı eşik voltajının büyük pozitif V_T değişimi gösterme eğilimindedirler. P3HT oksijen ile tersinir yük transfer kompleksi oluşturabilen bir malzeme olarak bilinir. P3HT, oksijenin varlığında ultraviyole güneş ışığına maruz kaldığında zayıf bir fotokararlılığa sahiptir, bu durum polimerde mobilite bozulması ve konjugasyon kaybına bağlı karbonil kusurların oluşmasına neden olmaktadır [125].

2.4. Organik Malzemelerde Yük Taşınımı

1991 yılından beri, Thiais grubu çoklu tuzaklamaya bağlı bir yük taşınım modeli olan MTR (Çoklu tuzaklama ve bırakma) modelini geliştirdiler. Bu model, genellikle amorf silikon TFT'lerde kullanılır. Amorf silisyum TFT'ler ve OFET'lerin ortak bir önemli özelliği, alan etkili mobilitenin geçit beslemesine bağlı olmasıdır. Bu durum, bir TFT'nin toplanma bölgesindeki çalışması yardımıyla anlaşılabilir, yani, geçit biası artarken, Fermi seviyesi giderek en yakın delokalize bant kuyusuna yaklaşmaktadır. Amorf silikonda, delokalize bantların yakınında lokalize seviyelerin önemli bir yoğunluğu bulunup, yük taşıyıcıları için tuzaklar gibi davranmaktadırlar. Düşük geçit beslemesinde, neredeyse uyarılan tüm yükler lokalize düzeylere giderler, orada onların mobilitesi çok düşüktür. Geçit voltajının artmasıyla, Fermi seviyesi delokalize banda yaklaşır ve delokalize seviyelerde hareketli taşıyıcıların konsantrasyonunun artmasına neden olan tuzaklarla doldurulur. Sonuç olarak, etkin mobilite artar. Bir çalışmada [125], 6T ve DH6T tabanlı OFET'lerin karakteristiklerini incelemek için, bu model kullanılmıştır. Birinci sorun, bir geçit besleme bağlı mobilitenin nasıl belirleneceğiydi. Bu mobilite değerini, saturasyon (doyum) akımı

$$I_{d,sat} = \frac{W}{2L} \mu C_i (V_g - V_t)^2 \quad (2.1)$$

ile tahmin etmek zordur. Burada, W ve L, sırasıyla kanal genişliği ve uzunluğu, μ mobilite, C_i birim alan başına yalıtkan kapasitansı, V_g geçit voltajı ve V_t ise eşik voltajıdır. Denklem (2.1), eşik voltajı V_t 'yi içerdiği için düşük geçit beslemelerinde V_g düz çizgiye karşı $(I_d)^{1/2}$ grafiğinin deneysel verisinin sapması, ya daha düşük mobiliteye ya da alteşik bölgesine atfedilmektedir. Bunun yerine, çok düşük kanal voltajlarında,

$$g_m = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_g} \right|_{V_d=sbt} = \frac{W}{L} \mu C_i V_d \quad (2.2)$$

ifadesi kullanılır. Bu durumda mobilite, geçit voltajının bir fonksiyonu olarak sadece kanal akımı değiştirilerek elde edilir. Her durumda, mobilitenin μ geçit voltajına bağlı olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı çalışmada, mobilitenin sıcaklığa bağlılığı ölçülmektedir ve geçit beslemesine bağlı aktivasyon enerjisi ile termal olarak etkinleştiği görülmektedir. Bu

sonuçlar, lokalize durum yoğunluğunun enerji kesitini ve “tuzaklı-serbest” mobilitayı tahmin etmek için kullanılmaktadır, burada mobilita yüksek geçit voltajlarına karşılık gelmekte ve orada tüm tuzaklar doldurulmaktadır. Önceki etkin mobilita sonrakinin mobilitasından 10 kat daha düşük olmasına rağmen, 6T ve DH6T için benzer tuzak-serbest mobilitenin bulunması ilginçtir. Ancak, bu tuzak-serbest mobilitenin büyüklüğü ($0.004 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) delokalize durumlarda taşınımına göre oldukça düşüktür ve MTR modeline dayalı bir model sözkonusu durum için muhtemelen tam olarak uygun değildir. Son zamanlarda, benzer bir davranış pentasen için, Brown ve meslektaşları tarafından [115], gösterilmektedir. Onlar da, düşük kanal voltajında mobilitayı hesaplamak için, transiletkenlik denklemini (denklem (2.2)) kullanıp, hem mobilita hem de aktivasyon enerjisinin geçit beslemesine bağlılığını bulmuşlardır. Geçit beslemenin artırılmasıyla, Fermi seviyesi polaronik seviyelere doğru hareket eder. Pentasen için, bu sınır 0.1 eV civarındadır (ki o ~ 0.2 eV luk bir polaron bağlama enerjisini vermektedir). Son olarak, katkılı bir politiyofen ve pentasen davranışı arasında bir ilişki kuruldu, burada yük taşınımı değişken aralıklı sıçramalar içerisinde oluşmaktadır. Brown’a göre, daha sonraki bölge yüksek katkılı ($N > 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) malzemelerle ilgilidir, oysa pentasende gözlenen bölge, düşük katkılı seviyelerin karakteristiğidir.

Polaron modeli, oligotiyofenlerin sıcaklığa bağlı sonuçlarını analiz etmek için Hotta ve Waragai tarafından da kullanıldı [163,164]. Onların verileri, fark edilen mobilitenin net sıcaklığa bağlılığı için yeterli sıcaklık oranını kapsamazken, onlar mobilitenin kanal voltajına bağlı olduğunu fark ettiler ve bu ilişki,

$$\mu(F) = \mu(0) \exp\left(\frac{q}{kT} \beta \sqrt{F}\right) \quad (2.3)$$

ile verildiği gibi $F^{1/2}$ ile orantılıdır. Buna göre, sıcaklığa bağlı mobilita,

$$\mu = \mu_0 \alpha \exp\left(-\frac{E_{tot}}{kT}\right) \quad (2.4)$$

burada

$$E_{tot} = \frac{E_b}{2} - \beta \sqrt{F} \quad (2.5)$$

ile ifade edilir. E_{tot} , sıfır (0) elektrik alanında ekstrapolate edilerek, polaron bağlama enerjisini 4T, 5T ve 6T için sırasıyla 0.24, 0.18 ve 0.16 eV olarak buldular. Bu değerlerin, pentasen için Brown tarafından bildirilen değerlerden çok farklı olmadığı görülmektedir [115]. Ancak, Hotta ve Waragai tarafından bildirilen kanal-voltaja bağlı mobilite, kanal kısılması durumuna atfedilmektedir.

Bell Labs grubu, 6T için oldukça farklı bir davranış bildirdiler. Onlar, doyum akımından (denklem (2.1)) mobilitiyi bulmuşlardır. Ancak, bu metod geçit voltajına bağlı değildir. Sıcaklık düşürüldüğü zaman, mobilitenin azaldığı da görülmektedir. Aktivasyon enerjisi, önceki çalışmalara uygun olarak 0.1 eV luk bağlama enerjisine karşılık gelmektedir. Onların, ~50 K'den daha düşük sıcaklıklarda, mobilitenin dramatik artışını göstermeleri önemli bir nokta olup, daha sonra oda sıcaklığında ölçülen bir değere yakın bir değerde dengelediler. Keskin geçiş Holstein'nin polaron modeli içinde yorumlanır ve yüksek sıcaklıklarda sıçrama bölgesinden düşük sıcaklıklarda bant bölgesine geçişi işaretlemektedir. Eğer bu doğru olsaydı, o küçük polaron bant bölgesi için ilk kanıt olacaktı. Ancak, polaron bant genişliğinin çok düşük (tipik bir organik kristal için 10^{-4} eV'dan daha küçük), değerinden dolayı, böyle bir banttaki delokalize taşınım, polikristalin malzemelerde olası olmadığı ve orada kristal kusurları çok olduğu anlaşılmıştır. Açıkçası, bu durum daha çok desteğe ve özellikle elektrik alanından başka metodlarla yapılan ölçümlere gerek duymaktadır.

Konjuge polimerlerin yarıiletken özellikleri, ışık-yayan diyot (LED)lar, fotovoltaiik diyotlar ve alan-etkili transistör (FET)'ler gibi elektronik ve optoelektronik malzemelerin elde edilmesini sağlar. Küçük organik moleküllerde ve konjuge polimerlerde alan-etkili iletimin ilk gösterilmesinden sonra, birkaç yıldır alan-etkili transistör, katkısız polimer yarıiletkenlerin yük taşıma özelliklerini araştırmak için uygun bir aygıt olmuştur. OFET'in teknolojik uygulamalar için potansiyeli, polimer yarıiletkenin alan etkili mobilitelerinin 10^{-4} cm^2/Vs 'den daha az yetersiz olmasıyla ve zayıf çevresel kararlılık özelliği gösteren poliasetilenin ve politiyofen malzemeler ile sınırlıydı. Fakat, o zamandan beri çözünebilir-işlemleri organik yarıiletkenlere bağlı alan-etkili transistörlerin aşağıdaki gibi, farklı faktörlerin değiştirilmesi sonucu hem veriminde hem de güvenilirliğinde etkileyici gelişmeler yaşanmıştır [138].

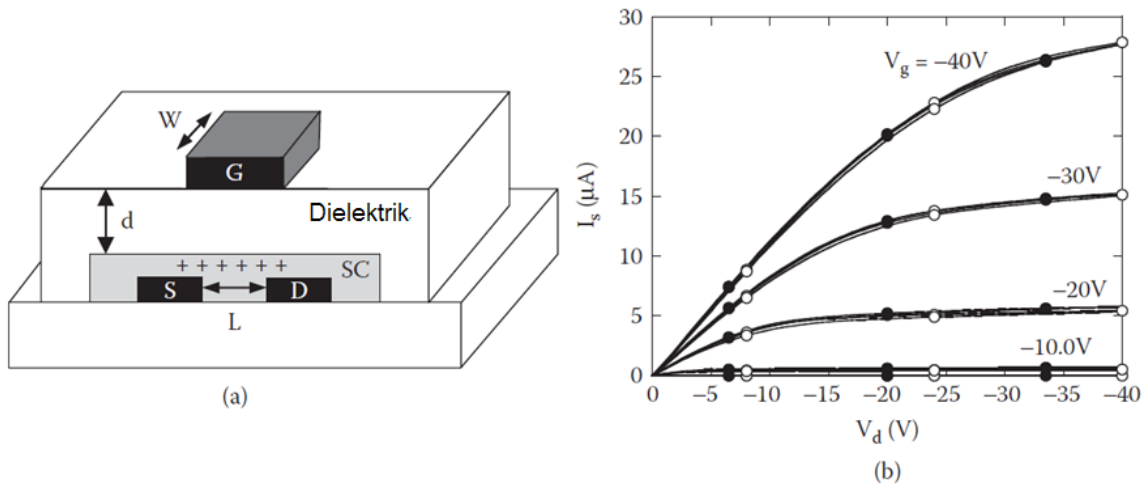
- Zincir kusurların daha düşük yoğunluklu olduğu polimer malzemelerin ve daha iyi kimyasal saflık ve daha yüksek moleküler ağırlıkların olması

- Gerekli ince-film mikro yapının daha iyi anlaşılmasını sağlayan daha kontrollü polimer işlemi olması
- Yarıiletken tabaka ile aktif arayüzeyi oluşturan geçit (G) dielektriğinin ve yük enjekte kaynak-kanal (S-D) kontaklarının daha iyi olması
- Daha kontrollü çözücü ve baskı-esaslı malzeme üretiminin geliştirilmesi.

Sonuç olarak, OFET'lerin verimi, $0.5-1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'lik alan-etkili mobiliteler ve 10^6-10^8 açma/kapama akım oranı ile amorf silikon (a-Si) ince-film transistör (TFT)'lere göre önemli ölçüde geliştirilmiştir. OFET'ler için rekor mobiliteler, vakum-kaplı küçük moleküler durumda $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ve çözünebilir-işlemli polimerler için $0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 'dir. Daha da önemlisi, hava, nem ve ışığa maruz kalma şartları altında iyi malzeme kararlılıkları ile yüksek mobilitenin oluşmasına izin veren gelişmiş malzemeler üzerine çok önemli gelişmeler sağlandı.

OFET'ler, en çok standart üst-geçit (Şekil 2.7a) ve alt-geçit TFT tasarımları kullanılarak üretilmektedir. Şekil 2.7b, kapsüllenmeyen polimer FET'in çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Malzeme üretildikten birkaç hafta sonra, hava ve ışık ortamlarına doğrudan maruz bırakılarak malzemelerin FET karakteristikleri analiz edilmiştir. Malzeme bozulması için kesin bir sonuç görülmemiştir.

Yük taşıyıcı konsantrasyonunun, kimyasal yerine elektrostatik yük taşıyıcı yoğunluğunu kontrol etme yeteneğinden dolayı, FET malzemeleri, yük taşıma ve organik yarıiletkenlerin yük enjeksiyonu ve onların yapı-özellik ilişkisi ile ilgili temel bilimsel araştırmaları için önemli bir bilimsel ağıttır. Organik yarıiletkenin temel elektronik yapısının anlaşılmasına, özellikle de dielektrik ile arayüzeyde mikroskopik moleküler-ölçekli taşıma işlemini, makroskopik aygıtların elektriksel karakteristiklerini nasıl belirlediğine önemli bir çaba sarf edilmiştir. Ancak, çözünebilir-işlemli organik yarıiletkenlerin karmaşık mikro yapısından dolayı kolay değildir, çünkü birçok durumda geleneksel difraksiyon (kırınım) ve mikroskop teknikleri ile tamamen karakterize edilemez. OFET'lere olan güvenilirliğin ve kullanım alanların artmasından dolayı, elektronik kusurlar durumunun ve birleşik malzeme bozulmasının mekanizmalarının anlaşılması, çok önemli bir konudur.



Şekil 2.7 (a) Bir standart TFT aygıt tasarımı kullanılarak üretilen bir üst-geçit OFET'in şematik diyagramı. **(b)** Kapsüllenmeyen bir OFET'in, hava ve ışık (dolu semboller=üretimden sonra ölçülen malzeme için, boş semboller=iki hafta sonra ölçülen malzeme için) şartları altındaki çıkış karakteristikleri [138].

2.4.1. Sıçrama İletkenliği

Metaller ve geleneksel yarıiletkenlerde, yük taşınımı delokalize olmuş durumlarda oluşur ve termal olarak örgü deformasyonuna sebep olan taşıyıcıların fononlar üzerine saçılmasıyla sınırlıdır. Böyle bir model, amorf veya organik yarıiletkenler gibi düşük iletkenlikli malzemelerde artık geçerli değildir. Burada, taşıyıcıların ortalama serbest yolunun atomik mesafeden daha düşük olacağını göstermektedir. Bu malzemelerde taşıma, lokalize durumlar arasındaki yüklerin sıçramasıyla oluşur. Delokalize ve lokalize taşıma arasındaki temel fark, delokalize durumunda taşıma fonon saçılmasıyla sınırlıyken, lokalize durumda taşıma, fonon desteklidir. Buna göre, geleneksel yarıiletkenlerde yük mobilitesi sıcaklık ile azalmaktadır, çoğu organik malzemelerde bu durum tersine gerçekleşmektedir. Birkaç model, sıçrama taşınımını gerçekleştirmek için geliştirildi. Çoğu durumda, mobilite-sıcaklık ilişkisi

$$\mu = \mu_0 \exp\left[-(T_0/T)^{1/\alpha}\right] \quad (2.6)$$

ifadesiyle verilir. Burada α , 1 ile 4 arasında değişen bir tamsayıdır. Lokalize ve delokalize işlemler arasındaki sınır, genellikle 0.1 ve $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ arasındaki mobilite de elde edilir. Yüksek sıralı moleküler kristallerde mobilite, bu sınıra yakındır, böylece bu malzemelerdeki iletkenliğin lokalize veya delokalize taşıma ile tanımlanabilip tanımlanamayacağı hakkında hala bir tartışma vardır.

Sıçrama modelinde, bir elektronun yeterli enerjiye sahip olmamasına rağmen, moleküller arasındaki potansiyel engelinin üzerinden geçebileceği kabul edilmektedir. Bant ortasında lokalize durumlar arasında taşıyıcı sıçraması ya düşük sıcaklıklarda ya da kusur durum yoğunluğunun yüksek olduğu malzemelerdeki yüksek sıcaklıklarda da gözlenen bir mekanizmadır.

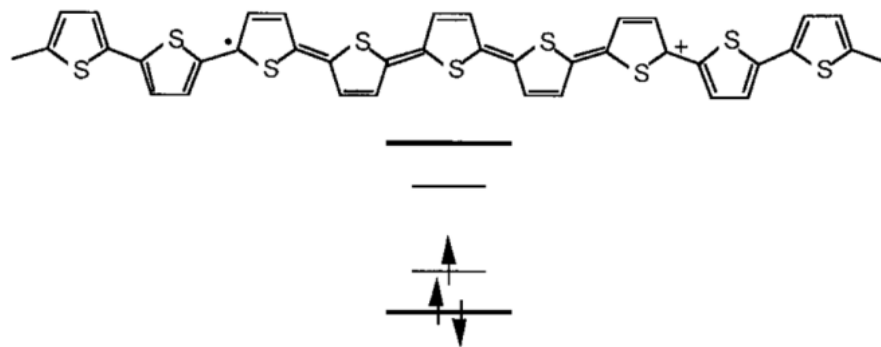
Bir elektronun bir lokalize durumundan daha yüksek enerjili bir başka lokalize duruma sıçrama yoluyla geçme ihtimali,

- W iki durum arasındaki enerji farkı olmak üzere, $\exp\left(-\frac{W}{kT}\right)$ 'ye
- Fonun spektrumuna
- r iki lokalize durum arasındaki uzaklık olmak üzere, dalga fonksiyonlarının üst üste binmesine yani $\exp(-2\alpha_L r)$ 'ye bağlıdır.

2.4.2. Küçük Polaronlar

Konjuge organik malzemelerde lokalizasyon, polaronların oluşumu ile meydana gelir. Bir polaron, yükün etkisinden dolayı konjuge zincirinin deformasyonundan oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, konjuge bir moleküldeki yük, zincirde oluşan deformasyon ile kendi kendisini tuzaklar. Kendi kendisini tuzaklayan bu mekanizma, genellikle Şekil 2.8'de politiyofen için gösterildiği gibi, valans ve iletim bantları arasındaki yasak enerji aralığında lokalize durumların oluşumuyla tanımlanır [165]. Katkılı konjuge polimerler ve oligomerlerde böyle seviyelerin varlığı, gerçekten UV-görünür spektroskopisi tarafından saptanmıştır.

Holstein tarafından [166], organik malzemelerdeki yük taşınımını tanımlamak için faydalı bir model olan küçük polaronlar modeli geliştirilmiştir [166]. Küçük polaron, bir boyutlu ve bir elektron modelidir (yani, elektron-elektron etkileşimleri ihmal edilir).



Şekil 2.8 Politiyofendeki bir polaron. Üstte: Kimyasal yapıdaki değişim. Altta: eşdeğer enerji diyagramı [138].

Sistemin toplam enerjisi üç terimin toplamıdır. Örgü enerjisi E_L ,

$$E_L = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2M} \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial u_n} \right)^2 + \frac{1}{2} M \omega_0^2 u_n^2 \quad (2.7)$$

şeklinde verilip, bu denklem ω_0 frekansı ile titreşen ve N harmonik osilatörlerin toplamı ile elde edilmiştir. Burada, u_n denge konumunda n. molekülünün kayma miktarıdır ve M her molekülün sitesinin indirgenmiş kütlesidir. Elektronlar, sıkı bağlayıcı yaklaşımın yapısının içinde tanımlanır, burada bir boyutlu zincirin verilen sitesindeki potansiyelin etkisi, en yakın komşusu ile sınırlı olduğu varsayılmıştır. Bu durumda, elektronun enerji dağılımı,

$$E_k = E_0 - 2J \cos(ka) \quad (2.8)$$

ile verilir. Burada, J elektron transfer enerjisi, a ise örgü sabitidir. Son olarak, elektron-örgü çiftleşmesi,

$$\varepsilon_n = -A u_n \quad (2.9)$$

eşitliği ile hesaplanır, burada A sabittir.

E_b polaron bağlama enerjisi önemli bir parametre olup, örgünün kutuplanması ve deformasyondan dolayı sonsuz yavaş taşıyıcının enerji kazancı olarak tanımlanır. Holstein'in modelinde, $E_b = A^2 / (2M\omega_0^2)$ 'dir. Elektronik bant genişliği 2J, polaron bağlanma enerjisine göre küçük olduğu zaman, küçük polaronun sınırını kaldırır. Bu durumda, toplam Hamiltonyen'in elektronik terimi, bir pertürbasyon olarak davranmaktadır. Küçük polaronun mobilitesi, zamana bağlı Schrödinger denklemi çözülerek hesaplanır. Yüksek sıcaklık sınırı durumunda ($T > \Theta$, burada Θ Debye sıcaklığı olup, $k\Theta = \hbar\omega_0$ ile ifade edilir),

$$\mu = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{ea^2}{\hbar} \frac{J^2}{\sqrt{E_b}} (kT)^{-3/2} \exp\left(-\frac{E_b}{2kT}\right) \quad (2.10)$$

ile verilir. Burada, $ea^2/\hbar$ terimi mobilitenin bir boyutu olup, çoğu moleküler kristallerde $1\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 'e yakındır.

2.4.3. Mobilitenin Elektrik Alana Bağıllığı

Organik malzemelerde, yüksek elektrik alanında ($\sim 10^5$ V/cm'den daha büyük alanlarda) mobilitenin elektrik alana bağlı olması, yük taşımının genel bir özelliğidir. Bu durum, Poole-Frenkel mekanizması ile oluşur [167] ve burada lokalize seviyelerin yakınındaki coulomb potansiyeli, siteler arasında tünel transfer hızını artırarak uygulanan elektrik alanla değişir. Mobilitenin elektrik alana bağıllığı,

$$\mu(F) = \mu(0) \exp\left(\frac{q}{kT} \beta \sqrt{F}\right) \quad (2.11)$$

ifadesi ile verilir. Burada, $\mu(0)$ sıfır alandaki mobilite, $\beta = (e/\pi\epsilon\epsilon_0)^{1/2}$ olup Poole-Frenkel faktörü ve F elektrik alanın büyüklüğüdür.

2.4.4. Çoklu Tuzaklama ve Bırakma (MTR) Modeli

Çoklu tuzaklama ve bırakma (MTR) modelinde, dar bir delokalize bandı, tuzaklar gibi davranan lokalize seviyelerinin yüksek konsantrasyonu ile birleşir. Delokalize seviyeleri içerisinde onların geçişi süresince, yük taşıyıcıları termal bırakma ve tuzaklama süresince lokalize seviye ile etkileşir. Genellikle aşağıdaki varsayımlar yapılır: Birincisi, tuzakdaki taşıyıcı, muhtemelen yakın olanla tuzaklanır. İkincisi, tuzaklanan taşıyıcıların bırakılması, bir termal etkinleştirme işlemi ile kontrol edilir. Son sürüklenme mobilitesi μ_D ,

$$\mu_D = \mu_0 \alpha \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \quad (2.12)$$

ifadesi ile verildiği gibi delokalize bandındaki μ_0 mobilitesi ile ilgilidir.

Tek bir tuzaklama seviyesi durumunda E_t , tuzak seviyesi ve delokalize bant kıyısı arasındaki uzaklığa karşılık gelir ve α tuzakların konsantrasyonunun olduğu delokalize bant kıyısında durumların etkin yoğunluğunun oranıdır. Enerji dağılımlı tuzaklar durumunda, N_t ve α 'nın etkin değerleri hesaplanmalıdır. MTR modeli, şu anda amorf silisyumdaki yük taşımını hesabı için en yaygın kullanılan bir metottur [138].

3. ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLER

Alan etkili transistör, kaynak ve kanal adı verilen iki omik kontak arasında oluşturulan iletken kanallı bir levha olarak tanımlanan bir kapasitördür. Alan etki transistör (FET)'ler, mikroelektronikte çok önemli bir uygulama alanına sahiptir. Alan etkili transistör, ilk defa Lilienfeld tarafından 1930 yılında bulunmuştur [124]. Kahng ve Atala tarafından, silikon esaslı metal oksit yarıiletken alan etkili transistör (MOSFET), 1960 yılında ilk defa üretilmiştir [168]. 1986 yılında, politiyofen kullanılarak ilk bilinen organik alan-etkili transistör (OFET), yapılmıştır [169].

Şekil 3.1'de, FET'lerin üç farklı yapısı gösterilmektedir. Şekil 3.1a'da gösterilen metal-yalıtkan-yarıiletken alan etkili transistör (MISFET), p-tipi yarıiletkenden oluşmaktadır. Bunun üzerine iki n^+ bölgesi oluşturulmuştur. Kaynak ve kanal ohmik kontakları bu katkılı tabakaların üzerine kaplanılmıştır. Üçüncü elektrod olan ve kaynak-kanal (D) kanalının iletkenliğini değiştirmek için kullanılan geçit tabakası, yalıtkan tabakayı yarıiletken altlıktan yalıtmıştır. Şekil 3.1b'de gösterilen gösterilen metal-yarıiletken alan etkili transistör (MESFET)'de, n^+ kaynak ve kanal n-tipi altlık üzerine büyütülmüş ve bir Schottky engeli geçit elektrodunu yalıtmaq için kullanılmıştır. Son olarak da, Şekil 3.1c'de gösterilen ince film transistör (TFT), iki ohmik kontak ve yalıtkan geçit ile hazırlanan bir ince yarıiletken tabakadan oluşmuştur [113].

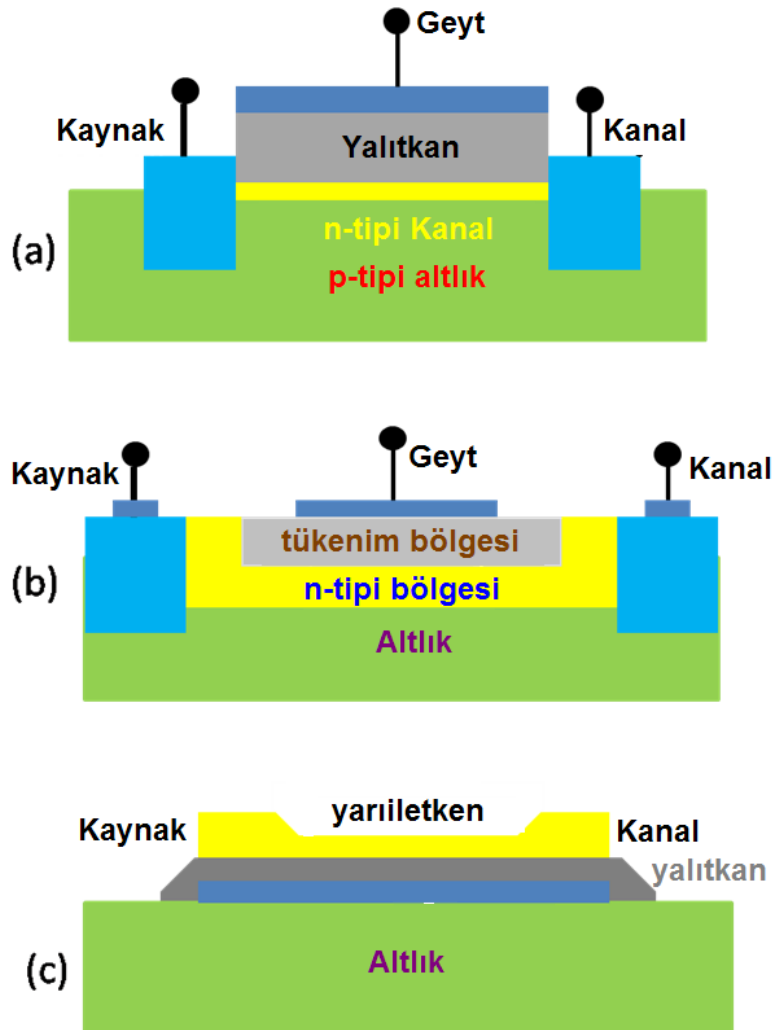
3.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken Alan Etkili Transistör

Bir p-tipi yarıiletken için ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) diyodunun enerji bant diyagramı, Şekil 3.2'de gösterilmektedir. İdeal bir diyotta uygulanan sıfır voltajda bantları düzdür. Bu durumda ideal bir diyot için şu denklem yazılabilir:

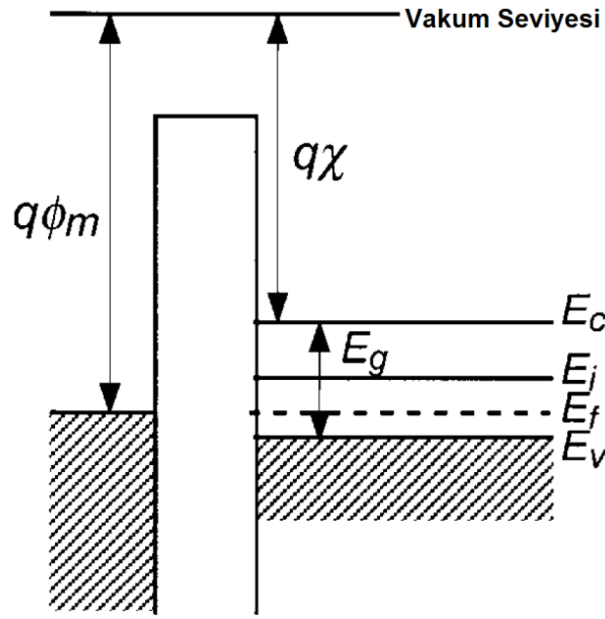
$$\phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \phi_b \right) = 0 \quad (3.1)$$

Burada ϕ_m metalin iş fonksiyonu, E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığı, q saf elektron yükü ve ϕ_b , Fermi enerjisi ve esas Fermi enerjisi E_i (ki bu orta aralığa çok yakın bir yerdedir)

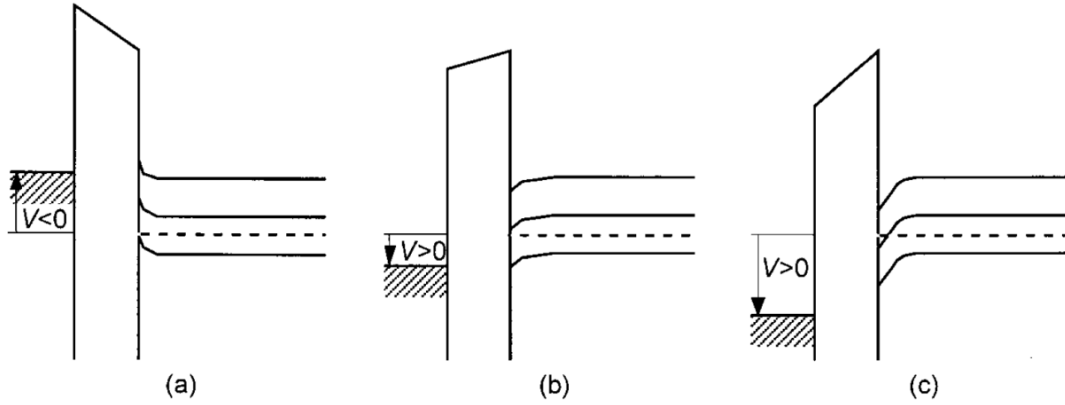
arasındaki potansiyel farkıdır. İdeal olmayan durumda, yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde küçük bir bükülme oluşur ve düz-bant voltajı diye adlandırılan küçük bir V_{fb} potansiyeli, düz-bant şartlarını sağlamak için metale uygulanmalıdır. MIS diyoduna, pozitif veya negatif voltaj uygulandığı zaman, yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde üç farklı durum gerçekleşir. Negatif bir voltaj için (Şekil 3.3a), bantlar yukarı doğru bükülür ve valans bandının üstü Fermi seviyesine daha yakın olur ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyine yakın boşlukların toplanmasına sebep olmaktadır. Çoğunluk taşıyıcıların tükenimi, pozitif voltajın uygulanması durumunda oluşur (Şekil 3.3b). Metale daha büyük pozitif voltaj uygulandığı zaman, bantlar artık aşağı doğru bükülür ve sonuçta esas seviye Fermi seviyesiyle kesişir. Bu noktada, elektronların yoğunluğu, boşlukların yoğunluğundan fazladır ve biri inversiyon bölgesine girer.



Şekil 3.1 Alan etkili transistör (FET)'lerin üç çeşidinin şematik görünümü: (a) metal-yalıtkan-yarıiletken FET (MISFET), (b) metal-yarıiletken FET (MESFET) ve (c) ince film transistörü (TFT) [113].



Şekil 3.2 Denge durumunda ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının enerji bant diyagramı [138].



Şekil 3.3 Bir kutuplu MIS diyodu için (a) toplanma, (b) tükenim ve (c) terslenme bölgeleri durumundaki enerji bant diyagramları[138].

3.1.1. Çalışma Prensipleri

Bütün durumlarda, kaynak kontağının toprağa bağlı olduğu kabul edilmektedir. Şekil 3.1a'da görüldüğü gibi, MISFET'in geçitine yeterince yüksek pozitif gerilim uygulandığı zaman, yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde bir terslenme (inversiyon) tabakası oluşur ve bu da kaynak ve kanal (D) arasında iletim kanalını sağlar. Bu durum, transistöre göre değişmektedir. Bir MISFET yapısının temel avantajlarından biri, kaynak ve kanal kontakları altında hem n-kanalı hem de n^+ bölgelerinin olması ve p-tipi altlık arasındaki tükenim bölgesinin aynı altlık üzerine üretilen diğer malzemelerden yalıtımının sağlanmasıdır. Her iki n^+ bölgesi, ters-beslenmiş diyotlar gibi davrandığı için çok düşük kapalı akımlar da oluşur.

MISFET'in akım-voltaj karakteristikleri, kademeli kanal yaklaşımıyla (veya Shockley) hesaplanır ve kanal boyunca elektrik alanın değişimi ile ilgili elektrik yük yoğunluğu, kanal karşısındaki değişim ile ilgili elektrik yük yoğunluğundan daha küçüktür, $\left| \partial F_x / \partial x \right| \ll \left| \partial F_y / \partial y \right|$, burada F elektrik alan ve x ve y, sırasıyla yalıtkan-yarıiletken arayüzeyine paralel ve dik yönleri belirtir. Bu durum genelde, kanal uzunluğu L, yalıtkan kalınlığından d_i daha büyük olduğu zaman gerçekleşir. Eğer yük mobilitesi sabit alınırsa, kanal akımı I_d ,

$$I_d = \frac{W}{L} \mu C_i \left\{ \left(V_g - 2\phi_b - \frac{V_d}{2} \right) V_d - \frac{2}{3} \frac{\sqrt{2\varepsilon_s q N_a}}{C_i} \left[(V_d + 2\phi_b)^{3/2} - (2\phi_b)^{3/2} \right] \right\} \quad (3.2)$$

şeklinde kaynak-kanal voltajı V_d ve kaynak-geçit voltajı V_g 'ye bağlı olarak değişir. Burada, W kanal genişliği, C_i birim alan başına yalıtkan kapasitansı, ε_s yarıiletkenin dielektrik sabiti ve N_a p-tipi altlığın katkılama seviyesidir. Denklem (3.2); verilen bir kanal (D) voltajı için, öncelikle kanal akımının kanal voltajı ile lineer olarak arttığını (lineer bölge), daha sonra kanal akımının yavaş yavaş artıp sabit bir değere ulaştığını (doyum, saturasyon bölgesi) ifade etmektedir. Aynı zamanda bu denklem, geçit voltajı arttığı zaman kanal akımının artacağını da söylemektedir. Farklı geçit voltajları için, kanal akım-voltaj grafiğinin eğrileri Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Küçük bir V_d için, denklem (3.2),

$$I_d = \frac{W}{L} \mu C_i \left(V_g - V_t \right) V_d \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V_t , eşik voltajı olup güçlü terslenme bölgesinin başlangıcına karşılık gelir ve

$$V_t = 2\phi_b + \frac{\sqrt{2\varepsilon_i q N_a (2\phi_b)}}{C_i} \quad (3.4)$$

eşitliği ile verilmektedir.

İki önemli teknolojik parametre, lineer bölgedeki kanal iletkenliği g_d ve transiletkenliği g_m olup, sırasıyla,

$$g_d = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_d} \right|_{V_g = \text{sabit}} = \frac{W}{L} \mu C_i (V_g - V_t) \quad (3.5)$$

ve

$$g_m = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_g} \right|_{V_d = \text{sabit}} = \frac{W}{L} \mu C_i V_d \quad (3.6)$$

eşitlikleri ile verilmektedir. Doyum (saturasyon) bölgesinde, kanal akımı ve transiletkenlik, sırasıyla

$$I_{d,\text{sat}} = \frac{W}{2L} \mu C_i (V_g - V_t)^2 \quad (3.7)$$

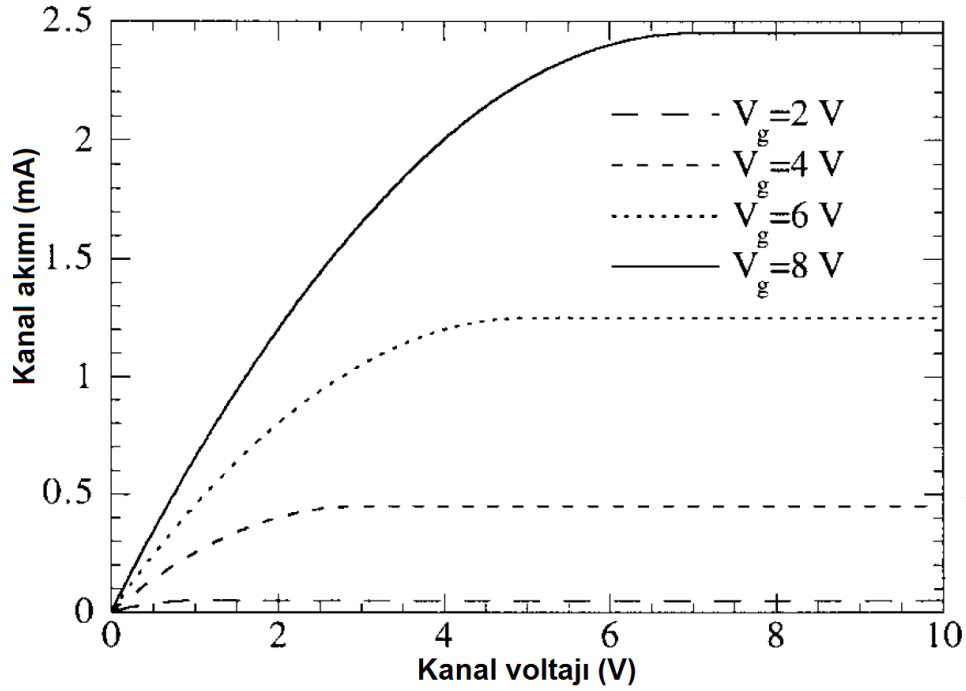
ve

$$g_m = \frac{W}{L} \mu C_i (V_g - V_t) \quad (3.8)$$

eşitliği ile verilir.

MOS transistörü, kanal (D), geçit (G), kaynak (S) ve gövde (B) olmak üzere dört uçlu yapıdadır. Kaynak ve kanal arasında, kanal doğrultusundaki uzunluk kanal boyu (L), kanala çizilen normalin uzunluğu ise kanal genişliği (W) olarak tanımlanır. Bir MOSFET'in yapısı, genellikle kaynak ve kanal uçları simetrik yapıda olup, kaynak ve kanal bölgeleri birbirlerinin yerine kullanılabilmekte ve gerçek uçların seçilen uygulamada kullanılan kutuplama koşullarına göre belirlenebilmektedir.

MOS transistörünün geçit ucundan uygun seviyelerde bir gerilim uygulandığı zaman, kaynak ve kanal arasında akım iletimini sağlayan bir terslenme tabakası oluşur. Akım değeri, geçit ve kanal uçlarından uygulanacak gerilim değerine bağlı olacaktır. Terslenme tabakasının oluştuğu geçit gerilimi değerine, eşik voltajı denilmektedir. Transistör karakteristiğinin tam ve doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için, eşik voltajının doğru modellenmesi gerekmektedir.

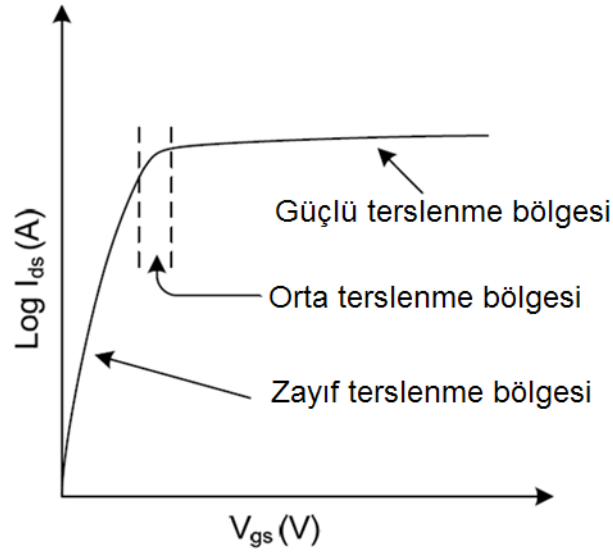


Şekil 3.4 Farklı geçit voltajları için bir MISFET'in akım-voltaj karakteristikleri [138].

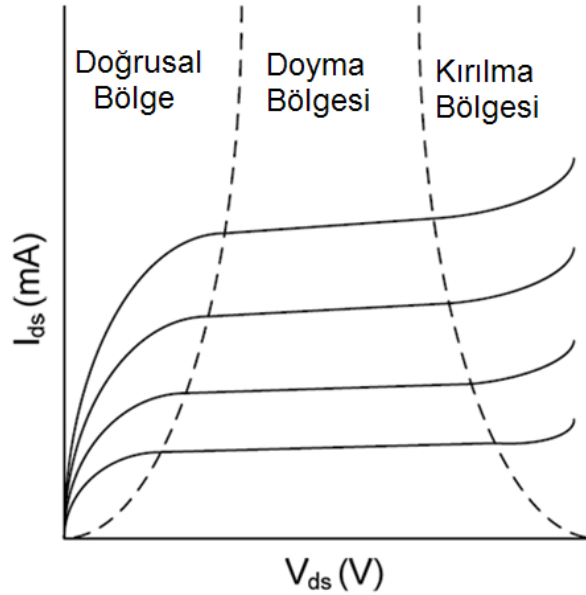
Eşik voltajına göre, tüm transistör karakteristiği; güçlü terslenme, zayıf terslenme (buna eşik altı bölgesi de denilmekte) ve orta terslenme bölgesi olmak üzere üç çalışma bölgesine ayrılmaktadır. Geçit gerilimi eşik geriliminin üzerine çıktığı zaman, terslenme yük yoğunluğu taban katkılama yoğunluğunun üzerinde çıkar ve MOSFET güçlü terslenme bölgesinde çalışır. Güçlü terslenme bölgesinde, sürüklenme akımı etkindir. Geçit gerilimi eşik gerilimi değerinin altına indiği zaman, terslenme yük yoğunluğu da taban katkılama yoğunluğundan küçük duruma gelir ve transistör zayıf terslenme bölgesinde çalışır. Zayıf terslenme bölgesinde, difüzyon akımı etkindir. Geçit gerilimi eşik gerilimine çok yakın değerlerde iken terslenme yük yoğunluğu taban katkılama yoğunluğuna yakın bir değerde olur. Böylece, MOSFET geçiş bölgesinde çalışır. Orta terslenme bölgesinde ise, hem difüzyon hem de sürüklenme akımı etkindir. Şekil 3.5'de, transistörün üç çalışma bölgesi gösterilmektedir.

Bir MOSFET, kanal gerilimi kutuplamasına göre doğrusal, doyma ve kırılma çalışma bölgesi olmak üzere üç bölgede çalışır. Şekil 3.6'da, bir n-kanallı MOSFET'in doğrusal, doyma ve kırılma çalışma bölgeleri gösterilmektedir.

Bir MOS transistörü, tipik olarak simetrik bir elemandır. Yani, transistörün kaynak ve kanal kutupları, uygulanan gerilimin yönüyle belirlenir. NMOS transistörlerde, daha pozitif olan elektrot kanal kutbu olarak görev yapar ve transistörün geçit kutbu diğer (kaynak ve kanal) kutuplardan tamamen yalıtılmıştır.



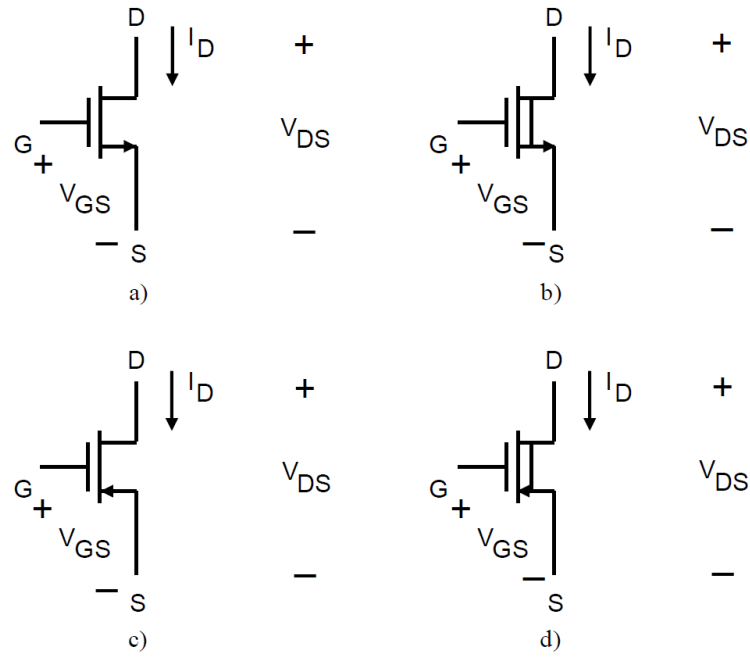
Şekil 3.5 n-kanallı MOSFET'in V_{gs} 'ye karşı $\log(I_{ds})$ grafiği [170].



Şekil 3.6 n-kanallı bir MOSFET'in V_{ds} 'ye karşı I_{ds} grafiği [170].

Geçit kutbuna uygulanan gerilim, yüksek katkılı n-tipi kaynak ve kanal bölgelerinin arasındaki akım iletimini kontrol eden bir elektriksel alan oluşturduğu için MOS transistörü, yalıtılmış geçit alan etkili transistör (IGFET) olarak da adlandırılmaktadır [170].

Bir MOS transistörünün çalışması şu şekildedir; kaynak, kanal ve gövdenin (tabanın) toprağa bağlanıp, geçite de pozitif bir gerilim uygulandığı varsayılırsa, geçit kutbunun altındaki bölgede boşluklar tabana doğru, elektronlar da kanal bölgesine doğru çekilir ve böylece kanal ve kaynak arasında n-tipi iletken bir kanal bölgesi oluşmaktadır.



Şekil 3.7 MOS transistör sembolleri, (a) kanal oluşturmali NMOS, (b) kanal ayarlamali NMOS, (c) kanal oluşturmali PMOS ve (d) kanal ayarlamali PMOS [170].

Kanal ve kaynak arasına bir gerilim uygulandığında da bu yol üzerinden bir akım akışı olur. İletim kanalı, çok küçük pozitif geçit gerilimlerinde oluşmaz ve bu kanalın oluşabilmesi için gerekli olan geçit gerilimi değerine eşik gerilimi V_{th} denilmektedir. Sıfır kutuplama geriliminde iletim kanalı bulunmayan böyle MOS transistörler, kanal oluşturmali MOS transistörler olarak isimlendirilirler.

Şekil 3.7’de n-kanallı ve p-kanallı bir MOS transistörü için kullanılan devre sembolleri gösterilmektedir.

3.2. Metal-Yarıiletken Alan Etkili Transistör

Metal-yarıiletken alan etkili transistör (MESFET)’ün temel yapısı, Şekil 3.1b’de gösterilmektedir. Burada, n^+ kaynak ve kanal bir n-tipi bölgesine bağlanılmıştır. Kanal kalınlığı, kısmen tükenim tabakası ile azalıp, Schottky geçit elektrodunda oluşur ve kalınlığı geçite uygulanan voltaj tarafından kontrol edilir. Transistörün normal kapalı durumundaki tükenim bölgesi, sıfır geçit voltajında tüm n-tipi kanal üzerinde artmaktadır, fakat normal açık durumunda MESFET üzerinde, kanalın bir bölümü tükenmiş değildir, bu durum sıfır geçit voltajı V_g ’de akımın geçişini sağlar.

Akım-voltaj karakteristiğini hesaplamak için, iletkan kanallı nötral, uzay yük bölgesi mükemmel yalıtkan olduğu ve bu iki bölge arasındaki sınırın keskin olduğu varsayılmaktadır. Kanal akımı,

$$dV = I_d dR = I_d \frac{dx}{q\mu N_d Z[d-W(x)]} \quad (3.9)$$

eşitliğinin integre edilmesi ile elde edilir. Burada, N_d ve d sırasıyla donör konsantrasyonu ve n-kanalının kalınlığı ve $W(x)$, x noktasında uzay yük tabakasının kalınlığıdır. $W(x)$,

$$W(x) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s[V(x)+V_{bi}-V_g]}{qN_d}} \quad (3.10)$$

ifadesi ile verilir [138]. Burada V_{bi} Schottky geçit kontağının built-in potansiyelidir.

Denklem (3.10), denklem (3.9)'da yerine yazılır ve kaynaktan kanala integre edilirse,

$$I_d = g_0 \left\{ V_d - \frac{2[(V_d + V_{bi} - V_g)^{3/2} - (V_{bi} - V_g)^{3/2}]}{3V_p^{1/2}} \right\} \quad (3.11)$$

eşitliği elde edilir. Burada g_0 , hacim n-tipi bölgenin iletkenliği olup,

$$g_0 = q\mu N_d \frac{Wd}{L} \quad (3.12)$$

ile verilmektedir. V_p ise kısırılma (pinch-off) voltajı, yani, tükenim tabaka kalınlığının n-tipi kanalının kanalına eşit olduğu andaki geçit voltajı olup,

$$V_p = qN_d \frac{d^2}{2\epsilon_s} \quad (3.13)$$

ile verilmektedir.

MISFET için, denklem (3.11) sadece kanal voltajları için geçerlidir. Kanal (D) voltajının daha yüksek değerleri için, doyum (saturasyon) noktasına ulaşılır ve kanal akımı,

$$I_{d,sat} = g_0 \left[\frac{V_p}{3} + \frac{2(V_{bi} - V_g)^{3/2}}{3V_p^{1/2}} - V_{bi} + V_g \right] \quad (3.14)$$

eşitliği ile verilir [138].

3.3. İnce Film Transistörler

İnce film transistör (TFT) kavramı, ilk kez 1962 yılında Weimer tarafından tanımlandı [171]. İnce film transistör, düşük iletkenlik malzemelerine uyarlanarak üretilmiş ve şimdilerde amorf silisyum transistörlerde kullanılmaktadır [172]. Şekil 3.1c’de gördüğü gibi, kaynak ve kanal (D) elektrotları doğrudan iletkenlik kanalına ohmik kontaklar oluşturularak, TFT elde edilmektedir. Burada, altlıktan malzemeyi yalıtım için hiçbir tükenim bölgesi bulunmaz. Düşük kapalı akımlar, sadece yarıiletkenin düşük iletkenliği ile sağlanmaktadır. MISFET’den önemli ikinci fark, TFT yalıtımlı bir geçit malzemesi olmasına rağmen, terslenme bölgesinde değil, toplanma bölgesinde çalışır. Bunun için, MISFET’ten TFT’ye kanal (D) akımının denklemleri dönüştürülürken dikkat etmek gerekir. Aslında, tükenim bölgesinin yokluğunda, denklem (3.2),

$$I_d = \frac{W}{L} \mu C_i \left(V_g - V_t - \frac{V_d}{2} \right) V_d \quad (3.15)$$

şeklinde sadeleştirilebilir. Burdaki eşik voltajı, bütün yarıiletken tabakasına eşit olan kanal iletkenliği için (düşük kanal voltajlarında) geçit voltajıdır. Eşik voltajı,

$$V_t = \frac{qNd}{C_i} \quad (3.16)$$

eşitliği ile verilir. Burada N, katkılama merkezlerinin yoğunluğudur (donörler veya alıcılar, yarıiletkenin n- veya p-tipine bağlı olarak). Denklem (3.16), tüm katkılama merkezlerini iyonlaşmış (iyonize) kabul etmektedir [138].

3.4. Temel OFET Yapısı ve Çalışma Prensibi

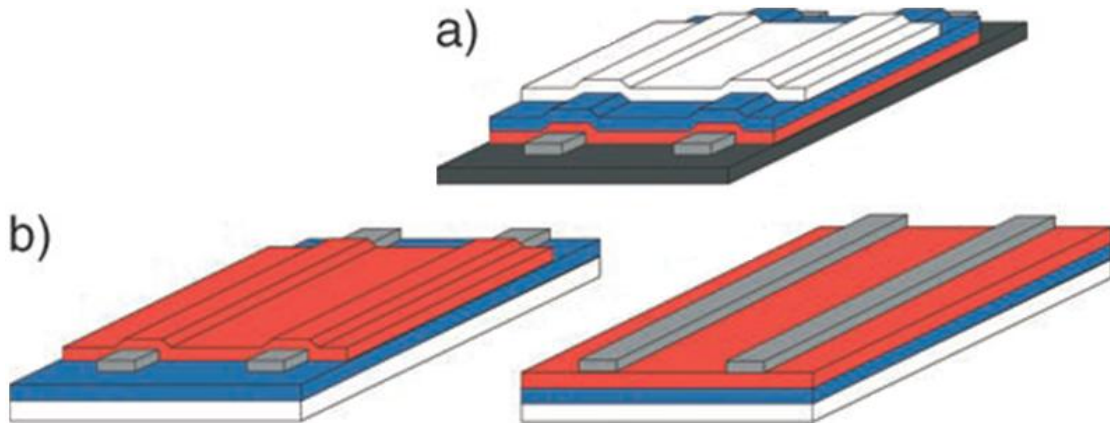
Organik malzemeler ile yapılan alan etkili transistörler, öncelikle ince film transistörü (TFT) ilkesine göre yapılmaktadır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi OFET’ler, üst geçit ve alt geçit yapı olmak üzere iki farklı yapıda üretilebilir. Üst-geçit yapılarında, akımı sağlayan kaynak ve kanal elektrodları altlık üzerine oluşturulur. Bu altlığın üstüne organik tabaka oluşturulur ve bu tabaka dielektrik tabakası tarafından kontrol elektrodundan (geçit elektrodu) ayrılır. Bu şekilde, güç kanalı üç elektrod tarafında kapanmış bir bölge olarak kurulur. Kanal uzunluğu, kaynak ve kanal elektrodları arasındaki mesafe ile belirlenir;

kanal genişliği kaynak ve kanal elektrodların uzunluğundan gelmektedir ve tarak yapıların kullanımını maksimize eder.

Alt-geçit yapısında, yarıiletken tabaka, uygun altlık üzerine yapılır, örneğin polimer film, bunun üzerine (yarıiletken tabaka) kaynak ve kanal elektrodları kaplanır ve daha sonra yalıtkan tabaka kaplanır. Bu durum da, üst geçit elektrodudur. Alt geçit yapısında, geçit elektrodu, doğrudan altlık üzerine kaplanır; çoğu kez hem altlık hem de geçit olarak silikon altlıklar kullanılır. Dielektrik, çoğu kez termal olarak büyütülen silikon dioksit, üstte kaplanır. Bir alt kontak yapısında, kaynak ve kanal elektrodları yarıiletken tabakanın üstündedir.

Bir üst kontak yapısında, yarıiletken tabaka doğrudan yalıtkanın üstüne kaplanır ve kaynak ve kanal elektrodları sağ üstte kaplanırlar. Ancak, çoğu kez üst kontak yapısını organik FET'lerle gerçekleştirmek zordur. Elektrodların kaplanması, metaller ile termal olarak gerçekleştirilir ve ince organik tabakalara zarar verebilir; dahası, metal atomları organik malzemenin içine girebilir.

Transistörlerin üst geçit yapısı için, baskılama tekniği, tercih edilir, bileşenleri tek tek yapıştırılır. Tüm OFET yapımında, elektrod olarak kullanılan katkılı polianilin veya polietilendioksitiyofen/poli(sitrene sulfonik asit) (PEDOT/PSS) gibi iletken organik polimerler ve polivinilfenol (PVP), poli(vinil alkol) (PVA), polimide (PI) veya poli(metil metakrilat) (PMMA) gibi yüksek kapasiteli yalıtkan polimerler dielektrik tabaka olarak kullanılır.



Şekil 3.8 Alan etkili transistörün yapısı: **a)** üst-geçit yapısı; **b)** alt-geçit yapısı, soldaki: alt kontak, sağdaki: üst kontak. Siyah: altlık, gri: kaynak ve kanal elektrodları, kırmızı: yarıiletken, mavi: yalıtkan, beyaz: geçit elektrodlarıdır [173].

Alt geçit OFET’in temel yapısı Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Kaynak elektrodu topraklanır. Negatif bir voltaj V_G geçit elektroduna (p-tipi yarıiletkenler ile) uygulandığında, elektrik alan tabakalara dik indüklenir. Pozitif yük taşıyıcılarındaki artış, yarıiletken ve geçit yalıtkanı arasındaki arayüzeyinde ortaya çıkar. Aynı zamanda bir kanal voltajı V_D , kanal elektroduna uygulandığı zaman, boşluklar kaynak elektrodundan kanal elektroduna geçmektedirler. Bu iletken durum “on (açık, devrede)” durumu diye isimlendirilir ve $V_G=0$ durumu “off (kapalı, devre dıőı)” durumu olarak tanımlanır.

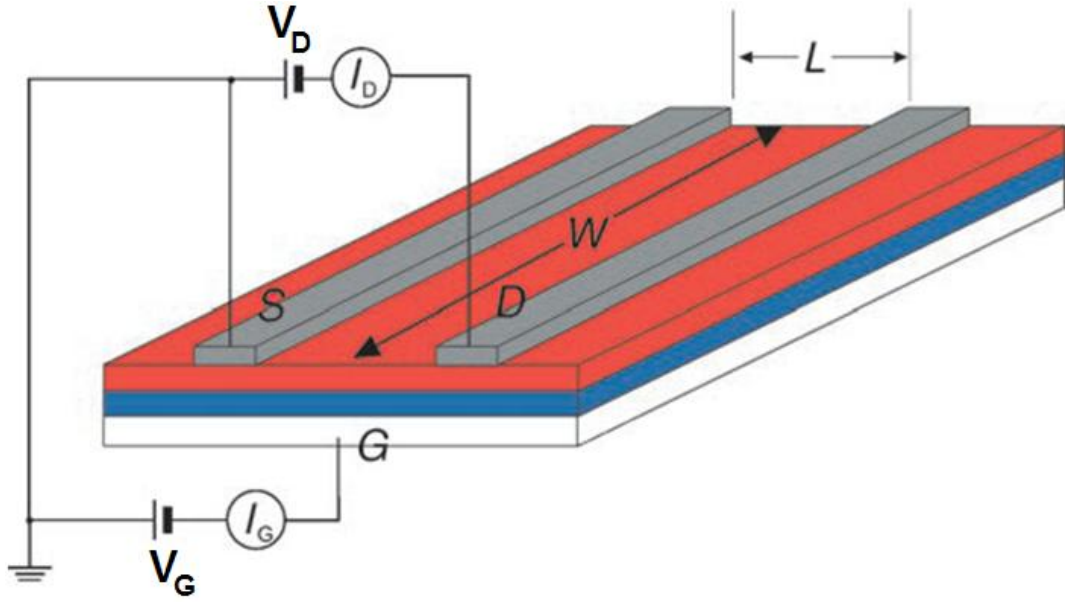
Alan etkili transistörlerin en önemli karakteristikleri, eşik voltajı V_t , açma/kapama oranı I_{on}/I_{off} ve yük taşıyıcı mobilitesi μ_{FET} ’dir. Eşik voltajı V_t , alan etkili durumlarda kanal voltajını V_D karakterize eder. Eşik voltajı, yarıiletken arayüzeyindeki yük taşıyıcı tuzakların (üstesinden gelebilir) sayısının bir ölçümüdür.

Organik yarıiletkenlerde, farklı derinliklerde oluşan tuzak durumları vardır. I_{on} ve I_{off} durumları arasındaki en büyük farklılık, elektronik devrelerdeki (yani dönüştürücü devrelerde) “0” ve “1” arasındaki açık fark mantığıyla aynıdır. Açma/kapama oranı, alan etkili transistörün “açık” ve “kapalı” durumundaki kaynak-kanal akımın oranı olarak tanımlanır. Yük taşıyıcı mobilitesi μ_{FET} , öncelikle uygulanacak gerilimin boyutunu ve transistörün güç tüketimini (diğer etkili faktörler, örneğin bileőenlerin boyutlarıdır) belirler.

Transistörün ıkıő karakteristik eğrileri (yani farklı geçit voltajlarında V_G , kanal voltajına karşı V_D kaynak-kanal akımının I_D grafiği), yük taşıyıcı mobilitesini belirlemek için kullanılır. Yarıiletken olarak poli (3-heksiltiyofen) (P3HT) kullanılarak üretilen OFET için, çıkış karaktersitik eğrisi Şekil 3.10’da gösterilmektedir [5].

Karakteristik eğrisinin iki farklı bölgesi olabilir: düşük kanal voltajında, kaynak-kanal akımı hemen hemen lineer olarak artar (lineer bölge), daha sonraki voltajlarda doyum bölgesine ulaőır. Lineer bölgede kaynak-kanal akımı,

$$I_D = \frac{WC_i}{L} \mu_{FET,lin} \left[(V_G - V_t) V_D - \frac{V_D^2}{2} \right] \quad (3.17)$$



Şekil 3.9 OFET devresi: V_D : kanal voltajı; I_D : kaynak akımı; L : kanal uzunluğu; W : kanal genişliği; S : kaynak elektrodu; D : kanal elektrodu; G : geçit elektrodu; V_G : geçit voltajı; I_G : geçit akımı [173].

şeklinde tanımlanır. Bu ifadede, L kanal uzunluğu, W kanal genişliği, C_i yalıtkan tabakanın birim alan başına kapasitansı, V_t eşik voltajı ve $\mu_{FET,lin}$ lineer bölgedeki mobilitedir. Lineer bölge için alan etkili mobilité doğrudan transfer karakteristik eğrisi diye isimlendirilen eğrinin eğiminden hesaplanabilir. Transfer karakteristik eğrisi, sabit kanal voltajında geçit voltajına karşı kaynak-kanal akımının grafiğidir. Eğim, $V_D \ll (V_G - V_t)$ yaklaşımına dayanan,

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_G} = \frac{WC_i}{L} \mu_{FET,lin} V_D \quad (3.18)$$

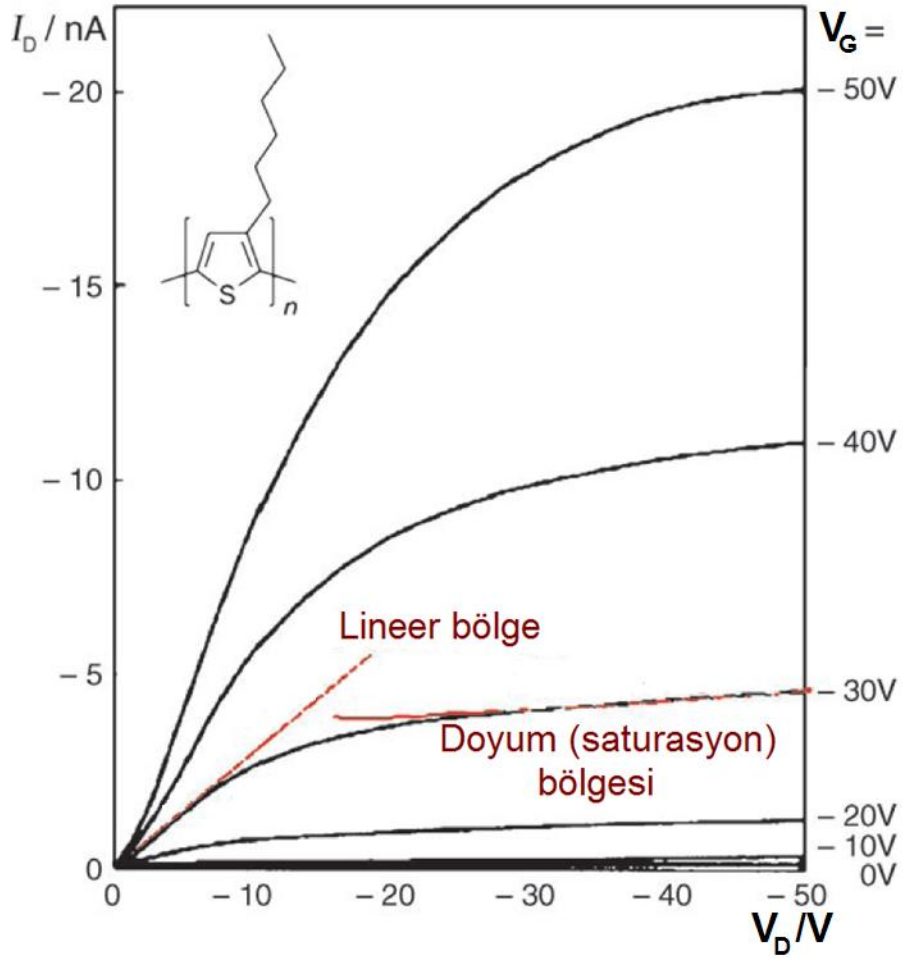
bu denkleme göre hesaplanır. Çıkış karakteristik eğrisinin ikinci bölgesinde (doyum, saturasyon bölgesi), $V_D > (V_G - V_t)$ olduğu zaman,

$$I_D = \frac{WC_i}{2L} \mu_{FET,sat} (V_G - V_t)^2 \quad (3.19)$$

ifadesi geçerli olur. Doyum (saturasyon) bölgesinde, yük taşıyıcı mobilité $\mu_{FET,sat}$ V_G 'ye karşı $I_D^{1/2}$ grafiğinde akım-voltaj eğrisinin eğiminden hesaplanabilir.

Bu denklemler, sadece sabit yük taşıyıcı mobilité yaklaşımı altında geçerlidir. Ancak, organik yarıiletkenlerde olduğu gibi, mobilité genellikle geçit voltajına ve sıcaklığa

bağlıdır, denklem (3.18) ve (3.19) sadece yük taşıyıcı mobilitelerini tahmin etmek için kullanılabilir. Bu model Horowitz ve arkadaşları [174] tarafından düzeltildi ve voltaj ve sıcaklığın yük taşıyıcı mobiliteye bağlılığını belirlemek için matematiksel bir model geliştirildi.



Şekil 3.10 Yarıiletken olarak poli (3-heksiltiyofen) ile hazırlanan OFET'in çıkış karakteristik grafiği [173].

4. ÜRETİM TEKNİKLERİ

Geleneksel elektronik cihazlar, silikon altlıkları üzerine yapılmaktadır. Bir silikon MISFET'in üretimi, kaynak ve kanalın difüzyonu ile (veya implantasyonu) ile başlar, daha sonra yalıtkan tabakanın büyütülmesi, genellikle termal silikon oksit büyütülmesi yapılır, son olarak da elektrodların kaplanması yapılır. Organik yarıiletkenler, ince filmler olarak elde edilir; buna göre, OFET'ler ters bir mimari gösterirler, öncelikle geçit elektrodu kaplanır, son adımda genellikle yarıiletken filminin kaplaması oluşturulur. Çoğu kez, geçit elektrodu yüksek katkılı silikon altlık tarafından oluşturulur, silikon oksit tabakası termal olarak büyütülür. Kaynak ve kanal, geleneksel mikrolitografik teknikleri ile bu yalıtkan tabaka üzerine kaplanır. Bu yaklaşımın temel avantajı, silikon mikro elektroniklerin standart teknolojisini kullanımı ve özellikle mikrolitografinin kullanımı, iyi öğrenilen yöntem olmasıdır. Bu durum, küçük boyutlu malzemelerin üretilmesini sağlar. Onun büyük dezavantajlarından biri, aynı altlık üzerine yapılan çeşitli transistörlerin bireysel verimleri ile uyumlu olmamasıdır. Ancak, son zamanlarda organik altlıklar ve yalıtkanların kullanımı gibi farklı teknikler geliştirildi.

Yarıiletkenin kaplanması, OFET üretiminin belirleyici adımıdır, özellikle altlık olarak, termal oksitli silikon altlık kullanılır, burada kaplama işleminin geri kalanı geleneksel teknikler ile kontrol edilir [138].

Son zamanlarda, organik alan etkili transistör (OFET)'lerde kullanılan malzemelerde ve üretim teknikleri teknolojilerinde büyük gelişmeler görülmektedir. OFET'lerde kullanılan organik yarıiletkenlerin verimleri, farklı üretim teknikleri geliştirilerek önemli bir şekilde artırılmaktadır. Fotolitografi, buharlaştırma gibi bazı üretim tekniklerinin maliyetinin yüksek ve üretiminin zor olmasından dolayı, kullanılan üretim teknikleri geliştirilmeye devam etmektedir. Üretimi zor ve maliyeti yüksek bu tekniklere alternatif üretim teknikleri olarak, düşük maliyetli ve kolay üretim sağlayan spin-kaplama ve baskılama tekniği kullanılmaktadır. Kullanılan bu teknikler, organik alan etkili transistör teknolojisinin gelişimini sağlamış ve organik optik teknolojisinde ve elektronik devre mimarisinde önemli gelişmeler sağlamıştır [175]. OFET'lerdeki tabakalar arasındaki arayüzeyler, transistör parametrelerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tabakalar arasında

uyum sağlanarak, hem moleküllerin düzenini arttırarak yüzey hatalarını azaltır hem de yüklerin enjeksiyonunu ve iletken kanaldaki yük transferini kolaylaştırır [175].

Organik transistörlerde birçok kaplama yöntemi bulunmakla birlikte, en çok kullanılan başlıca üretim teknikleri ise; vakum buharlaştırma tekniği, sputtering, Langmuir-Blodgett tekniği ve çözünabilir-işlemleri döndürerek veya daldırarak kaplama yöntemidir.

Organik transistörlerdeki ince film kaplama yöntemleri fiziksel ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılabilir.

4.1. Fiziksel Kaplama Yöntemleri

Organik transistörlerdeki ince film fiziksel kaplama yöntemlerinden en çok, vakum buharlaştırma ve sputtering yöntemi kullanılmaktadır.

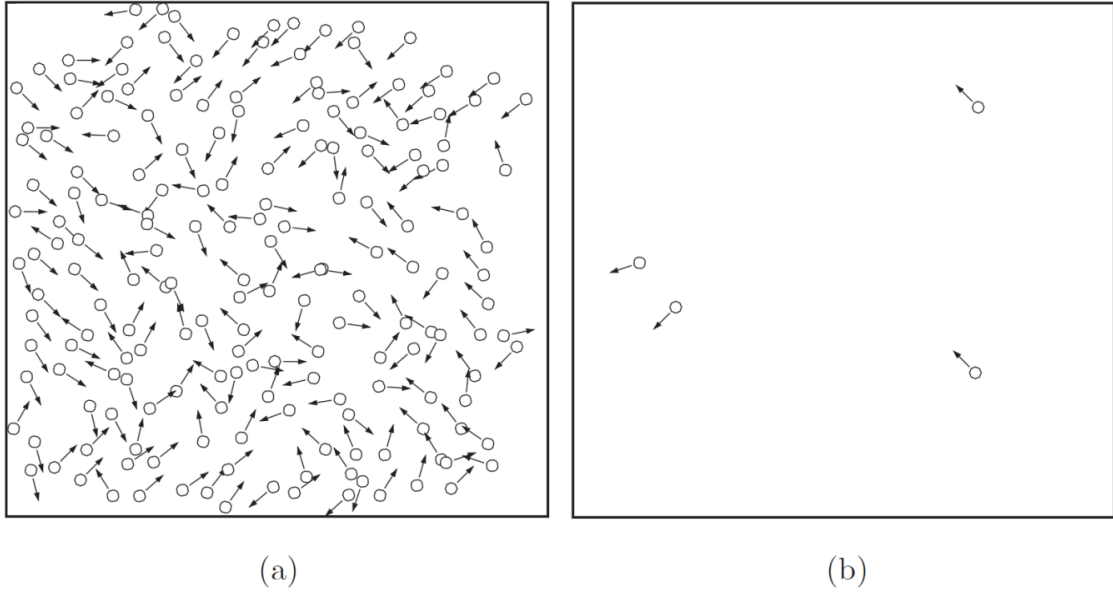
4.1.1. Buharlaştırma Yöntemi

4.1.1.1. Vakum İçinde Buharlaştırma Yöntemi

Vakumda termal buharlaştırma ile küçük moleküllü organik yarıiletkenlerin temiz bir ortamda kaplanması gerçekleştirilmektedir. Malzeme, vakum içinde uygulanan akımın etkisiyle kaygın ısıtılmasıyla kaplanır. Isıtılan malzemenin buharlaştırma basıncı, vakum odasındaki malzemenin zemin basıncından fazla olduğu zaman, malzeme soğutucu yüzeyler üzerine buharlaştırılır ve yoğunlaştırılır. Yüksek moleküler ağırlıklı organik yarıiletkenler, buharlaştırılamayacak kadar ağır oldukları için bu şekilde kaplanamazlar.

Metallerin ve yarıiletken malzemelerin termal buharlaşması, yüksek ve ultra yüksek vakum şartları altında gerçekleştirilir. Bu, üç temel sebep için yapılır. Birincisi, vakum odası boşaltılarak, oksijenin veya diğer gazların kısmi basıncı azaltılır, böylece malzemenin temiz bir şekilde kaplanması sağlanır ve cihazların kızışması önlenmiş olur. İkincisi, çoğu katıların buharlaştırma basıncı düşük olduğu için vakumda buharlaştırmayla, bu düşük buharlaşma basınçlı malzemelerin buharlaştırılması sağlanır. Üçüncüsü ise, buharlaştırılan malzemenin ortalama serbest yolu, kaynak-altlık boyutundan daha büyük olması için artırılır ve böylece sapma olmaksızın altlığa kaplama yapılmasını sağlar.

Daha yüksek ve daha düşük basınçlarda gazın varlığını gösteren şematik gösterim, Şekil 4.1(a-b)'de gösterilmektedir. Basınç, gaz moleküllerini ve her bir çarpışan taşıyıcıların ortalama kuvvetini kapsamıyla birlikte çarpışmaların sayısının bir fonksiyonudur.



Şekil 4.1 (a) Daha yüksek ve **(b)** daha düşük basınçlarda gazın varlığını gösteren şematik gösterimi [176].

Moleküller de bir diğeriyle çarpışmaktadır ve gazdaki söz konusu ortalama serbest yol da gaz molekül yoğunluğunun (dolayısıyla basıncın) bir fonksiyonudur [176].

Gazlar, parçacıkların toplanması olarak görülebilir ve her biriyle elastik olarak çarpışırlar, ayrıca gazın sıcaklığına bağlı olan toplam kinetik enerjiye sahiptirler. Gaz için ortalama serbest yol, basınçla orantılı olup,

$$\gamma = \frac{kT}{4\pi\sqrt{2}r^2p} \quad (4.1)$$

eşitliği ile verilir [176]. Burada, r etkin molekülerin yarıçapı ve p pascal biriminde basınçtır. Hava için (Torr biriminde basınç) bu ifade,

$$\gamma = \frac{0.005cm}{p} \quad (4.2)$$

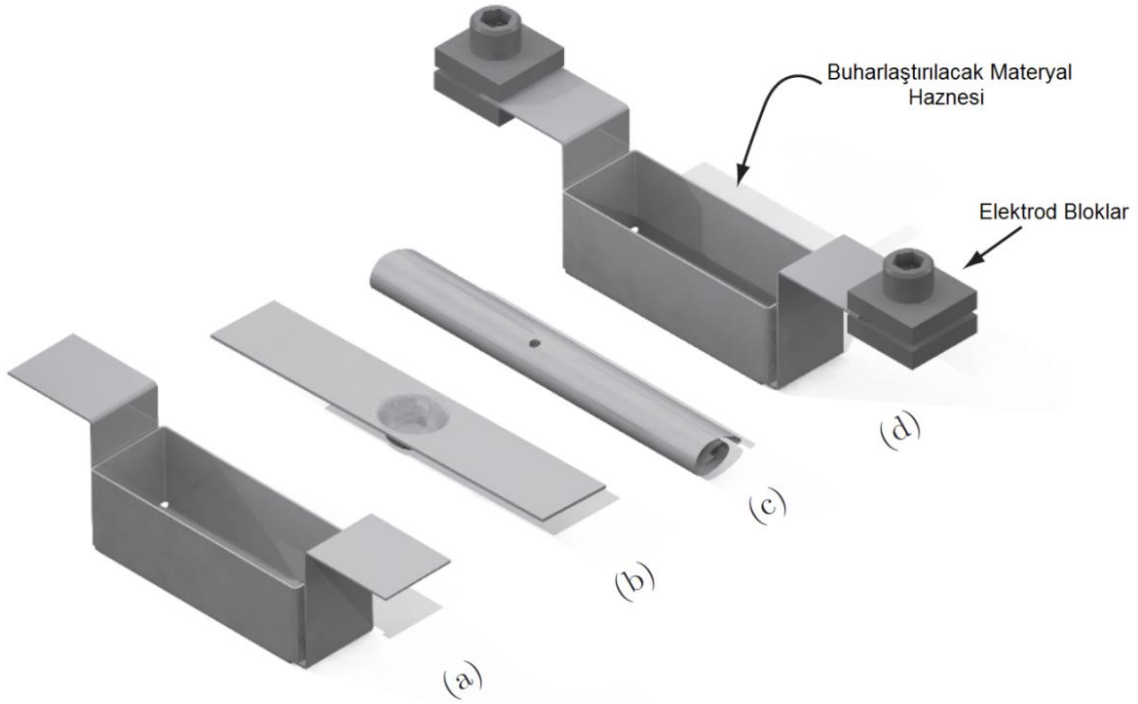
şeklinde yazılabilir.

Hava ortamında ve oda sıcaklığında, tipik ortalama serbest yol 65 nm'dir. Sonuçta, atmosferik basıncında buharlaştırılan malzemeler, herhangi bir fark edilir uzaklığa gitmeden önce saçılırlar ve onların sapma yönü kaybolur. Vakum termal buharlaştırma için tipik basınç, 10^{-6} - 10^{-8} torr'dur. Tipik ortalama serbest yol, 10^{-8} torr'da metre mertebesinde veya daha büyüktür. Bu durum, buharlaştırma materyalleri için ideal bir açıdan bakıldığında kaynaktan altlığa buharlamasını sağlamaktadır.

Yüksek viskozite çözeltisi gerektiren spin-kaplama tekniği, genellikle küçük moleküller için uygun değildir. Dolayısıyla küçük moleküller için vakum buharlaştırma daha uygun bir kaplama olup, bu kaplama düşük basınç altında malzemenin ısıtılmasından oluşmaktadır. Bu işlem, çok yüksek veya ultra yüksek vakum odasında yapılır. Organik malzeme, metal bir kayığın içerisine konulur, Joule etkileri ile veya bazen elektron tabancası ile ısıtılır ve altlık kayığın birkaç santimetre üstüne yerleştirilir. Prensip olarak, bu teknik polimerler için kullanılamaz, çünkü yüksek sıcaklıklarda çatlama ile ayrılmaya eğilimlidirler. Bu kaplama tekniğinin başlıca avantajları, kaplanan filmin kalınlığının ve saflığının kolayca kontrol edilmesi ve çok düzenli filmlerin kaplama hızı ve altlık sıcaklığının ekranda görülebilmesidir. Bu yöntemle kaplamanın başlıca dezavantajı, spin-kaplamanın kolay ve düşük maliyetle üretilmesinin aksine, bu yöntemde gelişmiş cihazlara ihtiyaç duyulmasıdır [138]. Vakum buharlaştırma tekniği ile üretilen organik transistörlerin mobilite değeri, çözelti biriktirme yöntemi kullanılarak oluşturulan organik transistörlerinkinden yaklaşık 10 kat daha büyük değerlerdedir.

Pentasen, fitalosiyenin, oligotiyofen, gibi organik küçük moleküllerle oluşturulan ince film yüzeyler, buharlaştırma tekniği ile kaplanır. Bununla birlikte, vakum buharlaştırma tekniğinin başlıca dezavantajları, karmaşık cihazlardan meydana gelmesi ve polimer yapılı materyallere uygun olmamasıdır [175].

Buharlaştırma yönteminde film kalınlığı, buharlaşma basıncına, buharlaşma hızına, uygulanan akım ve buharlaşacak malzemenin bulunduğu kayık ile taşıyıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır.



Şekil 4.2 Dirençle ısınan kayıkların birkaç sitilinin şematik gösterimi. (a) bükülü kayık, (b) ortası çukur olan kayık, (c) merkezde küçük bir deliği olan folyo kayık ve (d) bakır elektrodla bağlı bükülü kayık, elektrodlar kayığı soğutur [176].

4.1.1.2. Reaktif Buharlaştırma Yöntemi

Reaktif buharlaştırma yönteminde de, tüm sistem kapalı bir çember içinde bulunup, kaplanacak malzemeye ısı verilerek buharlaştırılır. Malzeme buharlaşırken, oksitlenmeyi sağlamak için ortalama 10^{-2} Torr basıncın altında, ortama oksijen verilir. Reaktif buharlaştırma, optiksel ölçümleri yapılacak metal malzemelerin saydam filmlerini oluşturmak için de kullanılmaktadır.

4.1.2. Sputtering Yöntemi

Sputtering kaplama yöntemi, yüksüz bir gazın bulunduğu ortamlarda uygulanabilen bir yöntemdir. Yüksüz gaz ortamındaki bir yüzey, yüksek enerjili parçacıklarla bombardıman edilerek yüzeyden atom sökülür ve bu ortamdaki yüksüz gazda pozitif iyonlar oluşur. Bu iyonlar, elektrik devresinin katodunu oluşturan hedef metalin yüzeyine gönderilerek taşıyıcının malzeme ile kaplanmasını sağlar.

4.2. Kimyasal Kaplama Yöntemleri

4.2.1. Sol-Jel Yöntemi

Sol-jel yöntemi, kimyasal bir yöntem olup, başlangıç malzemesi olarak bir solüsyon içerdiği için ve bu solüsyon kullanarak jel gibi bir yapı elde edildiği için “sol-jel yöntemi” denilmektedir. Sol-jel yöntemi, geleneksel yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda (100-600 °C) yapılır ve özellikle organik olmayan (inorganik) ince film kaplamalarında kullanılır. Sol-Jel yöntemi, jel halindeyken çözeltinin, daldırma, döndürme ve püskürtme yaygın yöntemleri ile ince film hazırlanmasında ideal olması, teknolojik olarak çok önemlidir.

Sol-jel metodu, pürüzlü/pürüzsüz yüzeylere ve geniş alanlı altlıklara kolayca ve düşük maliyette kaplama sağladığı için yaygın bir şekilde kullanılan bir metottur. Bu metod sayesinde, altlıklara tek kaplama ile çok ince film kaplamaları veya çok kaplama ile daha kalın film kaplamaları yapılabilir.

Sol-jel metodu, daldırma, döndürme ve püskürtme olmak üzere, altlıklara üç farklı şekilde kaplama yapılmasını sağlar.

Sol-jel terimine, ilk kez 1846 yılında rastlanılmaktadır. 1939’da sol-gel yöntemi kullanılarak SiO₂ ile ilgili ikinci bir çalışma yapılmıştır. Bu yöntemin, 1953’den sonra otomobil dikiz aynalarında kullanılmasıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sol-jel yöntemi genel olarak, elektro-kromik kaplamalar, ferro-elektrik tabakalar, koruyucu kaplamalar, opto-elektronik kaplamalar, optik hafızalar, optik kaplamalar ve yüksek sıcaklık süper iletkenleri alanında uygulama alanlarına sahiplerdir [177].

4.2.1.1. Sol-Jel Yönteminin Avantajları

Sol-jel yönteminin diğer kaplama yöntemlerine göre avantajları aşağıda verilmektedir.

- a. Malzeme maliyeti düşüktür.
- b. Elde edilen filmler, homojendir.
- c. Oda sıcaklığı gibi düşük sıcaklıklarda ve yapılabildiği için, enerji tasarrufu sağlanır.
- d. Yüksek sıcaklık ve vakum gerektirmez.
- e. Gerekli malzeme ve cihazlar çok basittir.
- f. Saf kaplamaya olanak sağlar.
- g. Hava kirliliğine sebep olmazlar.
- h. Hazırlanan ortamla etkileşimi olmaz.
- i. Farklı geometrilere sahip altlıklara kaplama yapabilmektedir.

- j. Bir veya daha fazla katmanlı filmler hazırlanabilir.
- k. Kullanılan kimyasalların zararsız olması halinde, sağlığa zararlı yan etkisi ve tehlikesi yoktur.
- l. Gözenekli yapıda filmler oluşup, sol hazırlamada kullanılan malzemelerin seçimi ve katılma yüzdeleriyle gözeneklilik kontrol edilebilir.
- m. Kaplama süresi kolayca kontrol edilebilir.
- n. Yeni malzemelerin bulunmasında, uygun bir yöntemdir.

4.2.1.2. Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları

Sol-gel yönteminin diğer yöntemlere göre bazı dezavantajları da aşağıda verilmektedir.

- a. Film kaplama esnasında, malzeme israfı fazladır.
- b. Kaplanan filmlerde, karbon çökeltisi olur.
- c. Kurşun, kadminyum, nikel gibi başlangıç malzemeleri kullanıldığında, sağlığa zararlı olabilir.
- d. Bu yöntem için, kullanılan malzemelerin temin edilmesi zor ve pahalı ise, malzeme maliyeti yüksek olur.
- e. Katmanlı filmlerin hazırlanması uzun zaman alır.
- f. Kaplanan filmlerde, hidroksil birikir.
- g. Çözeltinin ömrü kısadır.

4.2.2. Anadizasyon Yöntemi

Anadizasyon kaplama metodu, özellikle madeni kaplamalarda çözeltilerin iyon iletkenliğini kullanarak yapılan bir kaplamadır. Bu kaplamada, kaplamayı oluşturacak malzeme çözelti içerisinde çözülmüş olarak bulunmaktadır. Ayrıca, kaplanacak malzeme devrenin anoduna yerleştirilir ve devreye akım uygulandığı zaman, bir süre sonra iyon durumundaki malzeme anoda ulaşarak kaplamayı sağlar [178].

4.2.3. Kimyasal Buhar Birikimi Yöntemi

Kimyasal buhar birikimi yöntemi, vakum içerisine yerleştirilen kaplanacak malzemenin buharlaştırılarak taşıyıcı üzerinde yoğunlaşmasını temel alan bir yöntemdir. Bu yöntem, vakumda buharlaştırma yöntemine benzemektedir. Ancak vakumda buharlaştırma yönteminde malzemenin buharlaşması için dışarıdan ısı verilirken, bu yöntemde çözeltiden

buhar elde edilmesinde dışarıdan ısı verilmez. Dolayısıyla, kaplanacak malzemenin buharı, kimyasal tepkimeler sonucunda oluşturulmaktadır.

4.2.4. Elektrokaplama Yöntemi

Elektrokaplama yöntemi, metal taşıyıcıların kaplanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kaplanacak metal devrenin katoduna ve taşıyıcının kaplanacağı kaplama malzemesi de devrenin anoduna yerleştirilmektedir. Devreye akım uygulandığı zaman, bir süre sonra katoda yerleştirilen metal malzeme kaplanır. Elektrokaplama yöntemi, kaplanan malzemenin kalınlığı çok kolay kontrol edilebilir olması ve kaplanacak taşıyıcı çözelti içerisine daldırıldığından şeklinin önemli olmamasından dolayı sanayide ve araştırmalarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır [178].

4.2.5. Kimyasal Banyo Birikimi Yöntemi

Kimyasal banyo birikimi yönteminde, kaplanacak olan malzemenin çözeltisi hazırlanıp, bu çözelti içerisine kaplanacak malzeme yerleştirilir ve kaplama, taşıyıcı üzerinde zamanla kimyasal tepkimeler sonucu oluşmaktadır. Bu yöntemde, kaplama yapmak için dışarıdan akım veya gerilim uygulanmamaktadır.

4.2.6. Termophoresis Yöntemi

Termophoresis yöntemi, çözeltisi hazırlanan kaplama malzemesinin içine taşıyıcı daldırılır ve çözelti içerisindeki bölgelere farklı sıcaklıklar uygulanarak parçacıkların sıcaktan soğuğa doğru hareket etmeleri temeline dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, iletken bir taşıyıcıya ihtiyaç duyulmaması bu yöntemin avantajlı tarafıdır.

4.2.7. Elektrophoresis Yöntemi

Elektrophoresis yönteminde, kaplaması yapılacak malzemenin çözeltisi hazırlanarak, bu çözeltiye dışarıdan bir elektrik alan uygulanır. Uygulanan elektrik alandan dolayı çözelti içindeki yüklü parçacıklar harekete geçirilerek kaplama gerçekleştirilir. Film kalınlığı, elektrik alanın uygulanma zamanı ile kontrol edilebilir.

4.2.8. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, çözeltisi hazırlanan kaplama malzemesi taşıyıcı üzerine püskürtme tabancasıyla püskürtülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Kaplamanın kalınlığı ve

kalitesi; püskürtme yapılan tabancanın ucundaki deliklerin sayısına, deliklerin çapına, püskürtme uzaklığına, çözeltinin püskürtülme hızına ve çözeltinin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Püskürtme yönteminde, genellikle sıcak taşıyıcılar kullanılmakta veya belli bir sıcaklıktaki fırın içinde yapılmaktadır.

4.2.9. Çözelti Tekniği İle Kaplama Yöntemi

Verimli bir polimer filmin oluşturmanın en iyi yollarından biri, spin-kaplamadır. Bu teknik, iyi bir şekilde gerçekleştirilebilir. Geniş alanlar üzerindeki filmlerin kalınlığı kontrol edilerek çok homojen filmler üretilebilir. Bu teknikte kullanılan polimerin (organik malzemenin), iyi çözünmüş olması gerekmektedir. Ne yazık ki, CP'lerin çoğu çözünür değildir. Bu sorunun üstesinden, ya polimer yapıya (omurgasına) çözülebilir grupların aşılması ile ya da çözülebilir öncü polimerin kullanılması ile gelinebilir, daha sonra uygun bir fiziksel veya kimyasal işlemle CP'ye dönüştürülür [138].

Bu yöntemde, çok iyi ve homojen olarak hazırlanan çözelti, kaplanacak yüzey (altlık) üzerine damlatılarak veya dökülerek, çözücünün kontrollü olarak buharlaşması sağlanarak ince film tabaka kaplanır. Kaplanan ince film tabakanın kalınlığı, kullanılan çözeltinin konsantrasyon ve spin-kaplama cihazının döndürme hızına bağlıdır [175].

4.3. Elektropolimerizasyon Yöntemi

Elektrokimyasal polimerizasyon yöntemi, iletken polimerlerin sentezlenmesi için en çok kullanılan yöntemlerden biridir ve OFET'lerin elektrokimyasal büyütülmesi 1980'lerin sonlarına doğru bildirildi. Bu yöntem, konjuge (iletken) polimer (CP)'lerin diğer uygulamalarında avantajlı olmalarına rağmen, OFET'lerin uygulanmalarında dezavantajları çoktur. İlk olarak, elektropolimerizasyon sadece iletken altlıklar üzerine oluşturulur. Bu nedenle, yarıiletken ilkin kaynak ve kanal elektrodları üzerine büyütülür, yarıiletken üzerine onun büyütülmesi, kaplamanın yanal genişlemesi ile gerçekleştirilir. Böylece, çok düzensiz bir film ile düşük kaliteli yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi oluşur. İkincisi, CP onun oksitli yarıiletken şeklinde elde edilir ve yarıiletken olması için azaltılmalıdır (genelde elektrokimyasal olarak). Bugün, OFET'lerin üretiminde, bu yöntem artık kullanılmamaktadır [138].

4.4. Altlık ve Yalıtkan Seçim Metodu

OFET'lerin çoğu, bir silikon altlık üzerine yapılmakta ve yalıtkan olarak silikon oksit kullanılmaktadır. Ancak, organik malzemelere yani plastik altlıklar üzerine yapılan elektronik cihazlara olan ilginin fazla olması, silikon tabanlı altlıklar için bir dezavantajdır. Silikon tabanlı yapının ikinci önemli bir dezavantajı, aynı altlık üzerine yapılan transistörlerin geçit'lerinin ayrı ayrı ele alınamamasıdır. Çünkü, bu durum entegre devrelerin oluşturulmasını engellemektedir.

Plastik altlıklar üzerine OFET'lerin üretilmesi için birkaç deneme yapılmıştır. Bununla ilgili çalışmalardan ilki, CNRS Materiaux Moleculaires Laboratoire'deki bir grup tarafından bildirildi. Malzeme, ilk olarak cam bir altlık üzerine yapıldı ve yalıtkan olarak spin-kaplamalı organik polimer kullanıldı [106]. Daha sonra cam altlık, polimer film (Polyimide) ile değiştirildi. Bu malzemelerin karakteristikleri, silikon veya cam üzerine yapılanların karakteristikleri ile kıyaslanabilir ve bükülebilir esnek altlık üzerine yapılan malzemenin performansında önemli bir kayıp olmadığı görülmektedir. Ancak, bu malzemelerde organik yarıiletken ve metal elektrotlar vakum buharlaştırma ile kaplanılırdı. Son zamanlarda, Garnier ve arkadaşları, polimerik bir altlık üzerine baskı tekniği ile hazırlanmış bir OFET'i araştırdı. Aslında, sadece elektrotlar gerçekten baskı tekniği ile kaplandı. Bell Laboratuvarındaki bir grup tarafından, bir adım daha atıldı. Onlar ITO-kaplı bir polyester altlık üzerine tamamen baskılı malzeme ürettirler; sonraki tüm tabakalar üzerine, yani polyimide yalıtkan üzerine, yarıiletken poly(3-alkylthiophene) ve son olarak iletken bir mürekepten oluşan kaynak ve kanal elektrodu, paslanmaz çelikten yapılmış maskeler kullanılarak baskı yöntemiyle kapladılar. OFET'lerin yapımında kullanılan tüm bileşenler, ticari olarak uygundur [138].

5. DİELEKTRİK MALZEMELER

Dielektrik malzemeler, doğada katı, sıvı ve gaz halinde bulunup, her birinin kendisine ait moleküler yapıları vardır. Atomik yapısında serbest yük bulundurmeyen dielektriklere ideal dielektrikler denilmektedir. Malzemeye, bir elektrik alan uygulandığında, enerji depolama yeteneğine sahip ise, dielektrik olarak adlandırılır. Dielektrik malzemelerin yasak enerji aralığı, 4 eV'dan daha büyüktür. Dielektrik malzemeler, elektriği iletmemelerine rağmen, uygulanan elektrik alanından etkilenmektedirler. Dielektrik malzemeler, yüzeylerinde elektriksel yük depolama sağladıklarından kondansatör yapımında kullanılırlar. Elektrik devresinde yük taşınımını engellediklerinden dolayı yalıtkan olarak kullanılırlar.

Organik alan etkili transistörler, yüksek dielektrik katsayısına sahip, SiO_2 , BaTiO_3 , Al_2O_3 ve SiNx gibi inorganik yalıtkan tabaka ve polimer yapılı yalıtkan tabaka olarak polimetilmetakrilat (PMMA), polivinil fenol (PVP) ve polivinilalkol (PVA) gibi organik yalıtkan tabaka olmak üzere başlıca 2 çeşit yalıtkan tabakadan oluşmaktadır. Bu yalıtkan tabakadan oluşturulan transistör, yapısına ve tasarımıda istenilen özelliklere bağlı olarak tasarlanmaktadır [179].

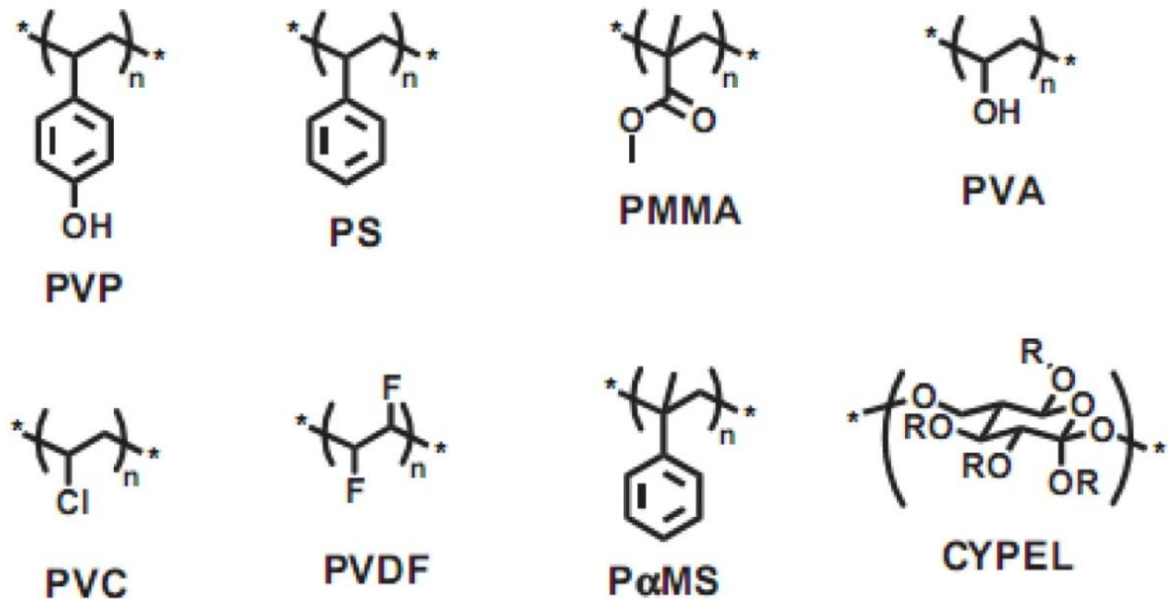
1958 yılında, polimerler ile ilgili ilk dielektrik çalışmalar yapılmıştır. Polimerlerin dielektrik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, genellikle dielektrik kayıpların ve dielektrik sabitinin, frekansa ve sıcaklığa bağlı değişimleri araştırılmıştır. Polimerlerin dielektrik sabiti, genellikle 1.9-2.0'dan daha büyük olup, frekansa ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Genellikle, frekans artarken dielektrik sabiti azalmakta ve yüksek frekanslarda ise sabit kalmaktadır.

Organik alan etkili transistör üretiminde, organik yarıiletken malzeme seçimi transistörün veriminde etkili olduğu kadar, uygun geçit yalıtkan (dielektik) malzeme seçimi de etkilidir. Çünkü OFET'lerde kullanılan dielektrik yalıtkan tabaka, mobilite, açma/kapama oranı, eşik voltajı gibi transistör parametreleri üzerinde önemli bir faktördür [180]. Alan etkili transistörlerdeki verimin iyi olması için; dielektrik (yalıtkan) malzeme, yüksek dielektrik katsayısına sahip olmalı, altlıklar üzerinde homojen düzgün bir film yapısı sağlanmalı, istenmeyen tuzak etkisinden kurtulmak için minimum safsızlık içermeli, organik yalıtkan özelliği sergiliyor ise homojen ve kaliteli bir film elde etmek için en iyi

bir kimyasal çözücünde çözünmesi sağlanmalı ve yüksek sıcaklıklarda termal kararlılık göstermelidirler.

Peng ve arkadaşları tarafından, alan etkili mobilitelerinin organik yarıiletken yapılarındaki farklı polimerik yalıtkan etkisi üzerinde ilk kapsamlı çalışma yapılmıştır [106]. 1990 yılında Peng tarafından yapılan CYEPL (siyanaetilpulluan), PVA (polivinilalkol), PVC (polivinilklorür), PMMA (polimetilmetakrilat) gibi farklı yalıtkanlar kullanılarak, hazırlanan transistörlerde yalıtkanın ϵ değeri ile alan etkili mobilite değeri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir [106]. Son yıllarda Veres ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, yapı içerisindeki taşıyıcı yüklerin oluşumunda kaplanan organik yarıiletken malzemesinin yapısı önemli olduğu kadar, yalıtkan ve yarıiletken malzemeler arasındaki uyumun da çok önemli olduğu görülmüştür [159]. Chua ve arkadaşları, BCB gibi hidroksil grubu içermeyen yalıtkan malzemeleri n-kanallı konjuge polimer yapılı alan etkili transistör (FET) üretiminde kullanmışlardır [181].

Organik elektronik teknolojilerin uygulamaları için gerekli yalıtkan (dielektrik) tabaka, spin-kaplama, dökerek-kaplama ve baskı tekniği gibi temel kaplama teknikleri ile yapılması en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Çünkü bu tekniklerle hazırlanan dielektrik tabaka çok verimli bir tabaka özelliği göstermektedir. Şekil 5.1’de, organik alan etkili transistörlerde yalıtkan olarak kullanılan bazı polimerlerin kimyasal yapıları gösterilmektedir.



Şekil 5.1 OFET’lerde yalıtkan olarak kullanılan bazı polimerlerin kimyasal yapıları [126].

Organik alan-etkili transistörlerin performansı, düşük kusur yoğunlukları ile aktif arayüzeylerde oluşturulan yüksek-verimli dielektriklerin kullanımına ciddi bir şekilde bağlıdır. Aynı şekilde, silikon MOS teknolojisi alanında, Si-SiO₂ arayüzeyinin kalitesi ile çok önemli gelişmeler kaydedilmiş ve son zamanlarda organik FET'ler için dielektrikler önemli bir ilgi görmektedir [61].

Düşük-voltajlı OFET'ler için, Al₂O₃ ($\epsilon=8-10$), TiO₂ ($\epsilon=20-41$) veya TiO₂ nanoparçacıkları ile yüklü polivinilfenol gibi çeşitli çözünabilir-işlemli yüksek-k dielektrikleri literatürde kullanılmaktadır. Polyvinilfenol ($\epsilon=4.5$) veya siyanaetilpulluan (CYEPL) ($\epsilon=12$) gibi birçok polar, yüksek-k polimer dielektrikleri, aygıt çalışma süresince iyonik safsızlıkların sürüklenmesinden kolay etkilendiği ve hidroskopik olduğu için sıradan TFT uygulamaları için kullanılamaz [125].

Veres ve arkadaşları, amorf PTAA ve diğer polimerlerin alan-etkili mobiliteleri, $\epsilon>3$ ile düşük-k dielektrikleri kontağı daha yüksek k'lı dielektriklerden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir [159]. Düşük-k dielektrikleri, aynı zamanda geçit alanının etkisi altında sürüklenabilen, aygıt kararsızlığına sebep olan iyonik safsızlıklardan daha az etkilenme avantajına sahiptir.

İdeal olarak, geçit dielektrik kalınlıkları, kanal uzunluğundan büyüklük olarak 1 kat daha küçük olmalıdır. Bu şekilde, geçit voltajı (eşik voltajı için doğrulanan) kaynak-kanal (D) voltajını aştığı zaman, bir FET akımının doyumu (saturasyonu) altmikrometre kanal uzunlukları için bile elde edilebilir. Geçit dielektriğin kompozisyonu ve kimyasal saflığı arayüzey yük taşıması üzerinde önemli etkilere sahiptir.

6. ORGANİK ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖR KARAKTERİSTİKLERİ

6.1. Akım-Voltaj Karakteristikleri

Bell Labs grup tarafından farklı bir model önerilmiştir [182]. Onlar, sabit mobilitayı ve tuzaklı-serbest malzemeleri varsaydılar, fakat iki ilginç gelişme tanımlandı. Birincisi, onlar kaynak ve kanala elektrodun ölçülebilir direncini ve yalıtkan tabaka içindeki sızıntıyı dikkate aldılar. Daha ilginç olanı, onlar aynı zamanda kısa kanalın kullanımı ile uyarılan iki etkiyi gerçekleştirmeye çalıştılar. Kanal uzunluğu, kaynak ve kanal tükenim tabakası genişliği ile kıyaslanabildiği zaman kanal kısalması diye adlandırılan durum oluşur, bu durumda kademeli kanal yaklaşımı artık geçerli olmaz. Böylece, kanal uzunluğu L yalıtkan bölgenin kanala uzunluğu ΔL ile ilişkisi, $L_1=L-\Delta L$ şeklindedir. $\Delta L=0$ durumunda $V_d < V_{d,sat}$ olur $\Delta L \propto V_{d,sat} - V_d$ durumunda $V_d > V_{d,sat}$ olur. Burada $V_{d, sat}$, kanal doyum (saturasyon) voltajıdır. Kanal kısalma etkisi, doyum (saturasyon) bölgesinde kanal akımının yavaş bir artışıdır, bu özellik Hotta ve Waragai [163] tarafından bildirilen dimetil oligotiyofen'ler için söz konusudur. İkinci kısa kanal etkisi, alana bağlı mobilitayla ilgilidir ve diğer organik malzemelerde görülen benzer bir durum 10^5 V/cm üzerinde kaynak-kanal alanları için oluşur.

Son zamanlarda OFET'lerin açma-kapama oranının hesaplanması için modeller geliştirilmiştir. OFET'lerin çalışma modunu tamamiyle tanımlamak için toplanma bölgesinin yeterli olmadığını görülmüştür, ayrıca tükenim modunda çalışıldı ve bu geçit voltajının işareti tersine çevrildiği zaman oluşur. Tükenim bölgesi için, Şekil 6.1 gösterilebilir. Şekil 6.1, yarıiletken önemli katkılama seviyesine sahip olması durumunda gerçekleşir. Sıfır geçit voltajında, bir kanal (D) akımı akar ve pozitif bir geçit besleme uygulanarak azalmaktadır (p-tipi materyal durumunda). Tükenim bölgesinin prensibi, MESFET'inkine oldukça benzer olup, MESFET'lerden farklılıkları da vardır. MESFET'in aksine TFT bir yalıtkan geçit cihazıdır. Buna göre,

$$W(x) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s[V(x)+V_{bi}-V_g]}{qN_d}} \quad (6.1)$$

denklemini,

$$W(x) = \frac{\varepsilon_s}{C_i} \left[\sqrt{1 + \frac{2C_i^2(V_g - V_{fb} + V(x))}{qN\varepsilon_s}} - 1 \right] \quad (6.2)$$

şeklinde değişir [138]. Burada, V_{fb} düz bant potansiyeli, N ise katkılamaların (yarıiletkenin n veya p -tipi olmasına bağlı olarak donör veya akseptörün) konsantrasyonudur. Kanal akımı,

$$dV = I_d dR = I_d \frac{dx}{q\mu N_d Z[d - W(x)]} \quad (6.3)$$

eşitliği integre edilerek elde edilir. Denklem (6.3)'de, genelde inorganik yarıiletkenlerde olduğu gibi, taşıyıcıların konsantrasyonunun donör konsantrasyonuna N_d eşit varsayıldığı görülmektedir. Thiais grubunun modelinde [138], katkılama seviyesi N ve taşıyıcı yoğunluğu n arasında bir ayırım tanımlanır. En basit durumuyla, dielektrik kapasitansı $C_s = \varepsilon_s/d$, C_i 'den daha büyük ve yarıiletken film, yalıtkan tabakadan daha ince olduğu OFET'lerde söz konusudur. Lineer ve doyum (saturasyon) bölgelerindeki kanal akımı, sırasıyla

$$I_d = \frac{W}{L} \mu \frac{n}{N} C_i (V_p - V_g) V_d \quad (6.4)$$

ve

$$I_{d,sat} = \frac{W}{2L} \mu \frac{n}{N} C_i (V_p - V_g)^2 \quad (6.5)$$

ile verilir ve kısıtılma voltajı,

$$V_p = \frac{qNd^2}{2\varepsilon_s} \left(1 + 2 \frac{C_s}{C_i} \right) + V_{fb} \approx \frac{qNd}{C_i} + V_{fb} \quad (6.6)$$

ile verilir.

Eğer tükenim ve toplanma bölgelerindeki mobiliteler, aynı olduğu varsayılırsa, n ve N arasındaki fark, bozukluklar tarafından uyarılan tuzaklara atfedilmektedir. 6T için n/N oranını 10^{-2} ile 10^{-3} arasında bulunması ilginçtir, fakat bu oran DH6T için 1'e yakındır. Ayrıca denklem (6.6)'dan, açma-kapama oranının gelişimi, kısıtılma voltajı azaltılarak sağlanabilir ve bu hem yarıiletken filmin kalınlığı hem de onun katkılama seviyesi azaltılarak yapılabilir.

n ve N arasındaki bir diğer farklılık da Brown ve meslektaşları, tarafından bildirilmiştir [115,158], onlar bu farklılığı Fermi seviyesinin altındaki durumların dağılımına atfetmektedirler. n/N oranı, düzensiz bir polimerde (politiyofen'in türevi) 0.01 ve düzenli pentasende 0.25 olarak bulundu. Bu araştırmacılar, ayrıca yaptıkları OFET'lerin açma-kapama oranını tahmin etmek için bir model de geliştirdiler [115]. Onlar, yarıiletkenin katkılama seviyelerine bağlı olarak iki sınırlayıcı durum tanımladılar. Yüksek katkılama seviyesinde, açma-kapama oranı,

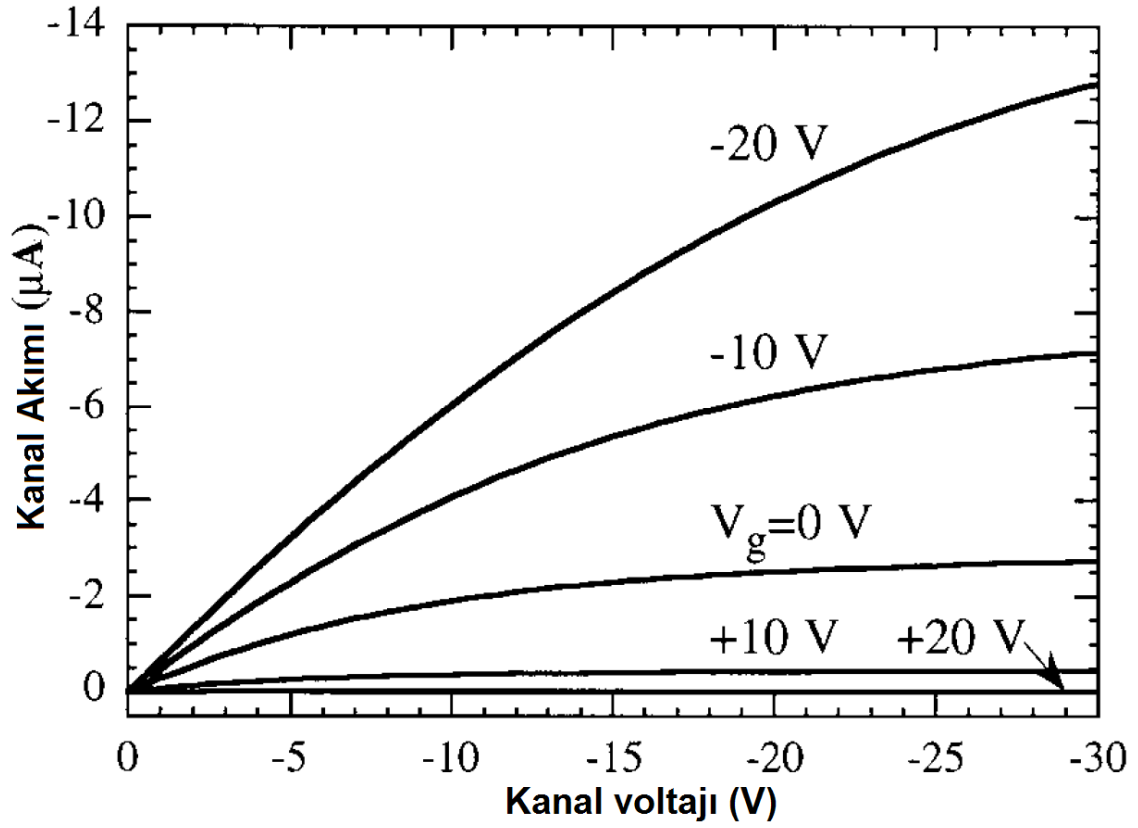
$$\frac{I_{on}}{I_{off}} = 1 + \frac{\mu}{\sigma} \frac{C_i V_d}{2d} \quad (6.7)$$

ile verilir. Fakat düşük katkılama seviyesinde açma-kapama oranı

$$\frac{I_{on}}{I_{off}} = \frac{\mu}{\sigma} \frac{C_i^2 V_d^2}{q N_a d^2} \quad (6.8)$$

ile verilir.

Açıkçası, açma-kapama oranı sadece mobilitenin iletkenliğe oranına bağlı değildir. Ayrıca, birim alan başına yüksek kapasitansa sahip yalıtkan kullanılarak ve yarıiletken tabakanın katkılama seviyesi ve kalınlığı azaltılarak açma-kapama oranı artırılabilir.



Şekil 6.1 Bir DH6T-esaslı OFET'in, hem toplanma ($V_g < 0$) hem de tüketim ($V_g > 0$) durumundaki kanal akım-voltaj karakteristiği [138].

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Bir lineer bölgede kanal (D) akımı,

$$I_{ds} = \frac{w}{L} \mu C_i \left[(V_g - V_{th}) V_d - \frac{V_d^2}{2} \right] \quad (6.9)$$

ile ifade edilebilir [183]. Burada I_{ds} kanal(D)-kaynak(S) akımı, w kanal genişliği, L kanal uzunluğu, C_i oksit tabakasının kapasitansı, V_g geçit voltajı, μ mobilite ve V_{th} eşik voltajıdır. Öte taraftan, doyum (saturasyon) bölgesindeki kanal (D) akımı,

$$I_{ds} = \frac{w}{2L} \mu C_i (V_g - V_{th})^2 \quad (6.10)$$

ile ifade edilebilir [113]. Bir transistörün V_{th} ve μ değerleri V_g 'ye karşı $I_{ds}^{1/2}$ grafiklerinden belirlenmektedir.

Transistör için toplam tuzak yoğunluğu,

$$N_{tuzak} = \frac{C_i |\Delta V_{th}|}{q} \quad (6.11)$$

ile belirlenebilir [184]. Organik ince film transistörü için ters alt-eşik eğimi SS,

$$SS = \frac{kT}{q} \ln 10 \left(1 + \frac{C_{dep} + C_{it}}{C_{ox}} \right) \quad (6.12)$$

şeklinde tanımlanabilir [185]. Burada, C_{dep} tükenim kapasitesi, C_{it} arayüzey kapasitansı ve C_{ox} oksit tabakasının kapasitansıdır. I_{on}/I_{off} ve S değerleri, V_g 'ye karşı $\log(I_{ds})$ grafiğinden belirlenmektedir.

Bir transistörün çalışma mekanizmalarının analizi için,

$$I_{ds} = kV^m \quad (6.13)$$

ifadesi kullanılmaktadır [185]. Burada, k bir sabit ve m yük taşıma mekanizmasını belirleyen üs'dür. Çift logaritmik skalada, daha yüksek voltajlarda, $\log V$ 'ye karşı çizilen $\log I$ eğrileri lineer bir bölgeyi gösterir, bu lineer bölge akım taşıma mekanizmasının bir yük taşıma mekanizması ile kontrol edileceğini gösterir.

Bir aydınlatma değeri altında, transistörün fotoakımının karanlık akımına oranı (I_{ph}/I_{dark}) fotoduyarlık olarak tanımlanır. Görünür ışık altında transistörün fotocevap mekanizması,

$$R_{L/D} = \frac{I_{foto}}{I_{karanlık}} = kP^\gamma \quad (6.14)$$

ile analiz edilebilir [186]. Burada, I_{foto} aydınlatma altında kanal-kaynak (D-S) akımı, $I_{karanlık}$ karanlıkta kanal-kaynak (D-S) akımı, k bir sabit ve P aydınlatma şiddeti ve γ ise bir sabittir.

Herhangi organik ince film transistörünün performansı için, bir diğer önemli parametre, alt-eşik salınım değeri olup transistörün açma hızının bir ölçüsüdür ve

$$S = \left[\frac{d \log(I_d)}{dV_g} \right]^{-1} \quad (6.15)$$

ile belirlenebilir [187].

6.2. Alan Etkili Transistörlerin Performans Karakteristikleri

1987'deki ilk rapordan beri, OFET'lerin performansı sürekli gelişmektedir. Son yıllarda, gerçek buluşlar görülmektedir ve OFET'ler, şimdilerde amorf silisyum malzemeleri gibi diğer ince film transistörleri ile rekabet edebilirler. Özellikle yüksek sıralı filmlerin üretilmesinden dolayı gelişmeler sağlanmıştır ve bu nedenle küçük moleküller polimerlerden daha önemlidir. MOSFET'lerin açma-kapama oranları, 10^9 mertebesinde, oysa Si:H TFT'lerde bu oran, 10^6 ile sınırlıdır [138].

Transistörlerin performans parametreleriyle, hazırlanan transistörün performans ve karakteristikleri belirlenerek elde edilen transistör hakkında fikir sahibi olunmaktadır [140]. Organik alan etkili transistör (OFET)'lerin performans karakteristikleri, yukarıda da tanımladığımız;

1. Alan etkili mobilite değeri
2. Açma/kapama oranı
3. Geçiş iletkenlik değeri
4. Eşik voltajı
5. Alt eşik salınım değeri gibi parametreler olup OFET'lerin analizi için son derece önemlidir.

6.2.1. Mobilite

Sürüklenme mobilitesi μ , yük taşıyıcı hızının v , elektrik alana E bölümü olarak tanımlanmaktadır. Bir OFET'de, mobilite, temel bağıntıdan çıkarılabilir.

$$\mu = \frac{v}{E}, v = \frac{I_{DS}}{WQ} \quad (6.16)$$

Burada W , OFET kanalının genişliği ve Q kanal alan başına uyarılan yüküdür. Eğer I_{DS} , $|V_{DS}| \ll |V_{GS} - V_T|$ besleme şartı altında ölçüldüğü zaman, tüm kanal boyunca elektrik alanı yaklaşık olarak sabit olup E ifadesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$E = \frac{V_{DS}}{L} \quad (6.17)$$

Burada L kanalın uzunluğudur. Ayrıca bu besleme şartında, Q kapasitans-voltaj ($C-V$) ölçümleri ile belirlenebilir, kanalda uyarılan toplam yük kanal boyunca dağılmaktadır.

Uyarılan yük ve mobilitayı belirlemek için C-V ölçümlerinin bu kullanımı, silikon MOSFET'leri karakterize etmek için kullanılmıştır [124].

$$\mu = d/(\tau F) \quad (6.18)$$

ile doğrudan tahmin edilebilir, burada F elektrik alanın büyüklüğü, d yükler tarafından katledilen toplam mesafe (alana bağlı, sıçrama yönüne bağlı olarak pozitif ve negatif katkılar olarak özetlenebilir) ve τ transfer oranlarının tersinin toplamı olarak hesaplanan toplam zamandır [125].

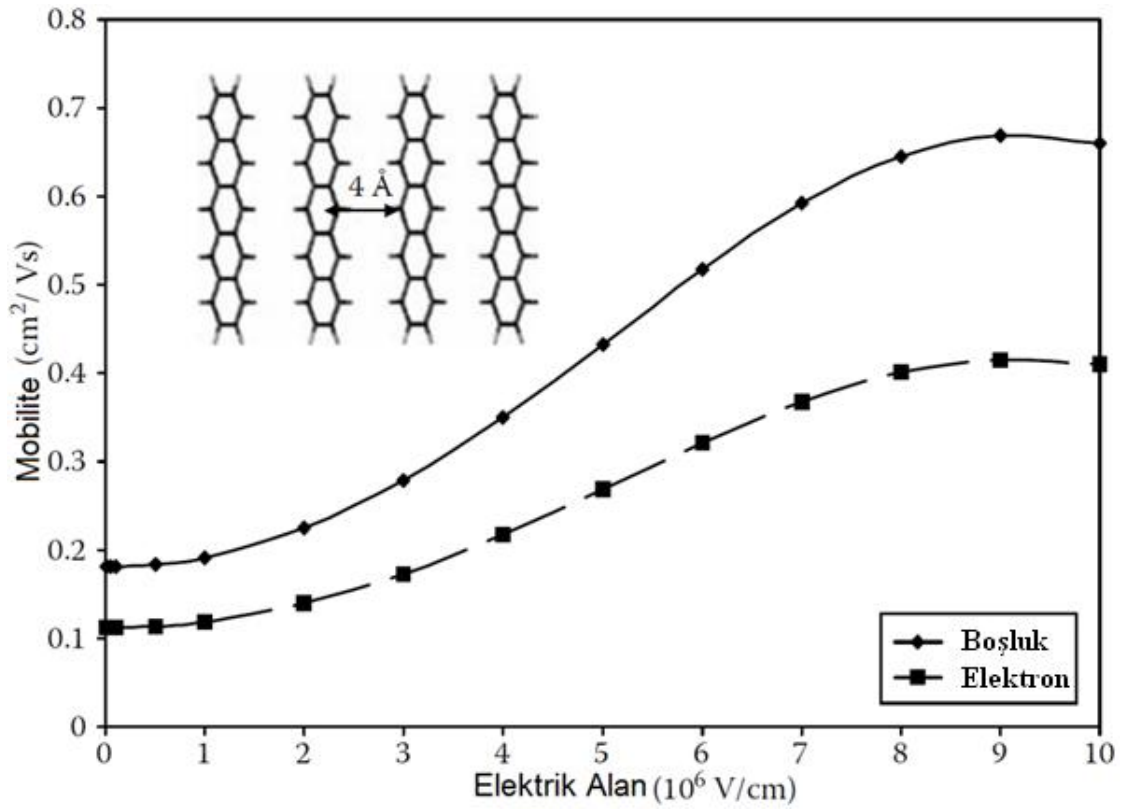
6.2.1.1. Elektrik Alanın Etkisi

Organik malzemelerde, yüksek elektrik alanında ($\sim 10^5$ V/cm'den daha büyük alanlarda) mobilitenin elektrik alana bağlı olması yük taşımının genel bir özelliğidir. Bu durum, Poole-Frenkel mekanizması ile oluşur [167] ve burada lokalize seviyelerin yakınındaki coulomb potansiyeli, siteler arasında tünel transfer hızını artırarak uygulanan elektrik alanla değişir. Mobilitenin elektrik alana bağıllığı,

$$\mu(F) = \mu(0) \exp\left(\frac{q}{kT} \beta \sqrt{F}\right) \quad (6.19)$$

ifadesi ile verilir. Burada, $\mu(0)$ sıfır alandaki mobilité, $\beta=(e/\pi\epsilon\epsilon_0)^{1/2}$ olup Poole-Frenkel faktörü ve F elektrik alanın büyüklüğüdür.

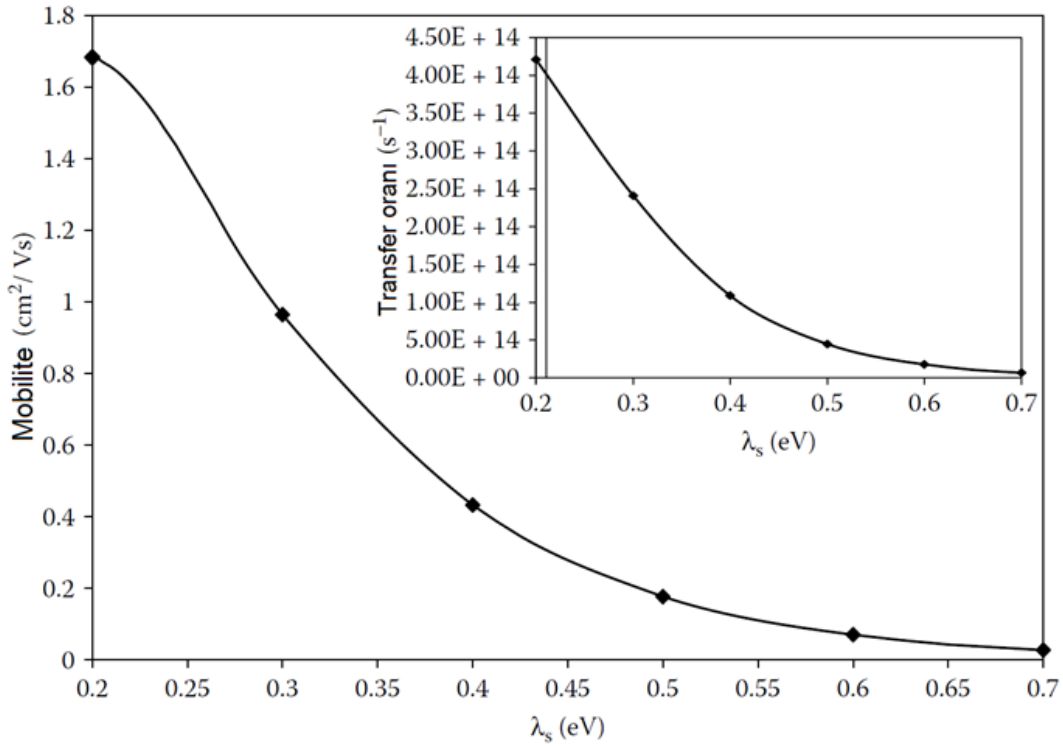
4 Å'da moleküller arası mesafe ile cofacial yapılandırmada pentasen moleküllerin tek-boyutlu serisi için hesaplanan boşluk ve elektron mobilitelerinin elektrik alana bağıllığı Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Simülasyonlar, 0.4 eV dış düzenleme enerjisi için 300 K'de gerçekleştirildi. Elektrik alan 10^4 'den 10^7 V/cm'ye değişirken mobilité hem elektronlar hem de boşluklar için yaklaşık dört kat kadar artmaktadır. Yük hızı (d/τ) alanın büyüklüğünden daha hızlı artmaktadır. Herhangi bir alanda boşluk ve elektron mobiliteleri arasındaki oran transfer oranlarına karşılık gelen orana benzemektedir. Hesaplanan mobilité değerleri (10^{-1} -1 cm^2/Vs oranında) mantıklıdır; pentasen ince filmler ve kristaller için bildirilen mobiliteler genellikle 0.1-5 cm^2/Vs oranındadır [125].



Şekil 6.2 4 Å'da moleküller arası mesafe ile cofacial yapılandırmada pentasen moleküllerin tek-boyutlu serisi için hesaplanan boşluk ve elektron mobilitelerinin elektrik alana bağlılığı [125].

6.2.1.2 Reorganization Enerjisinin Etkisi

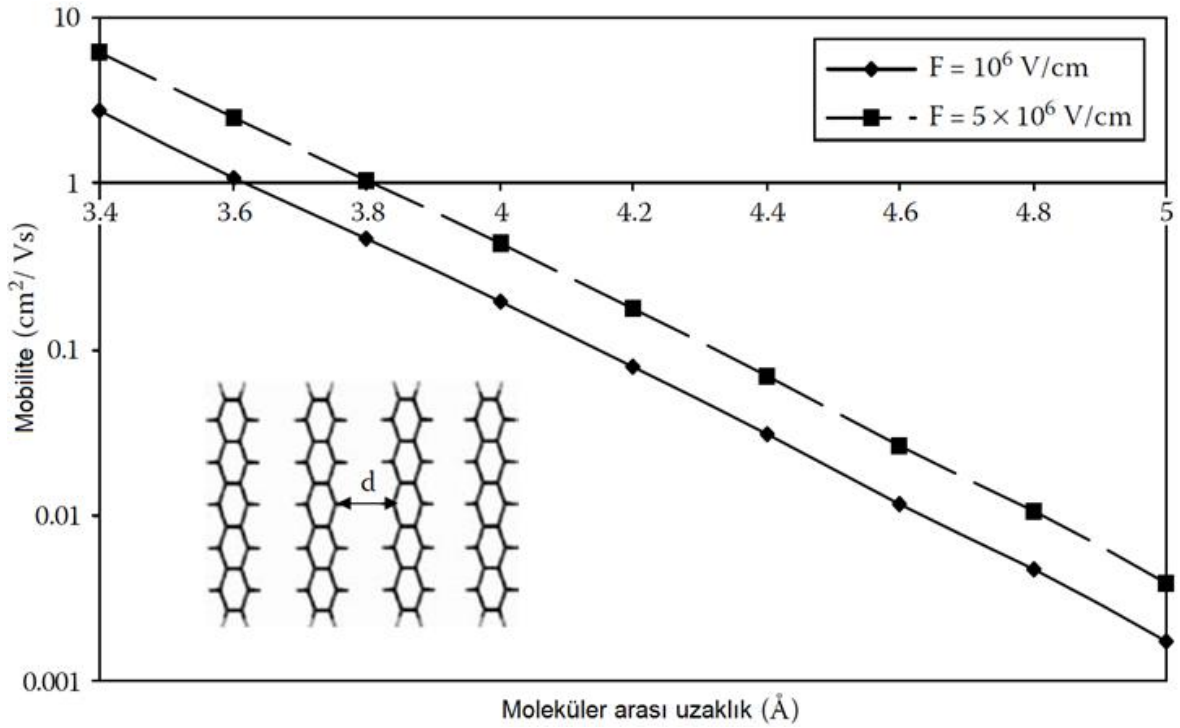
Dış reorganization enerjisi özel durumlarda (örneğin, moleküller yapı kusurlarına yakın yerleştiği zaman veya metalik elektrodların yakınında) değişebileceği için, λ_s 'nin büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak boşluk mobilitelerini geliştirmenin yolu araştırılmaktadır. Monte Carlo simülasyonları, pentasen moleküllerinin aynı tek-boyutlu dizisi üzerine sabit 5×10^6 V/cm elektrik alanda ve 300 K de gerçekleştirildi. Mobilitenin λ_s 'ye göre değişimi, Şekil 6.3'da görüldüğü gibidir. Mobilité, λ_s ile azalmaktadır. Mobilité λ_s 'nin 0.2 den 0.4 eV veya 0.4 den 0.6 eV'a artışı için yaklaşık beş kat civarında azalmaktadır. 0.7 eV'dan sonra mobilité güçlü bir şekilde engellenmektedir.



Şekil 6.3 Mobilitenin λ_s 'ye göre değişimi [125].

6.2.1.3. Moleküller Arası Mesafenin Etkisi

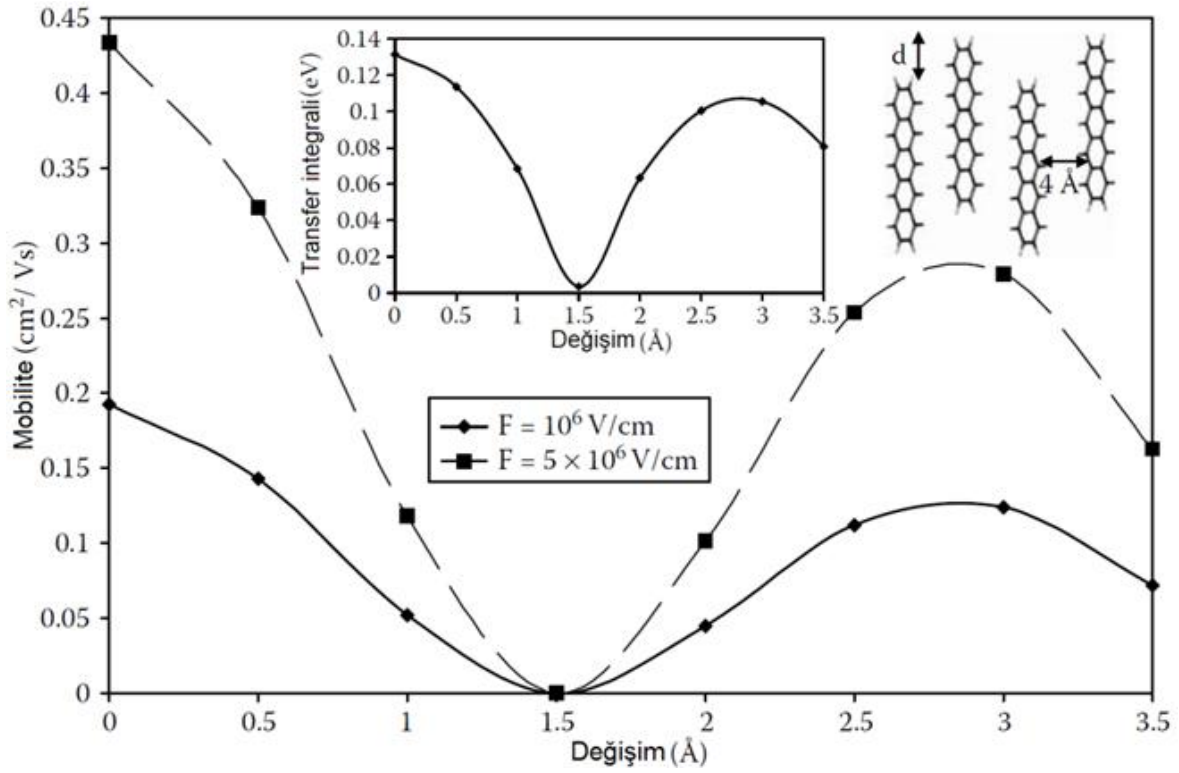
Moleküller arasındaki mesafedeki değişimler, konjuge omurgaya ilave edilen substituents'ler ile değişebilir. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi, 3.4 ve 5 Å arasında moleküller arası ayrışma değişirken, pentasen moleküllerin bir-boyutlu dizisinde boşluk mobilitelerinin gelişimi açıklanmaktadır. Simülasyonlar, elektrik alanın iki farklı büyüklüğü (10^6 ve 5×10^6 V/cm) için $\lambda_s = 0.4$ eV ile gerçekleştirilmiştir. Bütün durumlarda, mobiliteler moleküller arası mesafedeki artış ile üssel olarak azalmaktadır ve elektrik alanın büyüklüğüne bağlı olarak katı bir şekilde değişmektedir. Bu değişim, transfer integrallerin gerisine çizilmelidir, çünkü HOMO'lar arasındaki çakışma mesafe ile üssel olarak azalmaktadır.



Şekil 6.4 Moleküler arası mesafeye bağlı olarak mobilitenin değişimi [125].

6.2.1.4. Moleküller Dönüşümlerin Etkisi

Stacking (küme) eksenine paralel veya dik yöndeki dönüşüm moleküllerin etkisi incelenmektedir. Stacking eksenine dik d mesafesi ile her diğer molekül için dönüşüm olduğu durumdaki boşluk mobilitesinin değişimi, Şekil 6.5’de görülmektedir. Mobilite, iki komşu moleküllerin arasında uzaysal çakışmada ilerleyici azalmadan azalmaktadır. Fakat, hesaplanan değerler mesafe ile küresel olarak azalmaktadır. İki moleküllerin dalga fonksiyonları arasında elektronik çakışmadaki anti bağ etkileşimlerine karşı bağın sayısı arasındaki denge, transfer integralin büyüklüğünü ve bunun sonucunda boşluk mobilitesini belirler. Etkileşmenin bir çeşidi baskın olduğu zaman, maksimum durum gözlenirken, onlar arasında bir tazmin olduğu zamanda minimum durum gözlenmektedir.



Şekil 6.5 Stacking eksenine dik d mesafesi ile her diğer molekül için dönüşüm olduğu durumdaki boşluk mobilitesinin değişimi [125].

6.2.2. Alt Eşik Salınım Değeri

Herhangi organik ince film transistörünün performansı için, önemli bir parametre olan alt-eşik salınım değeri, transistörün açma hızının bir ölçüsü olup denklem (6.15) ile belirlenebilir. Alt eşik salınım değeri, bir transistörün açma-kapama oranı logaritmik olarak artan çıkış akımının açık durumundan kapalı durumuna bağlı olarak (V/decade) tespit edilmektedir. Hesaplanan eşik salınım değeriyle, farklı yalıtkanlar üzerine kaplanan organik yarıiletken malzemelerin transistör karakteristikleri üzerine etkisi incelenip, transistörün verimli/verimsiz bir transistör olduğu anlaşılmaktadır [140]. Alt eşik salınım değeri incelenerek, aynı şartlar altında hazırlanan transistörlerin performans özellikleri karşılaştırılabilir. Kaliteli bir transistörde, alt-eşik salınım değeri olabildiğince düşüktür. Ancak, organik yarıiletken/yalıtkan yüzeyinden kaynaklanan yüksek alt-eşik salınım değeri, akım-voltaj karakteristiklerinin ölçümü sırasında ileri ve geri ölçüm değerlerinin taranması esnasında istenmeyen eğri kaymalarına yani histerisis eğrileri şeklinde bozulmalara sebep olabilir. Alt eşik salınım değeri, genellikle yalıtkan ve yarıiletken arasındaki arayüzey tuzaklarına, yalıtkan ve yarıiletkenin yüzey morfolojisine, transistörün yapısal özelliklerine, transistör üretim ve ölçüm şartlarına ve transistörü oluşturan malzemeler içindeki tuzaklara bağlıdır [188].

6.2.3. Açma/Kapama Oranı

Alan etkili transistörler için önemli bir diğer parametre ise, açma/ kapama oranıdır. Açma/kapama oranı, transistörün transfer karakteristiğindeki (V_g 'ye karşı $\log(I_{ds})$ grafiğindeki) açık durumdaki kanal akımının kapalı durumdaki kanal akımına oranına olarak tespit edilir. Alan etkili transistörün iyi bir anahtarlama karakteristiğine sahip olması için, açma/kapama oranının yüksek olması gerekir. Açma/kapama oranı, kaynak-kanal elektrodlarındaki kontak direnci etkisi ihmal edilirse, transistörün mobilitesine, geçit yalıtkanın kapasitansına ve organik yarıiletken malzemenin iletkenliğine bağlı olarak değişir [140].

Pentasen OFET'lerin açma-kapama oranı 10^8 'e ulaştığı görülmektedir [29]. Son zamanlarda OFET'lerin açma-kapama oranının hesaplanması için modeller geliştirilmiştir. Açma/kapama oranının bağlı olduğu faktörler, denklem (6.8)'de anlaşılmaktadır. Buna göre, açm/kapama oranı, mobilitenin iletkenliğe oranı, birim alan başına kapasitans ile doğru, yarıiletken tabakanın katkılama seviyesi ve kalınlığı ile ters orantılıdır.

6.2.4. Geçiş İletkenlik Değeri

İki önemli teknolojik parametre, lineer bölgedeki kanal iletkenliği g_d ve geçiş iletkenliği g_m olup sırasıyla [138]

$$g_d = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_d} \right|_{V_g = \text{sabit}} = \frac{W}{L} \mu C_i (V_g - V_t) \quad (6.20)$$

ve

$$g_m = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_g} \right|_{V_d = \text{sabit}} = \frac{W}{L} \mu C_i V_d \quad (6.21)$$

ile verilmektedir. Doyum bölgesinde, kanal akımı ve transiletkenlik, sırasıyla

$$I_{d, \text{sat}} = \frac{W}{2L} \mu C_i (V_g - V_t)^2 \quad (6.22)$$

ve

$$g_m = \frac{W}{L} \mu C_i (V_g - V_t) \quad (6.23)$$

ile verilmektedir.

Brown ve arkadaşları [115], son zamanlarda düşük kanal voltajında mobilitiyi hesaplamak için geçiş iletkenlik denklemini (denklem (6.21)) kullandılar ve hem mobilité hem de aktivasyon enerjisinin geçit beslemesine bağılı olduğunu buldular.

Geçiş iletkenlik değeri, alan etkili transistörün kazanç katsayısı olarak tanımlanır. Organik alan etkili transistörlerde kullanılan yüksek mobilité değerine sahip organik yarıiletkenlerde, geçiş iletkenlik değeri artar. Geçiş iletkenlik değeri, kaliteli bir alan etkili transistörde yüksek olması istenir [122].

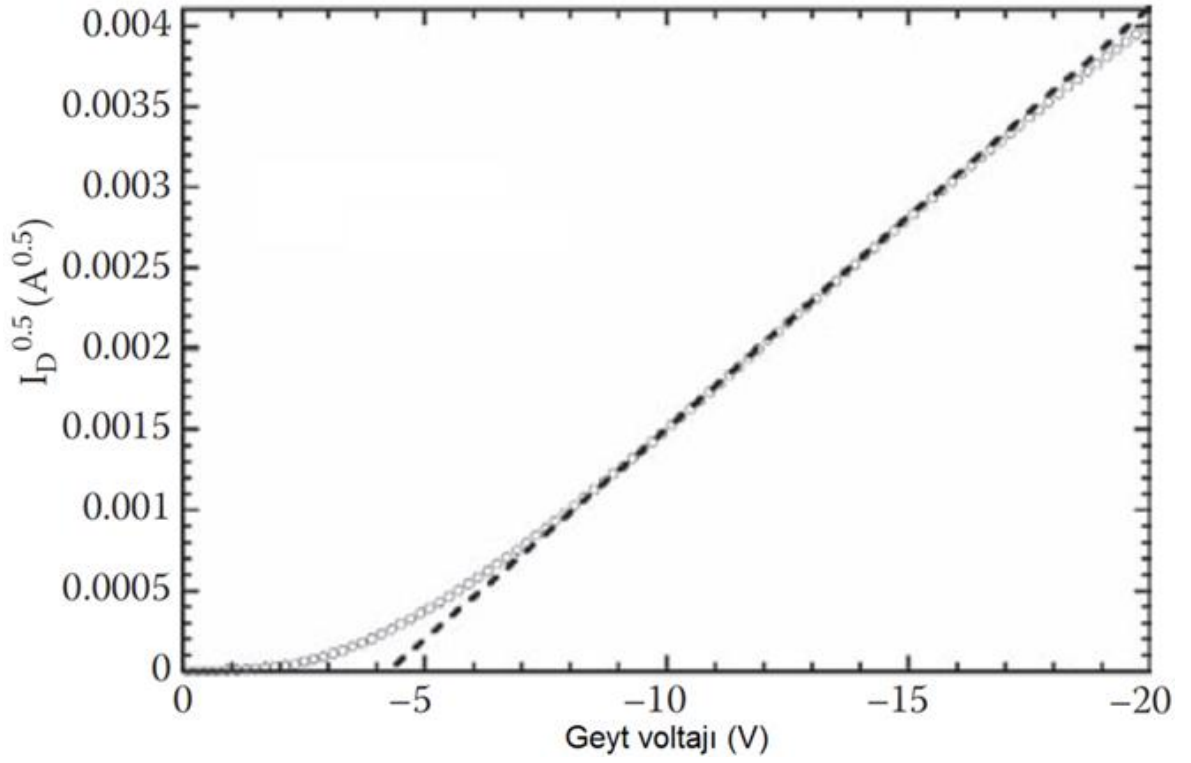
6.2.5. Eşik Voltajı

Mobilité, eşik voltajı gibi transistör parametreleri, transistörde kullanılan yalıtkan malzemenin kimyasal yapısına ve dielektrik özelliklerine bağılıdır [180].

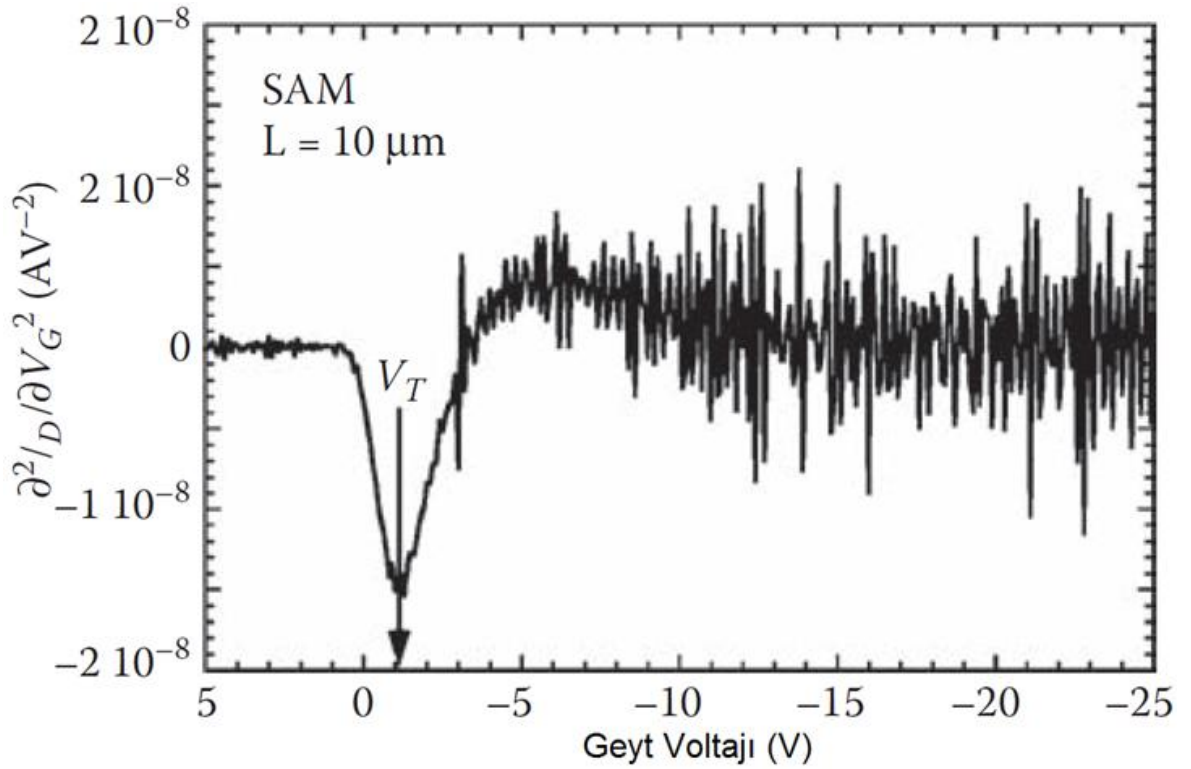
Geleneksel MOSFET’lerde eşik voltajı, önemli bir teknolojik parametre olup, devre modelinde önemli bir rol oynar. Eşik voltajını bulmak için, çeşitli metodlar geliştirildi. Bu metodların yeni bir gelişimi Ortiz-Conde ve arkadaşları tarafında ileri sürüldü [189]. Denklem (6.22)’a göre, eşik voltajı lineer bölgede düz bir çizgi şeklinde olup, $V_G = V_T$ ’de V_G eksenini kesmektedir. Fakat, geçit voltajına bağılı mobilité ve kontak direnci gibi birkaç etkiden dolayı, asıl eğri gerçek düz bir çizgi değildir. Bunun yerine, düşük geçit (G) voltajlarında yukarı doğru bir eğrilik, yüksek voltajlarda ise aşağı doğru bir eğrilik göstermektedir. Bu durum, Şekil 6.6’da gösterilmektedir.

Lineer bir bölgede eşik voltajı V_T ’yi tanımlamak için alternatif bir metod göstermek için, Wong ve arkadaşları [190] tarafından geliştirilen geçiş iletkenlik yük (TC) metodu seçildi, bu metod geçit (G) voltajının bir fonksiyonu olarak lineer kanal (D) akımının 2. türevini içermektedir (Şekil 6.7). Bu durumda V_T , eğrinin piki ile belirlenir.

Regiregular P3HT gibi düşük iyonlaşma potansiyeline (tipik olarak 4.9-5.0 eV’dan daha düşük) sahip p-tipi yarıiletken malzemeler, polimerin muhtemel katkılamasından dolayı, havaya maruz kalmasına bağılı eşik voltajının büyük pozitif V_T değişimi gösterme eğilimindedirler [174].



Şekil 6.6 V_g 'ye karşı $I_D^{0.5}$ ' grafiği. -10 ve -15 V arasında lineer bir fit yapılmış. Düşük geçit voltajında eğrinin eğriliği artmakta ve yüksek voltajda ise eğrilik azalmaktadır [125].



Şekil 6.7 Lineer bir bölgeden eşik voltajının hesaplanması için TC metodu [125].

6.2.6. Kontak Direnci

Kaynak-kanal (D) elektrodlarındaki kontak direnci etkisi ihmal edildiğinde, bu değer genellikle transistörün mobilitesine, geçit yalıtkanın kapasitansına ve organik yarıiletken malzemenin iletkenliğine bağlı olarak değişir. Eğer yüksek iş fonksiyonuna sahip ($C_r \approx 4.5$ eV) bir elektrod kullanılırsa, mobilite değeri, yüksek kontak direnç etkisinden dolayı biraz azalır [111].

6.2.6.1. Kontak Direncinin Hesaplanması

Kontak direncinin hesaplanması, basit akım-voltaj eğrisinden gerçekleştirilemez. Bunun için, kanal ve kontak dirençlerine bağımsız erişimi sağlayan özel tekniklere ihtiyaç duyulur. İlk yöntem transfer çizgi metodu (TLM)'dur, kontak direncini tahmin etmek için klasik teknikten uyarlanan bir methodur. Bu metod, çeşitli kanal uzunlukları ile benzer transistörlerin kanal direncinin ölçümünü içermektedir. Ölçülen direnç, aslında kanal ve kontak dirençlerinin toplamıdır. Ölçüm lineer bölgede gerçekleştirildiğinde (küçük kanal voltajı), kanal direnci L ile orantılı olur ve genişlik-normalize ($R \times W$) toplam direnç,

$$R \times W = \frac{L}{C_i \mu (V_G - V_T)} + R_c \times W \quad (6.24)$$

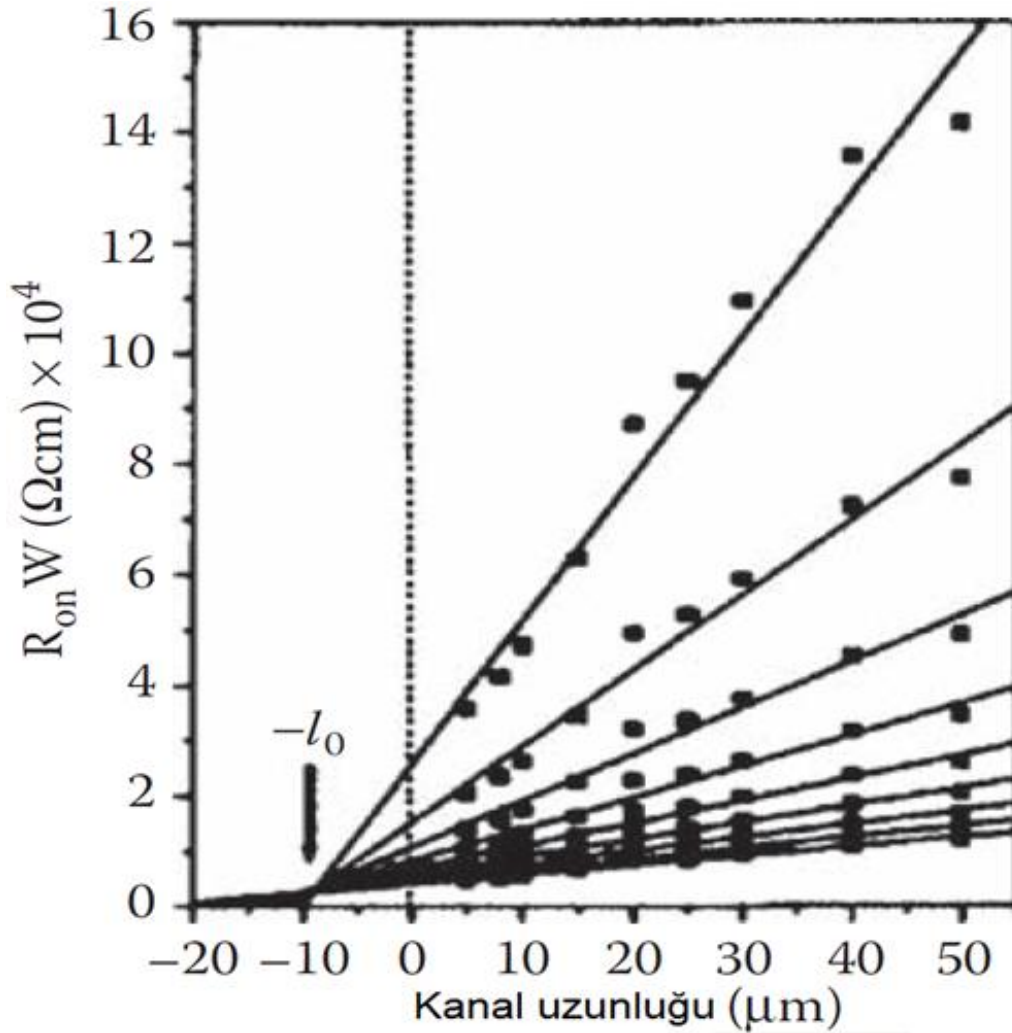
ile verilir.

Kontak direnci, kanal uzunluğunun (L) bir fonksiyonu olarak genişlik-normalize olmuş direncin (RW) grafiği ile belirlenir. Uzunluk ekseninde sıfır kesim noktası kontak direncini verirken, eğrinin eğimi transistör parametrelerini belirlemek için kullanılabilir. Bu metod, Şekil 6.8'de gösterilmektedir. Şekil 6.8'de verilen her bir çizgi verilen bir geçit (G) voltajına karşılık gelmektedir. Şekil 6.8, kontak direncinin aslında geçit voltajına bağlılığını göstermektedir; yani geçit voltajı arttığı zaman kontak direncinin azaldığını göstermektedir.

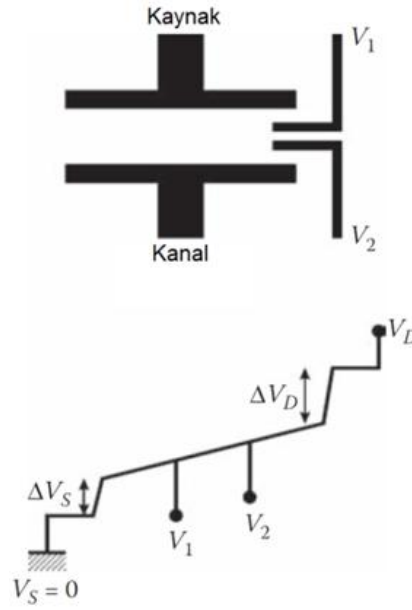
Ancak TLM (transfer çizgi metodu) birkaç dezavantaja sahiptir. Bunlardan birincisi, TLM farklı transistörler için ölçüm gerektirir ve kanal ve kontak dirençleri aynı çalışma süresince hazırlansa bile kanal ve kontak dirençleri kesinlikle onların tamamı için benzer olamaz. Bu durum, Şekil 6.8'de gösterildiği gibi verinin grafiği çizildiği zaman saçılmanın niçin ortaya çıktığının sebebidir. Daha sonra, denklem (6.24)'ün geçerliliği, kontak direncinin ohm kanununa uymasına bağlıdır. Bir diğer deyişle, bu metod lineer olmayan

kontak direnci durumunda kullanılmayabilir. Bu metodun, lineer bölgedeki ölçümleri (yani düşük kanal voltajlarında) gerektirdiği ve yalıtkan içindeki sızıntılara çok duyarlı olduğu görülmektedir. Son olarak, bu metod kanal (D)'daki ve kaynaktaki kontak direnci arasında bir ayırım yapamaz.

TLM (transfer çizgi metodu)'ye alternatif bir metod da dört-nokta probu olup, bu metod, iletken kanalda iki ek elektrodun tanımlamasını kapsamaktadır. Ölçülü bir büyüklükte, akım bütün kanal boyunca aynı kalır ve bu iki elektrod arasındaki voltaj azalması kontak direncinden etkilenmez, böylece gerçek kanal direncine erişimi sağlayacaktır. Ayrıca, Şekil 6.9'da gösterildiği gibi kanalın her bir tarafındaki kontak direnci artık bağımsız olarak tahmin edilebilir.



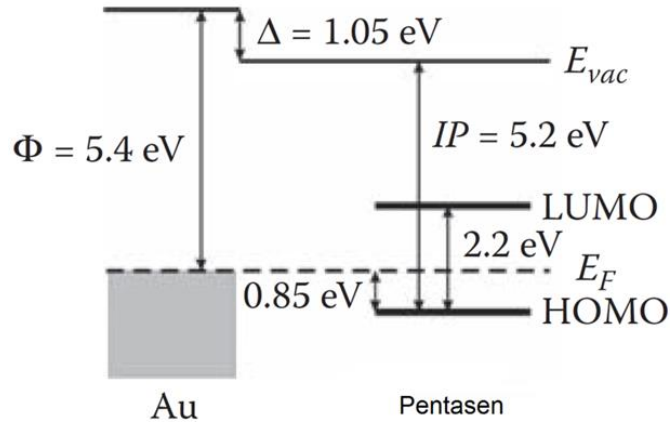
Şekil 6.8 Transfer çizgi metodunun gösterimi [191].



Şekil 6.9 Dört-prob tekniğinin prensibi [125].

6.2.6.2. Kontak Direncinin Kaynağı

Kaynak ve kanal (D) kontaklarını tanımlamak için en sık kullanılan şekil metal-yarıiletken eklemnin şeklidir. Geleneksel Mott-Schottky (MS) modeline göre [113], metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin p- veya n-tipine bağlı olarak, yarıiletkenin HOMO veya LUMO seviyesine yakın olduğu zaman kontakların ohmik olacağını beklemektedir. Eğer ters bir durum hakim olursa, metal-yarıiletken arayüzeyinde, yük enjeksiyonunun azalmasına sebep olan bir enerji engeli oluşur. Bu açıdan, Au-pentaseen arayüzeyi düşük dirençli kontak olarak iyi bir aday olabilir, çünkü pentaseenin iyonlaşma potansiyeli IP, ki IP HOMO seviyesi ve vakum seviyesi E_{vac} arasındaki enerji mesafesini ölçer, altının iş fonksiyonuna Φ yakındır (Şekil 6.10). Pratikte, gerçek direnç oldukça yüksektir. Arayüzeyin her iki tarafında enerji seviyelerini tam belirlemek için ultraviyole fotoelektron spektroskopisi (UPS) ve ters UPS kullanılmıştır. Daha önce tanımlanan dört-prob tekniği kaynak (S) ve kanal (D) kontak dirençlerinin ayrı bir belirlenmesini sağlar. Eğer kontaklar, Schottky engeli gibi davranırsalardı, kaynaktaki (S) ki voltaj düşüşünün kanaldaki (D) düşüşten önemli ölçüde yüksek olacağı beklenilirdi. Bu durum, kötü kontaklarda görülür. Fakat, iyi kontaklarda, her iki elektroda karşılaştırılabilir düşüşler görülür. Bu davranışın olası bir çözümü son zamanlarda ortaya atılmıştır.



Şekil 6.10 UV fotoelektron spektroskopisi ile belirlendiği gibi Au-pentacene eklemesindeki gerçek enerji seviye diyagramı [192].

Üst kontakların, genellikle alt kontaklardan daha düşük kontak direnci olanlardan tercih edilmesi önemli bir noktadır [125].

6.2.6.3. Mobilite Bozulması

Mobiliteye bağlı geçit (G)-voltajı, tuzak-sınırlı taşıma halinde ele alındığında, mobilite geçit voltajı (V_g) ile artmaktadır. Geleneksel MOSFET’lerde kaynak (S) “mobilite bozulması” diye adlandırılan kavram önemli olup, mobilite bozulması ters etki ile sonuçlanır, yani mobilite geçit voltajı (V_g) ile azalır.

Mobilite bozulması, yalıtkan arayüzey çevresindeki çeşitli saçılma faktörlerine atfedilmektedir. Bu faktörler, yüklü merkezler, yüzey fononları ve yüzey pürüzlülüğü diye adlandırılır. Bu davranışı tanımlamanın bir yolu, mobilite bozulması faktörü θ diye tanımlanan faktörü belirlemek olup, en basit olarak

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \theta(V_g - V_T)} \quad (6.25)$$

ile ifade edilir. Benzer bir davranış, son zamanlarda OTFT’lerde gözlenmiştir. Bu bozulmayı hesaplamak için, kısa moleküllerden yapılmış olan yarıiletken filmlerde bulunan özel yapıdan yararlanan bir model geliştirilmiştir. Böyle moleküller rijit çubuklar olarak görülebilir, ki katı halde her biri diğerine paralel birleşir, sonuçta paralel tabakalar oluşup, bu tabakaların kalınlığı molekülün uzunluğuna eşittir. Şu düşünceler dikkate alınır: (1) her bir molekül sadece bir yük taşıyıcıyı taşıyabilir ve (2) yük hemen tüm molekül üzerinde yayılır, d kalınlığının dielektrik tabakaların yığılması için film asimile edilebilir, her bir tabaka taşıyıcıların yoğunluğunu n_i düzgün taşır [125].

7. DENEYSEL İŞLEMLER VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

7.1. OFET'lerin Hazırlanmasında Kullanılan Organik Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

OFET'lerin hazırlanmasında kullanılan organik yarıiletken filmlerin optik özelliklerini araştırmak için bilgisayar kontrollü UV-Vis Shimadzu 3600 spektrometresi (Şekil 7.1) kullanıldı. Bu spektrometre yardımıyla, filmlerin geçirgenlik (transmittans), yansıma (reflektans) ve absorbans spektrumları oda sıcaklığında alındı.



Şekil 7.1 Optik ölçümler için kullanılan UV-Vis Shimadzu 3600 spektrometresi

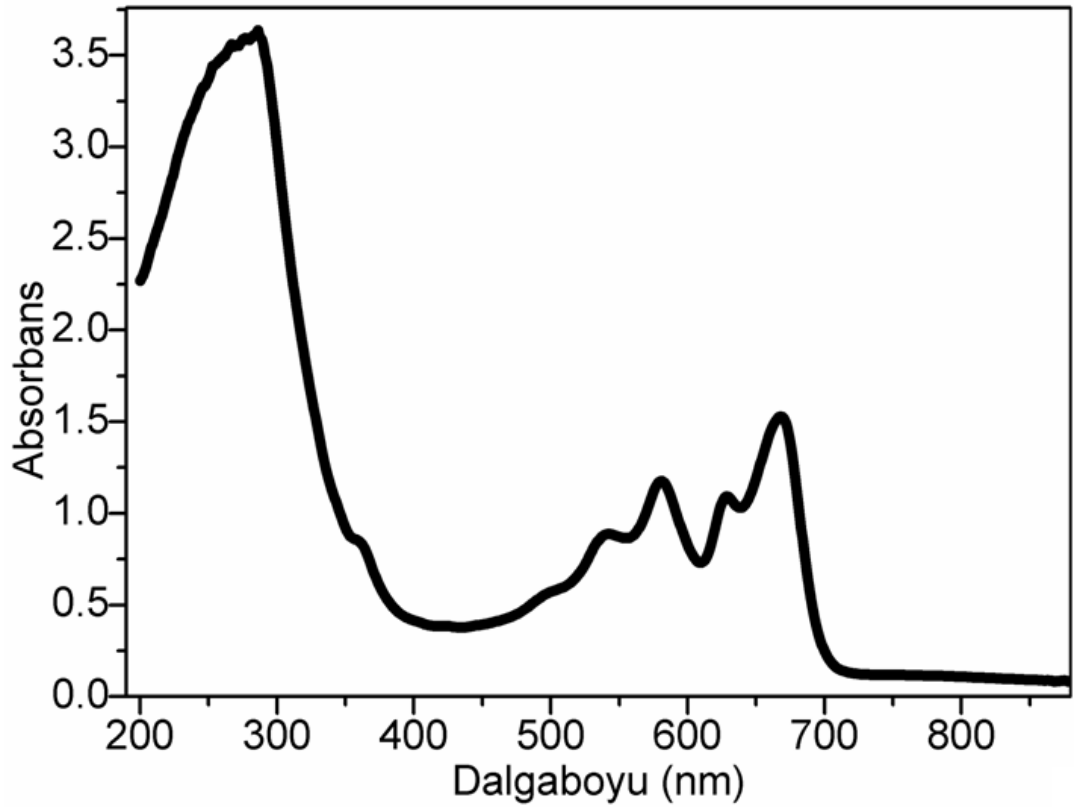
7.1.1. Pentasen İnce Filmin Optik Özellikleri

Bir cam üzerine pentasen organik yarıiletken filmi oluşturmak için, öncelikle cam altlık sırasıyla metanol ve 18M Ω öz dirençli deiyonize su (DIW) içerisinde ultrasonik olarak 5'er dakika temizlendi. Cam temizlendikten hemen sonra, azot gazıyla iyice kurutuldu. Kimyasal temizleme işlemi ve kurutma işlemi bittikten hemen sonra, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan pentasen organik yarıiletkeni cam üzerine, PVD-HANDY/2S-TE (Vaksis Şirketi) termal buharlaştırma sistemi (Şekil 7.2) kullanılarak termal olarak buharlaştırıldı. Pentasen organik yarıiletkenin termal buharlaştırma esnasındaki kaplama hızı 25-34 Å/s, buharlaştırma basıncı 2.1×10^{-5} Torr, akım değeri 118-128 A ve pentasen filmin kalınlığı 166 nm'dir.

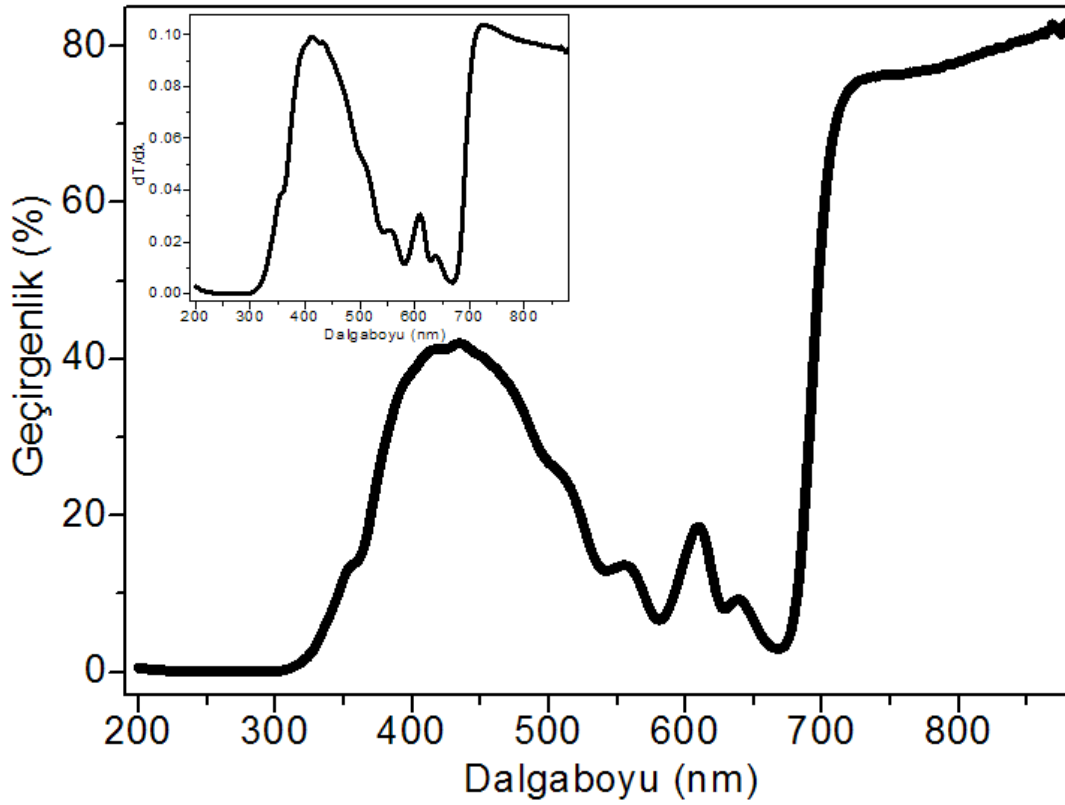
Pentasen ince filmin soğurma (absorbans) A, geçirgenlik T ve yansıma R spektrumları oda sıcaklığında 200-880 nm dalgaboyu aralığında alındı. Pentasen ince filmin absorbans A ve geçirgenlik T spektrumları Şekil 7.3(a-b)'de gösterildi. Şekil 7.3a'da görüldüğü gibi, pentasen filminin soğurma spektrumunda yaklaşık 435 nm de birinci minimum ve 720 nm de ikinci minimum meydana gelmektedir. Şekil 7.3b'de görüldüğü gibi, pentasen filminin geçirgenlik spektrumunda yaklaşık 307-435nm ve 670-720 nm arasındaki dalgaboylarında keskin bir soğurma kıyısı görülmektedir. Ayrıca pentasen filminin geçirgenliği ilk olarak 720 nm de düşmeye başladığından yasak enerji aralığı E_g buradan 1.725 eV olarak bulundu. Görünür bölgede, pentasen filminin ortalama geçirgenliği % 35.274'tür. Pentasen ince filmin soğurma band kıyısını tahmin etmek için optik geçirgenliğin birinci türevi alındı ve Şekil 7.3b ekinde gösterildi. Maksimum pik değeri soğurma band kıyısına karşılık gelip, Şekil 7.3b ekinde görüldüğü gibi, pentasen filminin maksimum pik değeri yaklaşık olarak, 727 nm olup, pentasen filminin soğurma band kıyısı 1.7084 eV olarak hesaplandı.



Şekil 7.2 Termal buharlaştırma için kullanılan PVD-HANDY/2S-TE (Vaksis Şirketi) termal buharlaştırma sistemi



(a)



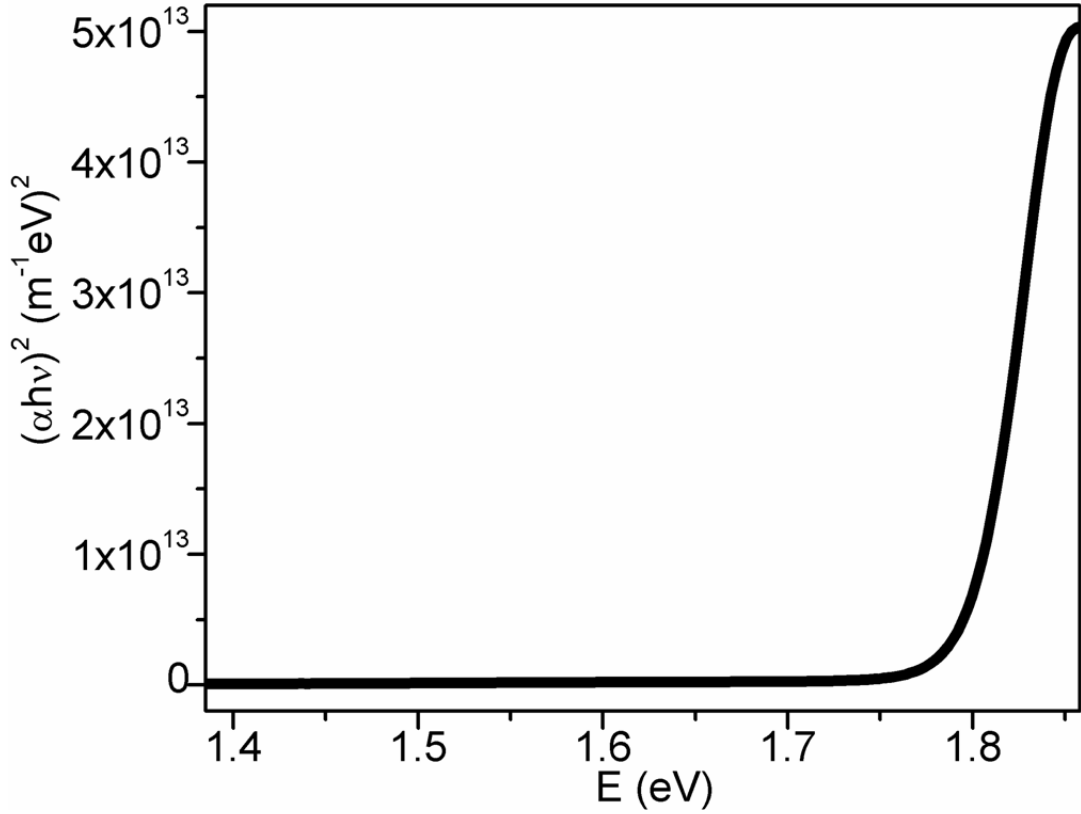
(b)

Şekil 7.3 Pentasen ince filmin (a) absorbans A ve (b) geçirgenlik T spektrumları

Optik geçişlerin optik bandı, foton enerjisiyle birlikte soğurma katsayısı ile belirlenmektedir. Pentasen filminin optik band aralığı ölçülen UV spektrumlarından hesaplanabilir. Optik band aralığının absorpsiyon katsayısına bağlılığı,

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^m \quad (7.1)$$

şeklinde verilir [193]. İfadede α soğurma katsayısı, $h\nu$ foton enerjisi, E_g yasak enerji aralığı, A bir sabit ve m ise optik geçişin tipini belirleyen bir sayıdır. Doğrudan geçişler için m değeri $1/2$ ve $3/2$ değerlerini alırken, dolaylı geçişler için ise 2 ve 3 değerlerini almaktadır. Pentasen filminin dolaylı band-aralığı bölgesi için foton enerjisine bağlı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği Şekil 7.4’de gösterildi. $(\alpha h\nu)^2=0$ için lineer bölge extrapolate edilerek, pentasen filminin doğrudan enerji-aralığı 1.798 eV olarak bulundu. Bu değer literatürdeki 1.82 eV [194] değerine yakındır. Ayrıca, geçirgenlik değerinin düşüşü ile bulunan yasak enerji değeri (1.725 eV) ile Şekil 7.4 yardımıyla bulunan değer (1.798 eV) birbiriyle uyum içindedir.



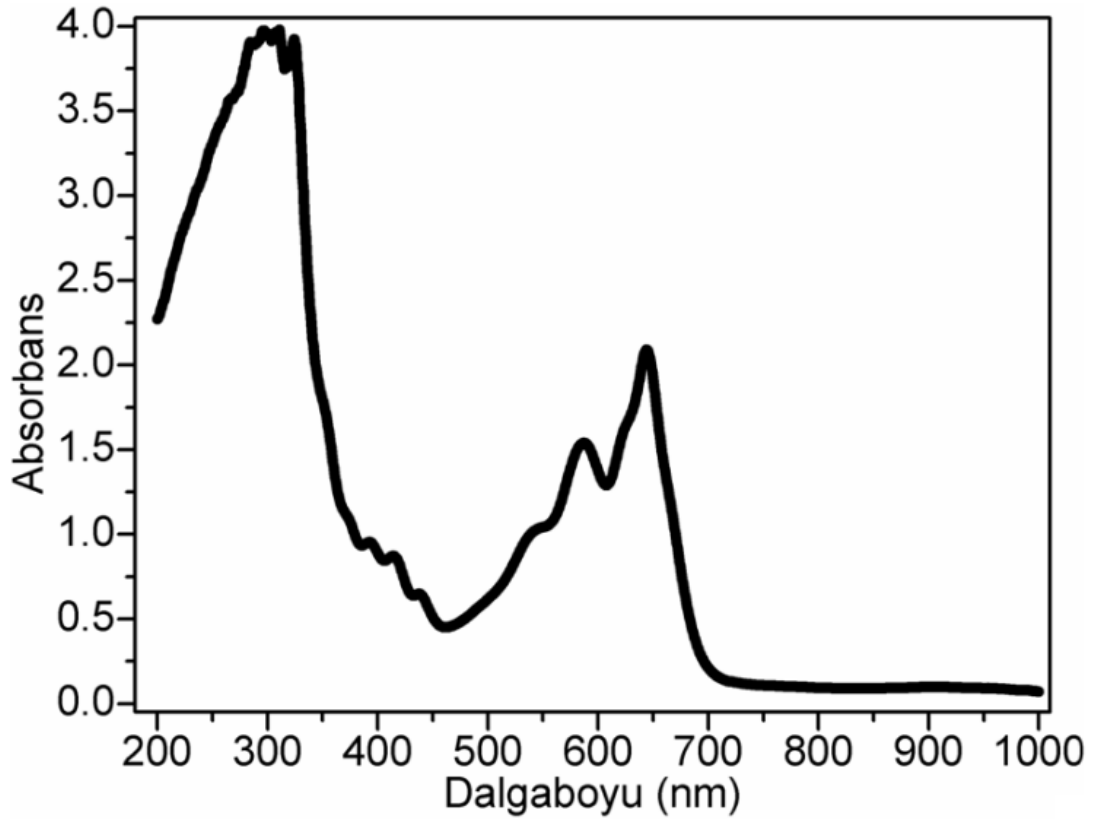
Şekil 7.4 Pentasen ince filminin foton enerjisine karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği

7.1.2. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Filminin Optik Özellikleri

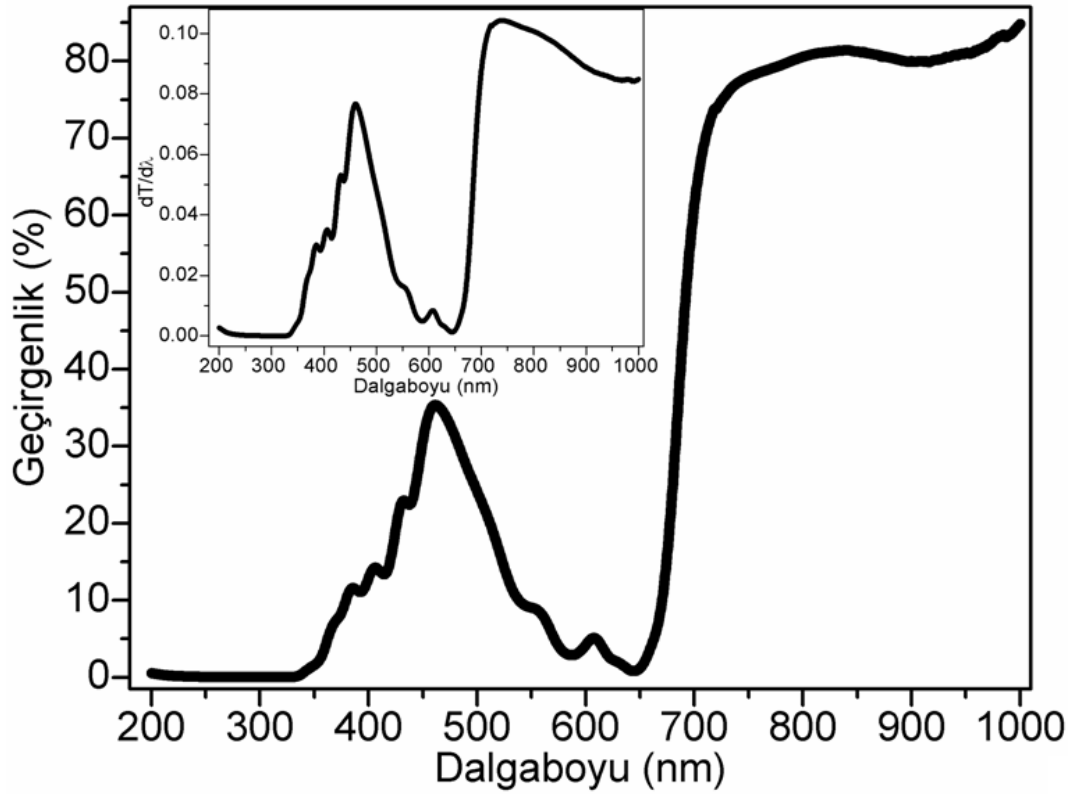
Pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni, Sigma-Aldrich şirketinden satın alındı.

Bir cam üzerine pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletken filmi oluşturmak için, öncelikle cam altlık sırasıyla metanol ve 18MΩ öz dirençli deiyonize su (DIW) içerisinde ultrasonik olarak 5'er dakika temizlendi. Cam temizlendikten hemen sonra, azot gazıyla iyice kurutuldu. Kimyasal temizleme işlemi ve kurutma işlemi bittikten hemen sonra, pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen organik yarıiletkeni cam üzerine, PVD-HANDY/2S-TE (Vaksis Şirketi) termal buharlaştırma sistemi (Şekil 7.2) kullanılarak termal olarak buharlaştırıldı. TIPS organik yarıiletkenin termal buharlaştırma esnasındaki kaplama hızı 10-20 Å/s, buharlaştırma basıncı 4.2×10^{-5} Torr, akım değeri 120-140 A ve pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) filminin kalınlığı 300 nm'dir.

6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen ince filmin soğurma (absorbans) A, geçirgenlik T ve yansıma R spektrumları oda sıcaklığında 200-1000 nm dalga boyu aralığında alındı. 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen ince filmin absorbans A ve geçirgenlik T spektrumları Şekil 7.5(a-b)'de gösterildi. Şekil 7.5a'da görüldüğü gibi, 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen filminin soğurma spektrumunda yaklaşık 461.5 nm de birinci minimum ve 730.5 nm de ikinci minimum meydana gelmektedir. Şekil 7.5b'de görüldüğü gibi, TIPS filminin geçirgenlik spektrumunda yaklaşık 325-461 nm ve 645-732 nm arasındaki dalga boylarında keskin bir soğurma kıyası görülmektedir. Ayrıca TIPS filminin geçirgenliği ilk olarak 721.5 nm de düşmeye başladığından yasak enerji aralığı E_g buradan 1.715 eV olarak bulundu. Görünür bölgede, TIPS filminin ortalama geçirgenliği % 28.988'dir. TIPS ince filmin soğurma band kıyasını tahmin etmek için optik geçirgenliğin birinci türevi alındı ve Şekil 7.5b ekinde gösterildi. Maksimum pik değeri soğurma band kıyasına karşılık gelmektedir. Şekil 7.5b ekinde görüldüğü gibi, TIPS filminin maksimum pik değeri yaklaşık olarak, 738.5 nm olup, TIPS filminin soğurma band kıyası 1.682 eV olarak hesaplandı.



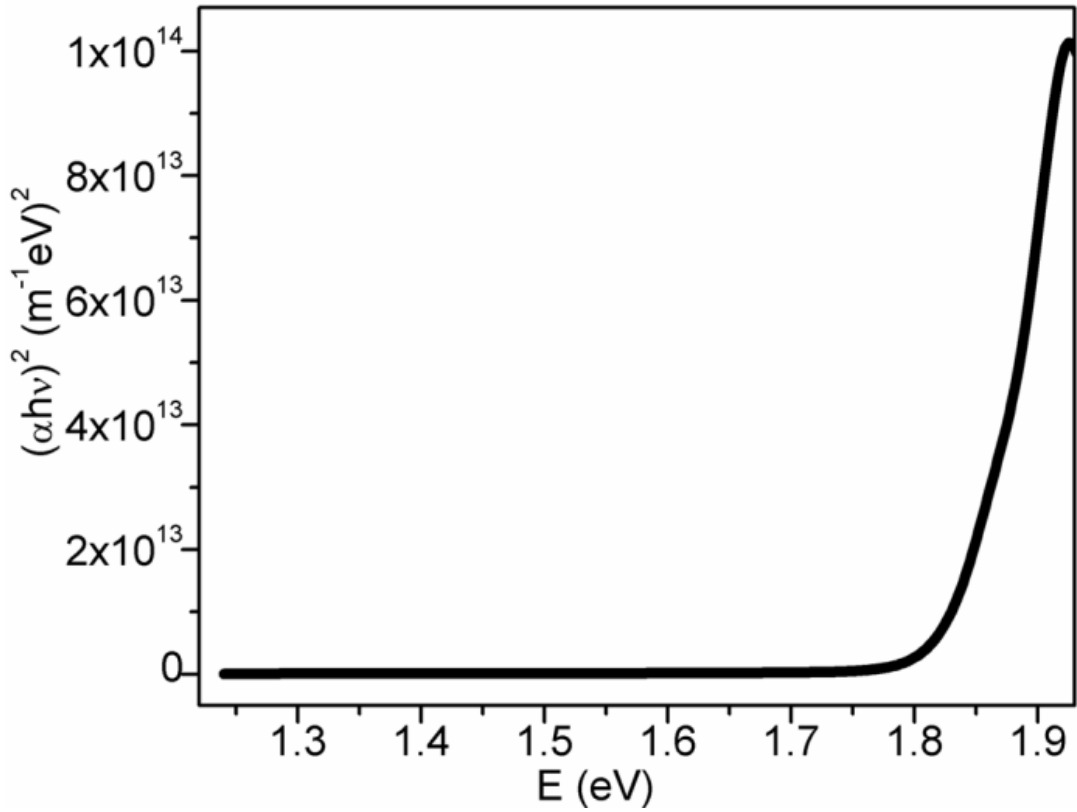
(a)



(b)

Şekil 7.5 Pentasen türevi TIPS ince filmin (a) absorbans A ve (b) geçirgenlik T spektrumları

TIPS filminin dolaylı band-aralığı bölgesi için foton enerjisine bağlı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği, Şekil 7.6’da gösterildi. $(\alpha h\nu)^2=0$ için lineer bölge extrapolate edilerek, TIPS filminin doğrudan enerji-aralığı 1.837 eV olarak bulundu.



Şekil 7.6 TIPS ince filminin foton enerjisine karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiği

7.2. Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)’lerin Hazırlanması

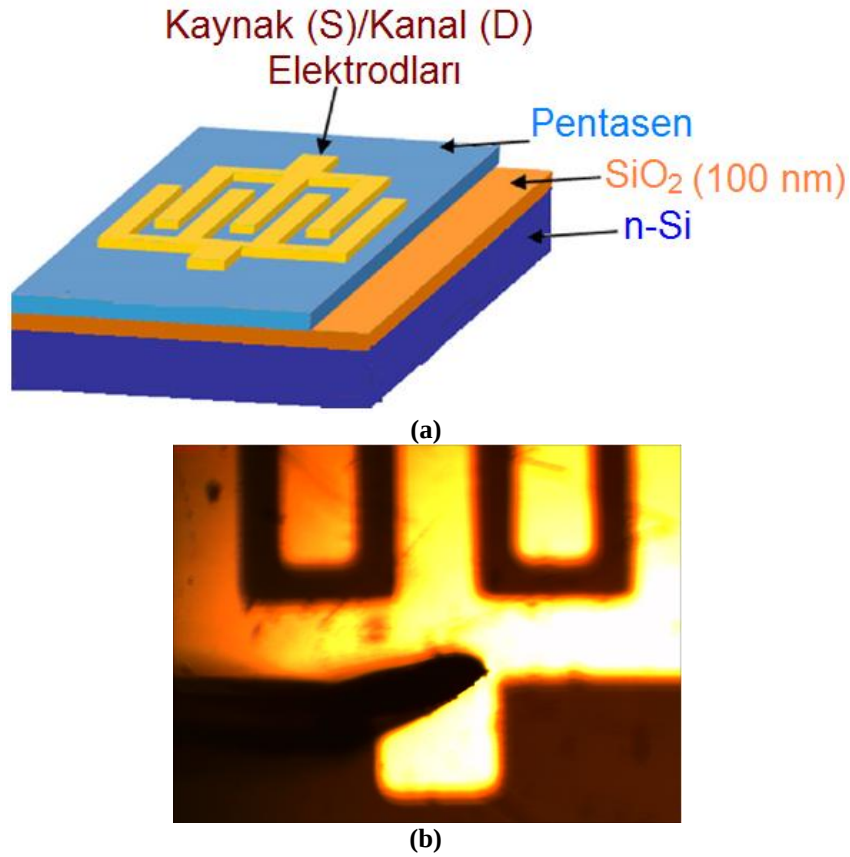
Pentasen esaslı organik alan etkili transistörler, farklı silisyum altlıkları üzerine; termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı, sol-jel yöntemiyle elde edilen geçit yalıtkanı ve termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle elde edilen ikinci bir geçit yalıtkanı kullanılmak üzere üç farklı geçit yalıtkan tabakası üzerine hazırlandı.

7.2.1. Termal Yolla Büyütülen SiO₂ Geçit Yalıtkanı ile Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler

Termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkan tabakalı silisyum altlıkları, hem hazır satın alındı hem de laboratuvar ortamında elde edildi.

7.2.1.1. n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin Hazırlanması

n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 100 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \Omega \text{cm}$ öz dirençli n-SiO₂ dielektrik tabakası kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 270 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak, 18 M Ω cm öz dirençli deiyonize suda yıkanan ve azot gazıyla kurutulan n-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntülendi. Kaynak potası ve SiO₂ altlığı arasındaki uzaklık yaklaşık 15.8 cm'dir. Pentasen filminin kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 18-25 Å/s'dir. Daha sonra, n-Si/SiO₂/pentasen üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı, 2.8×10^{-5} Torr, kaplama hızı 10-12 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip dört farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğu (L)'na ve 500, 1000, 1500 ve 2000 µm kanal genişlik (W)'lerine sahip dört farklı kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'leri hazırlandı. Şekil 7.7(a-b), n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in şematik yapısını ve optik mikroskop görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 7.7 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) optik mikroskobu görüntüsü

7.2.1.2. n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin Hazırlanması

0.5 mm kalınlıklı, (111) yönelimli, 3 inç çaplı ve 10^{-3} -40Ωcm öz dirençli n-Si, Sigma Aldrich şirketinden satın alındı. n-Si altlık, sırasıyla aseton, metanol ve deiyonize su ile ultrasonik banyoda 5'er dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. SiO₂ tabakası, 1000 °C'de 2.5 saat fırında bekletilerek n-Si üzerine büyütüldü ve açık sarı renkli, 160-170 nm [195] kalınlıklı oksit tabakası elde edildi. Bu oksit tabakası, OFET için bir geçit-yalıtkan olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 235 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak n-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntüldü. Kaynak potası ve SiO₂ altlığı arasındaki uzaklık yaklaşık 15.8 cm'dir. Pentasen filminin kaplama basıncı 2.3×10^{-5} Torr, kaplama hızı 14-22 Å/s'dir. Daha sonra, n-Si/SiO₂/pentasen üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı.

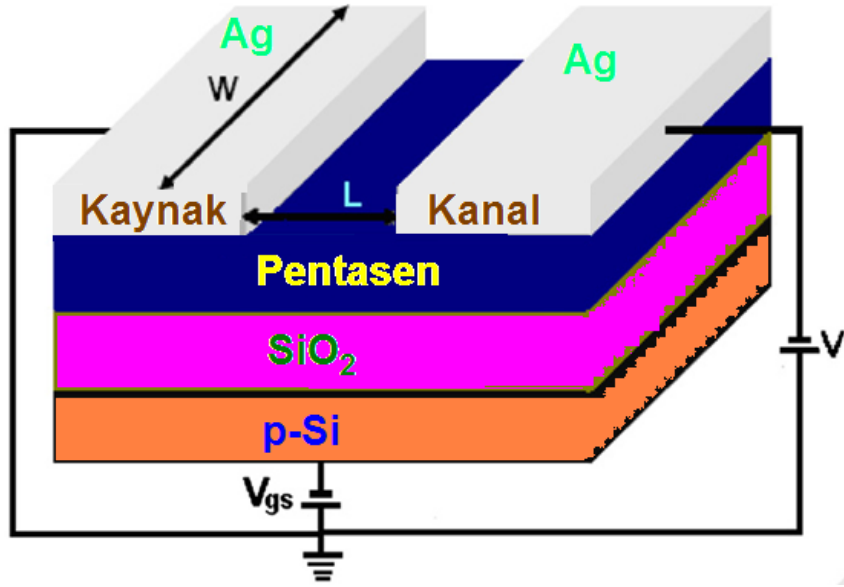
Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 2.4×10^{-5} Torr, kaplama hızı 11-17 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 500 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/pentasen OFET'i hazırlandı. Şekil 7.8, n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in optik mikroskop görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 7.8 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin optik mikroskobu görüntüsü

7.2.1.3. p-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin Hazırlanması

p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 300 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \sim 0.05 \Omega \text{cm}$ öz dirençli, $\langle 100 \rangle$ yönelimli ve bor katkılı p-SiO₂ dielektrik tabakası kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentaseen organik yarıiletkeni kullanıldı. p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 270 nm kalınlıklı pentaseen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak, 18 MΩcm öz dirençli deiyonize suda yıkanan ve azot gazıyla kurutulan p-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. Pentaseen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntüldü. Pentaseen filminin kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 28-37 Å/s'dir. Daha sonra, p-Si/SiO₂/pentaseen üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 2.8×10^{-5} Torr, kaplama hızı 10-12 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip iki farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 500 ve 1000 µm kanal genişliklerine sahip iki farklı kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'leri hazırlandı. Şekil 7.9, p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'in şematik yapısını göstermektedir.



Şekil 7.9 p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin şematik yapısı

7.2.2. Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Geçit Yalıtkan Tabakalarla Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler

Sol-jel yöntemi kullanılarak elde edilen SiO₂ ve BaTiO₃ oksit jelleri ile silisyum altlıkları üzerine geçit yalıtkan tabakalar oluşturularak organik alan etkili transistör (OFET)'ler hazırlandı.

7.2.2.1. n-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin Hazırlanması

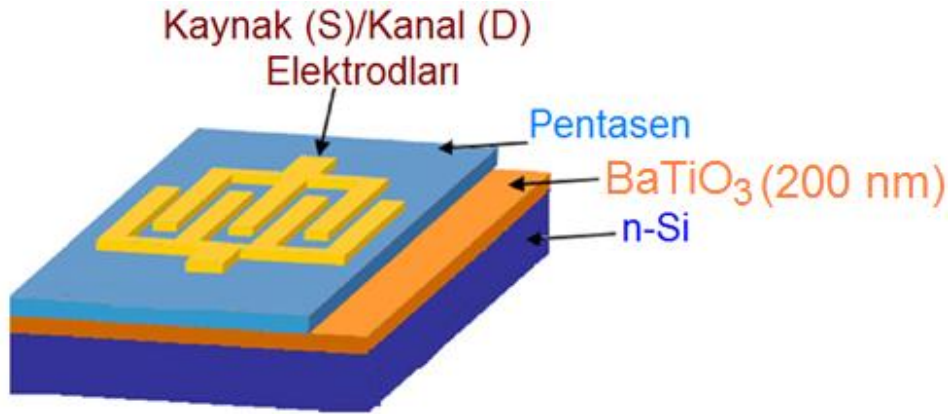
0.5 mm kalınlıklı, (111) yönelimli, 3 inç çaplı ve 10⁻³-40Ωcm öz dirençli n-Si, Sigma Aldrich şirketinden satın alındı. n-Si altlık, sırasıyla aseton, metanol ve 18 MΩcm öz dirençli deiyonize su ile ultrasonik banyoda 5'er dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Sol-jel yöntemiyle SiO₂ jelini elde etmek için: Tetraetoksilan (TEOS): etanol: deiyonize su:HCl, sırasıyla 1:8:3:0.5 (hacim olarak, v/v) oranlarında alındı. Öncelikle, TEOS: etanol sırasıyla 1:8 oranlarında alınarak magnetik karıştırıcı üzerinde 10 dk. kadar karıştırıldıktan sonra, deiyonize su bu çözeltiye yavaş yavaş eklendi ve magnetik karıştırıcı üzerinde 10 dk. kadar karıştırıldı. Daha sonra, biraz HCl son çözeltiye yavaş yavaş eklendi ve magnetik karıştırıcı üzerinde 3 saat karıştırıldıktan sonra 12 saat bekletildi. Bu bekleme süresi sonunda, homojen saydam bir SiO₂ jeli elde edildi. Elde edilen jeli tüm tortulardan arındırıp kaliteli bir SiO₂ filmi kaplamak için, SiO₂ jeli bir PTFE kağıt süzgecinden art

arda üç kez süzöldü. Daha sonra, kimyasal olarak temizlenen ve kurutulan n-Si altlık üzerine, hazırlanan ve süzülen SiO₂ jeli, spin-kaplama yöntemiyle 1000 rpm’de 1dk. kaplanarak 150 °C’de 15 dk. bekletildi. Bu spin-kaplama işlemi, aynı şekilde üç kez tekrarlandı. Böylece, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET’ini hazırlamak için n-Si altlığı üzerine sol-jel yöntemiyle hazırlanan 200 nm kalınlıklı SiO₂ tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET’in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/SiO₂/pentasen OFET’inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 230 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak n-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntölendi. Pentasen filminin kaplama basıncı 2.5×10^{-5} Torr, kaplama hızı 23-39 Å/s’dir. Daha sonra, n-Si/SiO₂/pentasen üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 2.4×10^{-5} Torr, kaplama hızı 0-5 Å/s’dir. 70 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 2500 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/pentasen OFET’i hazırlandı.

7.2.2.2. n-Si/BaTiO₃/Pentasen OFET’inin Hazırlanması

0.5 mm kalınlıklı, (111) yönelimli, 3 inç çaplı ve 10^{-3} -40Ωcm öz dirençli n-Si, Sigma Aldrich şirketinden satın alındı. n-Si altlık, kimyasal temizleme işlemi [137] kullanılarak temizlendi ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Sol-jel yöntemiyle BaTiO₃ jelini elde etmek için: Uygun bir miktarda baryum asetat, glasiyal asetik asitte ve titanyum isopropoksit içinde çözüldü. Daha sonra, titanyum isopropoksit, belirli bir miktarda isopropanolda magnetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra baryum asetat çözeltisi, titanyum isopropoksit çözeltisi magnetik karıştırıcıda karışırken üzerine yavaşça eklendi ve oda sıcaklığında karıştırıldı. Son olarak, çözelti üzerine damıtılmış su eklendi ve karıştırıldı. Bu işlemler sonunda, homojen bir BaTiO₃ jeli elde edildi. Elde edilen jeli tüm tortulardan arındırıp kaliteli bir BaTiO₃ filmi kaplamak için, BaTiO₃ jeli bir PTFE kağıt süzgecinden süzöldü. Daha sonra, kimyasal olarak temizlenen ve kurutulan n-Si altlık üzerine,

hazırlanan ve süzülen BaTiO₃ jeli, spin-kaplama yöntemiyle 1000 rpm’de 1dk. kaplanarak 150 °C’de 15 dk. bekletildi. Bu spin-kaplama işlemi, aynı şekilde iki kez tekrarlandı. Böylece, n-Si/BaTiO₃/Pentasen OFET’ini hazırlamak için n-Si altlığı üzerine sol-jel yöntemiyle hazırlanan 200 nm kalınlıklı BaTiO₃ tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET’in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET’inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 120 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak, n-BaTiO₃ tabakası üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntülendi. Pentasen filminin kaplama basıncı 2.8×10^{-5} Torr, kaplama hızı 17-25 Å/s’dir. Daha sonra, n-Si/BaTiO₃/pentasen üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 9-17 Å/s’dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET’i hazırlandı. Şekil 7.10, n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET’in şematik yapısını göstermektedir.



Şekil 7.10 n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET’inin şematik yapısı

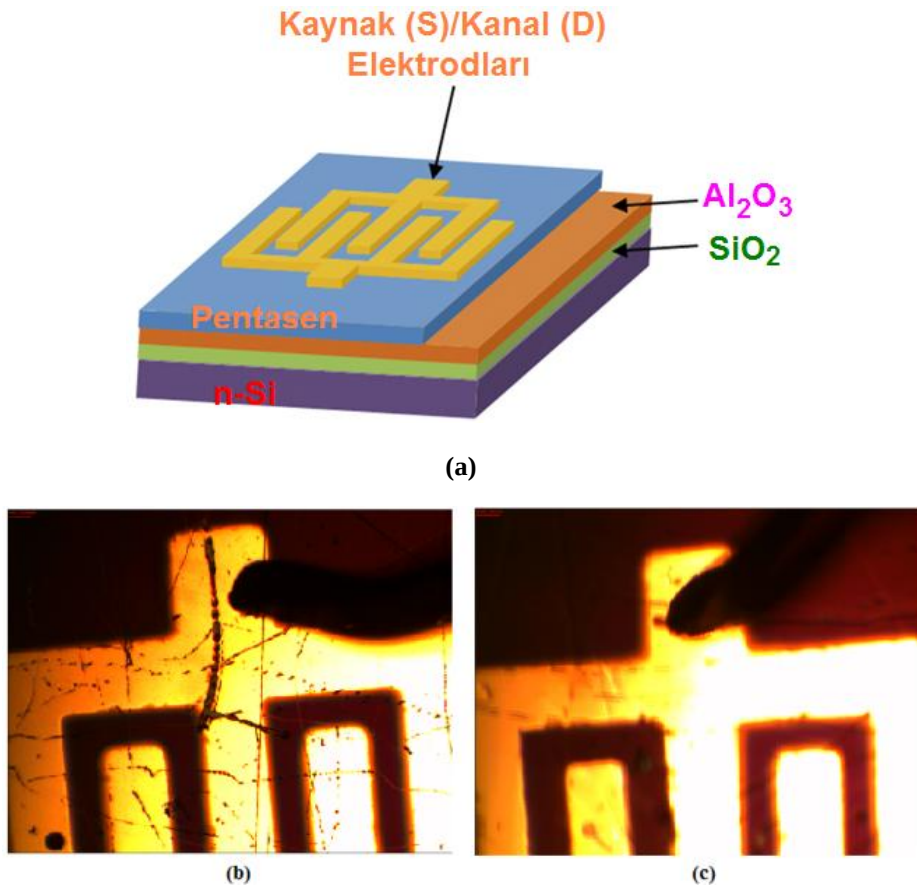
7.2.3. Termal Yolla Büyütülen SiO₂ Geçit Yalıtkanı Üzerine Sol-Jel Yöntemiyle Oluşturulan Yalıtkan Tabakalarla Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistörler

Satın alınan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkan tabakalı silisyum altlıkları üzerine, sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ oksit yalıtkan tabakası kaplanarak iki farklı organik alan etkili transistör (OFET) hazırlandı.

7.2.3.1. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin Hazırlanması

n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 100 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \Omega \text{cm}$ öz dirençli n-SiO₂ tabakası alt dielektrik tabakası olarak kullanıldı. n-SiO₂ altlığı, 18 M Ωcm öz dirençli deiyonize suda 5 dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Sol-jel yöntemiyle Al₂O₃ jelini elde etmek için: Carlo Erba şirketinden satın alınan, 1.72g/cm³ yoğunluklu, 375,134 g/mol moleküler ağırlıklı, 1 M alüminyum nitrat (Al(NO₃)₃) tartılarak 10 ml 2-metoksi etanol de 10 dk karıştırıldı, 1 M'a karşılık gelen monoetanolamin alınarak bu çözeltiye yavaşça eklendi ve 2 saat karıştırılarak saydam homojen bir jel hazırlandı. Hazırlanan jeli tüm tortulardan arındırıp kaliteli bir Al₂O₃ filmi kaplamak için, Al₂O₃ jeli bir PTFE kağıt süzgecinden süzüldü. Daha sonra, n-Si/SiO₂ üzerine, hazırlanan ve süzülen Al₂O₃ jeli, spin-kaplama yöntemiyle 2500 rpm'de 1dk. kaplanarak 150 °C'de 15 dk. bekletildi. Bu spin-kaplama işlemi, aynı şekilde üç kez tekrarlandı. Böylece, n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'ini hazırlamak için n-Si altlığı üzerine termal yolla büyütülen 100 nm kalınlıklı SiO₂ geçit yalıtkanıyla birlikte 200 nm kalınlıklı Al₂O₃ geçit yalıtkanı oluşturularak SiO₂/Al₂O₃ tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 180 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak n-Si/SiO₂/Al₂O₃ üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntülendi. Pentasen filminin kaplama basıncı 3.2×10^{-5} Torr, kaplama hızı 10-18 Å/s'dir. Daha sonra n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen/ üzerine, %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst

elektrodlarının kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 9-15 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip iki farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 500 ve 1000 µm kanal genişliklerine sahip iki farklı kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'leri hazırlandı. Şekil 7.11(a-c), n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'in şematik yapısını ve optik mikroskop görüntülerini göstermektedir.

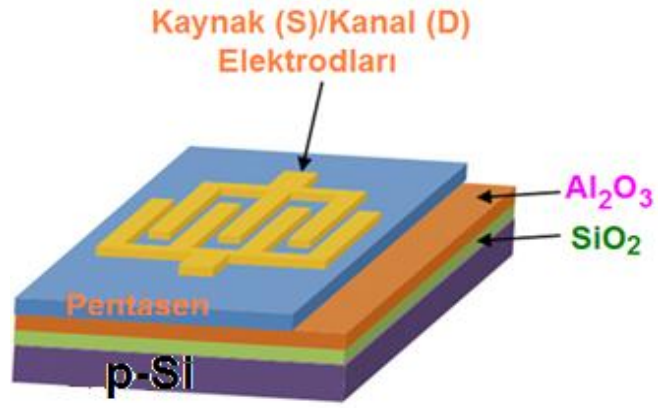


Şekil 7.11 n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 µm ve W=500 µm için ve (c) L=100 µm ve W=1000 µm için optik mikroskopu görüntüleri

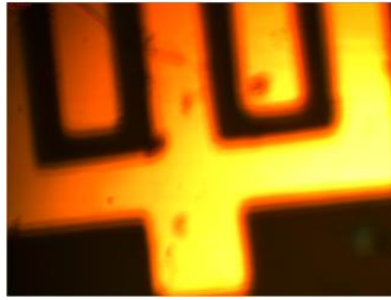
7.2.3.2. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'inin Hazırlanması

p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 300 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \sim 0.05 \Omega \text{cm}$ öz dirençli, <100> yönelimli ve bor katkılı p-SiO₂ tabakası alt dielektrik tabakası olarak kullanıldı. p-SiO₂ altlığı, 18 MΩcm öz dirençli deiyonize suda 5 dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Sol-jel yöntemiyle Al₂O₃ jelini elde etmek için: Carlo Erba şirketinden satın alınan,

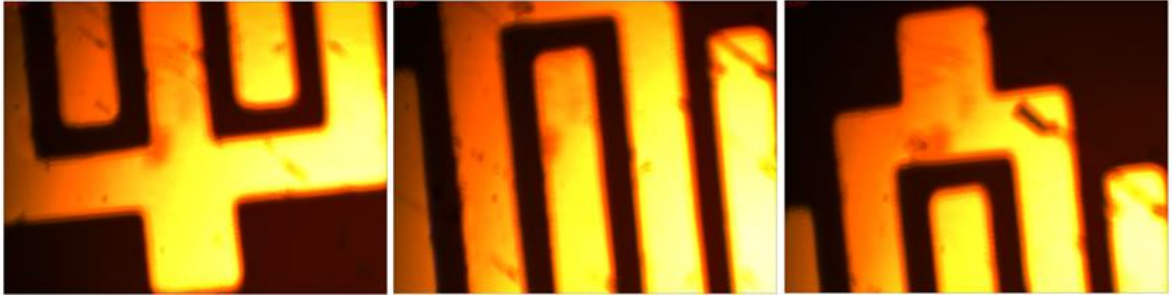
1.72g/cm³ yoğunluklu, 375,134 g/mol moleküler ağırlıklı, 0.5 M alüminyum nitrat (Al(NO₃)₃) tartılarak 10 ml 2-metoksi etanol de 10 dk karıştırıldı, 0.5 M a karşılık gelen monoetanolamin alınarak bu çözeltiye yavaşça eklendi ve 2 saat karıştırılarak saydam homojen bir jel hazırlandı. Hazırlanan jeli tüm tortulardan arındırıp kaliteli bir Al₂O₃ filmi kaplamak için, Al₂O₃ jeli bir PTFE kağıt süzgecinden süzüldü. Daha sonra, p-Si/SiO₂ üzerine, hazırlanan ve süzülen Al₂O₃ jeli, spin-kaplama yöntemiyle 3000 rpm'de 1dk. kaplanarak 150 °C'de 15 dk. bekletildi. Bu spin-kaplama işlemi, aynı şekilde üç kez tekrarlandı. Böylece, p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'ini hazırlamak için p-Si altlığı üzerine termal yolla büyütülen 300 nm kalınlıklı SiO₂ geçit yalıtkanıyla birlikte 210 nm kalınlıklı Al₂O₃ geçit yalıtkanı oluşturularak SiO₂/Al₂O₃ tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₂₂H₁₄ moleküler formüle sahip ve 278.35 g/mol moleküler ağırlıklı, p-tipi pentasen organik yarıiletkeni kullanıldı. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 180 nm kalınlıklı pentasen ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak n-Si/SiO₂/Al₂O₃ üzerine buharlaştırıldı. Pentasen ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntülendi. Pentasen filminin kaplama basıncı 2.1×10⁻⁵ Torr, kaplama hızı 10-17 Å/s'dir. Daha sonra p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen/ üzerine, %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 3.2×10⁻⁵ Torr, kaplama hızı 9-15 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip iki farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 500, 1000, 1500 ve 2000 µm kanal genişliklerine sahip dört farklı kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'leri hazırlandı. Şekil 7.12(a-d), p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in şematik yapısını ve optik mikroskop görüntülerini göstermektedir.



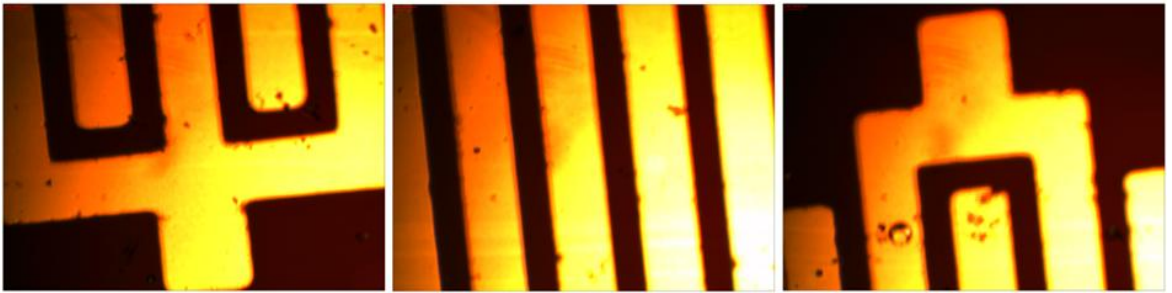
(a)



(b)



(c)



(d)

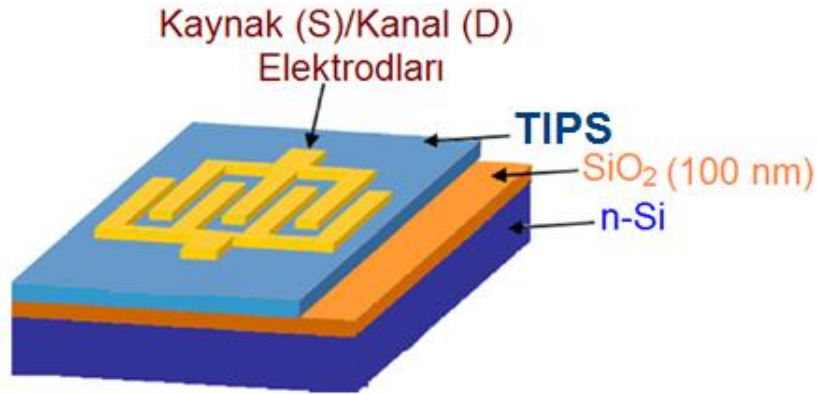
Şekil 7.12 p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacene OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 μm ve W=500 μm için, (c) L=100 μm ve W=1000 μm için ve (d) L=100 μm ve W=1500 μm için optik mikroskobu görüntüleri

7.3. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) ile Organik Alan Etkili Transistörlerin Hazırlanması

Pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni klorobenzen çözücüsünden iyice çözülerek, silisyum altlıkları üzerine çözünebilir-işlemleri yöntemle spin-kaplama yapılarak ve farklı iki kalınlıkta termal buharlaştırma yöntemiyle kaplanarak toplamda üç farklı OFET hazırlandı.

7.3.1. n-Si/SiO₂/Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması

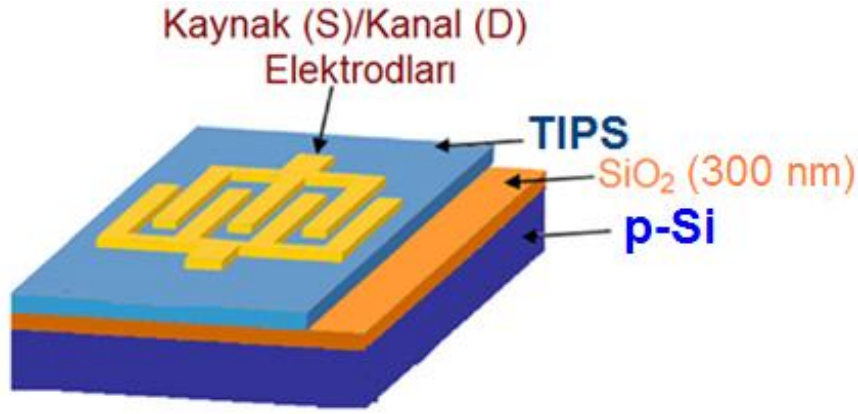
n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 100 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \Omega \text{cm}$ öz dirençli n-SiO₂ tabakası alt dielektrik tabakası olarak kullanıldı. n-SiO₂ altlığı, 18 M Ωcm öz dirençli deiyonize suda 5 dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Böylece, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'ini hazırlamak için n-Si altlığı üzerine termal yolla büyütülen 100 nm kalınlıklı SiO₂ geçit yalıtkan tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₄₄H₅₄Si₂ moleküler formüle sahip, 639.07 g/mol moleküler ağırlıklı ve 1.104 g/cm³ (25 °C'de) yoğunluklu pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni kullanıldı. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) ince filmi kullanıldı. n-Si/SiO₂'in temizleme işlemi ve kurutma işlemi bittikten hemen sonra, 10 ml klorobenzen çözücüsü içinde yarım saat karıştırılan homojen 0,095861 gr pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni, n-Si/SiO₂ üzerine, 2500 rpm'de 30s boyunca spin-kaplama yöntemiyle kaplandı ve daha sonra 150 °C'de hot-plate (sıcak-yüzey) üzerinde 10 dk. bekletildi. Bu spin-kaplama işlemi, iki kez tekrarlandı. TIPS organik yarıiletken filminin kalınlığı 150 nm'dir. Daha sonra n-Si/SiO₂/TIPS üzerine, %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 9-12 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli maske kullanılarak gerçekleştirildi. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin kanal uzunluğu 100 µm ve kanal genişliği 1000 µm'dir. Şekil 7.13, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'in şematik yapısını göstermektedir.



Şekil 7.13 n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin şematik yapısı

7.3.2. p-Si/SiO₂/Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması

p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 300 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \sim 0.05 \, \Omega \text{cm}$ özdirençli, $\langle 100 \rangle$ yönelimli ve bor katkı p-SiO₂ tabakası alt dielektrik tabakası olarak kullanıldı. p-SiO₂ altlığı, $18 \, \text{M}\Omega \text{cm}$ özdirençli deiyonize suda 5 dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Böylece, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'ini hazırlamak için p-Si altlığı üzerine termal yolla büyütülen 300 nm kalınlıklı SiO₂ geçit yalıtkan tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₄₄H₅₄Si₂ moleküler formüle sahip, 639.07 g/mol moleküler ağırlıklı ve 1.104 g/cm³ (25 °C'de) yoğunluklu pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni kullanıldı. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 300 nm kalınlıklı TIPS ince filmi, bir Vaksis PVD Handy termal buharlaştırma sistemi kullanılarak, $18 \, \text{M}\Omega \text{cm}$ özdirençli deiyonize suda yıkanan ve azot gazıyla kurutulan p-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. TIPS filminin kaplama basıncı 4.2×10^{-5} Torr, kaplama hızı $10 \sim 18 \, \text{\AA/s}$ 'dir. Daha sonra, p-Si/SiO₂/TIPS üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 2.6×10^{-5} Torr, kaplama hızı $12 \sim 14 \, \text{\AA/s}$ 'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip üç farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 μm kanal uzunluğuna ve 1000, 1500 ve 2000 μm kanal genişliklerine sahip üç farklı kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'leri hazırlandı. Şekil 7.14(a-c), p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in şematik yapısını ve optik mikroskop görüntülerini göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.14 p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) şematik yapısı, (b) L=100 μm ve W=1000 μm için ve (c) L=100 μm ve W=1500 μm için optik mikroskobu görüntüleri

7.3.3. p-Si/SiO₂/Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) OFET'inin Hazırlanması

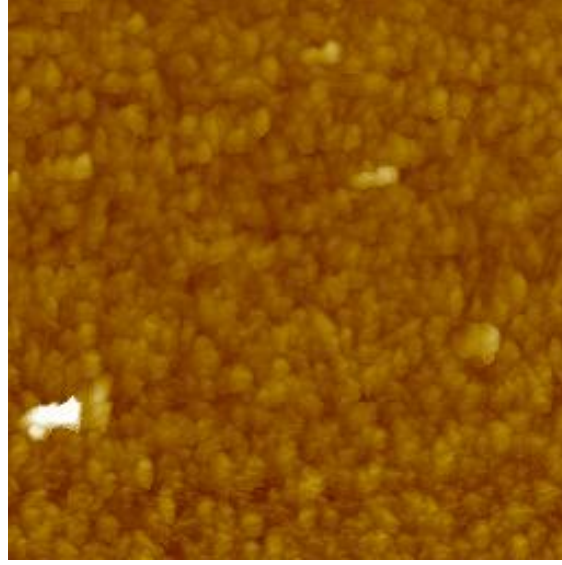
p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin hazırlanması için, wafer University (USA) şirketinden satın alınan 300 nm SiO₂ kalınlıklı, $R < 0.01 \sim 0.05 \Omega \text{cm}$ özdirençli, $\langle 100 \rangle$ yönelimli ve bor katkı p-SiO₂ tabakası alt dielektrik tabakası olarak kullanıldı. p-SiO₂ altlığı, 18 MΩcm özdirençli deiyonize suda 5 dk. yıkandı ve azot gazıyla iyice kurutuldu. Böylece, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'ini hazırlamak için p-Si altlığı üzerine termal yolla büyütülen 300 nm kalınlıklı SiO₂ geçit yalıtkan tabakası, yalıtkan geçit (dielektrik) tabakası olarak kullanıldı. OFET'in hazırlanmasında aktif tabaka olarak, Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan, C₄₄H₅₄Si₂ moleküler formüle sahip, 639.07 g/mol moleküler ağırlıklı ve 1.104 g/cm³ (25 °C'de) yoğunluklu pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni kullanıldı. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin üretim işlemi, aşağıdaki gibidir: Öncelikle, aktif tabaka olarak 135 nm kalınlıklı TIPS ince filmi, bir Vaksis PVD Handy

termal buharlaştırma sistemi kullanılarak, 18 MΩcm öz dirençli deiyonize suda yıkanan ve azot gazıyla kurutulan p-SiO₂ tabakası üzerine buharlaştırıldı. TIPS ince filmin kalınlığı, bir kuartz kristal monitör ile görüntülendi. TIPS filminin kaplama basıncı 3.1×10^{-5} Torr, kaplama hızı 28-37 Å/s'dir. Daha sonra, p-Si/SiO₂/TIPS üzerine %99.99 saflıktaki gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodları, bir tungsten basket kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile kaplandı. Gümüş (Ag) kaynak(S)/kanal(D) üst elektrodlarının kaplama basıncı 2.6×10^{-5} Torr, kaplama hızı 12-14 Å/s'dir. 100 nm kalınlıklı kaynak(S)/kanal(D) elektrodlar, desenli farklı kanal genişliğine sahip iki farklı maske kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece, 100 µm kanal uzunluğuna ve 500 ve 1000 µm kanal genişliklerine sahip iki farklı kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'leri hazırlandı.

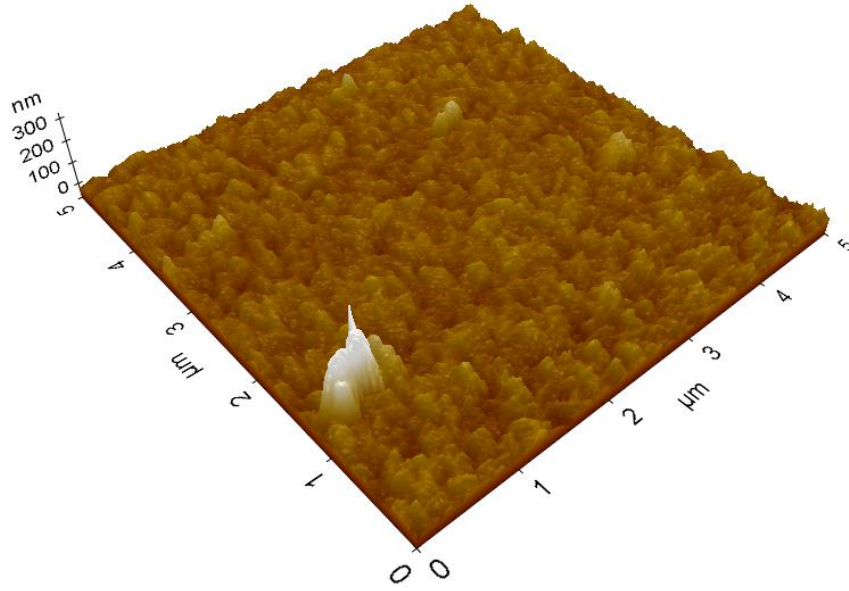
7.4. Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Atomik Kuvvet Mikroskopi (AFM) ile Yapısal Özellikleri

Hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'lerde oksit tabakası üzerine kaplanan pentasen ve pentasen türevi TIPS filminin yüzey morfolojisi, bir atomik kuvvet mikroskop (AFM)'u kullanılarak araştırıldı. Tüm pentasen ve TIPS filmleri için, yüzey pürüzlülük değeri, Park System XEI paket programı kullanılarak pentasen filminin tüm yüzeyinden belirlendi.

Şekil 7.15(a,b), 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Şekil 7.15(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 139.4 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır. Pentasen ince filmi için yüzey pürüzlülüğü 20.283 nm olarak bulundu.



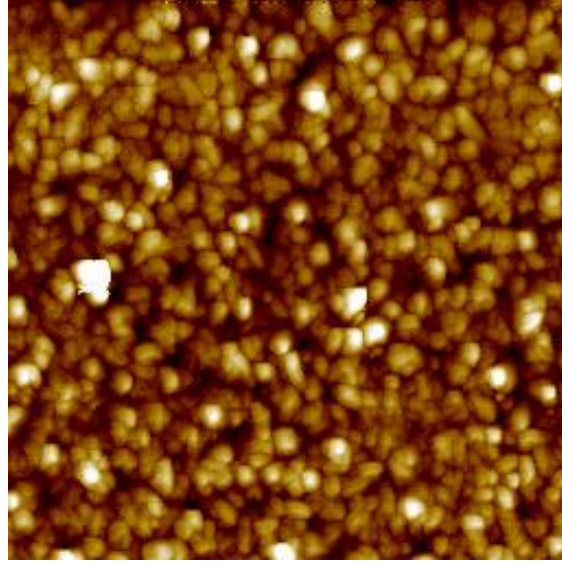
(a)



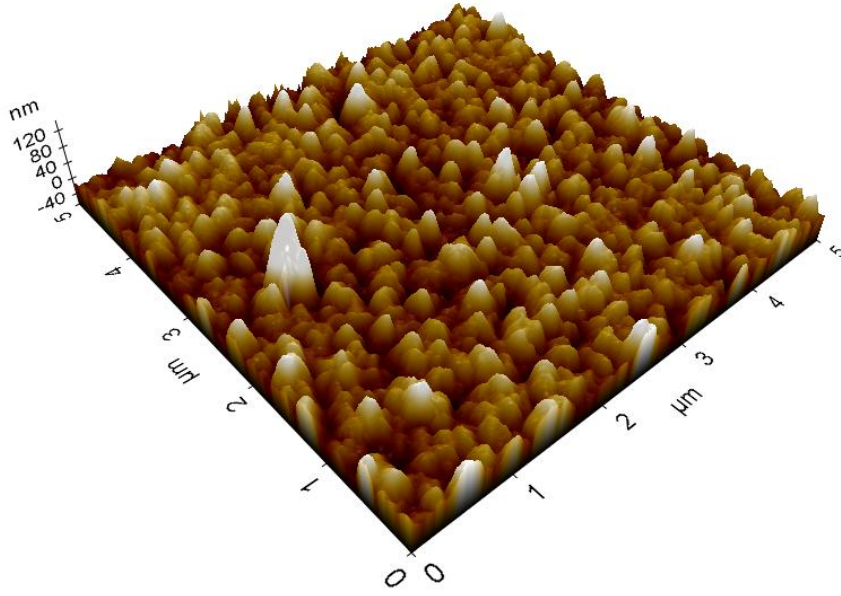
(b)

Şekil 7.15 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.16(a,b), 7.2.1.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen (Lab. ortamında) SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Şekil 7.16(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 163.8 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır. Pentasen ince filmi için yüzey pürüzlülüğü 18.008 nm olarak bulundu. Şekil 7.16(a-b)'de görülen kısmi parlak alanlar, artan film kalınlığının bölgeleri olarak yorumlanmaktadır.



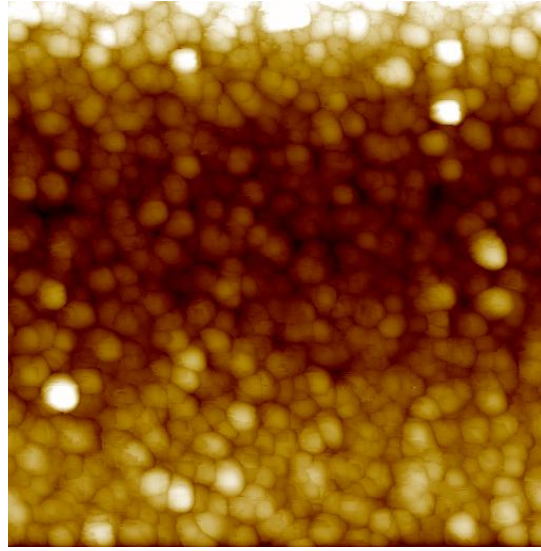
(a)



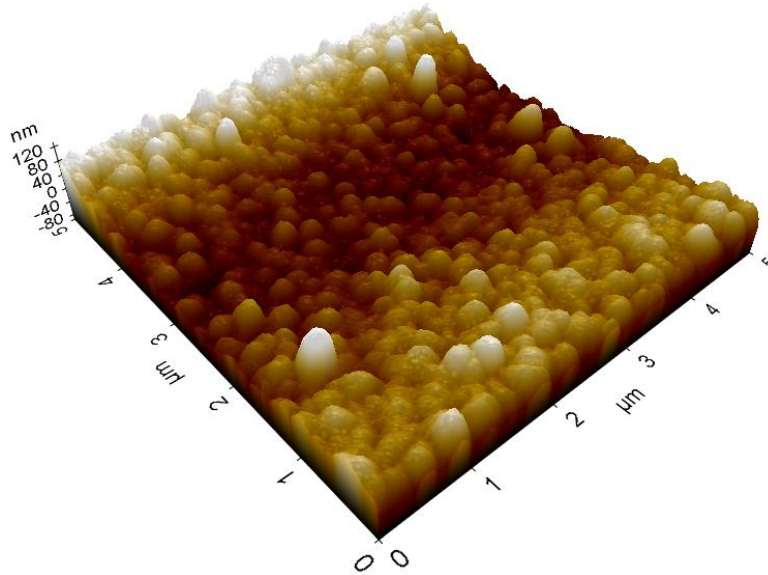
(b)

Şekil 7.16 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.17(a,b), 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Pentasen filmi için yüzey pürüzlülük değeri, pentasen filminin tüm yüzeyinden 32.29 nm olarak bulundu. Şekil 7.17(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 173.7 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır.



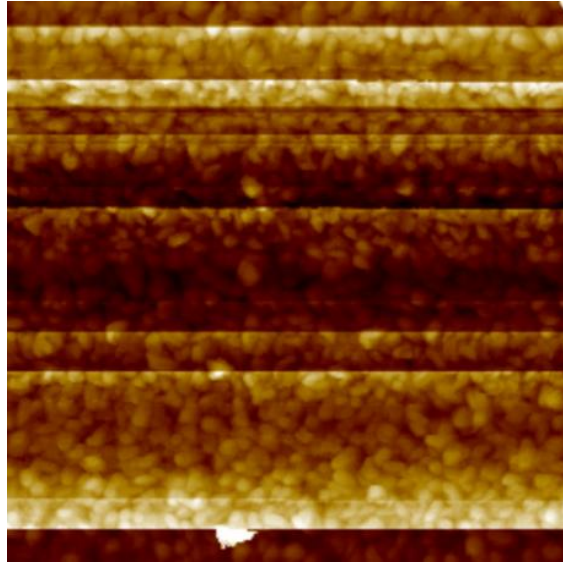
(a)



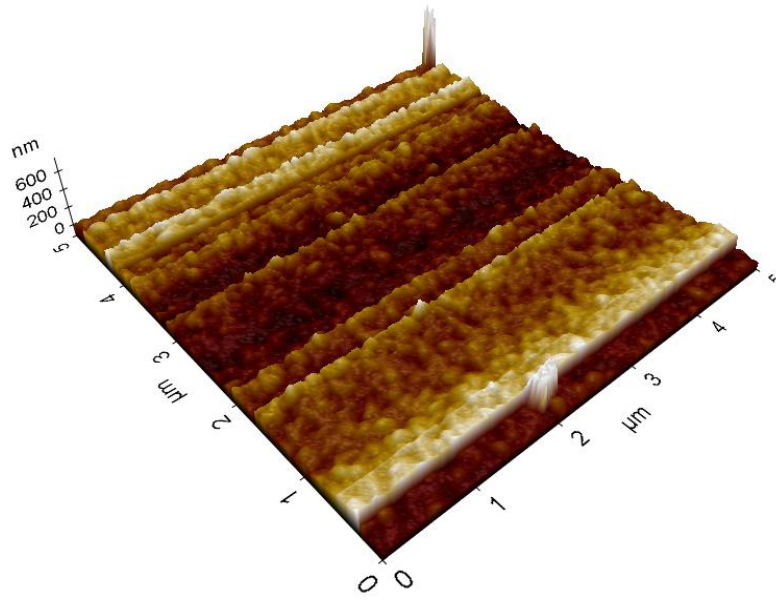
(b)

Şekil 7.17 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.18(a,b), 7.2.2.1. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Şekil 7.18(a,b)'de görüldüğü gibi n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin pentasen filmi, homojen olmayan, kesikli görüntüler vermektedir. Bu kesikli durum, AFM görüntüsünün alınması esnasında, kantileverin pentasen filminin yüzeyini çizmesinden kaynaklanmaktadır. Pentasen filmi için yüzey pürüzlülük değeri, pentasen filminin tüm yüzeyinden yaklaşık 154.23 nm ve ortalama tane boyutu 50.771 nm olarak bulundu.



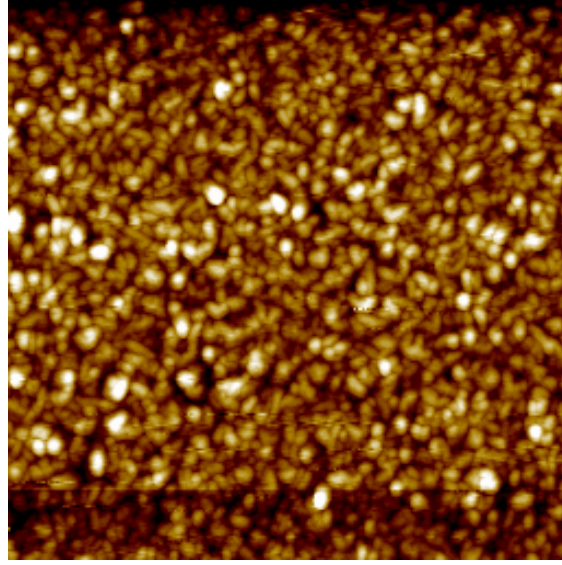
(a)



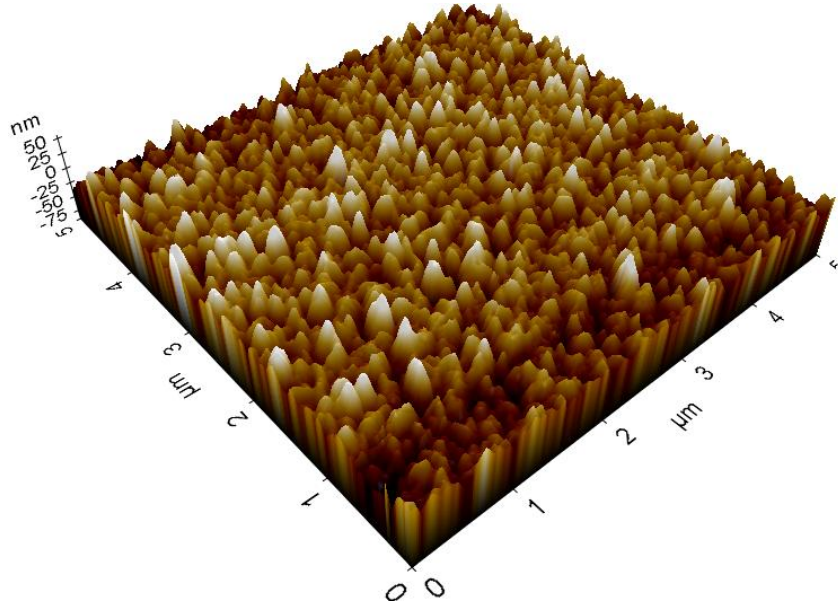
(b)

Şekil 7.18 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in pentasen filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.19(a,b), 7.2.2.2. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Pentasen filmi için yüzey pürüzlülük değeri, pentasen filminin tüm yüzeyinden 13.259 nm olarak bulundu. Şekil 7.19(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 155.14 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır.



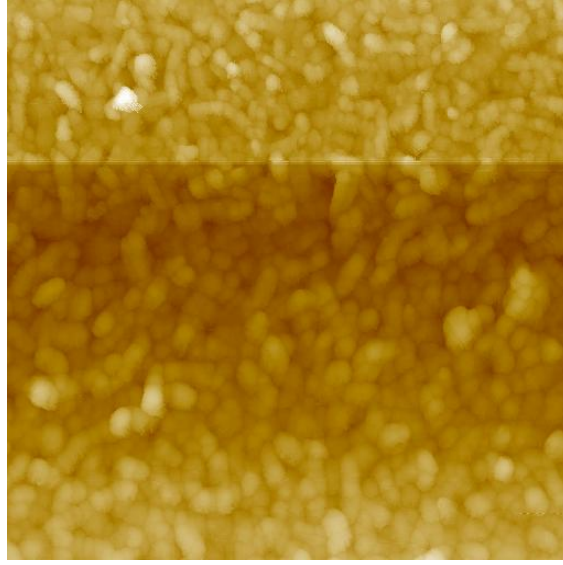
(a)



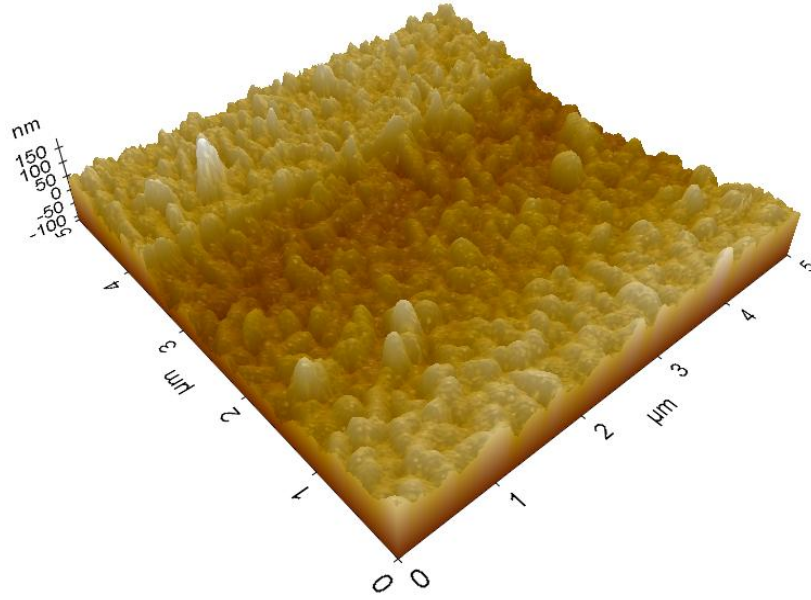
(b)

Şekil 7.19 7.2.2.2. kısımda anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'in pentasen filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.20(a,b), 7.2.3.1. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Pentasen filmi için yüzey pürüzlülük değeri, pentasen filminin tüm yüzeyinden 42.079 nm olarak bulundu. Şekil 7.20(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 218.5 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır.



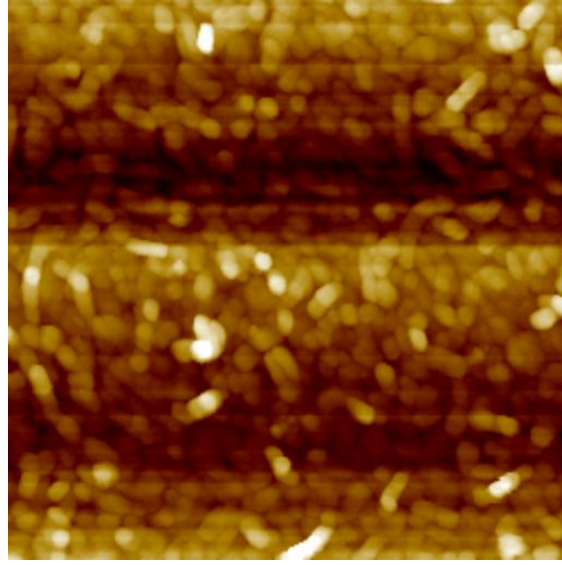
(a)



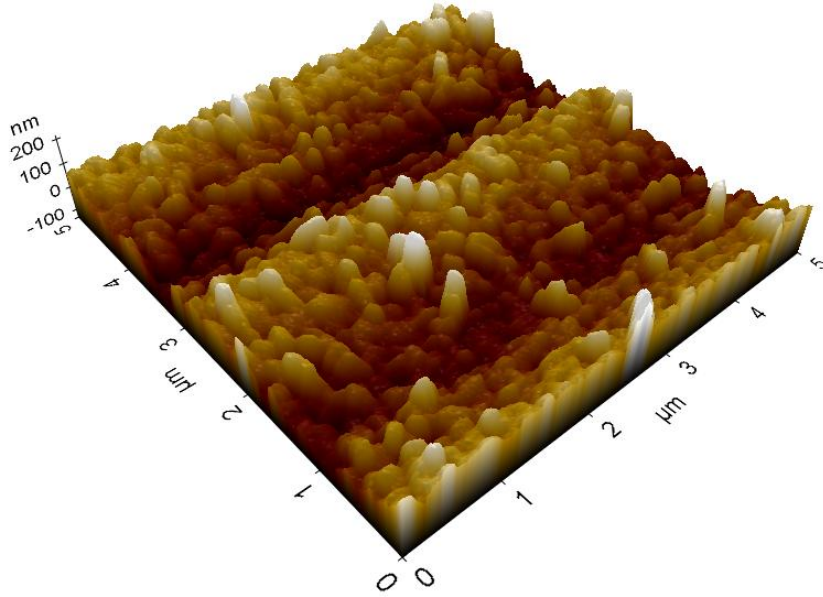
(b)

Şekil 7.20 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'in pentasen filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.21(a,b), 7.2.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'in pentasen filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Şekil 7.21(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen filmi yaklaşık 186.3 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır. Pentasen ince filmi için yüzey pürüzlülüğü 46.823 nm olarak bulundu. Şekil 7.21(a-b)'de görülen kısmi parlak alanlar, artan film kalınlığının bölgeleri olarak yorumlanmaktadır.



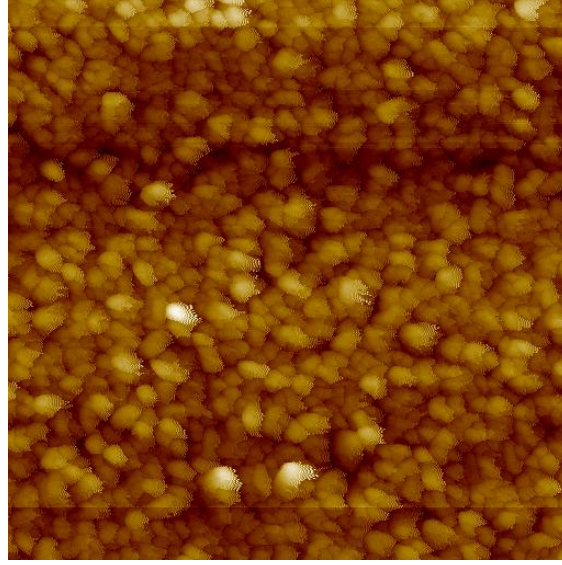
(a)



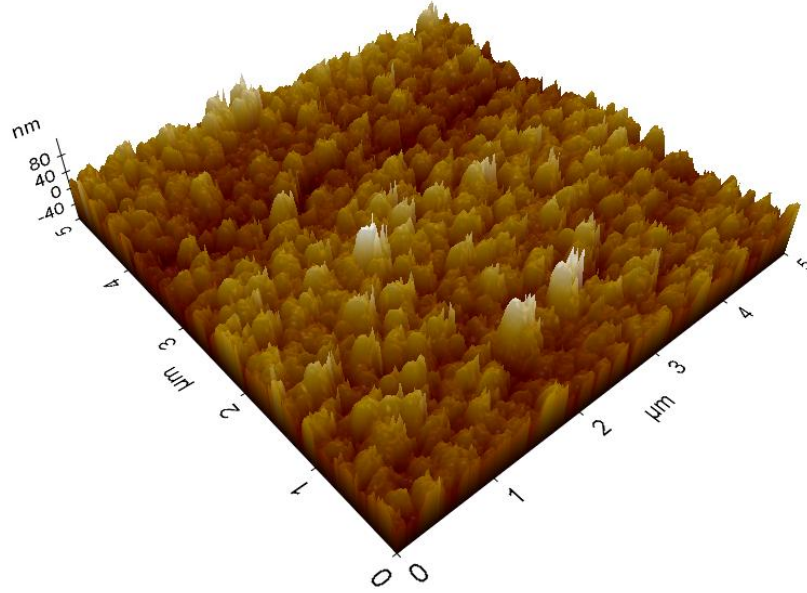
(b)

Şekil 7.21 7.2.3.2. kısımda anlatılan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'in pentasen filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.22(a,b), 7.3.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Pentasen türevi (TIPS) filmi için yüzey pürüzlülük değeri, 20.086 nm olarak bulundu. Şekil 7.22(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen türevi (TIPS) filmi yaklaşık 246.1 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır.



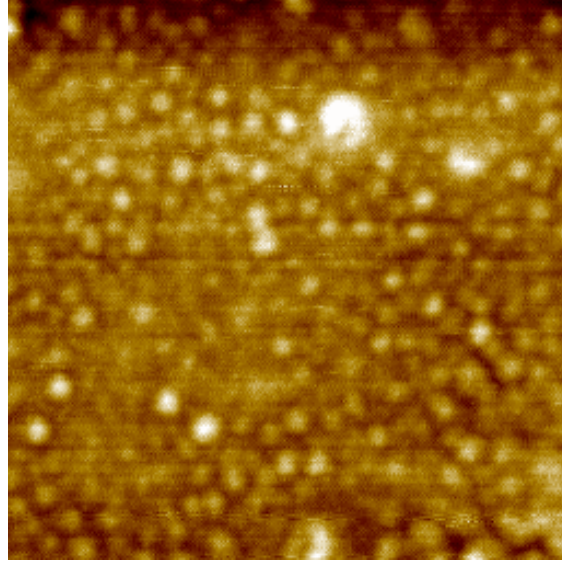
(a)



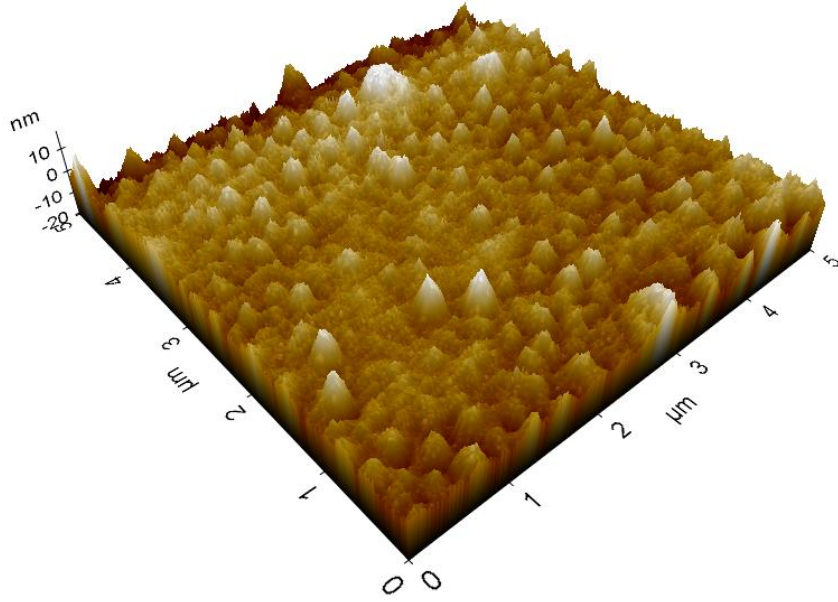
(b)

Şekil 7.22 7.3.2. kısımda anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin **(a)** bir (1D) ve **(b)** üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

Şekil 7.23(a,b), 7.3.3. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin bir (1D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntülerini göstermektedir. Pentasen türevi (TIPS) filmi için yüzey pürüzlülük değeri, 3.646 nm olarak bulundu. Şekil 7.23(a,b)'de görüldüğü gibi pentasen türevi (TIPS) filmi yaklaşık 197.64 nm ortalama tane boyutu ile küçük kristal tanelerden oluşmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 7.23 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in pentasen türevi (TIPS) filminin (a) bir (1D) ve (b) üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

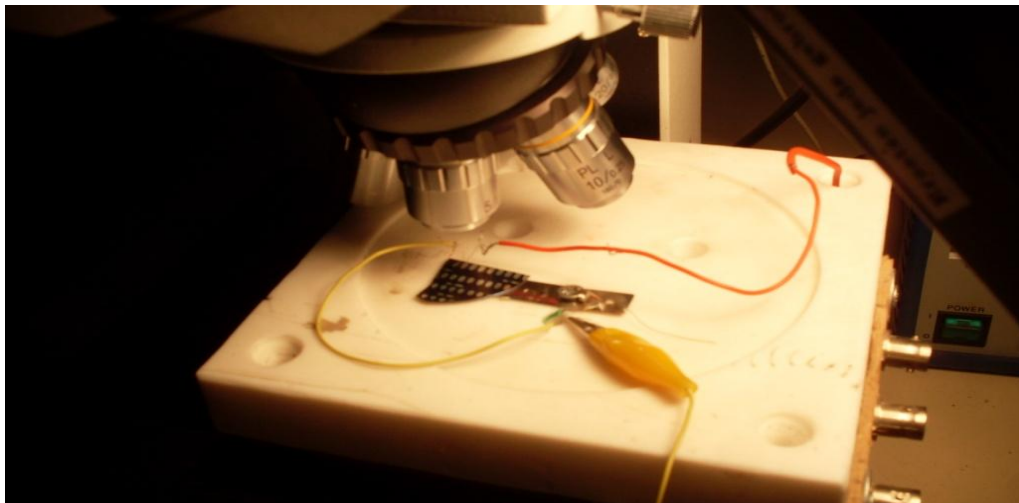
Hazırlanan OFET'lerin pentasen ve pentasen türevi (TIPS) filminin AFM görüntülerinden Park System XEI paket programı kullanılarak elde edilen tane boyutu ve pürüzlülükleri incelenerek, OFET'lerin elektriksel özellikleri üzerinde etkili olduğu görüldü.

7.5. Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Performans Karakteristikleri

Farklı kanal genişlikleri, oksit tipleri, oksit kalınlıkları, organik yarıiletkenler, kaplama metodları, aktif tabaka kalınlıkları (pentasen ve TIPS) kullanılarak hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'lerin performans (çıkış ve transfer) karakteristikleri, karanlık bir kutuda ve oda sıcaklığında, KEITHLEY model 4200-SCS yarıiletken karakterizasyon sistemi ile ölçüldü. Fotovoltaik ölçümler, bir 500 W'lık halojen lamba kullanılarak gerçekleştirildi ve ışık şiddeti bir solar power meter (TM-206) kullanılarak ölçüldü. Karanlık ve aydınlatma durumunda OFET'lerin ölçüm esnasındaki görünümü, Şekil 7.24(a-b)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

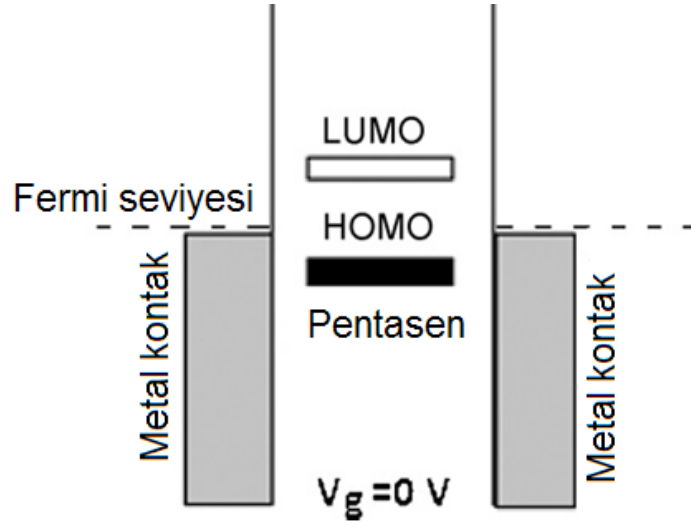
Şekil 7.24 Hazırlanan OFET'lerin (a) karanlık ve (b) aydınlatma durumunda ölçüm esnasındaki görünümü

7.5.1. Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri

Hazırlanan farklı pentasen esaslı ve pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentasen (TIPS) esaslı organik alan etkili transistör (OFET)'lerin çıkış karakteristikleri; kanal genişliği, oksit kalınlığı, oksit tipi, aydınlatma şiddeti ve aktif tabaka kalınlığı gibi üretim şartları değiştirilerek ayrı ayrı incelendi.

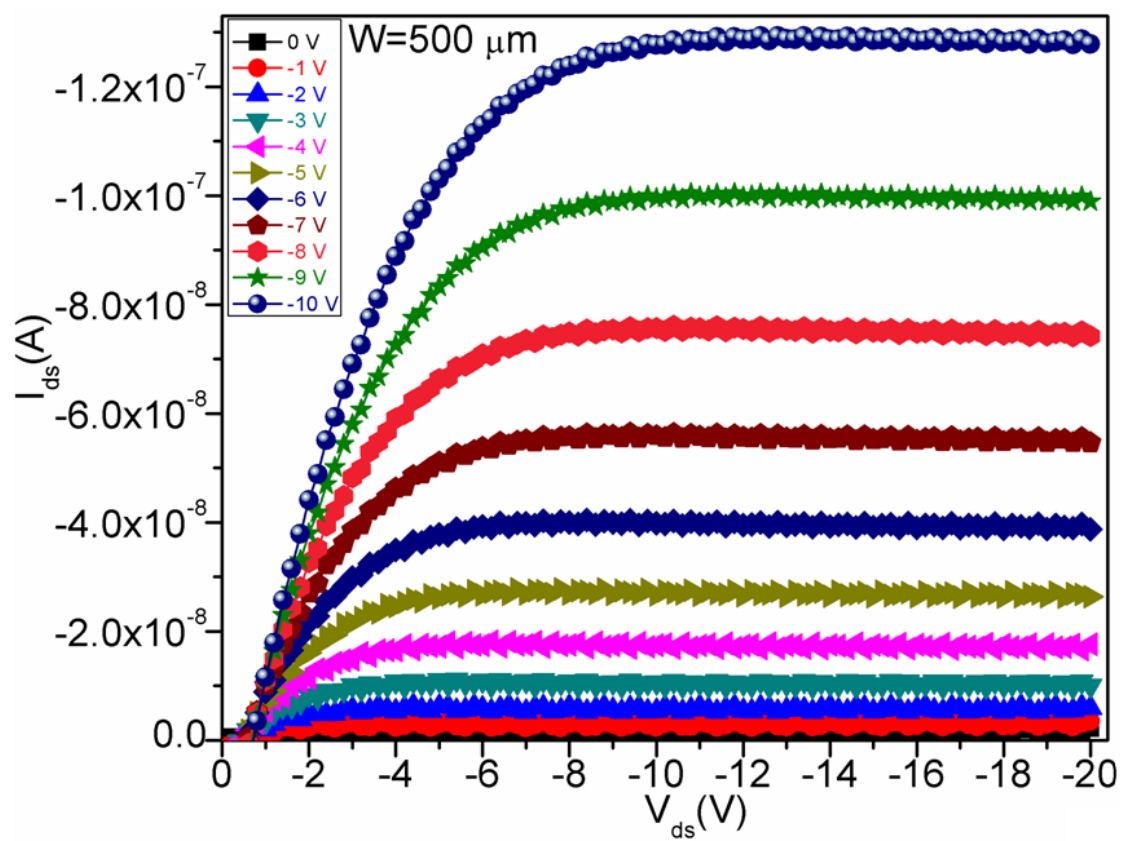
7.5.1.1. Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri

Transistörün çalışması için, iki Ag kontağı, sırasıyla kanal (D) ve kaynak olarak adlandırılır ve geçit voltajı n-Si altlığı uygulanır. Bu durumda, kanal (D)-kaynak akımı, pentasen organik yarıiletken üzerindeki Ag kontakları arasında akar. Kanal (D)-kaynak akımı, geçit voltajı ile kontrol edilir. Transistörün çalışma prensibi, en yüksek işgal edilmiş moleküler orbital (HOMO) ve en düşük işgal edilmemiş (LUMO) orbitallerinin konumları ile açıklanabilir. $V_g=0$ V altında pentasen yarıiletkenin Fermi seviyesi ve HOMO-LUMO seviyeleri arasındaki enerji seviye diyagramı, Şekil 7.25'de gösterilmektedir. $V_g=0$ V için, pentasen organik yarıiletkeni, HOMO seviyesi üzerinde herhangi yük taşıyıcılarına sahip değildir. Negatif bir voltaj uygulandığı zaman, pentasen yarıiletkeninde pozitif yükler oluşur, yani, kanal (C), p-tipi iletken kanal gibi davranır, bu durumda kaynak/kanal (D) metalinin Fermi seviyesi, pentasenin HOMO seviyesine yakın olur. Uygulanan bir pozitif voltaj için negatif yük taşıyıcıları, pentasen yarıiletken/dielektrik arayüzeyinde uyarlanır, yani, transistör n-tipi OTFT sergiler, bu durumda kaynak/kanal (D) metalinin Fermi seviyesi pentasenin HOMO seviyesine uzak, pentasenin LUMO seviyesine yakın olur. Daha sonra, elektronlar kaynak/kanal (D) metalinden pentasenin LUMO seviyesine enjekte edilebilirler ve negatif yük taşıyıcılarının n-tipi yarıiletken olduğu söylenebilir.

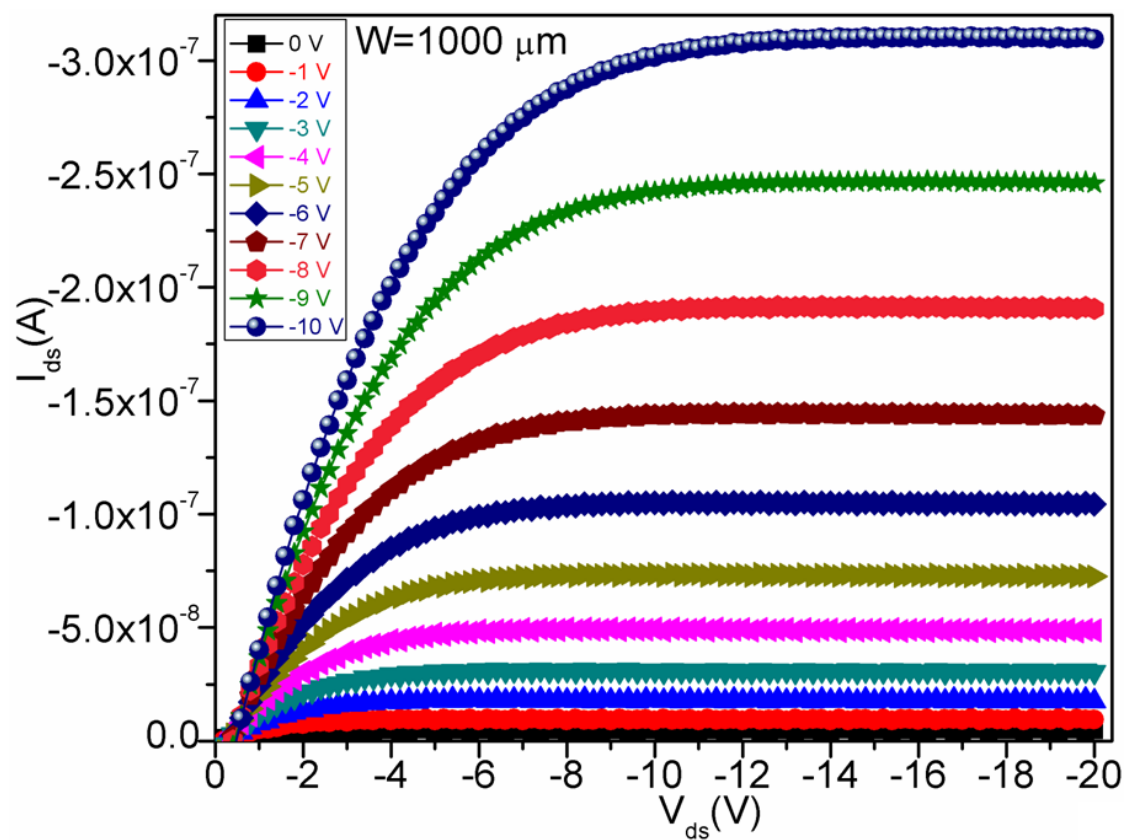


Şekil 7.25 Pentaseen transistörünün enerji seviye diyagramı [47].

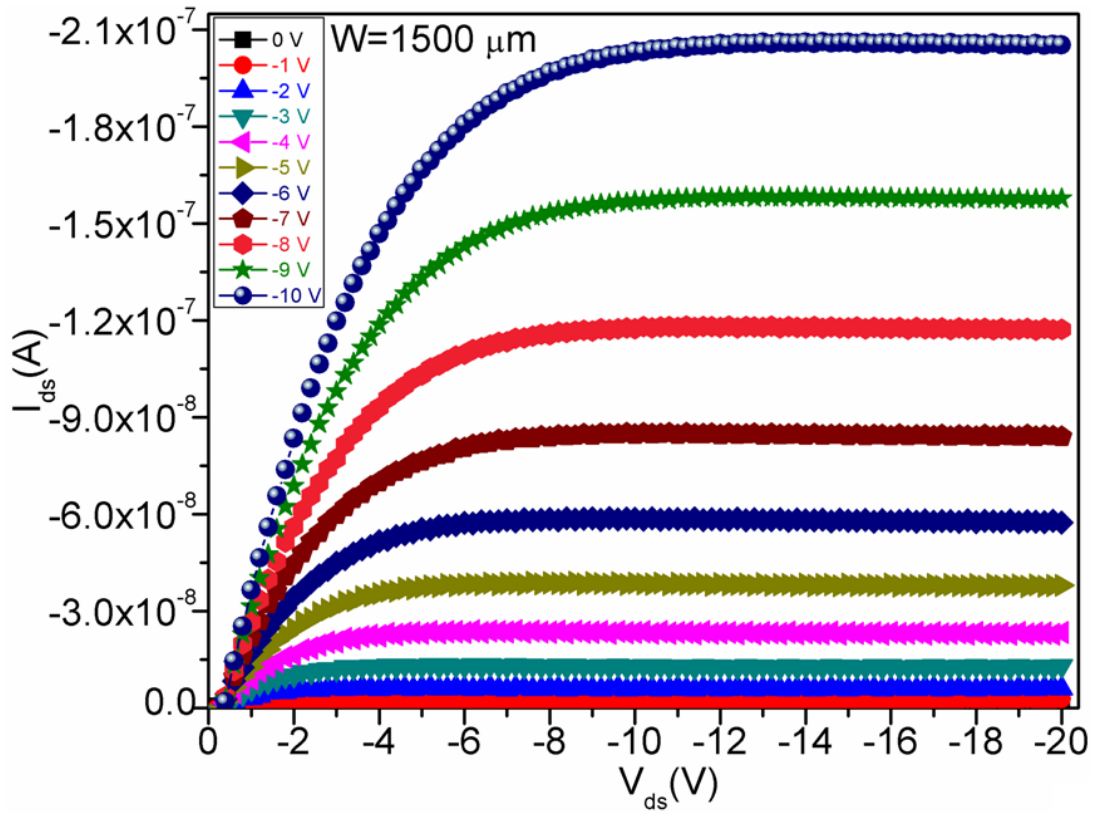
Şekil 7.26(a-d), farklı geçit voltajlarında farklı kanal genişlikli 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentaseen OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini göstermektedir. Şekil 7.26(a-d)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Böylece, n-Si/ SiO_2 /pentaseen OFET'lerinin çıkış karakteristikleri lineer (daha düşük voltajlarda) ve doyum bölgelerine sahip olduğu görülmektedir. Daha düşük voltajlardaki bu lineerlik, pentaseen ve gümüş (Ag) kontakları arasında iyi bir ohmik kontağın oluştuğunu göstermektedir [104]. Şekil 7.26(a-d), n-Si/ SiO_2 /pentaseen OFET'lerinin negatif voltajlar ile kanal (D) akımındaki artıştan dolayı iyi kontrol edilebilen bir geçit ile p-tipi OFET karakteristikleri sergilemektedir, yani n-Si/ SiO_2 /pentaseen OFET'lerinin tipik olarak p-kanal çalışma modunda çalıştığını göstermektedir. n-Si/ SiO_2 /pentaseen OFET'leri negatif geçit voltajlarının uygulanmasıyla pentaseen organik yarıiletken tabakasında pozitif taşıyıcılar oluşmaktadır. Bu durumda, transistörün çıkış karakteristikleri, toplanma modunda çalışan tipik bir p-tipi materyali içindir. Şekil 7.26(a-d)'de görüldüğü gibi, düşük voltajlarda akım (I_{ds}), negatif geçit voltajında V_{ds} ile hemen hemen lineer olarak artmaktadır. Bu, aygıtın bir geçit voltajı ile ayarlanan voltaj kontrollü bir rezistör olduğunu göstermektedir. Kanal (D)-kaynak akımının artışı, geçit voltajı ile artmaktadır. Bu durum, pozitif taşıyıcıların, negatif geçit voltajının uygulanması üzerine aktif pentaseen organik yarıiletken tabakada meydana geldiğini göstermektedir. OFET aygıtı, toplanma modunda çalışır ve p-kanal karakteristikleri göstermektedir.



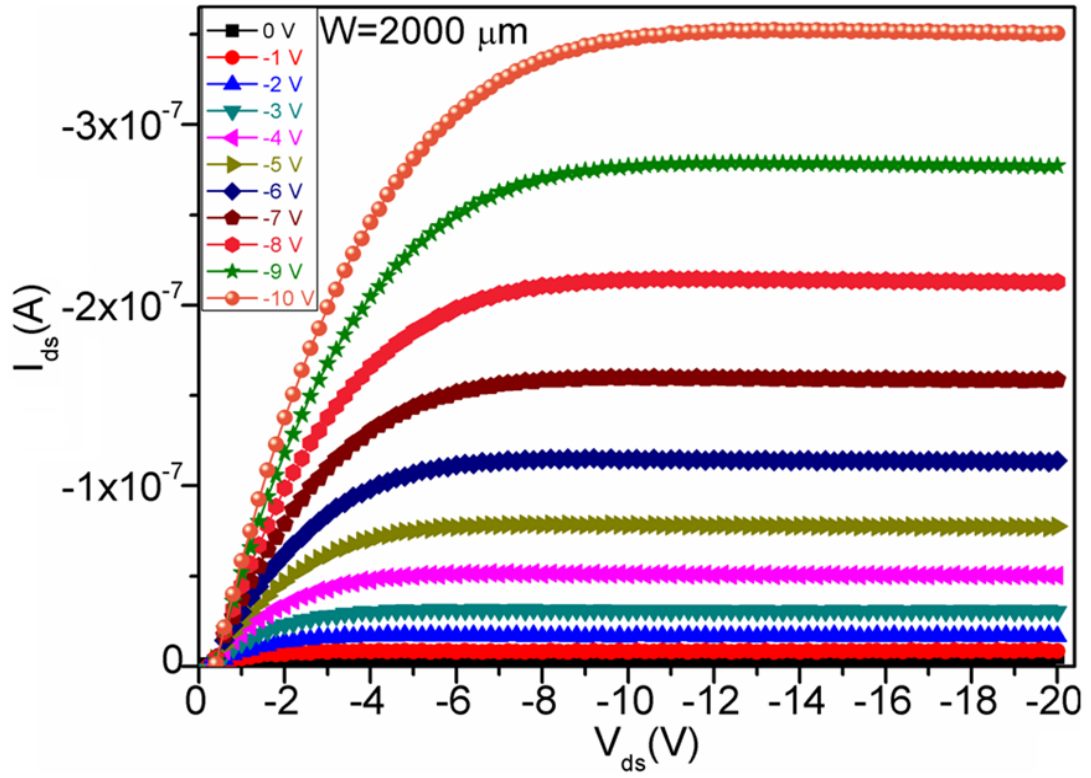
(a)



(b)



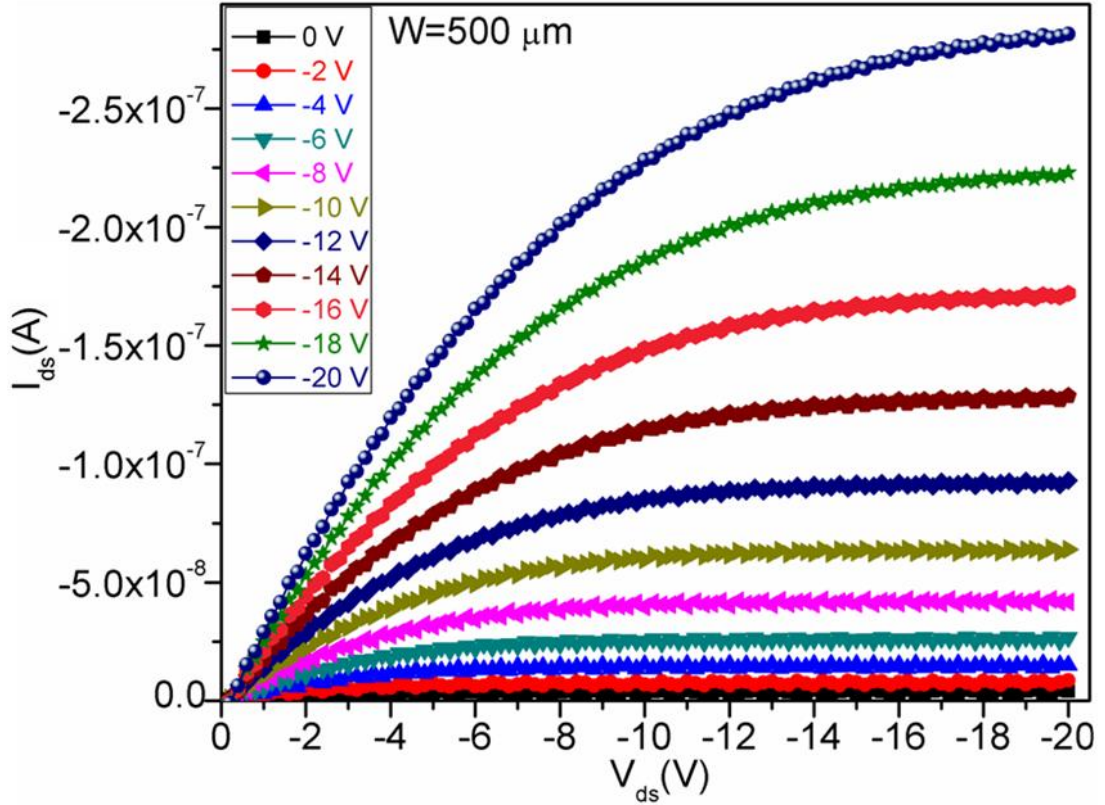
(c)



(d)

Şekil 7.26 (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri

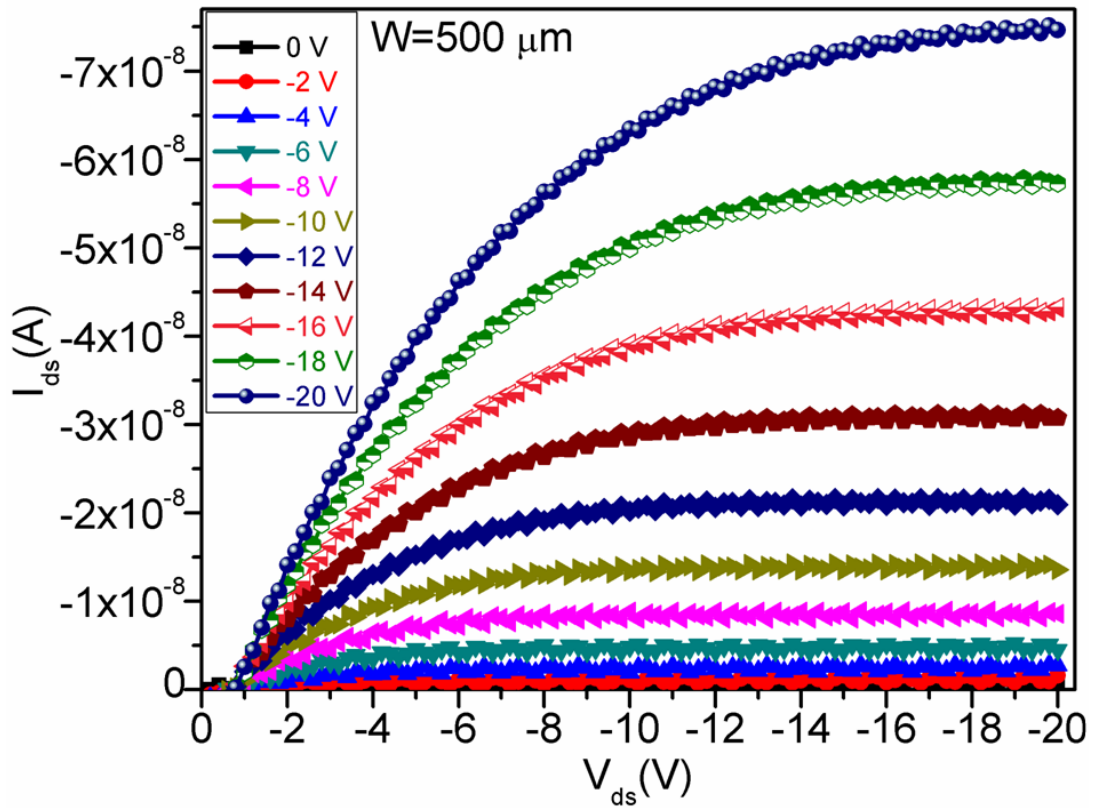
Şekil 7.27, farklı geçit voltajlarında 7.2.1.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiğini göstermektedir. Şekil 7.27'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi bir önceki transistör ile aynıdır. Bu transistörün bir önceki transistörden en bariz farkları, SiO₂ tabakasının hazır satın alınmayıp, laboratuvar ortamında büyütülen SiO₂ geçit tabakasının olması, dolayısıyla farklı kalınlıklı geçit tabakalı olması ve buharlaştırılan aktif tabaka malzemesi pentasen film kalınlığının farklı olmasıdır. Bir önceki OFET, 0'dan -10 V'a kadar 1'er V aralıklarla çıkış karakteristiklerini sergileyebildiği halde, bu OFET 0'dan -20 V'a kadar 2'er V aralıklarla çıkış karakteristiklerini sergileyebilmektedir. Bu OFET'in, 0'dan -10 V'a kadar 1'er V aralıklarla çıkış karakteristikleri çok iyi olmadığı görüldü. Ayrıca bu OFET'in $V_g = -10$ V'taki, kanal akım değeri bir önceki $W = 500$ μm kanal genişlikli OFET'in kanal akımı değerinden daha küçük olduğu görüldü. Bu durum, oksit tabakası farklılığına, geçit tabakası kalınlığına ve pentasen filminin kalınlığından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.



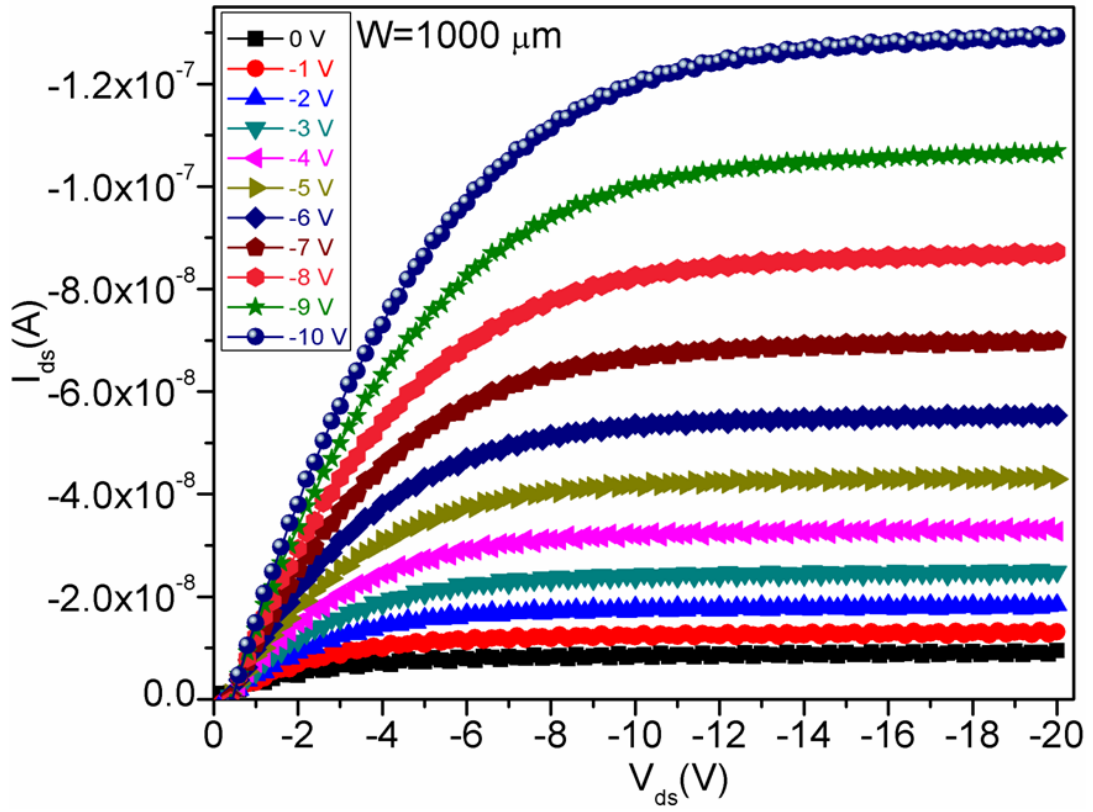
Şekil 7.27 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristiği

Şekil 7.28(a-b), farklı geçit voltajlarında 7.2.1.3. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini göstermektedir. Şekil 7.28(a-b)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır.

Şekil 7.28(a-b)'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -10$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı artmaktadır. Ayrıca, p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin $V_g = -10$ V'taki kanal akımı bir önceki her iki OFET'in kanal akımlarından düşüktür.



(a)

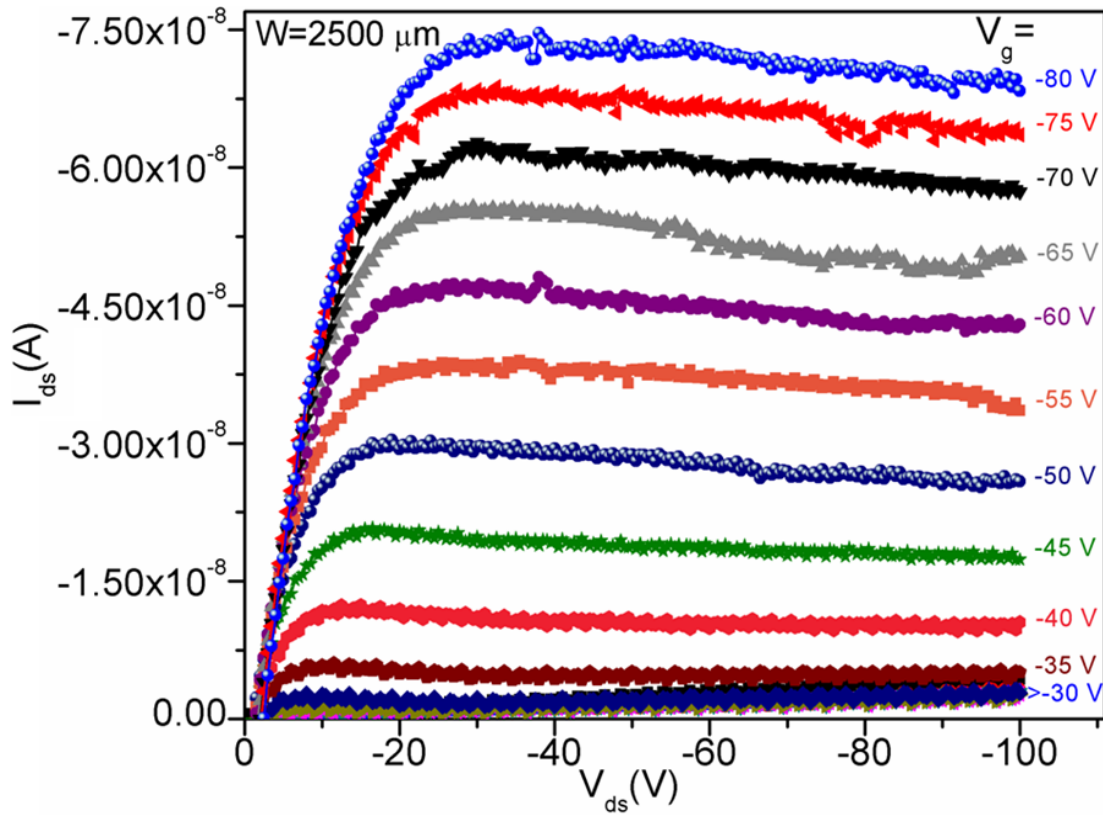


(b)

Şekil 7.28 (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET’lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri

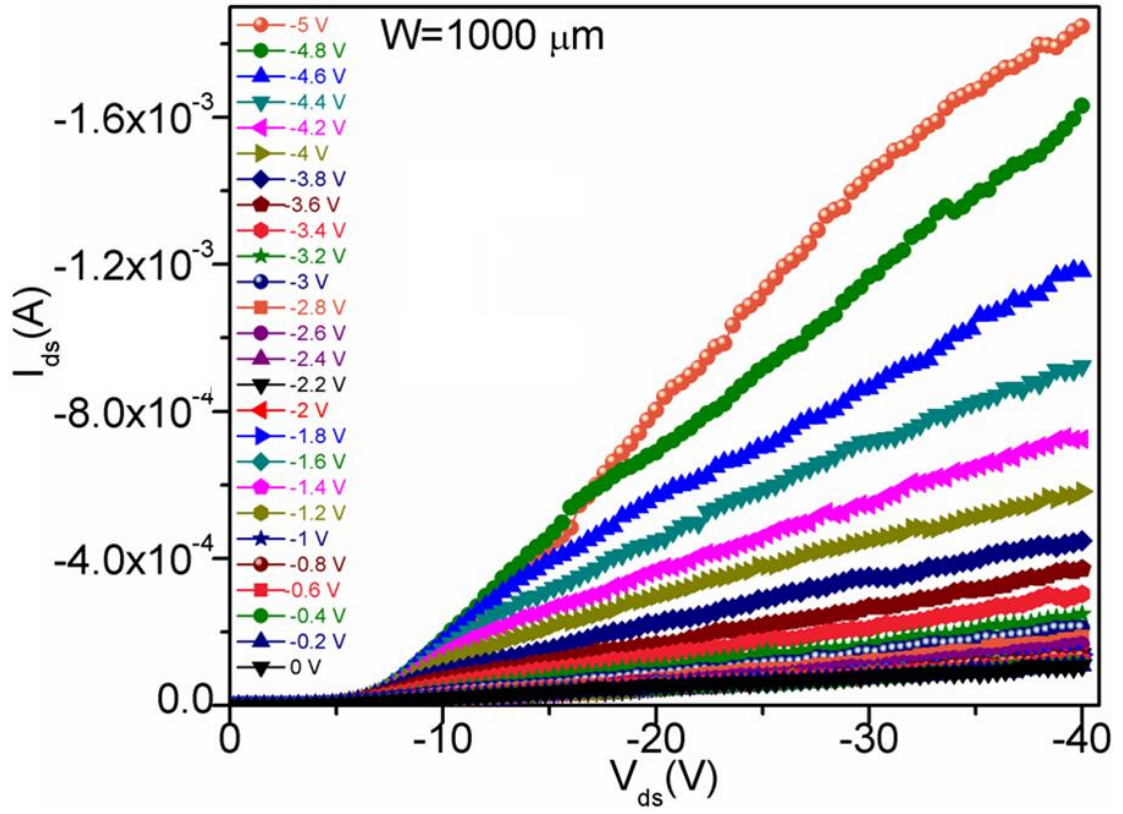
Şekil 7.29, farklı geçit voltajlarında 7.2.2.1. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET’inin çıkış karakteristiğini göstermektedir. Şekil 7.29’da görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır.

Şekil 7.29’da görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki n-Si/SiO₂/pentasen OFET’inin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı 0’dan -80 V’a kadar değişmesine rağmen kanal akımı daha önceki OFET’lerin kanal akımından küçük olup 10^{-8} A mertebesinde. Sol-jel yöntemiyle elde edilen geçit yalıtkan tabakalı bu OFET, 7.2.1.1. ve 7.2.1.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen geçit yalıtkan tabakalı n-Si/SiO₂/pentasen OFET’lerine göre daha yüksek kanal-kaynak voltajlarında ve geçit voltajlarında çalışmasına rağmen, kanal akımları daha düşüktür.



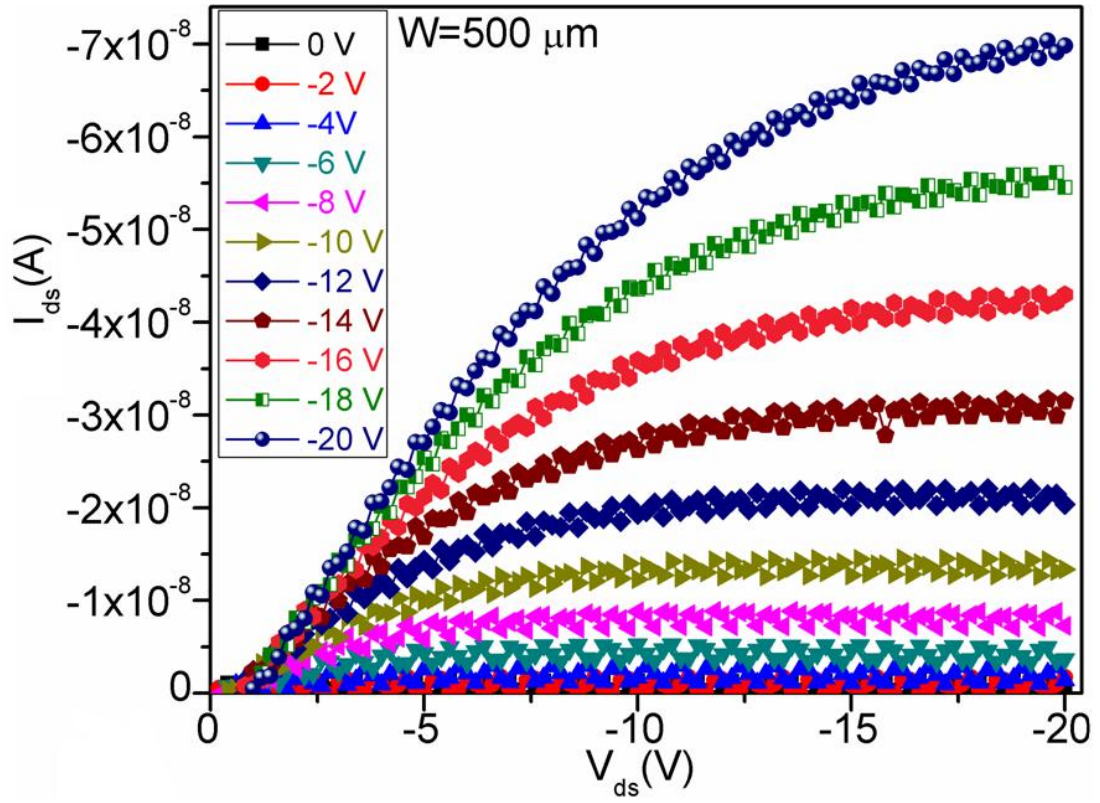
Şekil 7.29 W=2500 μm kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin $V_g=0$ V'dan -80 V'a kadar farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri)

Şekil 7.30, farklı geçit voltajlarında 7.2.2.2. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin çıkış karakteristiğini göstermektedir. Şekil 7.30'da görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır. Ancak, bu OFET'in doyum bölgesi daha küçük geçit voltajlarında daha belirgin bir şekilde görülürken daha yüksek geçit voltajlarında hemen hemen lineer bir davranış özelliği sergilemektedir. Şekil 7.30'da görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı 0'dan -5 V'a kadar değişirken kanal akımı bu çalışmadaki tüm OFET'lerin kanal akımından çok daha büyük olup 10^{-3} A mertebesine kadar yükselmektedir. Sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkan tabakalı bu OFET, bu çalışmadaki tüm OFET'lere göre daha düşük kanal-kaynak voltajlarında ve geçit voltajlarında çalışmakta ve kanal akımları çok daha yüksektir.

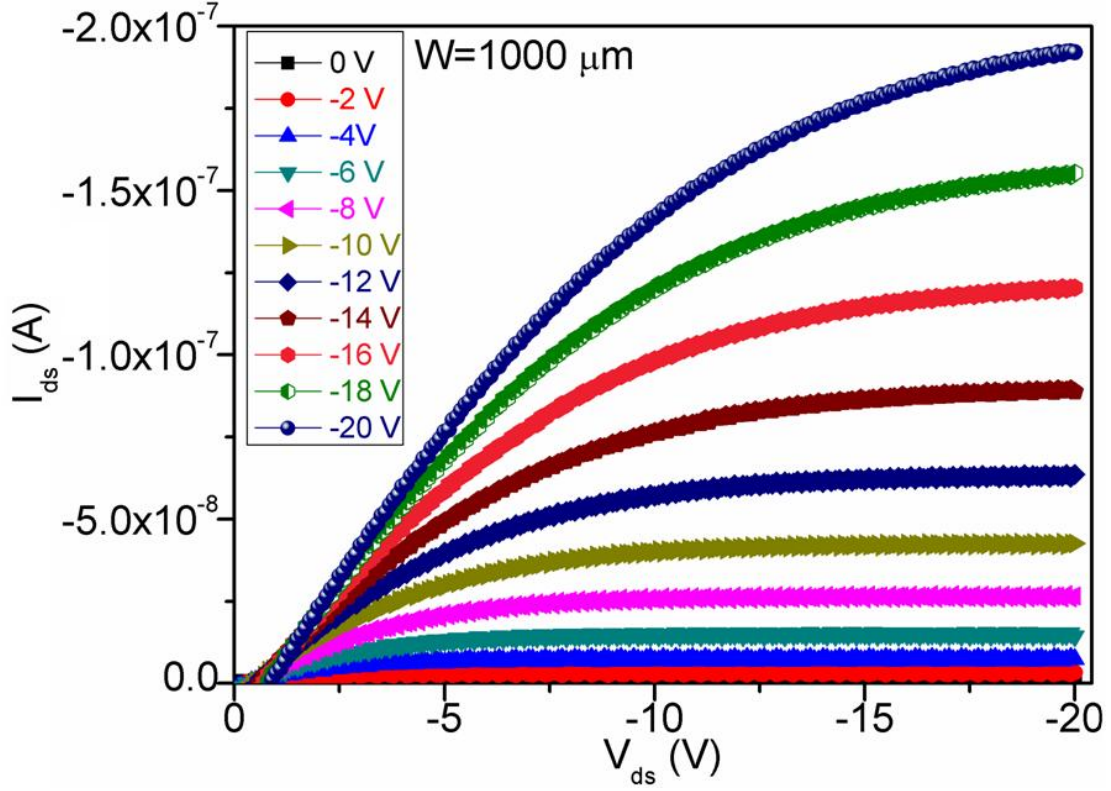


Şekil 7.30 W=1000 μm kanal genişlikli n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin $V_g=0$ V'dan -5 V'a kadar farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri

Şekil 7.31(a-b), farklı geçit voltajlarında 7.2.3.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini (çıkış karakteristiklerini) göstermektedir. Şekil 7.31(a-b)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır.



(a)

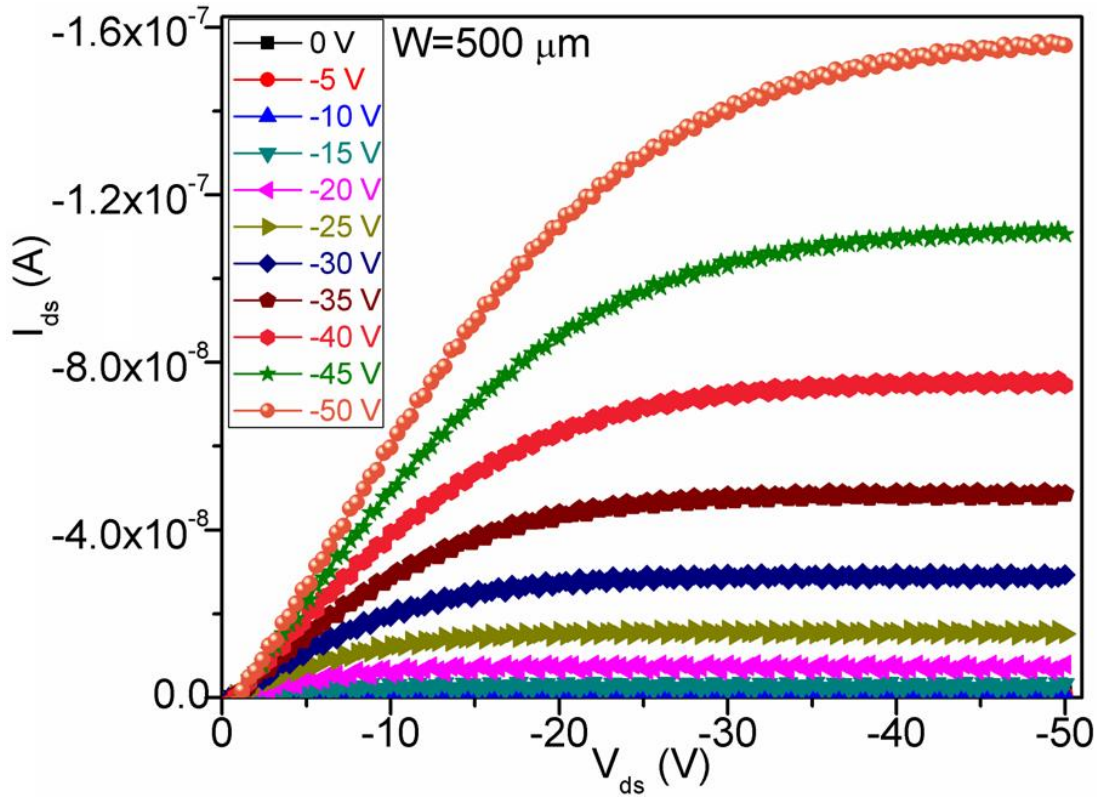


(b)

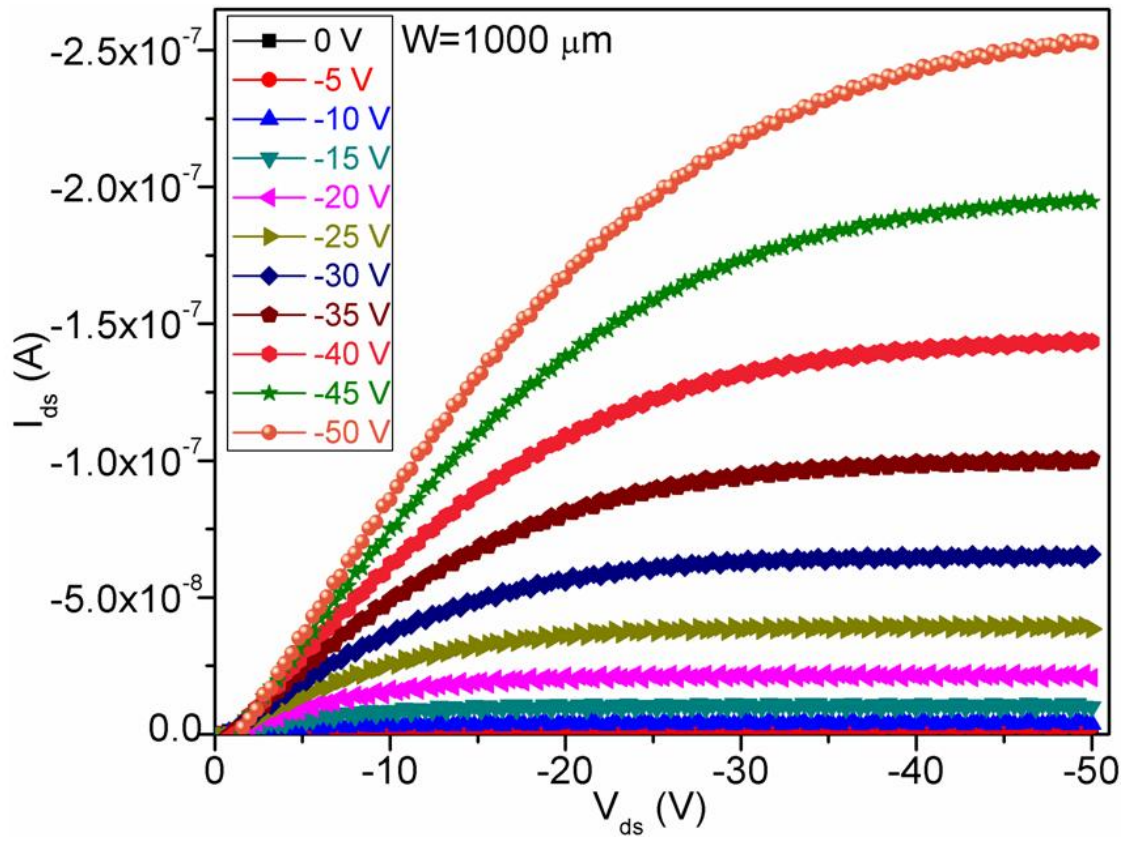
Şekil 7.31 (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında çıkış karakteristikleri

Şekil 7.32(a-d), farklı geçit voltajlarında 7.2.3.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini (çıkış karakteristiklerini) göstermektedir. Şekil 7.32(a-d)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif (iletken) kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır.

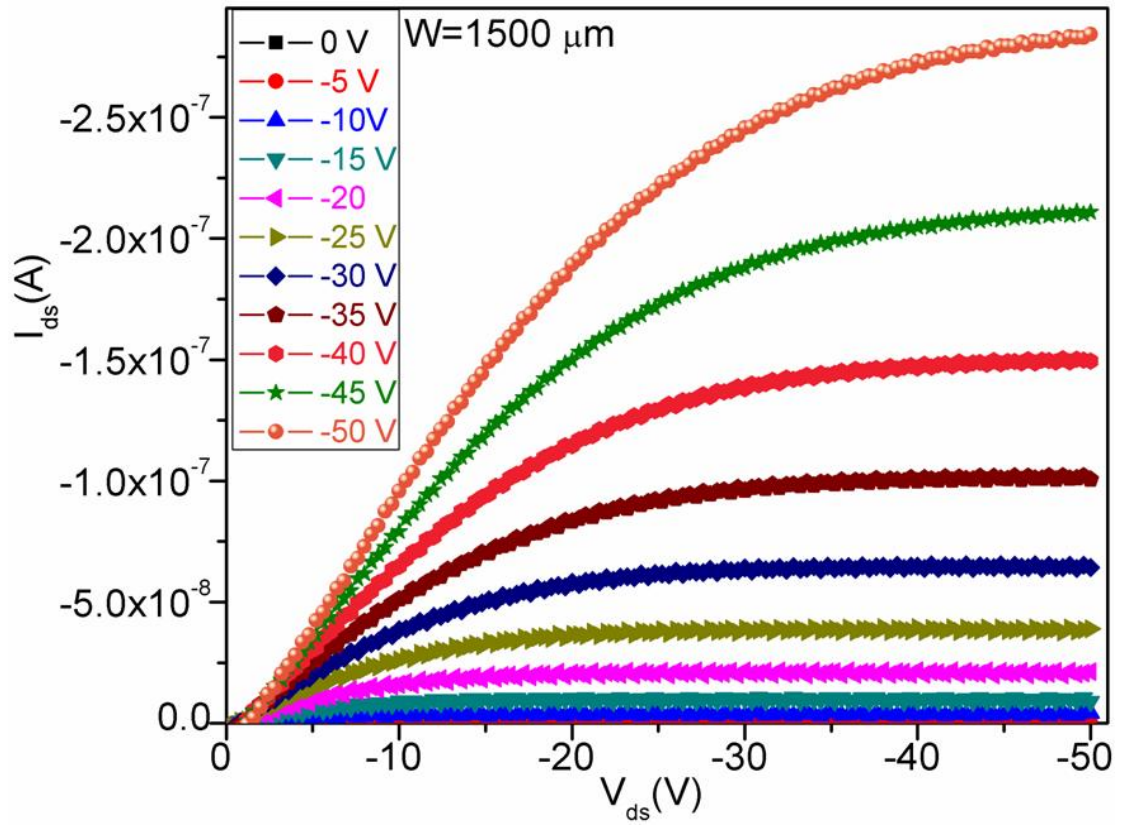
Şekil 7.32(a-c)'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -50$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı da artmakta ve 10^{-7} A mertebesinde dir.



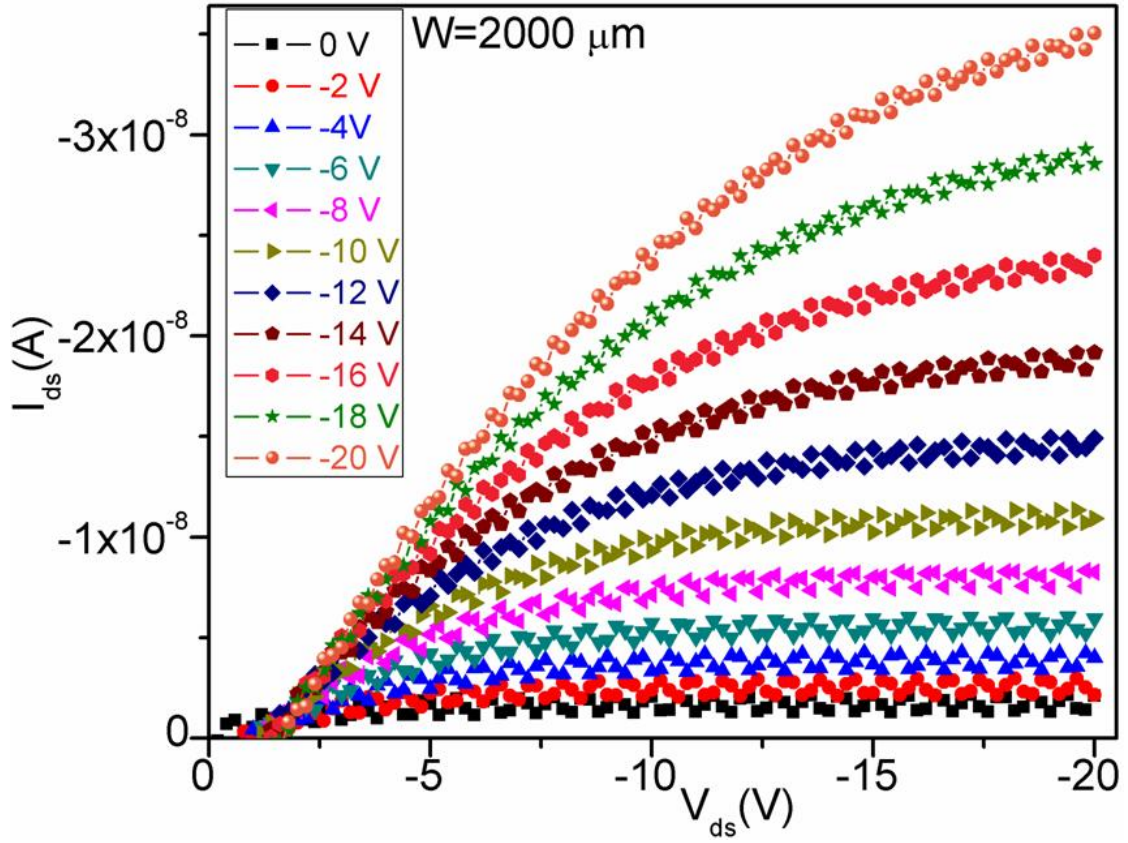
(a)



(b)



(c)

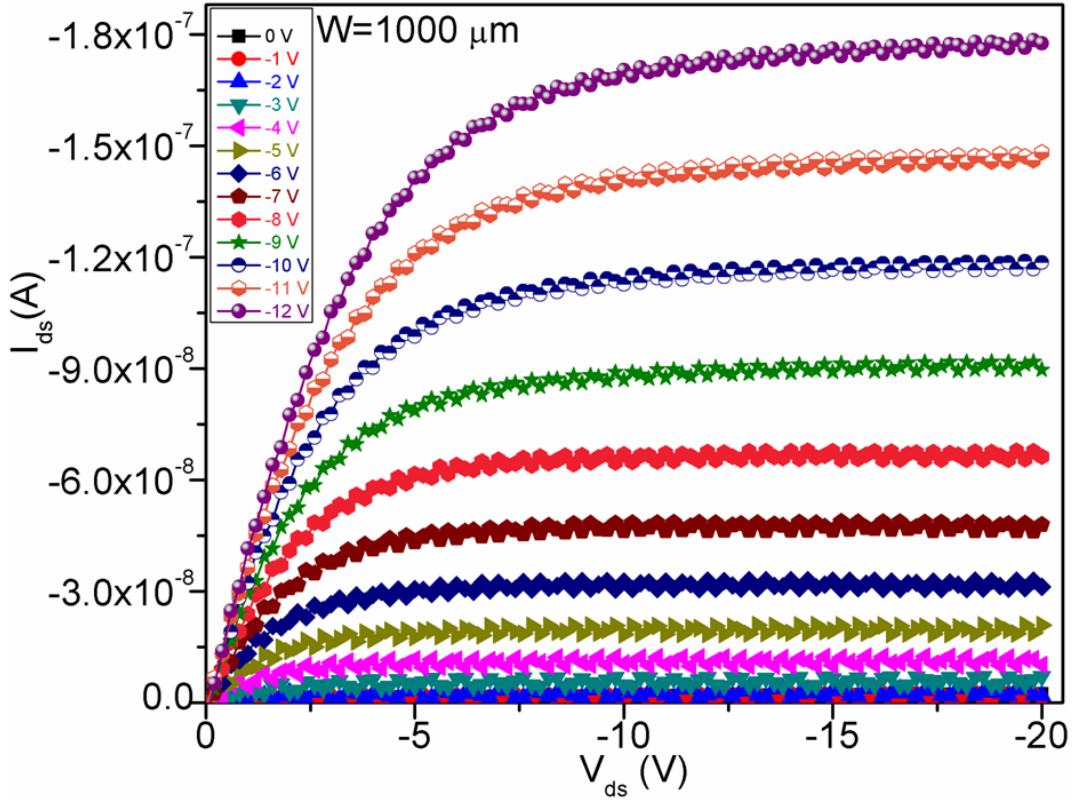


(d)

Şekil 7.32 (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentaseen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri

7.5.1.2. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Çıkış Karakteristikleri

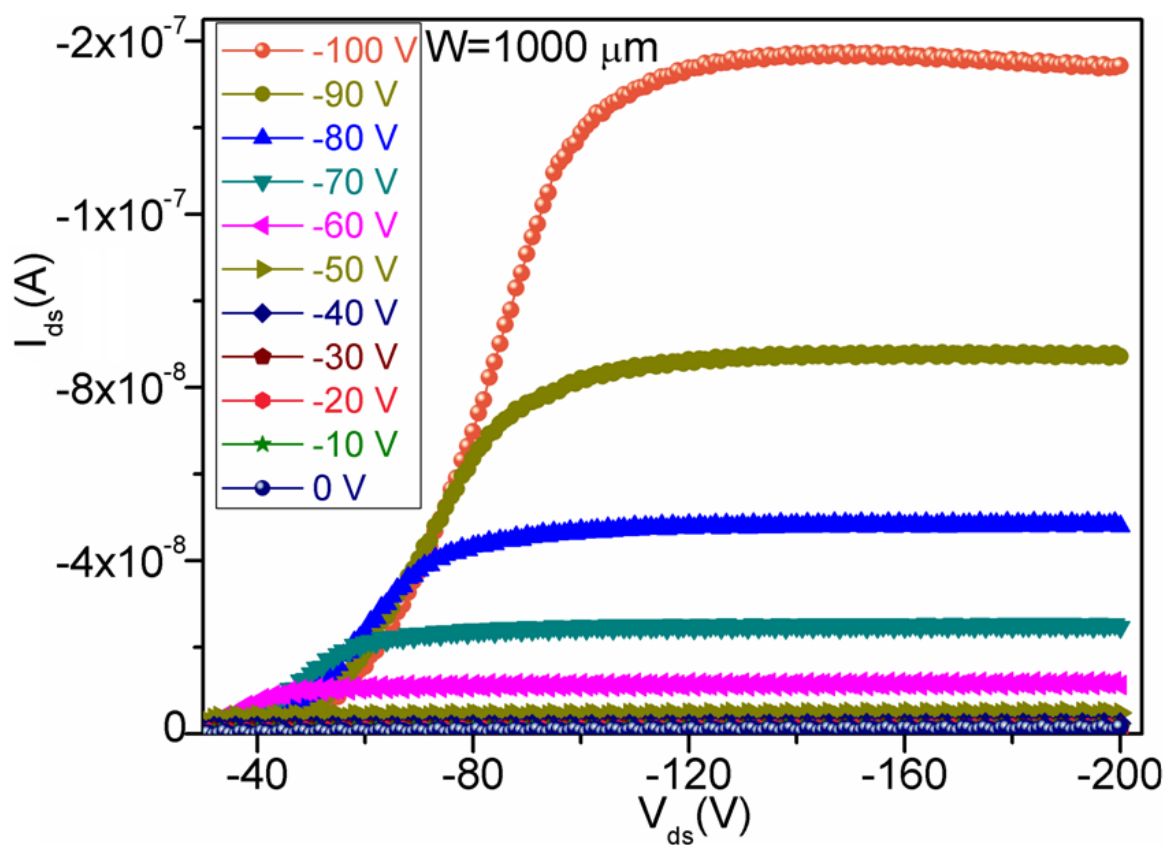
Şekil 7.33, farklı geçit voltajlarında 7.3.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanını ile hazırlanan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiğini (çıkış karakteristiğini) göstermektedir. Şekil 7.33'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif (iletken) kanalının kısırılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır.



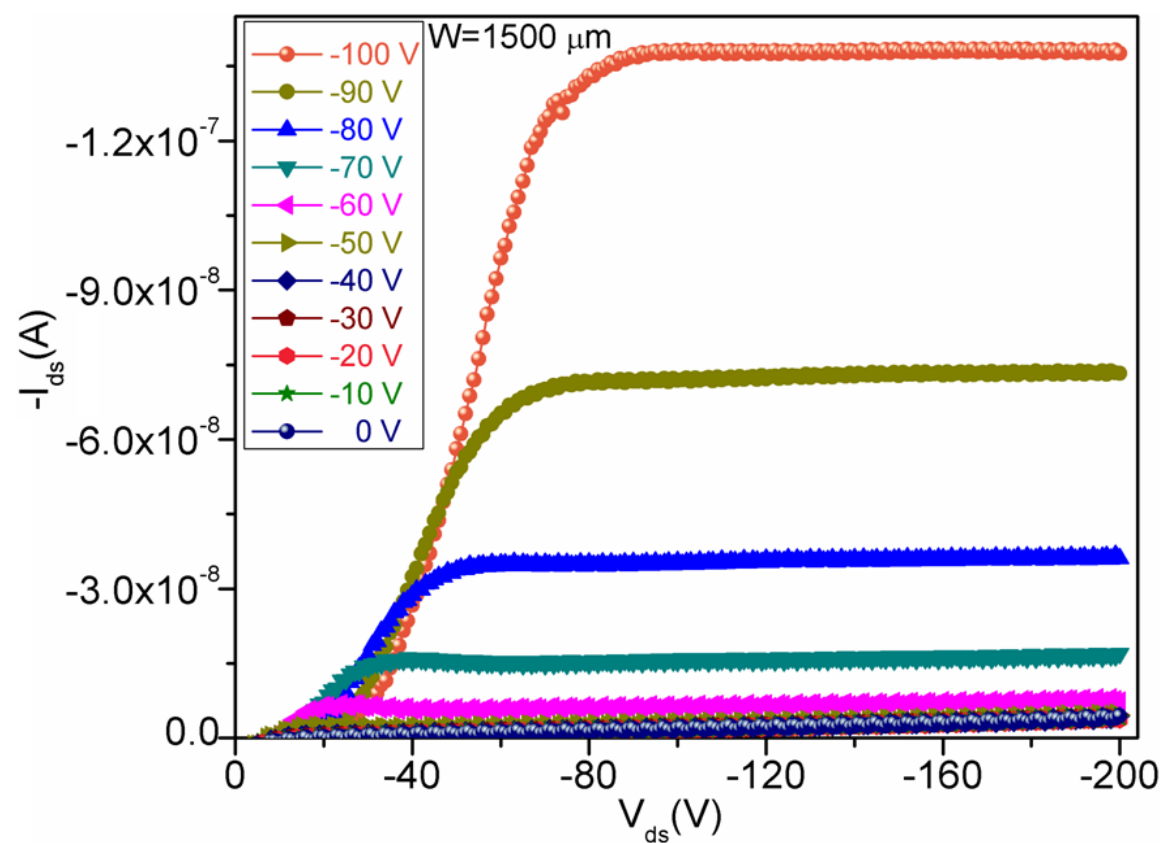
Şekil 7.33 $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri

Şekil 7.34(a-c), farklı geçit voltajlarında 7.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini (çıkış karakteristiklerini) göstermektedir. Şekil 7.34(a-c)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif (iletken) kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır.

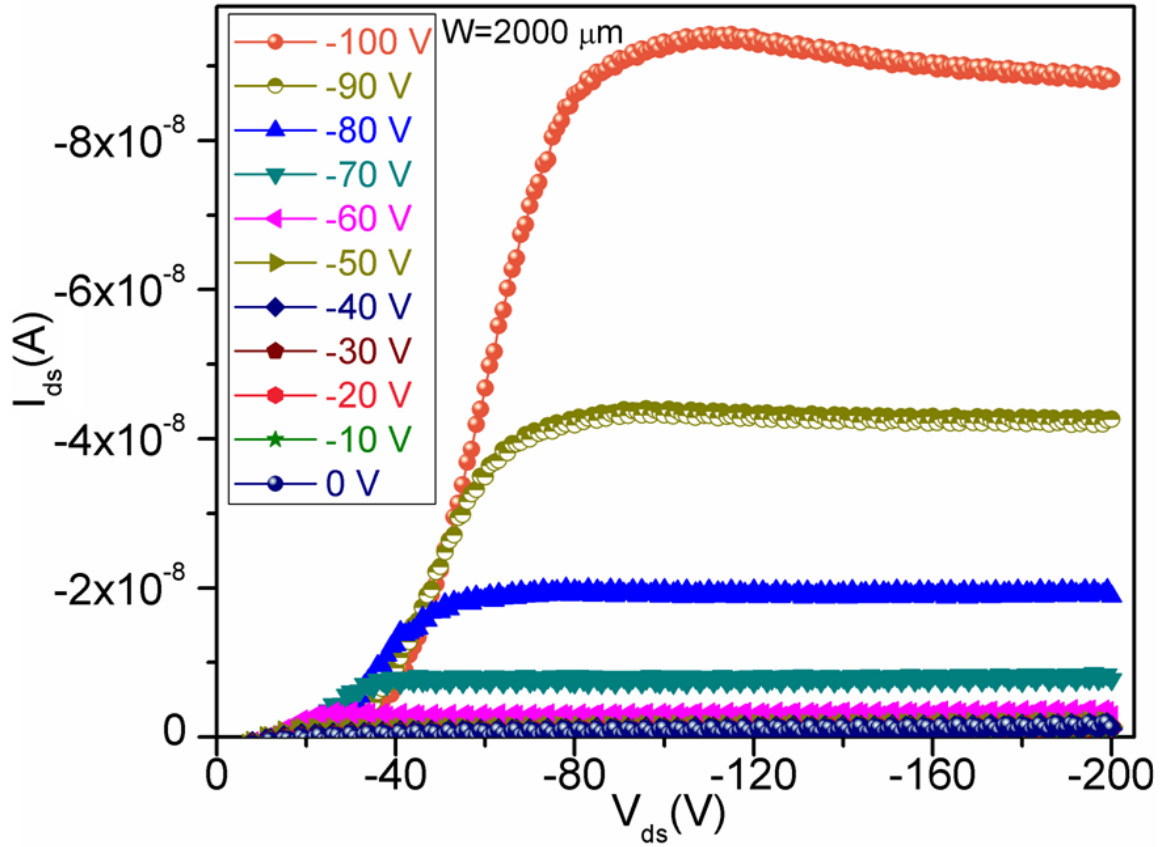
Şekil 7.34(a-c)'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -100 \text{ V}$ 'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı pentasen esaslı OFET'lerinin aksine azalmaktadır. Ayrıca pentasen esaslı OFET'lere göre, pentasen türevi TIPS esaslı OFET'ler daha yüksek kaynak/kanal ve geçit voltajlarında çalışmaktadırlar. Bir diğer önemli özellik, çözünabilir-işlemleri spin-kaplama yöntemi kullanılarak kaplanan pentasen türevi TIPS ile hazırlanan OFET, termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak kaplanan pentasen türevi TIPS ile hazırlanan OFET'lerin transistör karakteristiklerinden daha iyi performans sergileyip daha düşük kaynak/kanal ve geçit voltajlarında çalışmaktadırlar.



(a)



(b)

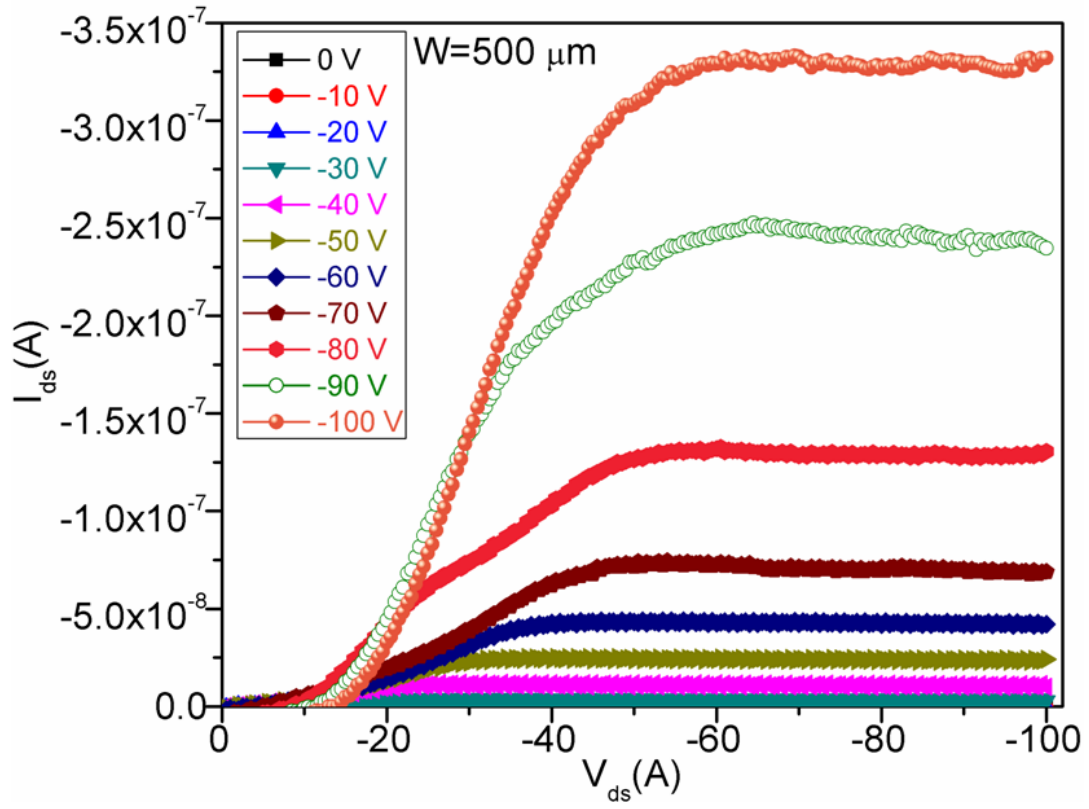


(c)

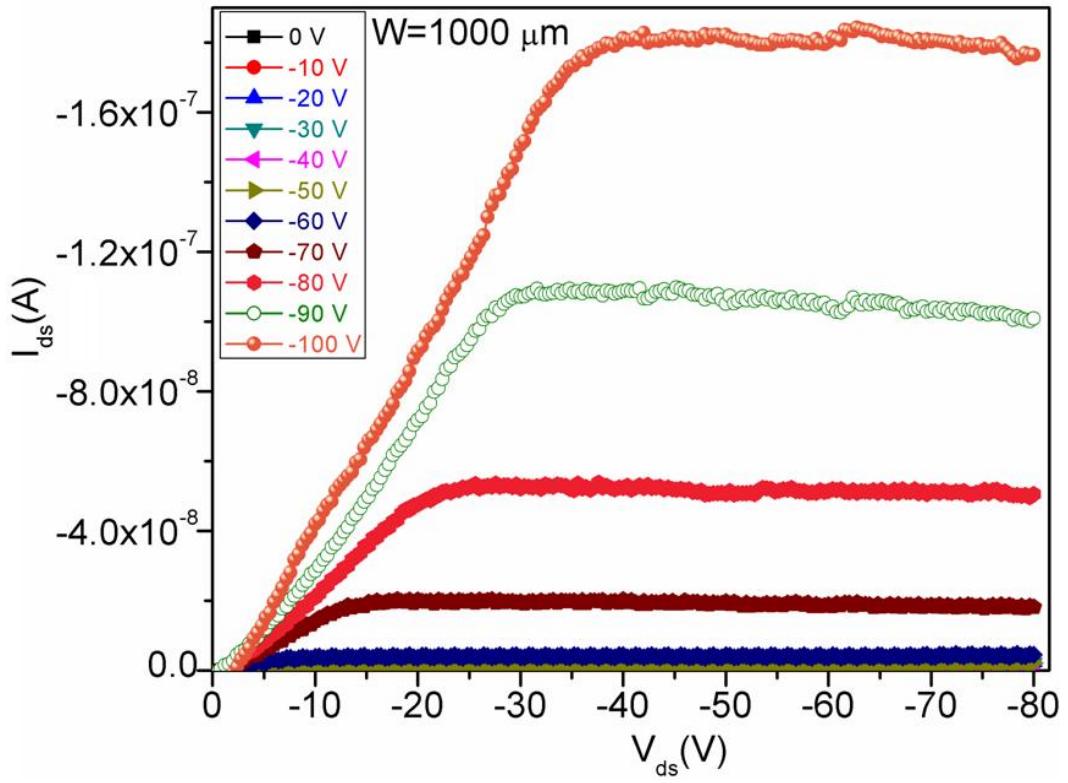
Şekil 7.34 (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri

Şekil 7.35(a-b), farklı geçit voltajlarında 7.3.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin kanal voltajına karşı kanal (D) akımının grafiklerini (çıkış karakteristiklerini) göstermektedir. Şekil 7.35(a-b)'de görüldüğü gibi, kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif (iletken) kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Transistörün çıkış karakteristiği özellikleri ve çalışma prensibi ilk anlatılan OFET ile aynıdır.

Pentasen türevi TIPS filminin kalınlığı azaldıkça kanal akımının çok az düştüğü ve transistörün çıkış karakteristiğinin daha kararlı olduğu görüldü.



(a)

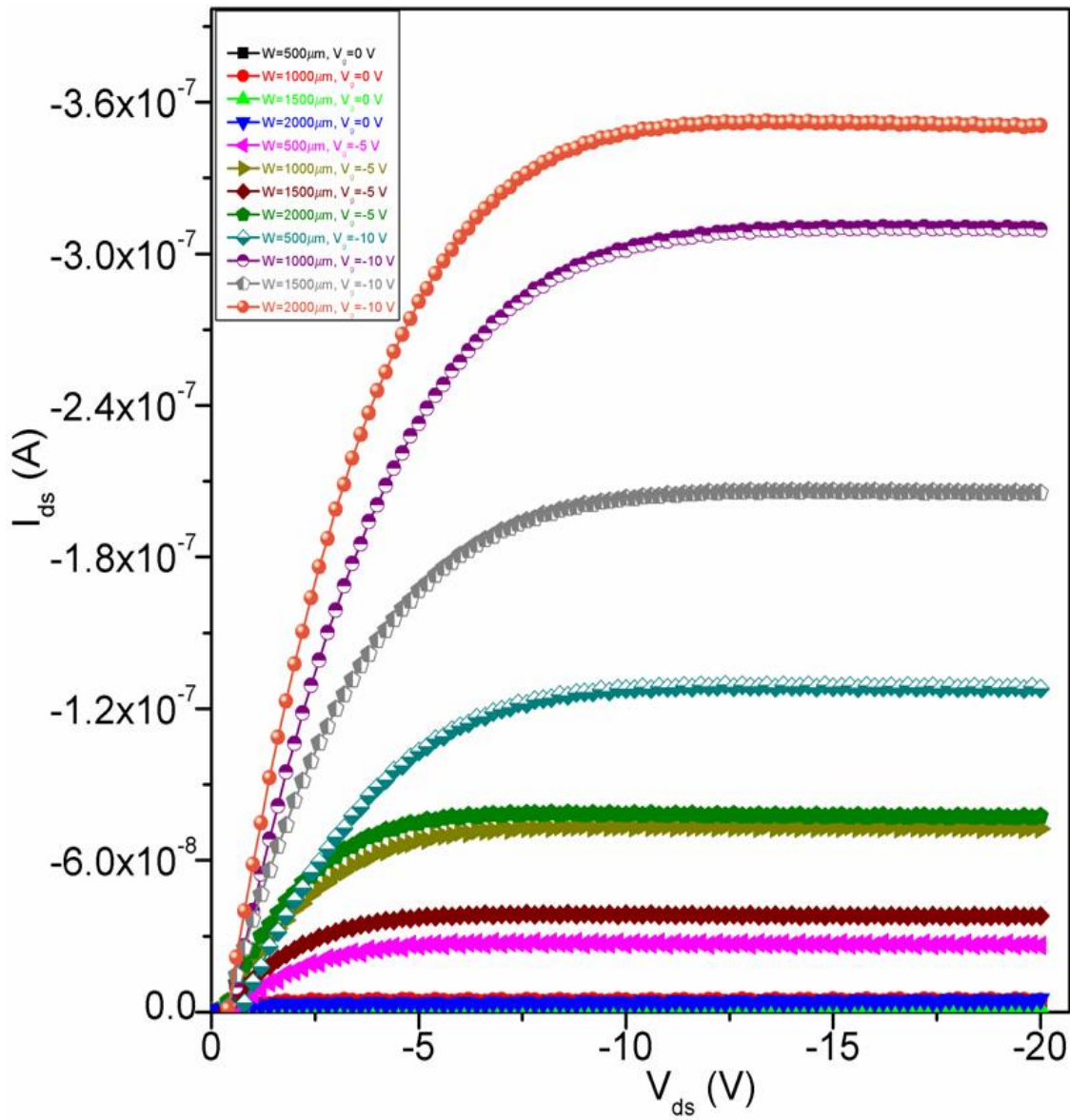


(b)

Şekil 7.35 (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarındaki çıkış karakteristikleri

7.5.1.3. Kanal Genişliğinin OFET'lerin Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine kanal genişliği (W) etkisi incelendi. Şekil 7.36, 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.36'da görüldüğü gibi, geçit voltajı $V_g = -10$ V ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı artmaktadır. Ancak $W = 1500$ μm kanal genişlikli OFET'in bu geçit voltajında kanal akımının, $W = 1000$ μm kanal genişlikli OFET'in kanal akımından daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 7.36 n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri

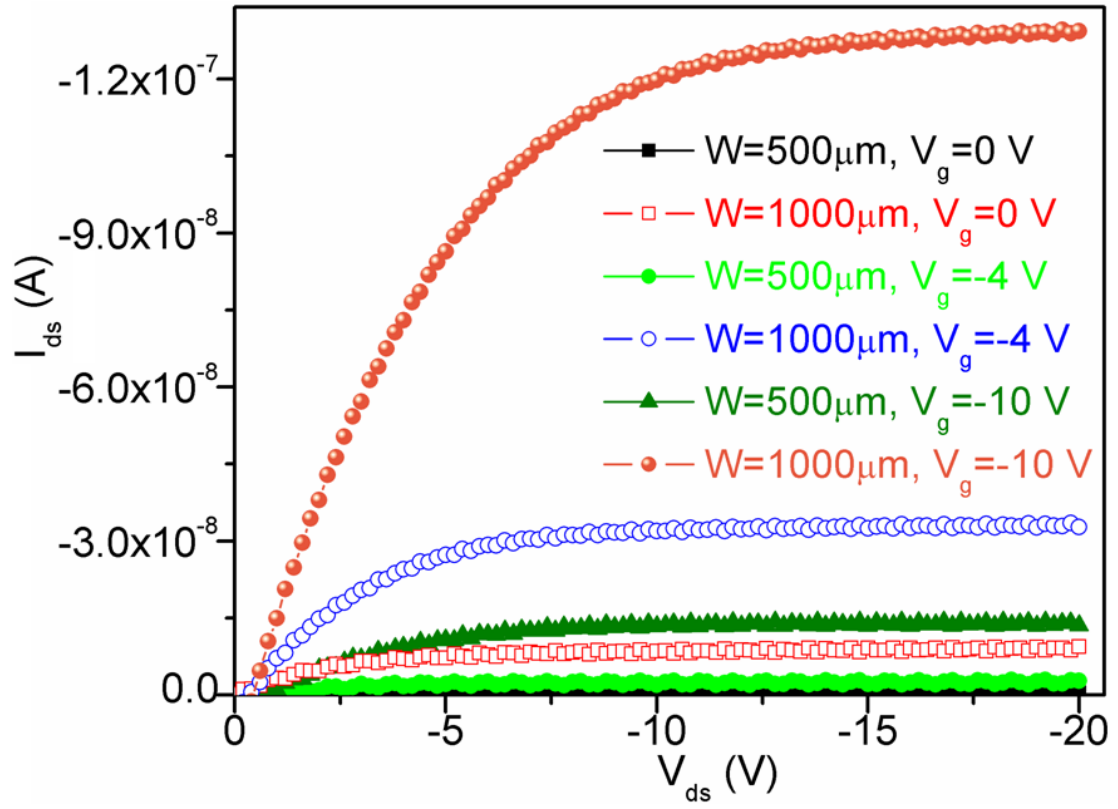
Şekil 7.37, 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.37'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -10$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı artmaktadır. Ayrıca, p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin $V_g = -10$ V'taki kanal akımı bir önceki her iki OFET'in kanal akımlarından düşüktür.

Şekil 7.38, 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.38'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -20$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı da artmaktadır.

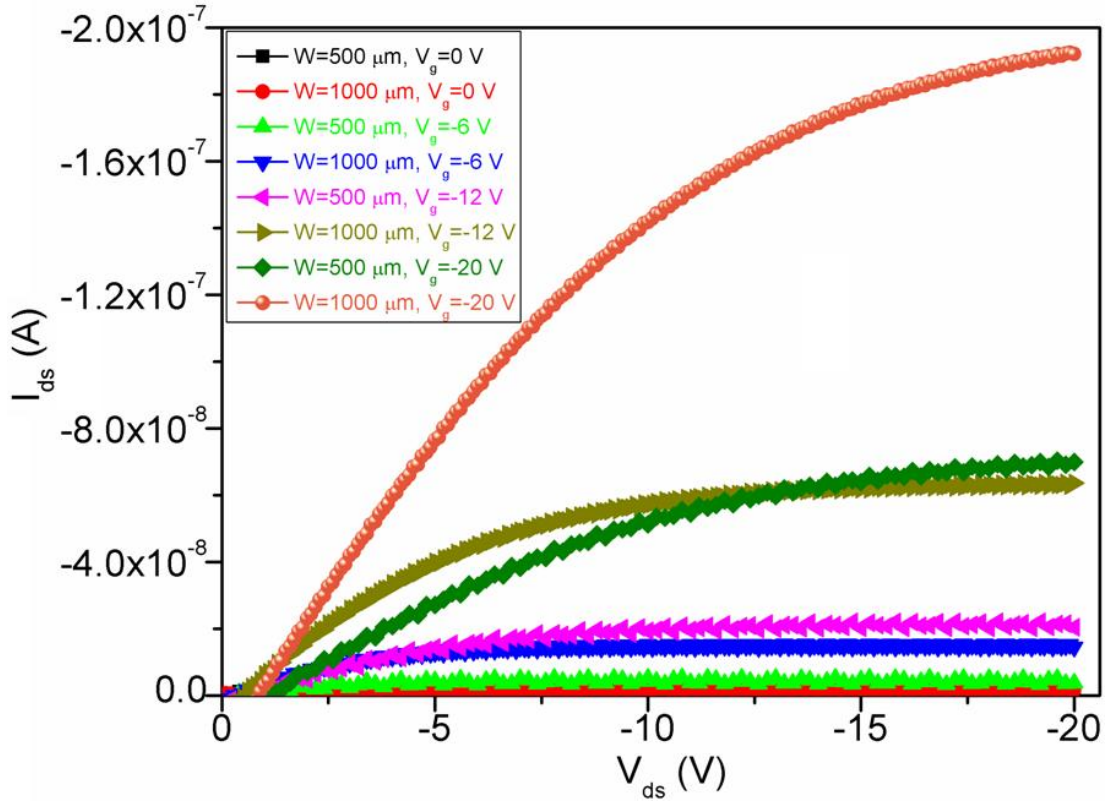
Şekil 7.39, 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.39'da görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -50$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı da artmakta ve 10^{-7} A mertebesindedir.

Şekil 7.40, 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.40'da görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -100$ V ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı pentasen esaslı OFET'lerinin aksine azalmaktadır.

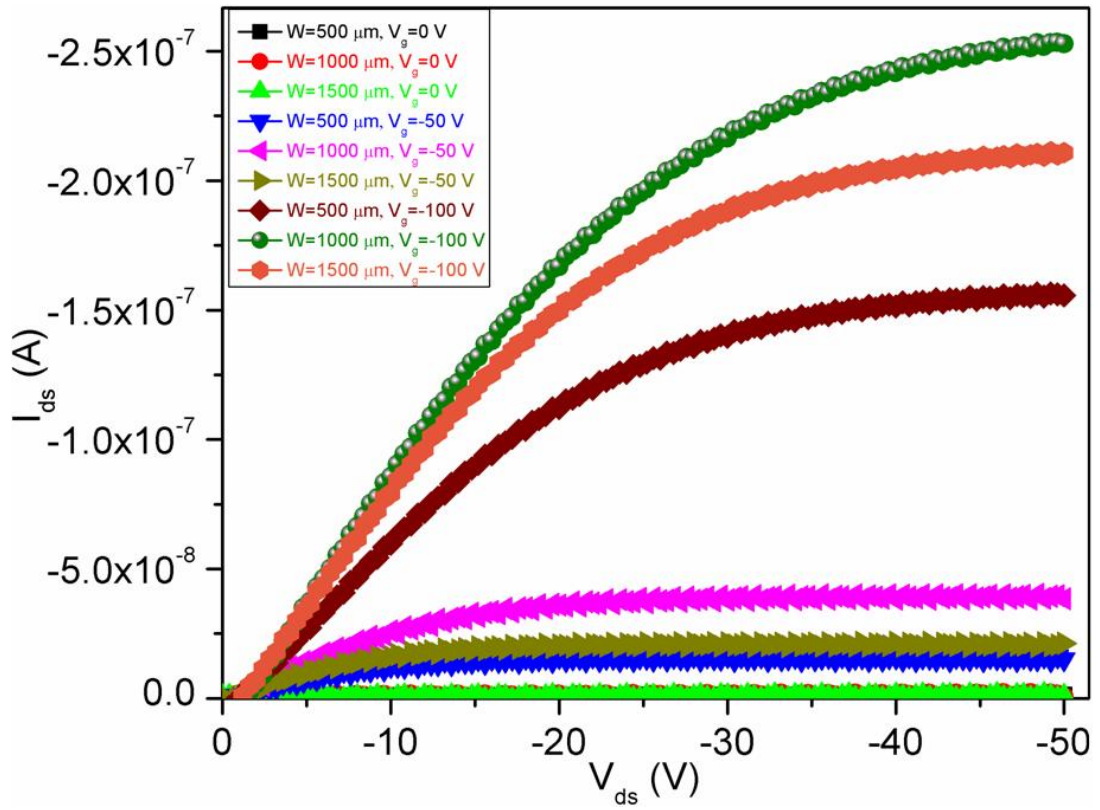
Şekil 7.41, 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.41'de görüldüğü gibi, farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -100$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı pentasen esaslı OFET'lerinin aksine azalmaktadır.



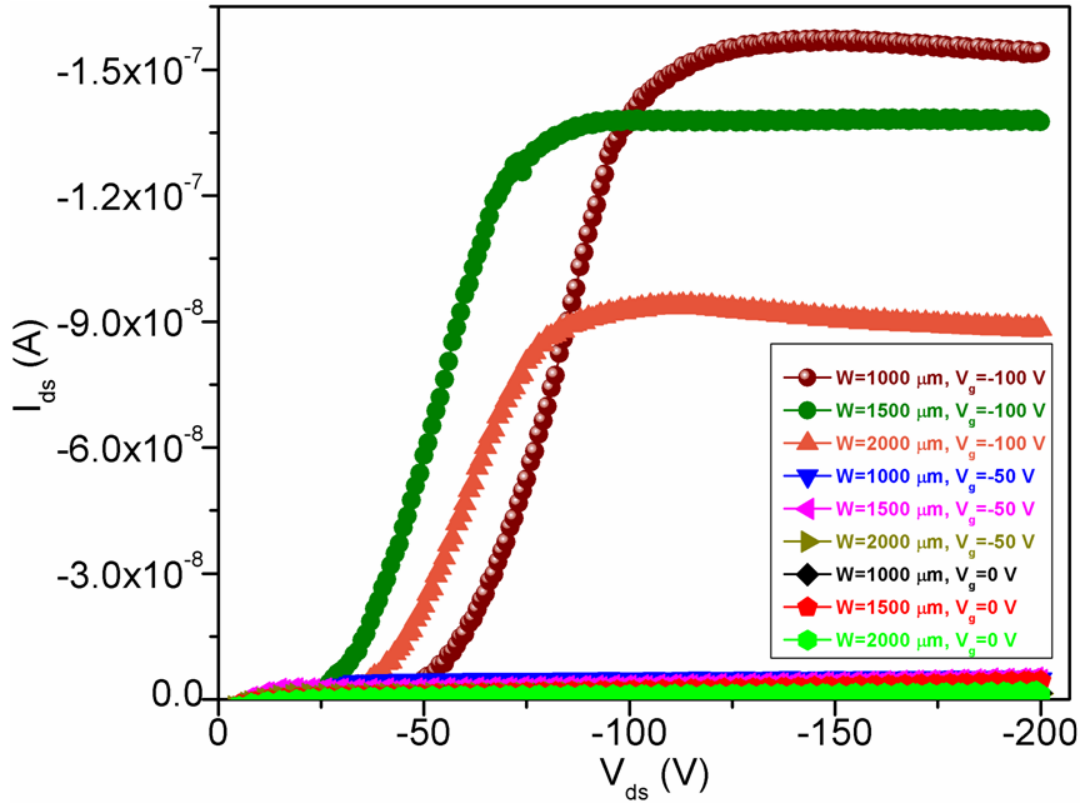
Şekil 7.37 p-Si/SiO₂/Pentacen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri



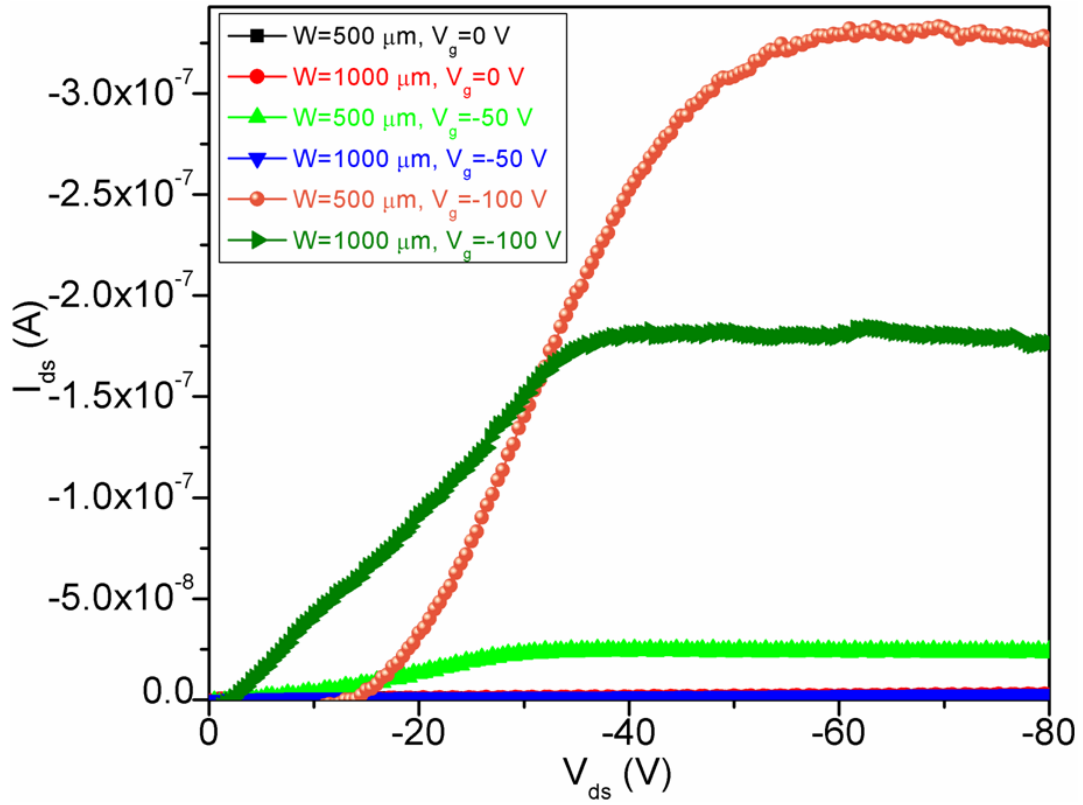
Şekil 7.38 n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacen OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri



Şekil 7.39 p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET’lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri



Şekil 7.40 p-Si/SiO₂/TIPS OFET’lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri



Şekil 7.41 p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı geçit voltajlarında ve kanal genişliklerindeki çıkış karakteristikleri

7.5.1.4. Oksit Kalınlığının OFET'lerin Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Şekil 7.26a ve 7.28a'da görüldüğü gibi, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin W=500 μm için V_g=-10 V'taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin (W=500 μm için) aynı geçit voltajındaki kanal akımından çok daha büyüktür. Buda, diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber oksit kalınlığı arttıkça kanal akım değerinin azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde, Şekil 7.26b ve 7.28b'de görüldüğü gibi, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin W=1000 μm için V_g=-10 V'taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin (W=1000 μm için) kanal akımından çok daha büyüktür. Yani diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber, oksit kalınlığı arttıkça kanal akım değerinin azaldığını göstermektedir.

Şekil 7.31a ve 7.32a'da görüldüğü gibi, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'inin W=500 μm için V_g=-20 V'taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'inin (W=500 μm için) aynı geçit

voltajındaki kanal akımından daha büyüktür. Buda, diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber oksit kalınlığı arttıkça kanal akım değerinin azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde, Şekil 7.31b ve 7.32b’de görüldüğü gibi, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET’inin W=1000 µm için V_g=-20 V’taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET’inin (W=1000 µm için) kanal akımından daha büyüktür. Yani diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber, oksit kalınlığı arttıkça kanal akım değerinin azaldığını göstermektedir.

7.5.1.5. Oksit Tipinin OFET’in Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Organik alan etkili transistör üretiminde, organik yarıiletken malzeme seçimi transistörün çıkış karakteristiklerinde etkili olduğu kadar, uygun geçit (yalıtkan/dielektik) malzeme seçimi de etkilidir.

Bu tez çalışmasında, OFET’lerin hazırlanması için, geçit oksit (yalıtkan/dielektik) tabaka olarak: Termal olarak büyütülen (satın alınan ve hazırlanan) SiO₂, sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ ve BaTiO₃, termal yolla ve sol-jel yöntemiyle oluşturulan SiO₂/Al₂O₃ olmak üzere 5 farklı oksit tabakası kullanıldı. Farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET’lerde, oksit tipinin çıkış karakteristikleri üzerinde etkili olduğu görüldü.

Termal yolla büyütülen (hazır alınan) SiO₂ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Pentase OFET’inin V_g=-10 V’taki kanal akımı değeri (-3x10⁻⁷ A) (Şekil 7.26b), termal yolla ve sol-jel yöntemiyle büyütülen SiO₂/Al₂O₃ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET’inin V_g=-10 V’taki kanal akımı değeri (-3.5x10⁻⁸ A)’nden büyük (Şekil 7.31b), sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/ BaTiO₃/Pentase OFET’inin V_g=-5 V’taki kanal akımı değeri (-2x10⁻³ A)’nden küçüktür (Şekil 7.30). Böylece, BaTiO₃ oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/ BaTiO₃/Pentase OFET’in en yüksek kanal akım değerine sahip olduğu, SiO₂/Al₂O₃ oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET’in ise en düşük kanal akım değerine sahip olduğu görüldü. Çift oksit tabaka (SiO₂/Al₂O₃)’sının OFET’in çıkış karakteristikleri üzerinde etkili olduğu açıkça görülmektedir.

7.5.1.6. Aydınlanmanın OFET'in Çıkış Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Hazırlanan pentasen ve pentasen türevi TIPS esaslı organik alan etkili transistörlerin fotoduyarlılık (fotoalgılama) özellikleri, bir halojen lamba kullanılarak 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altında araştırıldı. Transistör için fotocevap, fotoakımın karanlık akımına oranı ($I_{ph}/I_{karanlık}$) olarak bilinir. Transistörün fotoduyarlılık özellikleri, fotovoltaj ve fotoduyarlılık etkilerinin transistörün aktif tabakasında yer aldığını göstermektedir.

Şekil 7.42(a,b), sırasıyla 7.2.1.1. kısmında anlatılan $W=1500\ \mu m$ kanal genişlikli, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-5\ V$, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Pentasen'in yasak enerji aralığından daha yüksek beyaz ışık foton enerjisi emildiği zaman, yük taşıyıcıların sayısı daha çok oluşacak ve böylece kanal akımı artar, çünkü beyaz ışık aydınlatmasının foton enerjisi pentasen'in sahip olduğu 1.8 eV'luk [1] optik yasak enerji bandından daha yüksektir [104]. Şekil 7.42b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Foton enerjisi ile ışık eşit veya soğrulan band-yasak enerjisinden daha büyük olduğu zaman, yük taşıyıcılarının oluşumu başlar, dolayısıyla, transistörün kanal (D)-kaynak akımı artar. Bu durum ışığın, geleneksel üç kutuplu kaynak, kanal ve geçit elektrodları ile optiksel olarak aygıt çalışmasını kontrol eden ek bir kutup olarak rol oynadığını göstermektedir [196]. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. Bu ölçümler, hem açık hem de kapalı durumlarda gerçekleştirildi. Açık durumda, transistörün kanal akımı aydınlatma ile artmakta, fakat kapalı durumda, ışık aydınlatması ile artmamaktadır. Farklı aydınlatma şiddetlerinde, transistörün $I_{ds}-V_{ds}$ grafiklerinden görüldüğü gibi aydınlatma şiddetleri kontak direncinin Ag/pentasen'in etkisini azaltmaktadır, çünkü Şekil 7.42b'de aydınlatma şiddetleri doyum bölgesini azaltmaktadır. $V_g=-20\ V$ altında, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı ve fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm² için 2.367 iken, 100 mW/cm² için 4.051'e kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu, transistörün kapalı durumunda fotojenerasyonun, sıfır geçit

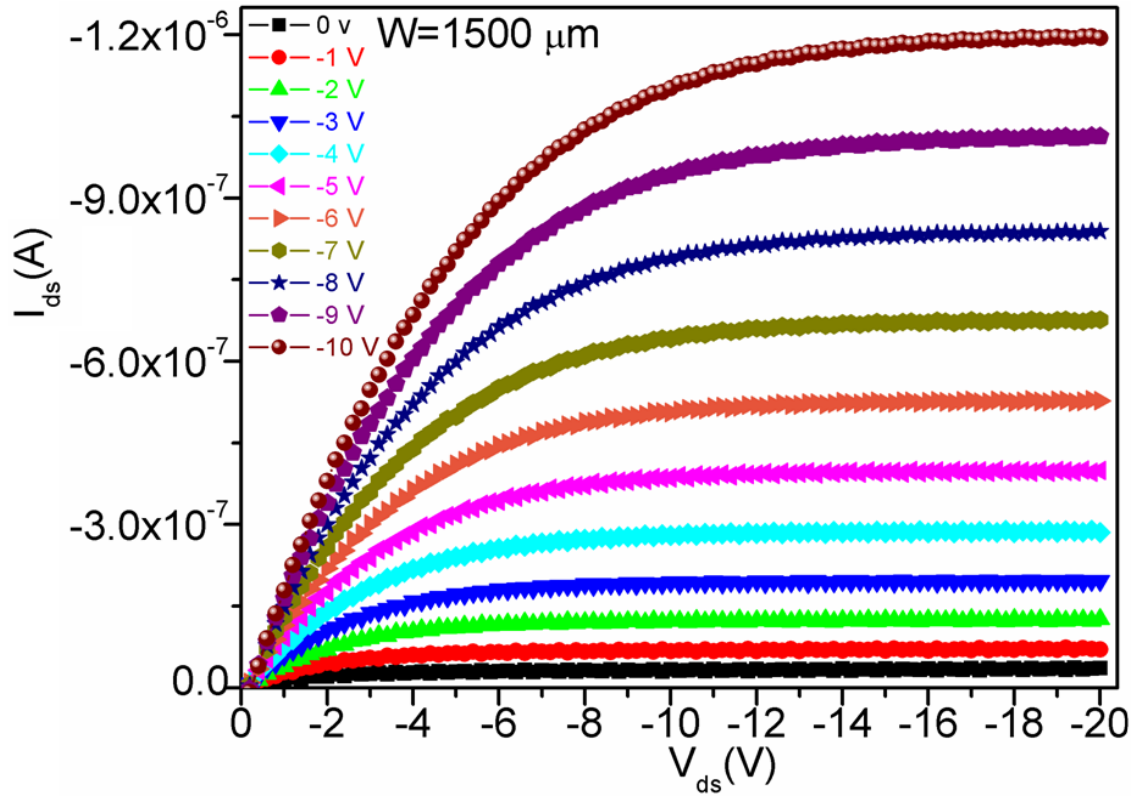
beslemesinde maksimum olduğunu göstermektedir; taşıyıcı enjeksiyonu ve termal jenerasyon fotojenerasyona en küçük katkıyı sağlar ve dolayısıyla, ışıkla oluşan akım (fotoakım) en yüksek katkıya sahip olduğunu göstermektedir. Oysa, fotojenerasyon -20 V'luk geçit voltajında minimumdur, çünkü bu voltajda karanlık akımı da artmaktadır. Elde edilen sonuçlar, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin fotocevap özelliklerinin, geçit voltajı ile değiştiğini göstermektedir. Transistör açık-durumda olduğu zaman, fotoakım, fotovoltajik etkiyle hakimdir. Açık durumda ($V_{gs} > V_{th}$), fotovoltajik etki, kaynak ve kanal (D) elektrodları arasında akım taşıma mekanizmasını hakim kılar, çünkü ışıkla oluşan elektronlar, bir fotovoltaj oluşturur. Oysa kapalı durumda, fotoiletkenlik etkisi, transistör için önemlidir. Şekil 7.42b'de görüldüğü gibi, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'i, hem açık-durumda fotovoltajik etkiyi hem de kapalı durumda fotoiletkenlik etkisini izlemektedir. Elde edilen sonuçlar, SiO₂ dielektrik tabakası ve pentasen aktif tabakanın, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin fotoalgılama özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bir OTFT'nin fotoakımı, geçit voltajına da bağlı olduğu gösterilmektedir. Transistörlerin fotocevap değeri,

$$R_{L/D} = \frac{I_{foto}}{I_{karanlık}} \quad (7.2)$$

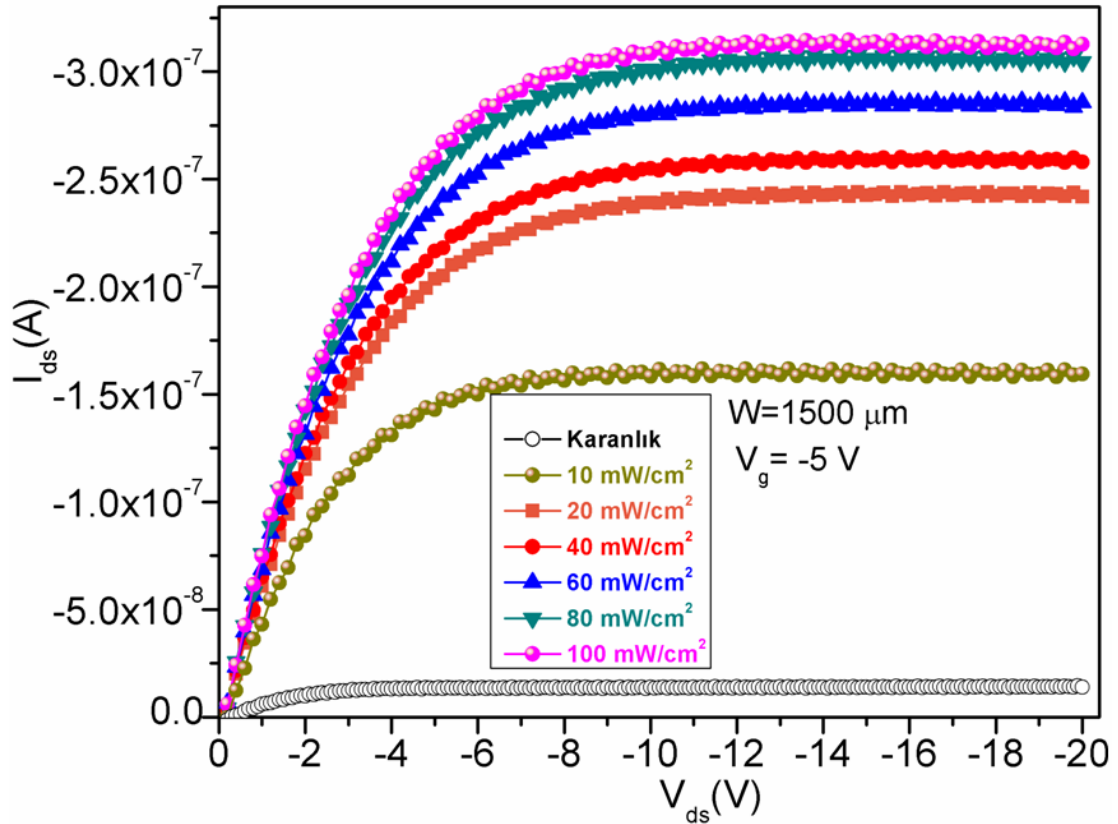
ile analiz edilebilir [186]. Burada, I_{foto} aydınlatma altında kanal-kaynak (D-S) akımı, $I_{karanlık}$ karanlıkta kanal-kaynak (D-S) akımıdır. n-Si/SiO₂/Pentasen fototransistörlerin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.43'de gösterilmektedir. Şekil 7.43'de gösterildiği gibi, kapalı (off) durumunda, transistörlerin fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevabı R,

$$R = AP^\gamma \quad (7.3)$$

ile analiz edilebilir [186]. Burada, A bir sabit, P aydınlatma şiddeti ve γ ise bir sabittir. Şekil 7.43, n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'i için aydınlatma şiddetine (P) karşı R grafiğini göstermektedir. 0.5 ve 1.0 için γ değerleri, sırasıyla bimoleküler rekombinasyon ve monomoleküler rekombinasyon mekanizmasına karşılık gelir [197]. Oysa, üssün değeri, tuzak merkezlerinin sürekli dağılımı için, 0.5 ve 1.0 arasına uzanır [198]. Transistörün fotoduyarlılık değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. Transistör için γ değeri, 0.136 olarak bulundu. n-Si/SiO₂/Pentasen fototransistörü için, $\gamma=0.136$ başka rekombinasyon mekanizmasının kısmını göstermektedir.

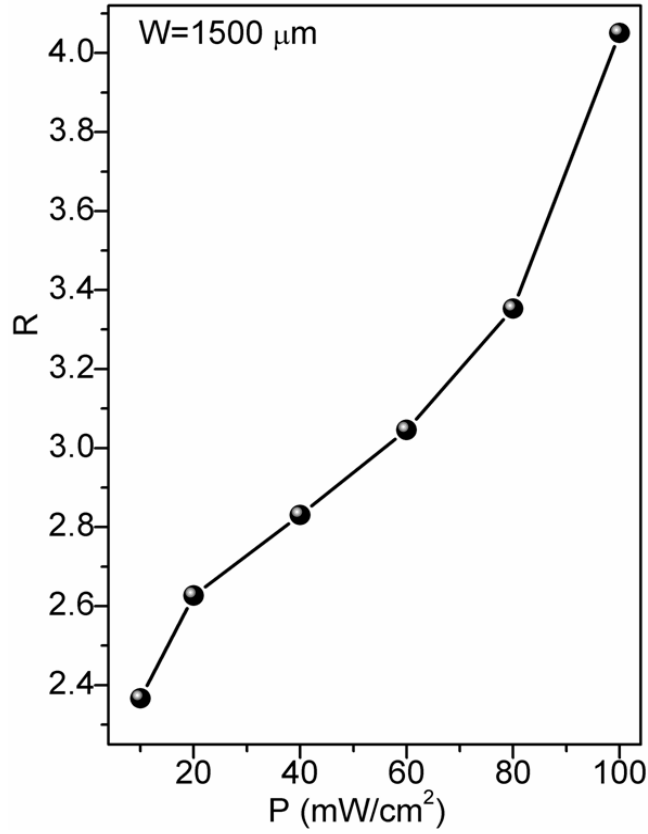


(a)



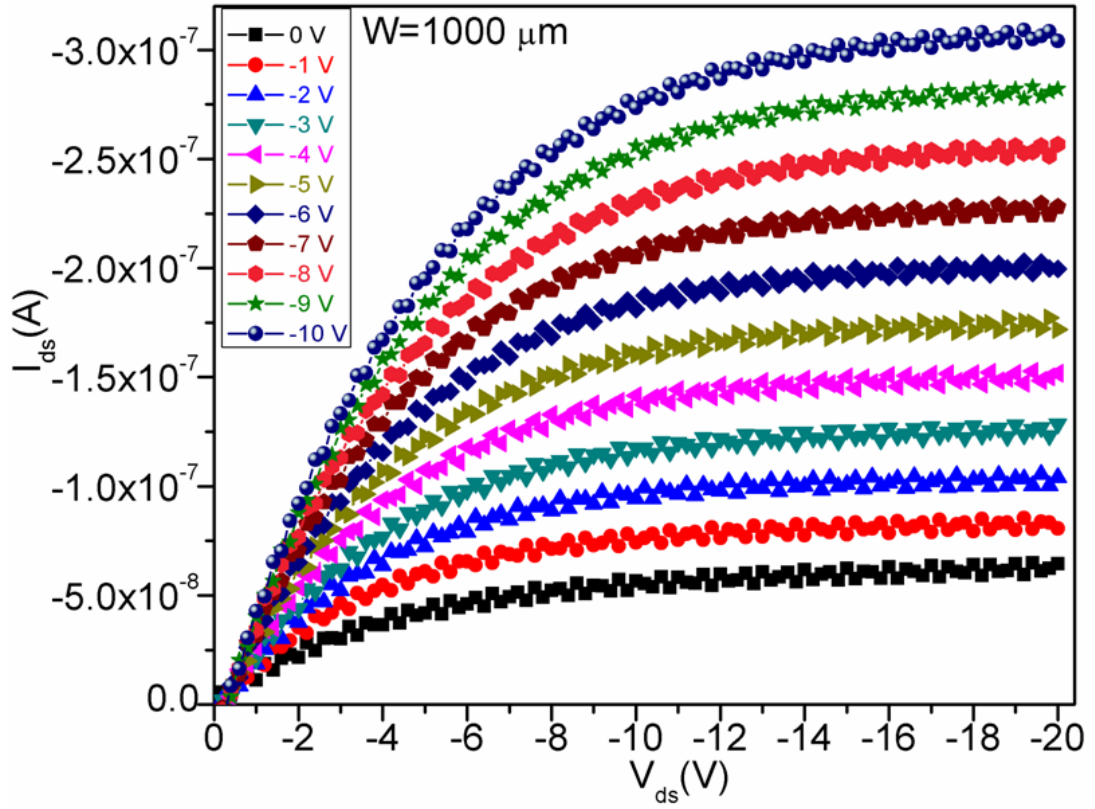
(b)

Şekil 7.42 n-Si/SiO₂/Pentacene OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) V_g =-5 V, 20 den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri

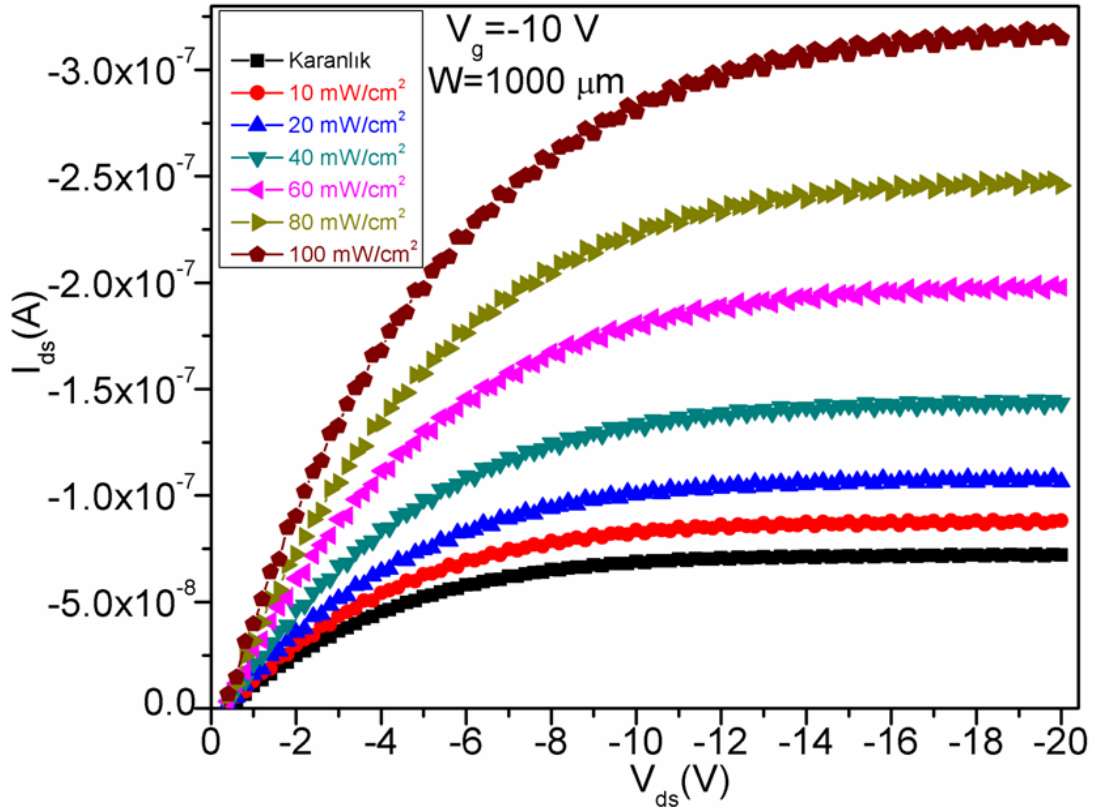


Şekil 7.43 n-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

Şekil 7.44(a,b), sırasıyla 7.2.1.3. kısmında anlatılan $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-10 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.44b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. Bir önceki transistör için, yazılanlar bu transistör için de geçerlidir. p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin fotoduyarlılık değerleri, hesaplandı ve fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.44 iken, 100 mW/cm^2 için 4.1'e kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir.



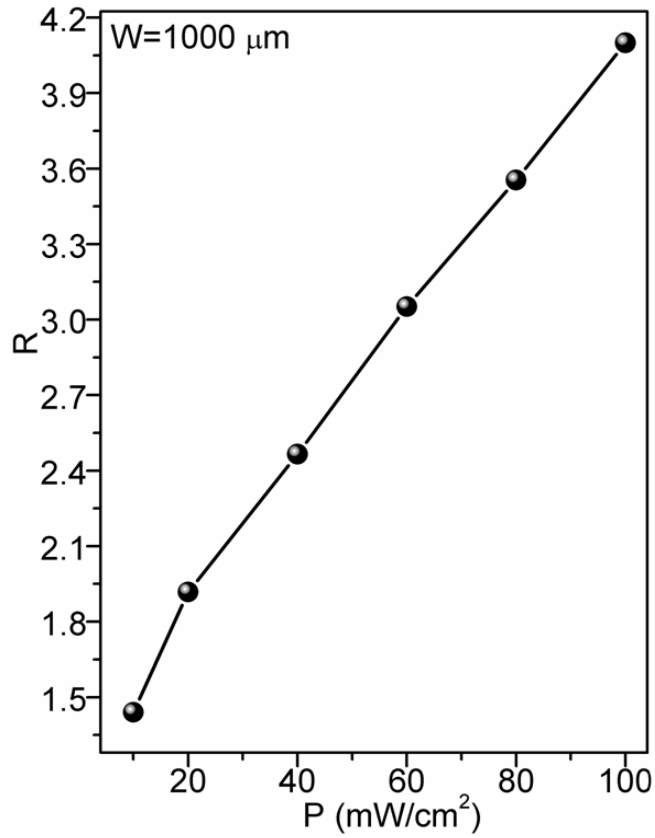
(a)



(b)

Şekil 7.44 p-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -10$ V, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri

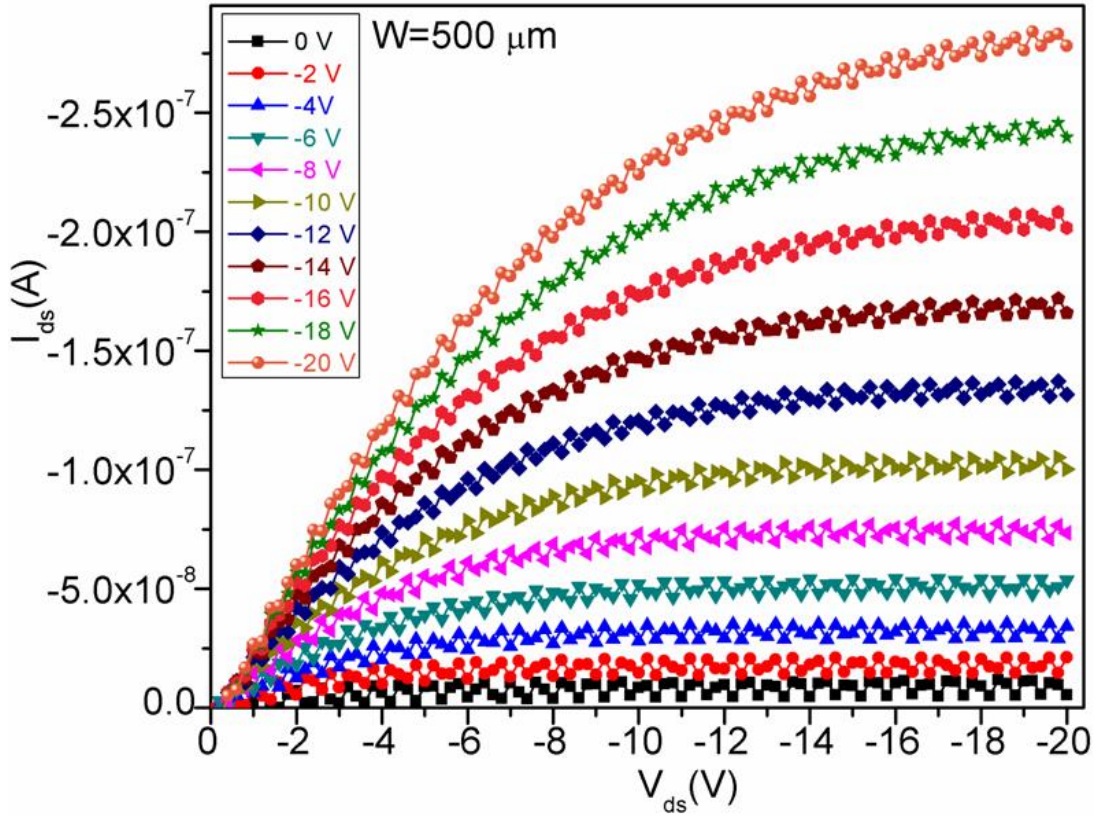
p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin fotocevabı ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. p-Si/SiO₂/Pentase fototransistörünün aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.45'de gösterilmektedir. Şekil 7.45'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevabı R, denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. p-Si/SiO₂/Pentase OFET'i için γ değeri, 0.55 olarak bulundu. n-Si/SiO₂/Pentase fototransistörü için, $\gamma=0.55$ bimoleküler rekombinasyon mekanizmasını sergilediğini göstermektedir.



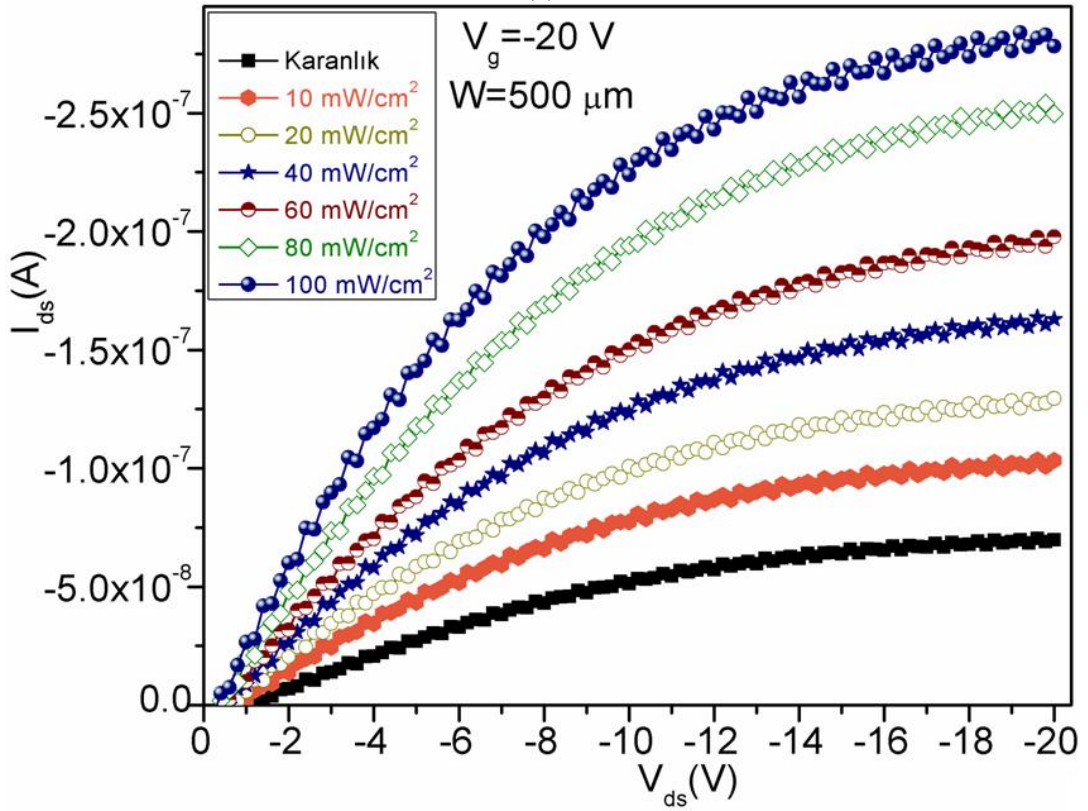
Şekil 7.45 p-Si/SiO₂/Pentase OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerler

Şekil 7.46(a,b), sırasıyla 7.2.3.1. kısmında anlatılan $W=500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-20 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.47(a,b), sırasıyla 7.2.3.1. kısmında anlatılan $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-20 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.46b ve 7.47b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'lerinin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. İlk transistör için, yazılanlar bu transistörler için de geçerlidir. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'lerinin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı. Kanal genişliği (W) 500 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm² için 1.415 iken, 100 mW/cm² için 6.544'e kadar yükselmekte ve kanal genişliği (W) 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm² için 1.281 iken, 100 mW/cm² için 2.605'e kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir.

n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'lerinin fotocevapları ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. Kanal genişliği (W), 500 ve 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen fototransistörlerinin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.48(a-b)'de gösterilmektedir. Şekil 7.48(a-b)'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevapları R, denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'lerinin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. Kanal genişliği (W), 500 ve 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'leri için γ değerleri, sırasıyla 1.01 ve 0.478 olarak bulundu. Bu durum, kanal genişliği (W), 500 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in monomoleküler rekombinasyon mekanizmasını ile kanal genişliği (W), 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in ise bimoleküler rekombinasyon mekanizmasını sergilediğini göstermektedir.

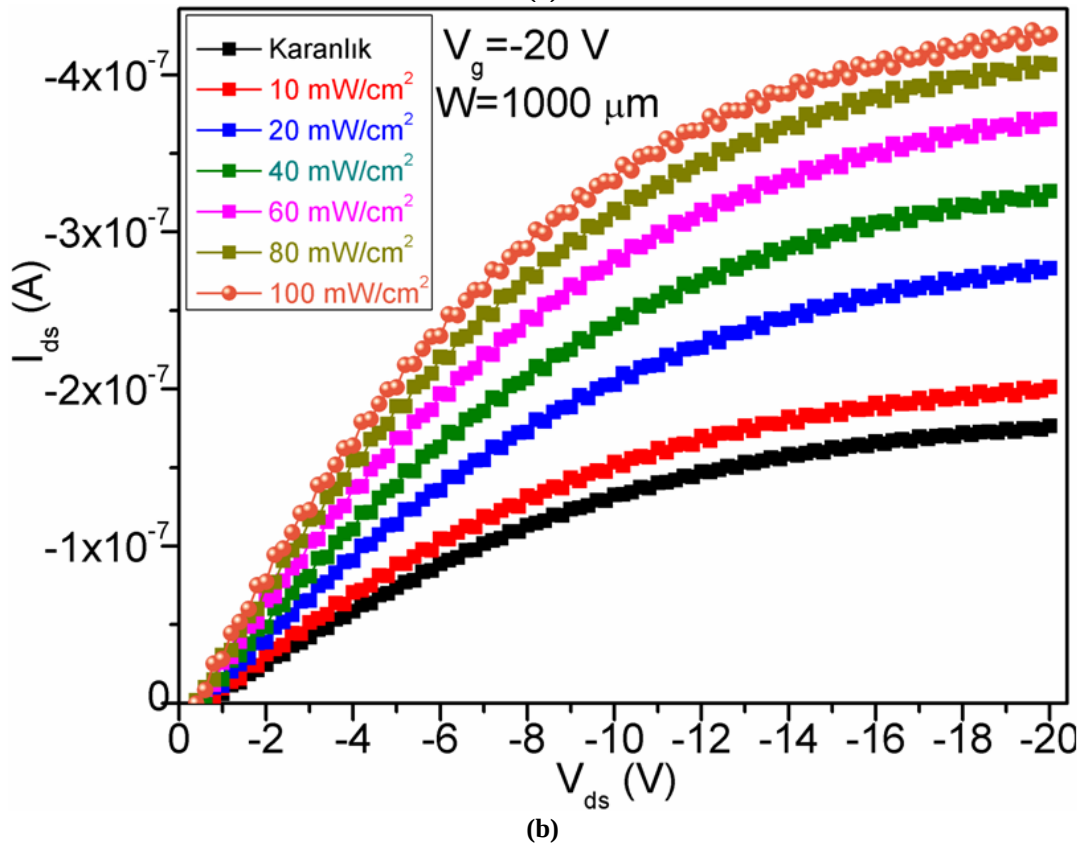
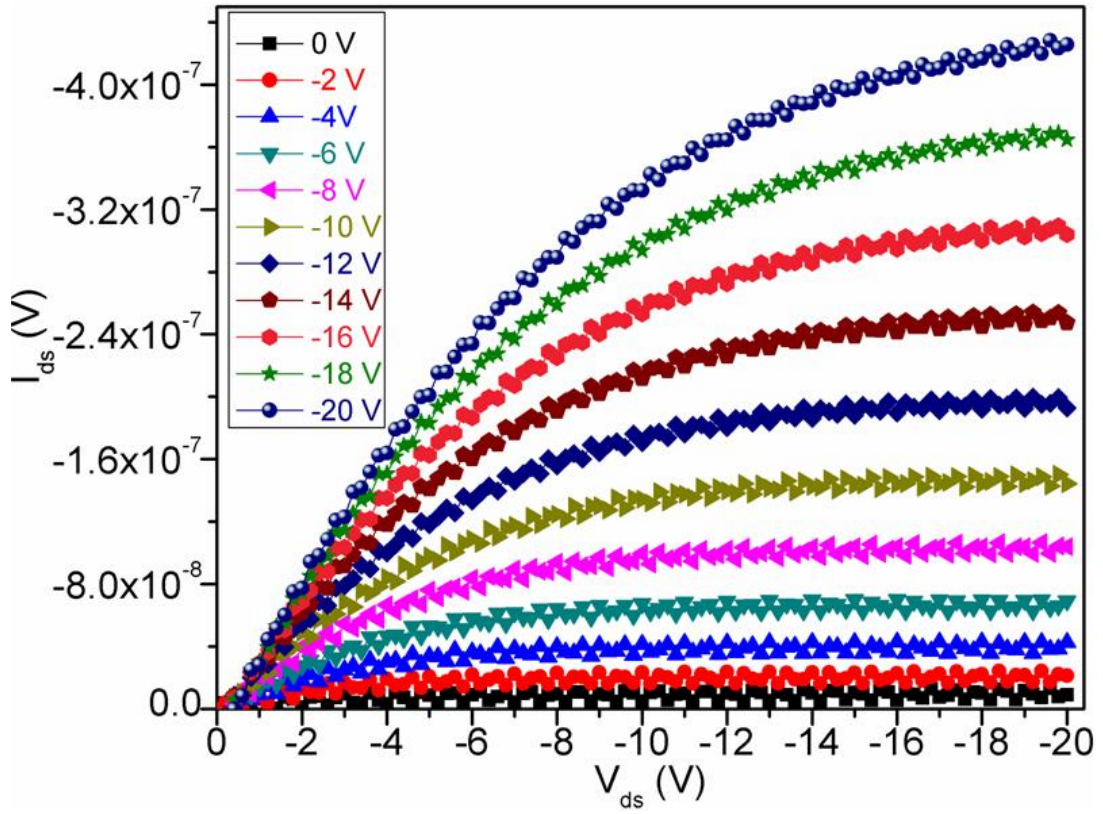


(a)

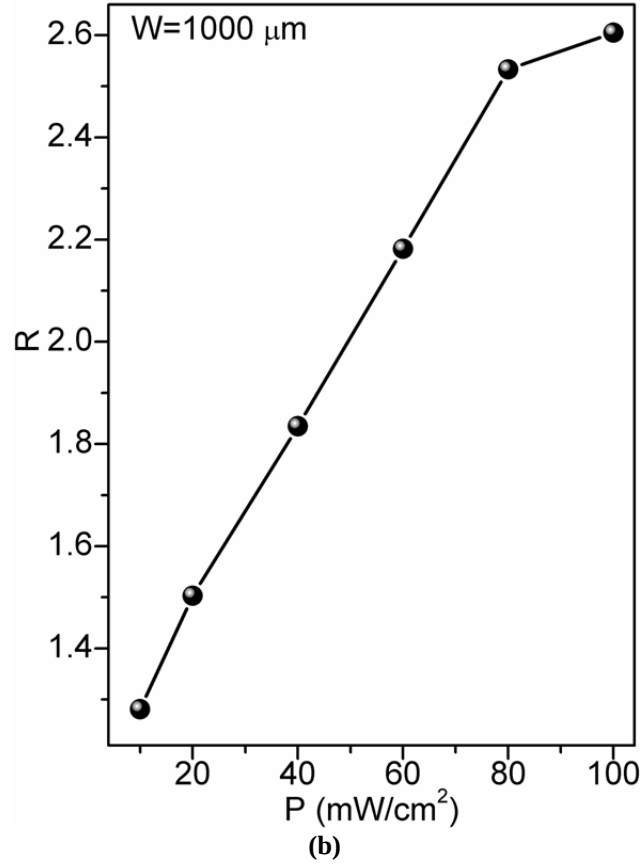
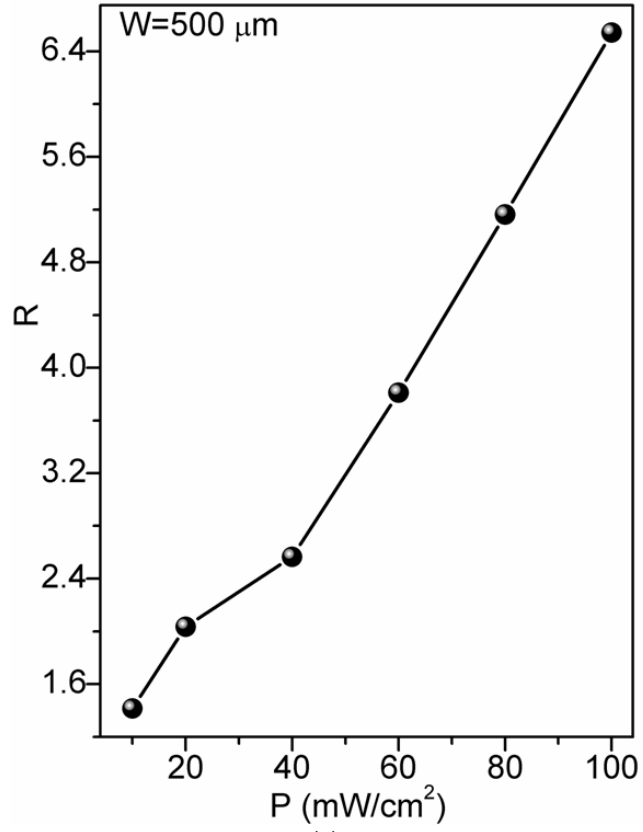


(b)

Şekil 7.46 Kanal genişliği (W), 500 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentacene OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -20$ V, 20 den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



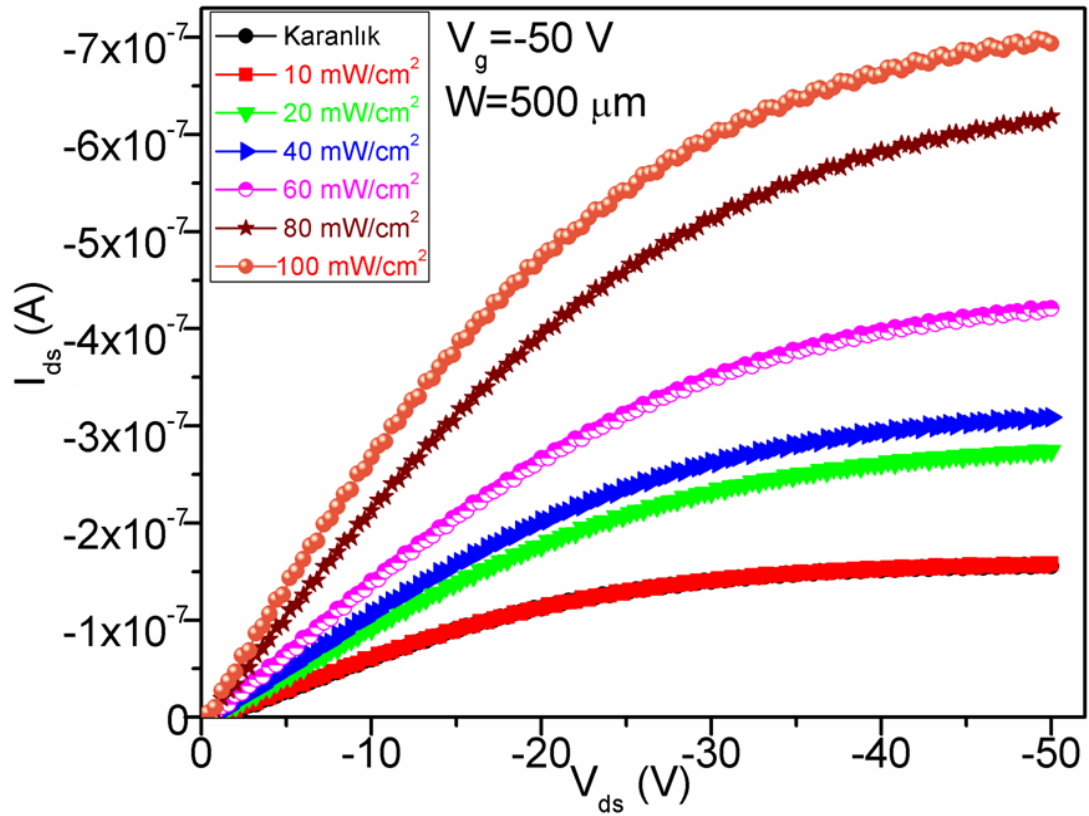
Şekil 7.47 Kanal genişliği (W), 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentacene OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -20$ V, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



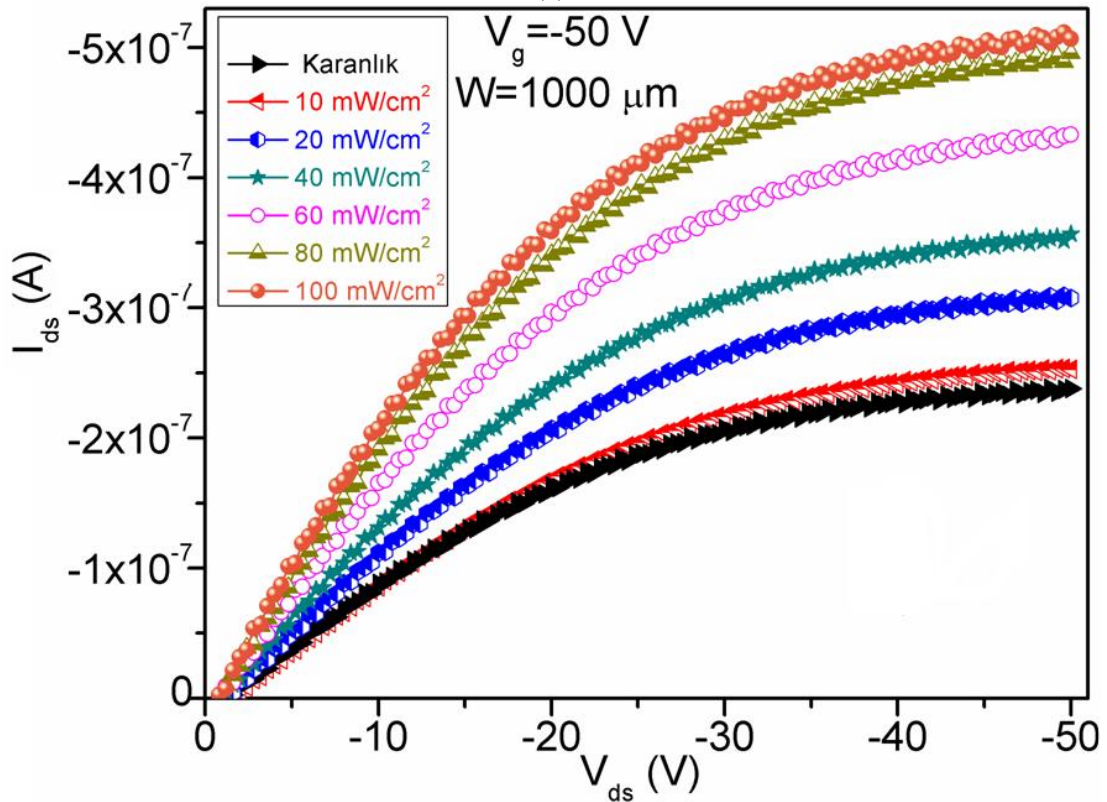
Şekil 7.48 Kanal genişliği (W), **(a)** 500 μm ve **(b)** 1000 μm olan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

Şekil 7.49(a-b), sırasıyla 7.2.3.2. kısmında anlatılan $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'inin $V_g=-50$ V, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.49(a-b)'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'lerinin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. İlk transistör için, yazılanlar bu transistörler için de geçerlidir. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'lerinin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı. Kanal genişliği (W) $500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.353 iken, 100 mW/cm^2 için 7.246'a kadar yükselmekte ve kanal genişliği (W) $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.219 iken, 100 mW/cm^2 için 3.71'e kadar yükselmektedir.

p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'lerinin fotocevapları ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. Kanal genişliği (W), 500 ve $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase fototransistörlerinin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.50(a-b)'de gösterilmektedir. Şekil 7.50(a-b)'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevapları R, denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'lerinin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. Kanal genişliği (W), 500 ve $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'leri için γ değerleri, sırasıyla 0.584 ve 0.513 olarak bulundu. Bu durum, kanal genişliği (W), 500 ve $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentase OFET'lerin bimoleküler rekombinasyon mekanizmasını sergilediğini göstermektedir.

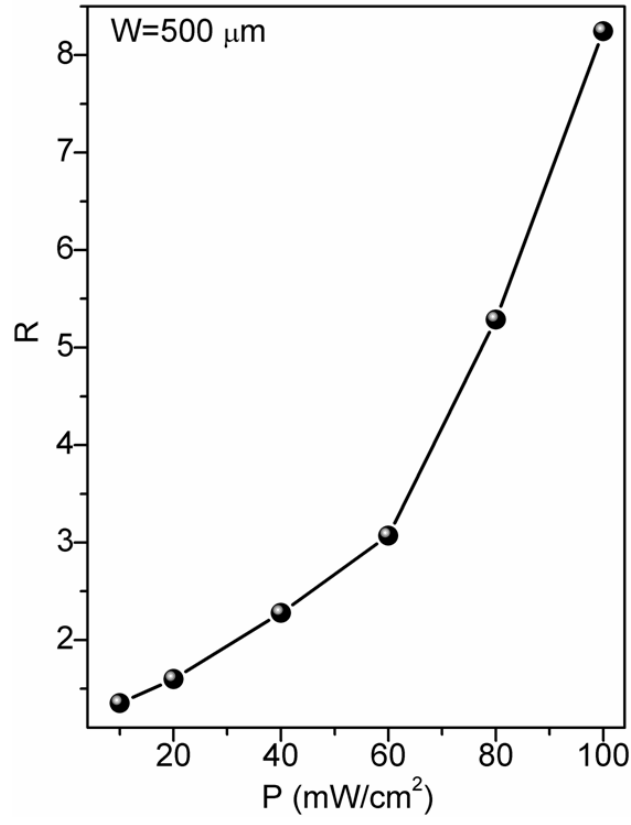


(a)

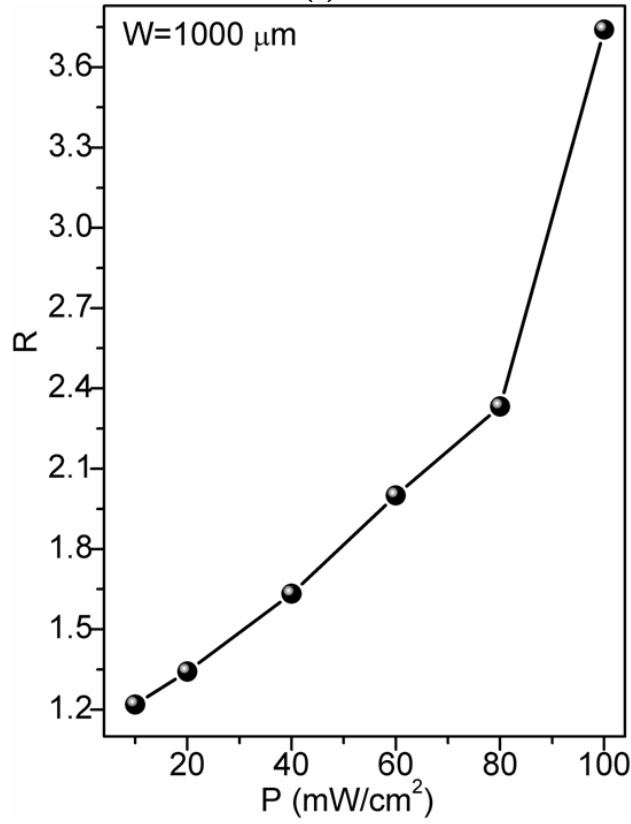


(b)

Şekil 7.49 Kanal genişliği (W), (a) $500 \mu\text{m}$ ve (b) $500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentacene OFET'lerinin $V_g=-50 \text{ V}$, 20 den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



(a)



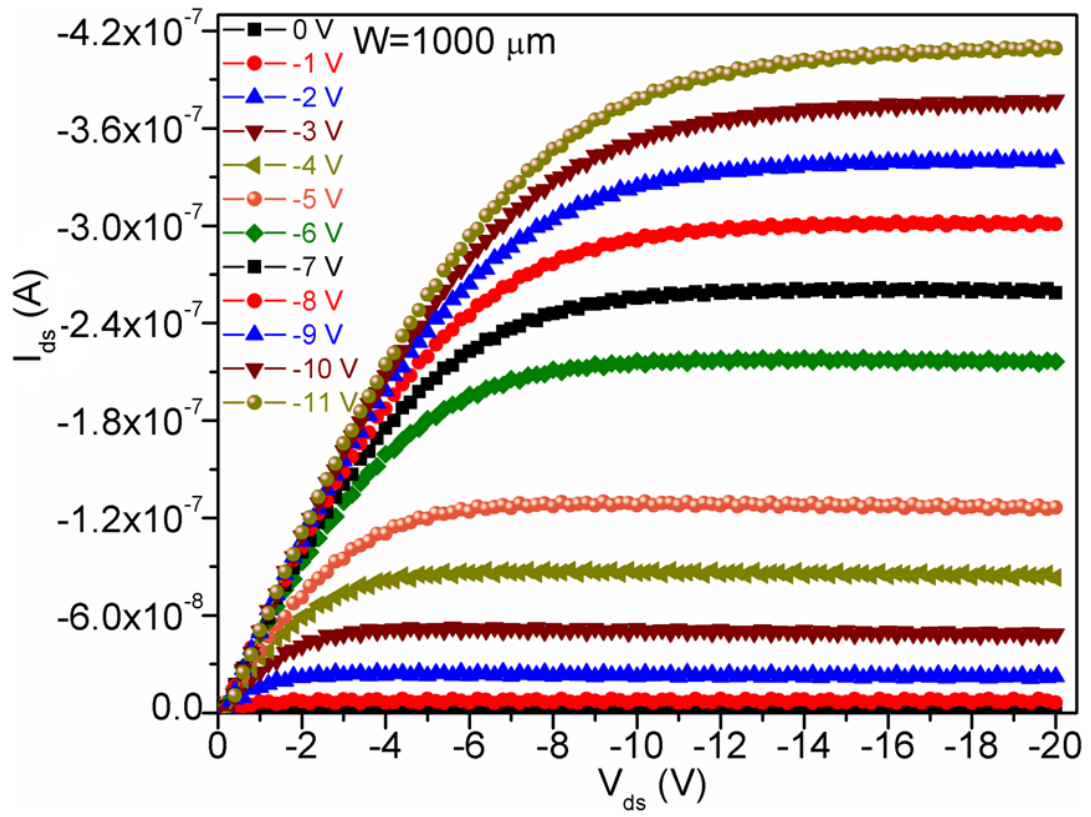
(b)

Şekil 7.50 Kanal genişliği (W), **(a)** $500 \mu\text{m}$ ve **(b)** $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentaseen p-Si/SiO₂/Pentaseen OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

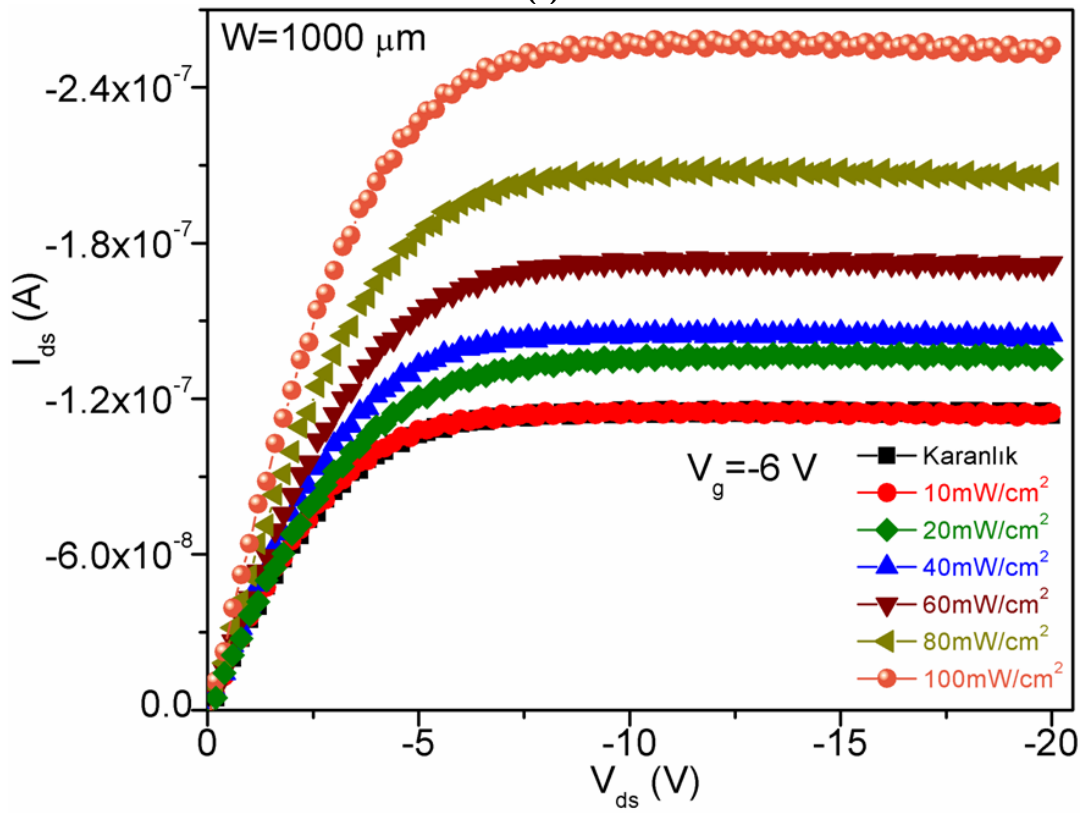
Şekil 7.51(a,b), sırasıyla 7.3.1. kısmında anlatılan $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-6 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.51b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. İlk transistör için, yazılanlar bu transistör için de geçerlidir.

n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı ve fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.03 iken, 100 mW/cm^2 için 2.12'ye kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir.

n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin fotocevabı ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.52'de gösterilmektedir. Şekil 7.52'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevabı R , denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'i için γ değeri, 0.513 olarak bulundu. n-Si/SiO₂/Pentaseen fototransistörü için, $\gamma=0.513$ bimoleküler rekombinasyon mekanizmasını sergilediğini göstermektedir.

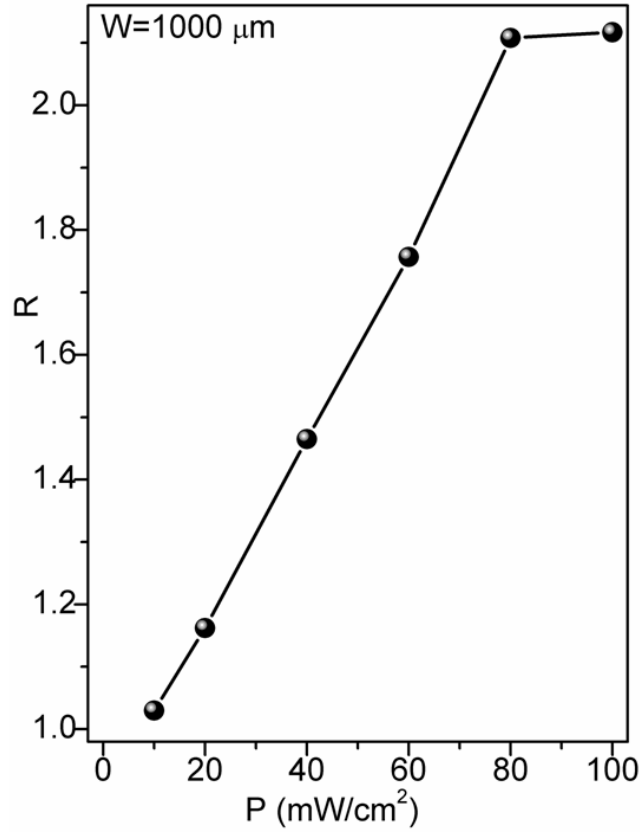


(a)



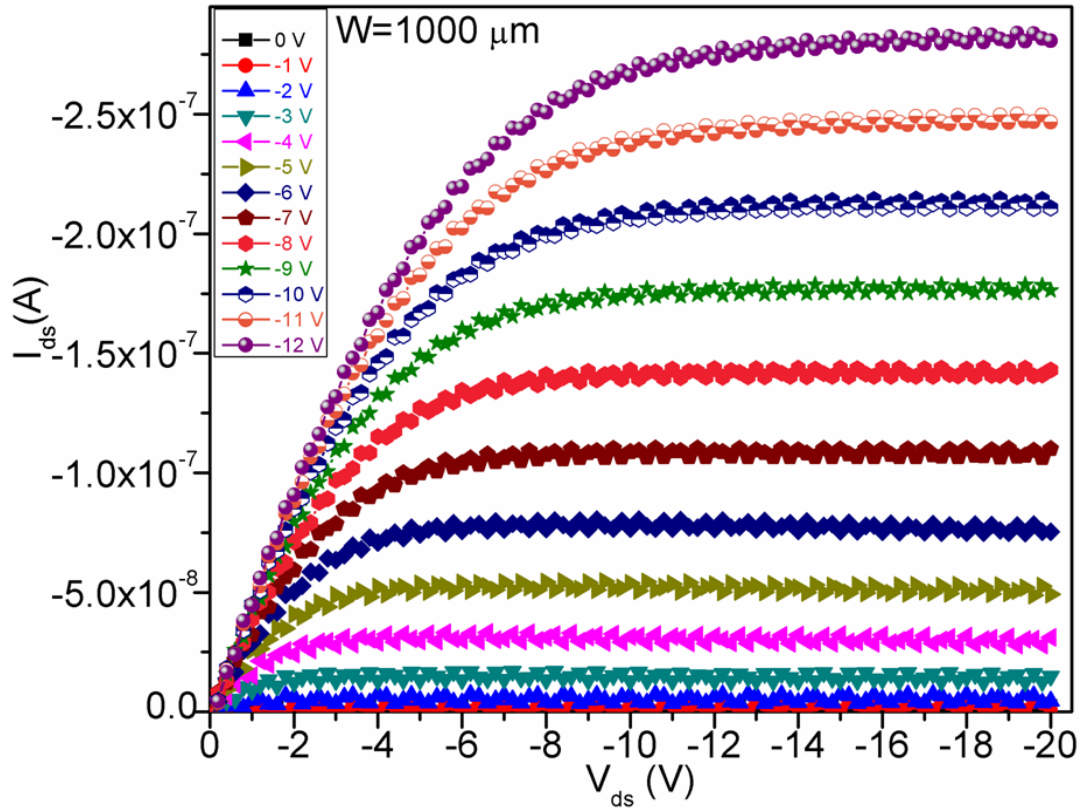
(b)

Şekil 7.51 n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -6 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri

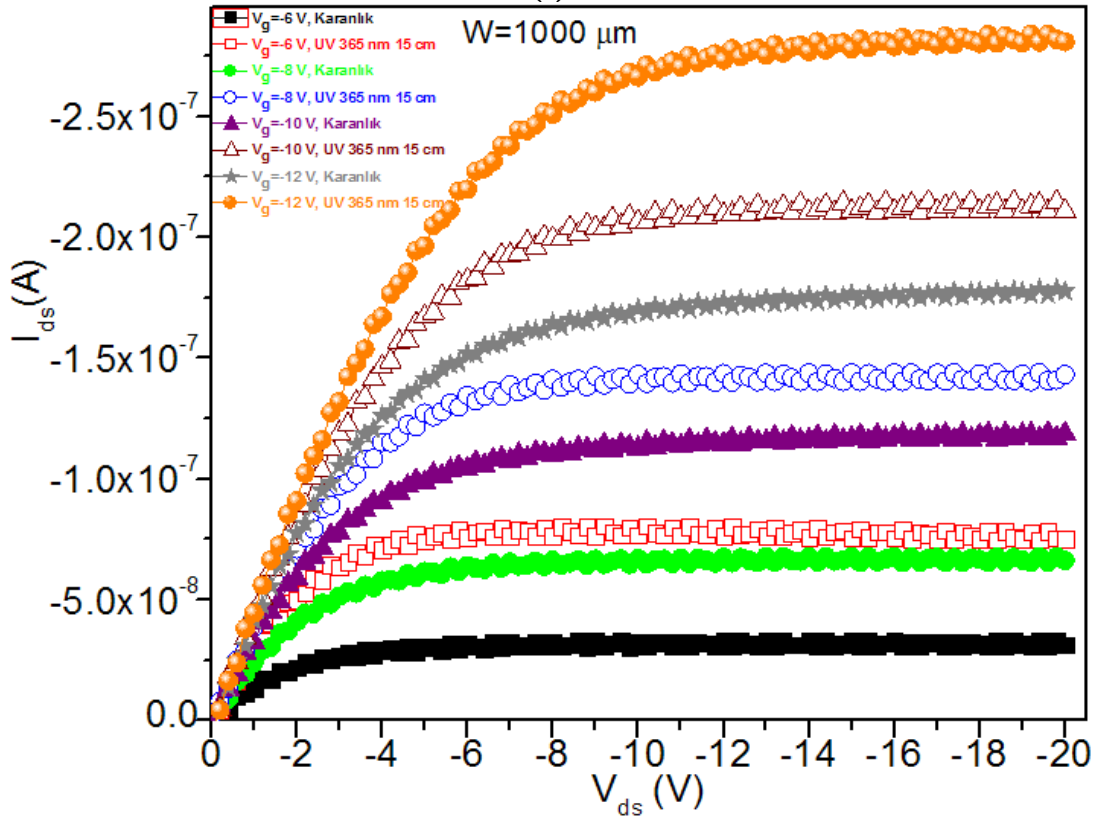


Şekil 7.52 n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

Şekil 53(a,b), sırasıyla 7.3.1. kısmında anlatılan $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 365 nm dalga boylu UV aydınlatması altındaki ve $V_g=-6, -8, -10$ ve -12 V geçit voltajları ve farklı V_{ds} voltajları altındaki kanal akım-voltaj (çıkış) karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 53(a,b)'de görüldüğü gibi, UV aydınlatması altında kanal (D) akımı, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aktif tabakasındaki elektron-boşluk çiftlerinin ışıkla oluşumundan dolayı artmaktadır. Kanal (D) akımı, UV aydınlatması ile güçlü bir şekilde artmaktadır, çünkü 365 nm'de UV aydınlatmasının foton enerjisi, pentasen türevi TIPS'in optik bandından daha yüksektir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin fotoalgılama duyarlılığı, karanlık ve UV (365 nm dalga boylu) aydınlatmaları altında da araştırıldı. TIPS OFET'inin fotoduyarlılık değeri, 365 nm'de UV aydınlatması ve $V_g=-10$ V için 1.16'dır.



(a)

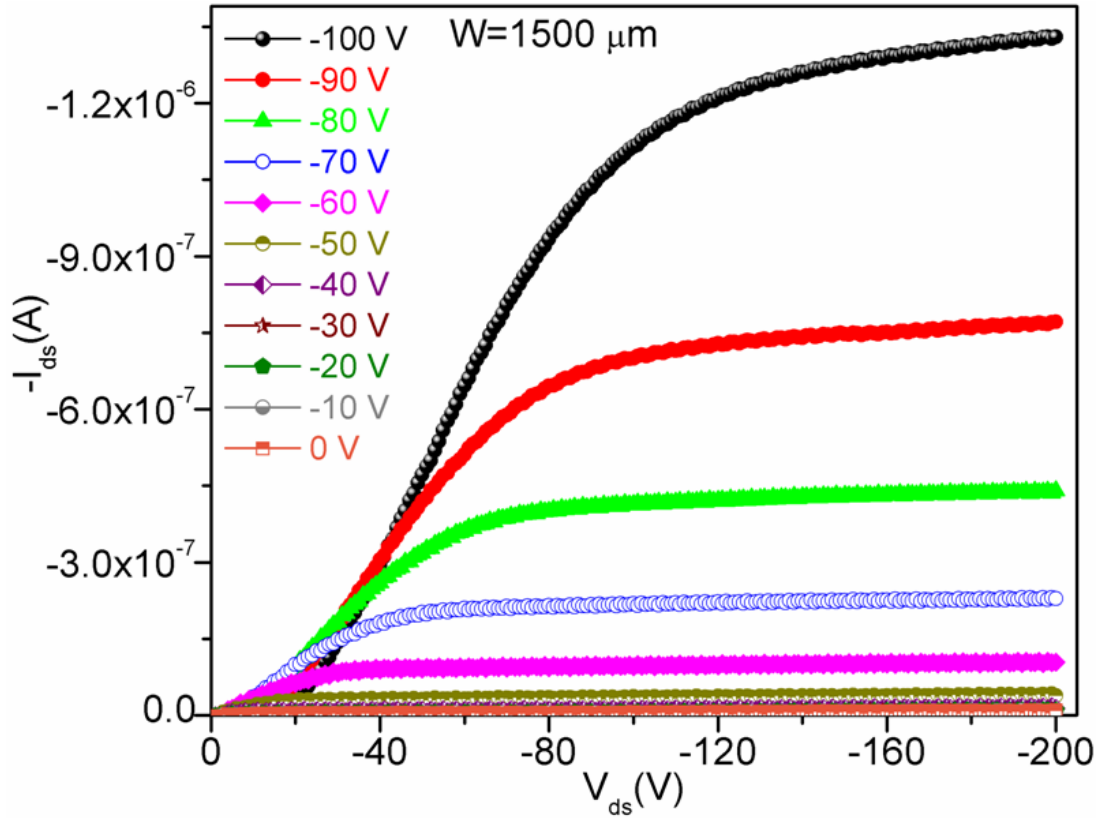


(b)

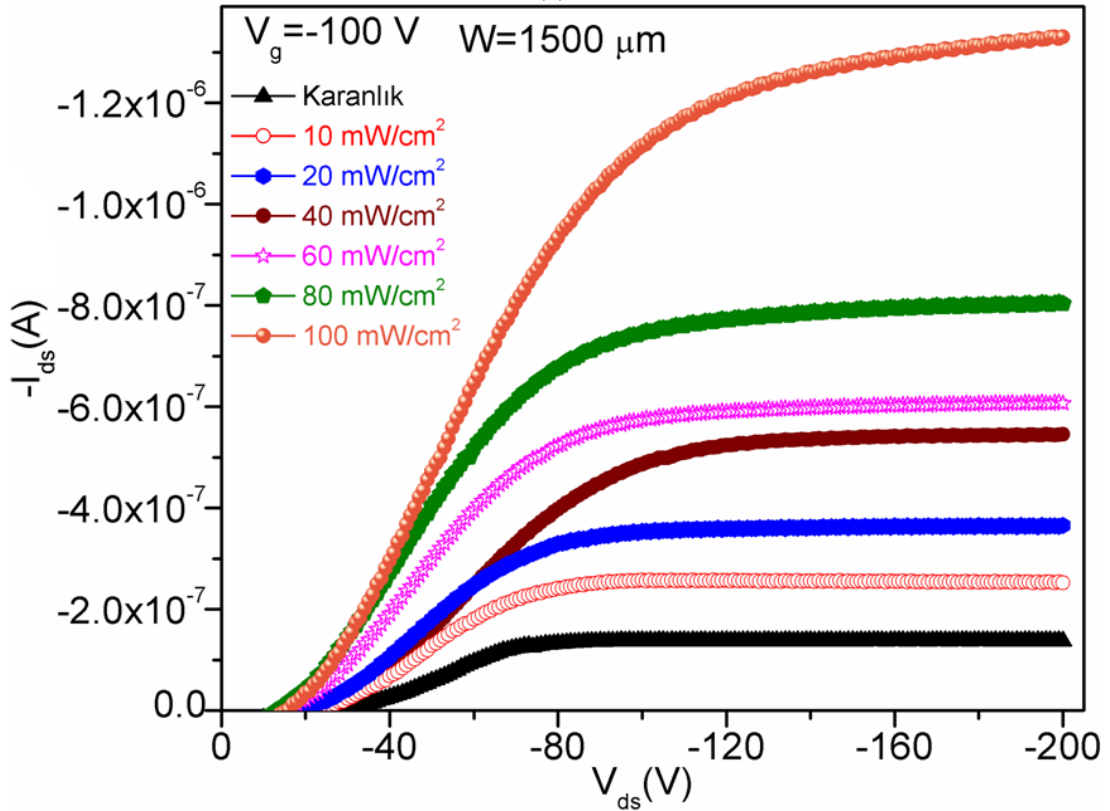
Şekil 7.53 n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 365 nm dalga boylu UV aydınlatması altındaki ve (b) $V_g = -6$, -8 , -10 ve -12 V geçit voltajları ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri

Şekil 7.54(a,b), sırasıyla 7.3.2. kısmında anlatılan $W=1500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-100 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.55(a,b), sırasıyla 7.3.2. kısmında anlatılan $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-100 \text{ V}$, 20 den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.54b ve 7.55b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. İlk transistör için, yazılanlar bu transistörler için de geçerlidir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı. Kanal genişliği (W) $1500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 0.789 iken, 100 mW/cm^2 için 2.495'e kadar yükselmekte ve kanal genişliği (W) $2000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.49 iken, 100 mW/cm^2 için 3.52'ye kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir.

p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fotocevapları ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. Kanal genişliği (W), 1500 ve $2000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS fototransistörlerinin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.56(a-b)'de gösterilmektedir. Şekil 7.56(a-b)'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevapları R , denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. Kanal genişliği (W), 1500 ve $2000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'leri için γ değerleri, sırasıyla 0.653 ve 0.337 olarak bulundu. Bu durum, her iki kanal genişliği için p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in başka rekombinasyon mekanizmasının kısmını göstermektedir [96].

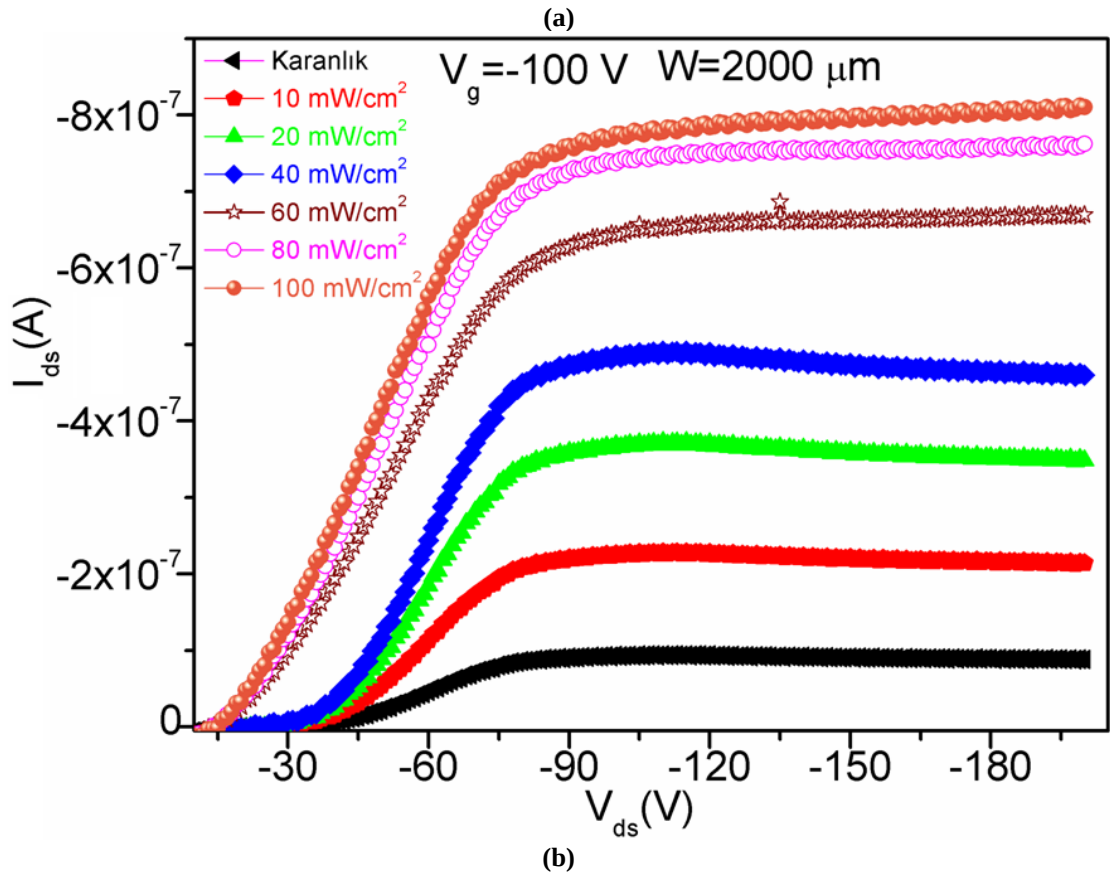
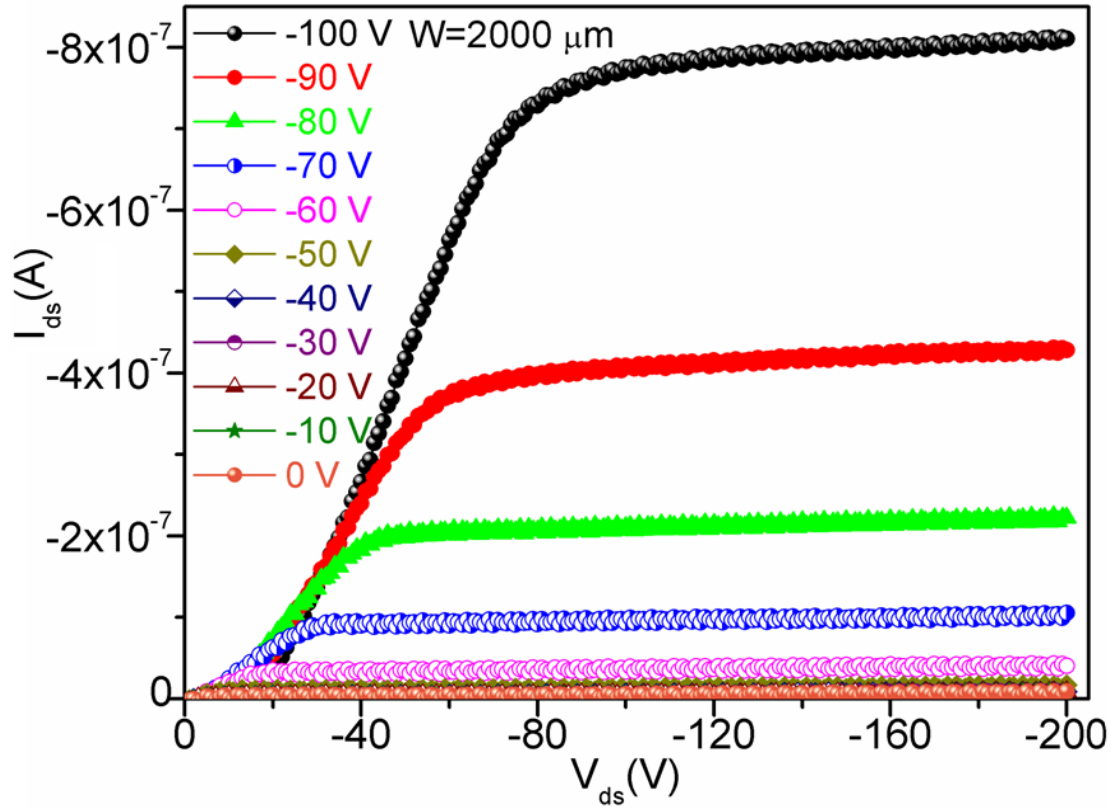


(a)

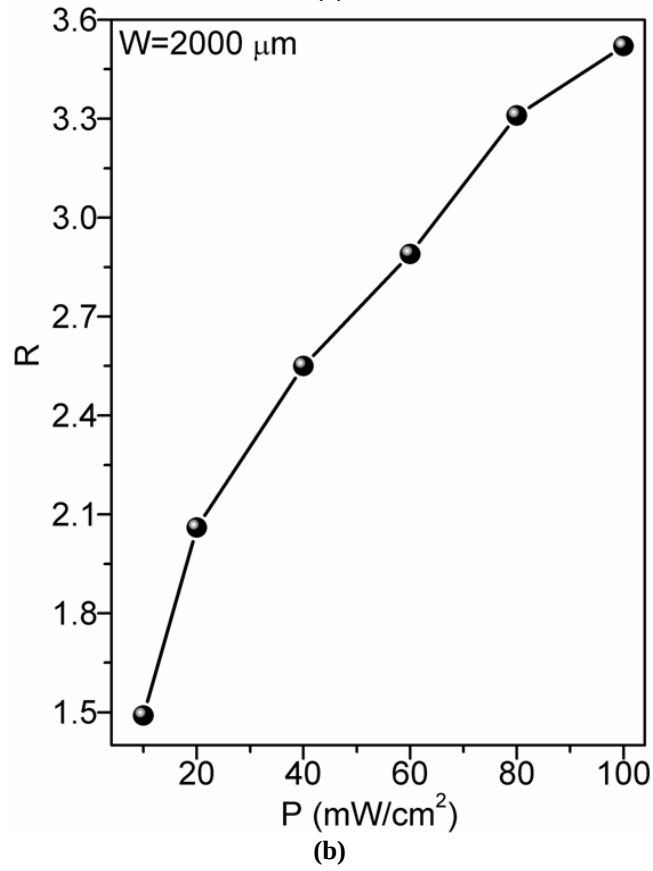
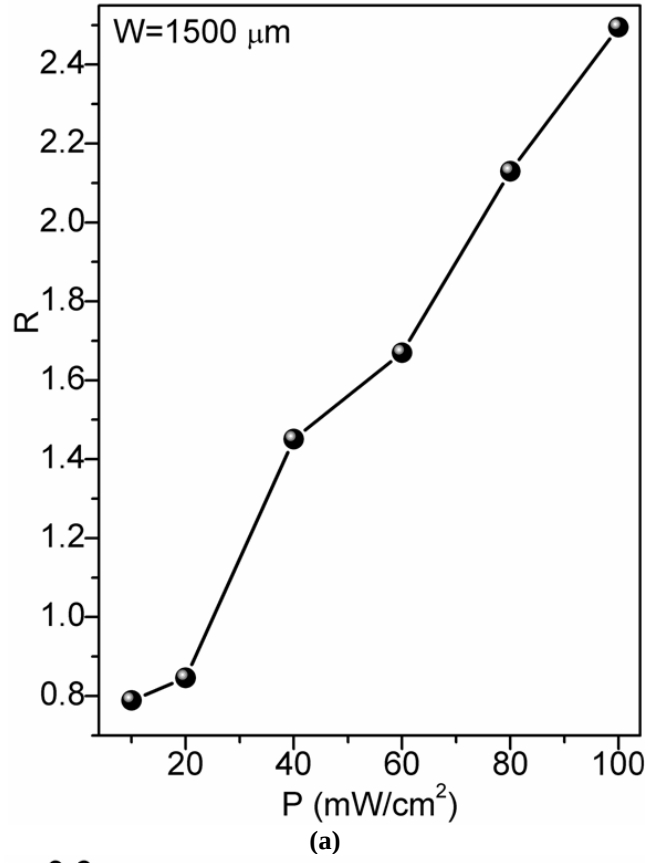


(b)

Şekil 7.54 Kanal genişliği (W), $1500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin **(a)** farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 lik aydınlatma altındaki ve **(b)** $V_g = -100 \text{ V}$, 20 'den 100 mW/cm^2 lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



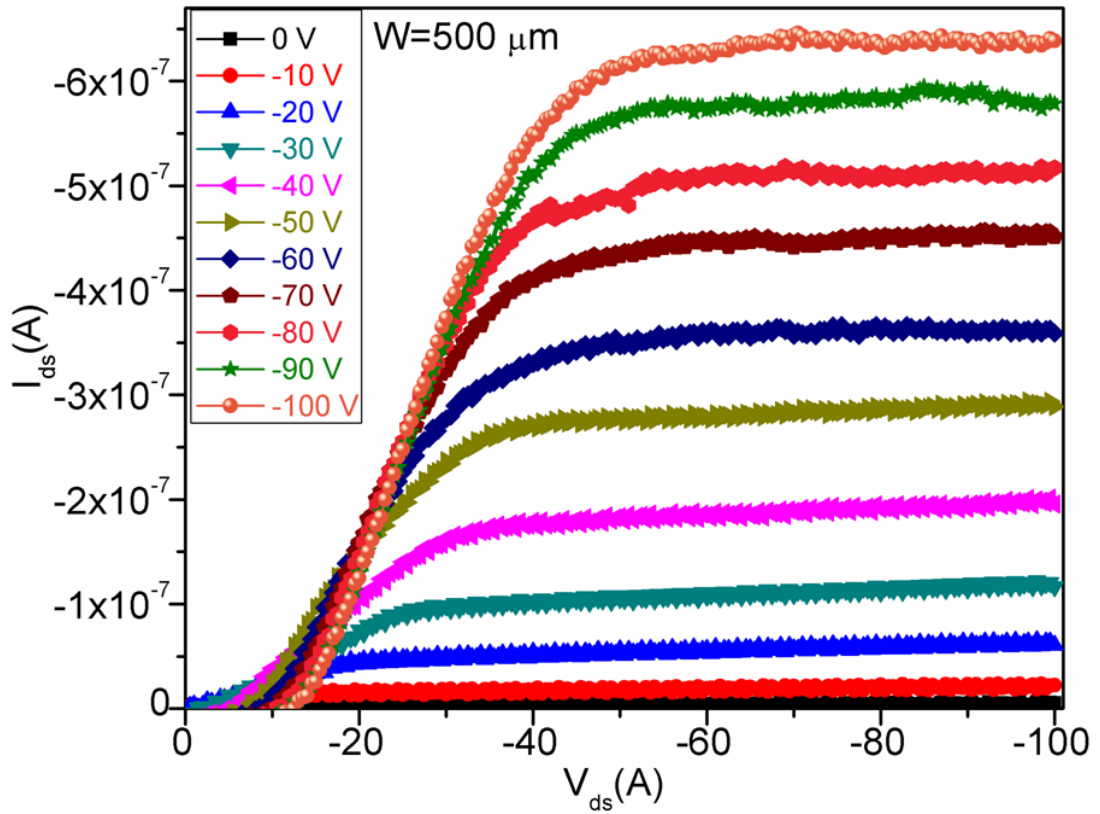
Şekil 7.55 Kanal genişliği (W), 2000 μm p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -100$ V, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



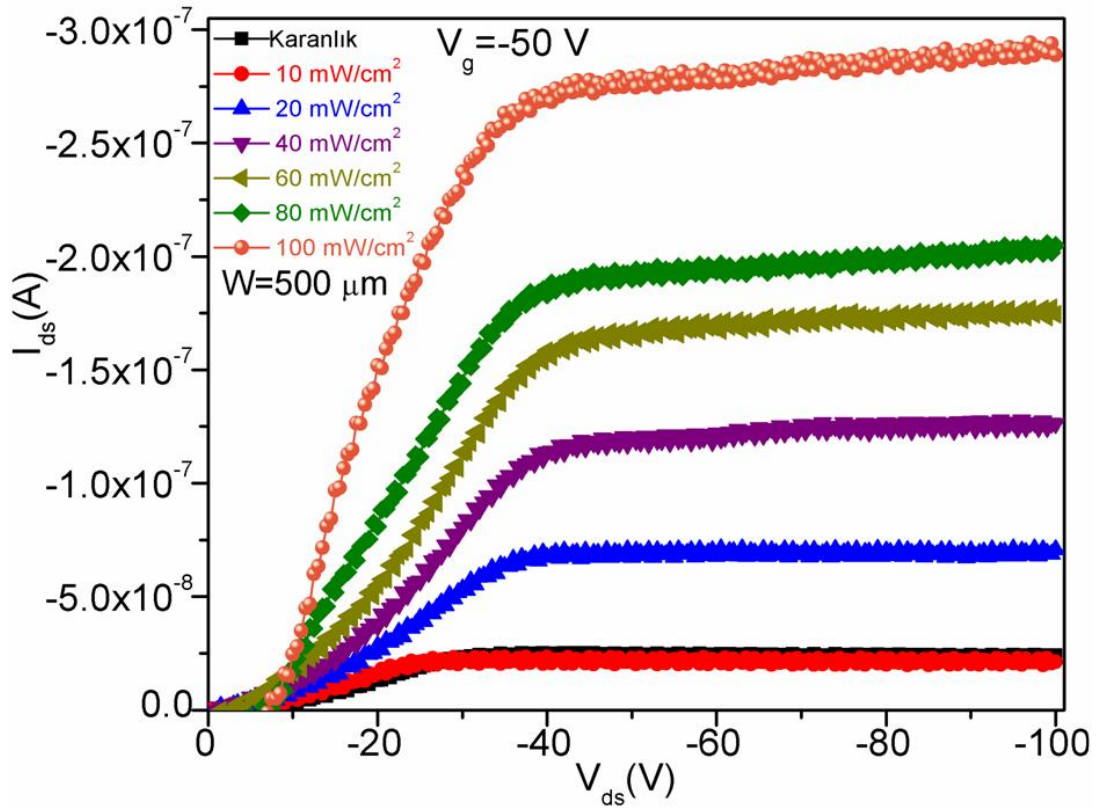
Şekil 7.56 Kanal genişliği (W), **(a)** 1500 μm ve **(b)** 2000 μm olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

Şekil 7.57(a,b), sırasıyla 7.3.3. kısmında anlatılan $W=500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-50 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.58(a,b), sırasıyla 7.3.3. kısmında anlatılan $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve $V_g=-50 \text{ V}$, 20'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristiklerini göstermektedir. Şekil 7.57b ve 7.58b'de görüldüğü gibi, transistör görünür beyaz ışık aydınlatma şiddetlerine duyarlıdır. Bu, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fototransistör karakteristiklerini gösterdiğini doğrulamaktadır. Transistörün kanal (D) akımı, aydınlatma şiddetinin artmasıyla artmaktadır, çünkü kanal tabakasında mobilite taşıyıcıların akışını artırmaktadır. İlk transistör için, yazılanlar bu transistörler için de geçerlidir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fotoduyarlılık değerleri hesaplandı. Kanal genişliği (W) $500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.363 iken, 100 mW/cm^2 için 3.88'e kadar yükselmekte ve kanal genişliği (W) $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in fotoduyarlılık değeri 10 mW/cm^2 için 1.32 iken, 100 mW/cm^2 için 6.93'e kadar yükselmektedir. Bu durum fotoakımın, toplanma bölgesinin (açık-durumu) tükenim bölgesi (kapalı-durumu) ile karşılaştırılmasıyla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermektedir.

p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin fotocevapları ($R_{L/D}$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplandı. Kanal genişliği (W), 500 ve $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS fototransistörlerinin aydınlatma şiddetine bağlı $R_{L/D}$ değerleri, Şekil 7.59(a-b)'de gösterilmektedir. Şekil 7.59(a-b)'de gösterildiği gibi, kapalı durumunda, transistörün fotocevabı, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Transistör için aydınlatmaya bağlı fotocevapları R, denklem (7.3) kullanılarak analiz edilmektedir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin cevap değerleri, aydınlatma şiddeti ile lineer olarak artmaktadır. Kanal genişliği (W), 500 ve $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'leri için γ değerleri, sırasıyla 0.198 ve 0.95 olarak bulundu. Bu durum, kanal genişliği (W), $500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in başka rekombinasyon mekanizması ile kanal genişliği (W), $1000 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in ise monomoleküler rekombinasyon mekanizmasını sergilediğini göstermektedir.

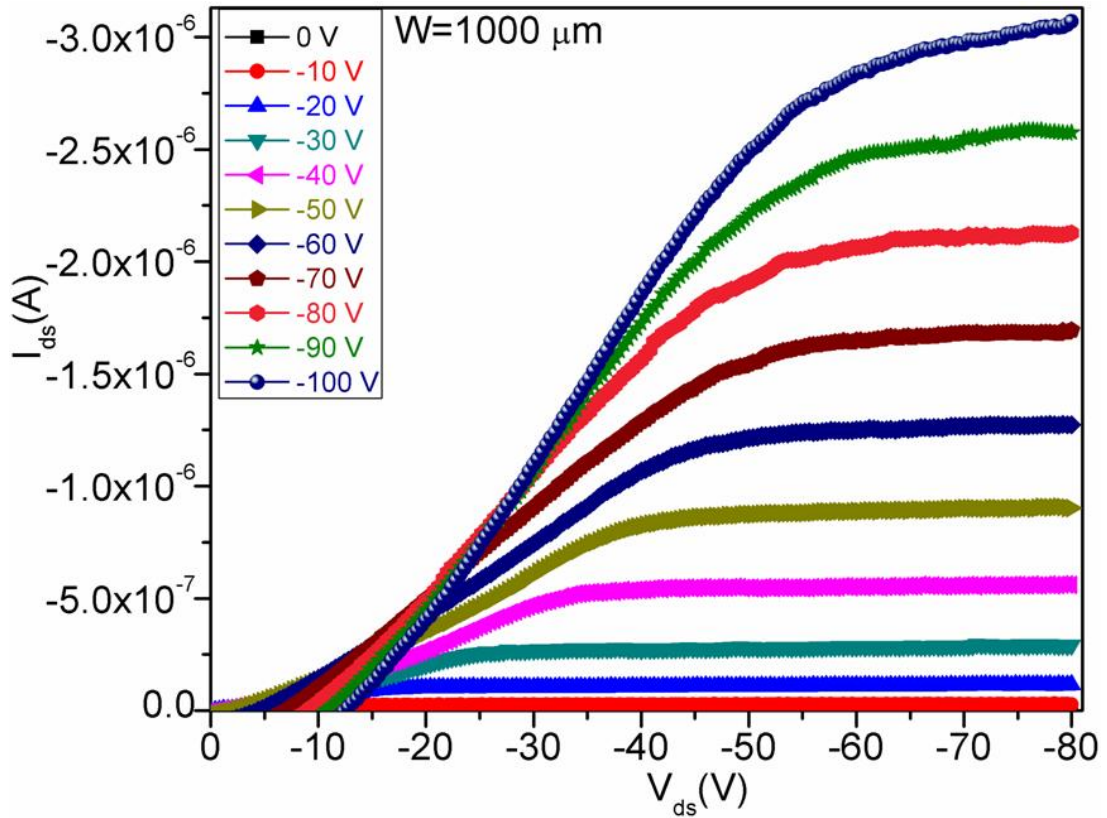


(a)

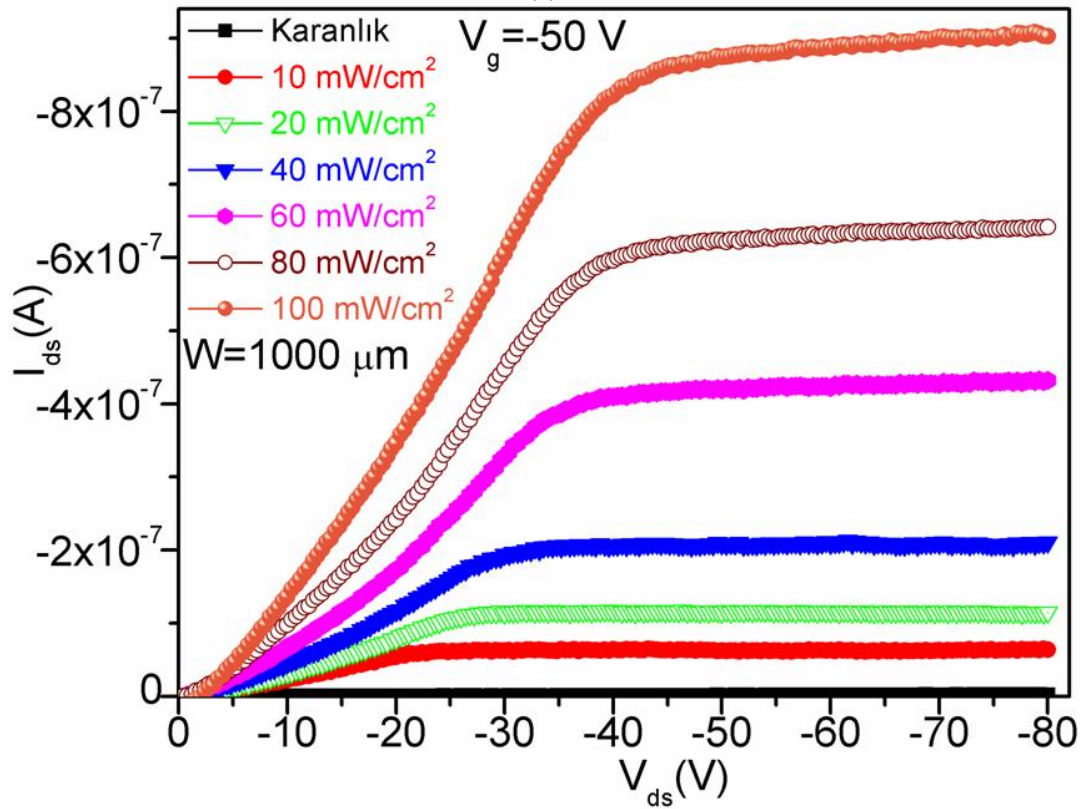


(b)

Şekil 7.57 Kanal genişliği (W), $500 \mu\text{m}$ olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm^2 'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -50 \text{ V}$, 20 'den 100 mW/cm^2 'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri

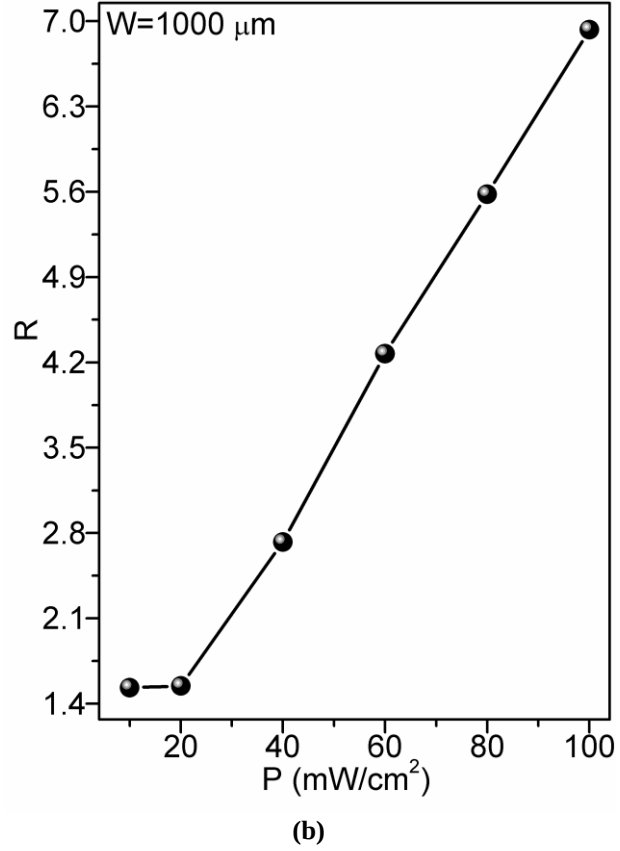
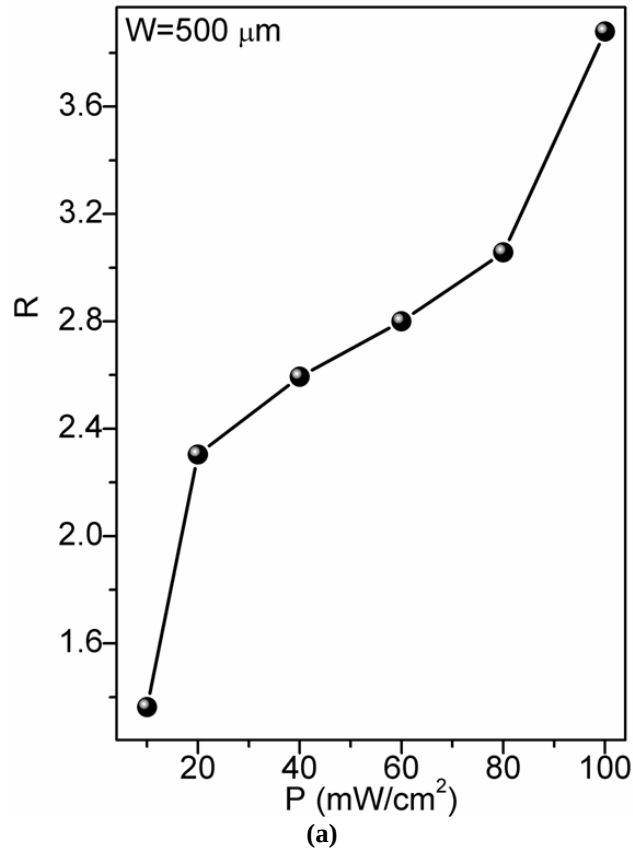


(a)



(b)

Şekil 7.58 Kanal genişliği (W), 1000 μm p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin (a) farklı geçit voltajları ve 100 mW/cm²'lik aydınlatma altındaki ve (b) $V_g = -50$ V, 20'den 100 mW/cm²'lik farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı V_{ds} voltajları altındaki çıkış karakteristikleri



Şekil 7.59 Kanal genişliği (W), **(a)** 500 μm ve **(b)** 1000 μm olan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin aydınlatma şiddetine bağlı R değerleri

7.5.2. Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri

Hazırlanan farklı pentasen esaslı ve pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) esaslı organik alan etkili transistör (OFET)'lerin transfer karakteristikleri; kanal genişliği, oksit kalınlığı, oksit tipi, aydınlatma şiddeti ve aktif tabaka kalınlığı gibi üretim şartları değiştirilerek ayrı ayrı incelendi.

7.5.2.1. Pentasen Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri

Şekil 7.60(a-d), $V_{ds}=-20$ V altında sırasıyla $W=500, 1000, 1500$ ve 2000 μm kanal genişlikli 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir.

Bir transistörün en önemli parametresi, alan-etkili mobilite olup, elektrik alanının etkisi altında yük taşıyıcılarının nasıl kolay sürüklenbildiğini göstermektedir. Organik alan etkili transistör (OFET)'lerin mobilite değeri μ ,

$$\mu = \frac{2L}{WC_i} \left(\frac{dI_{ds}^{1/2}}{dV_g} \right)^2 \quad (7.4)$$

ile ifade edilir. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 34.515 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $V_{ds}=-20$ V altında sırasıyla $W=500, 1000, 1500$ ve 2000 μm kanal genişlikli 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.61(a-d)'de gösterilmektedir. Farklı kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin mobiliteleri Şekil 7.61(a-d)' grafiklerin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.1'de verildi. Tablo 7.1'de görüldüğü gibi, $W=2000$ μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'i hariç, kanal genişliği arttıkça mobilite değeri azalmaktadır. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin bu mobilite değerleri, PVP dielektrik geçit tabakası ile hazırlanan pentasen transistörünün mobilite değerlerinden [96,199,200] küçüktür. Bu durum, diğer üretim şartlarıyla birlikte özellikle oksit tabakası farklılığından kaynaklanmaktadır. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerin farklı kanal genişlikleri için

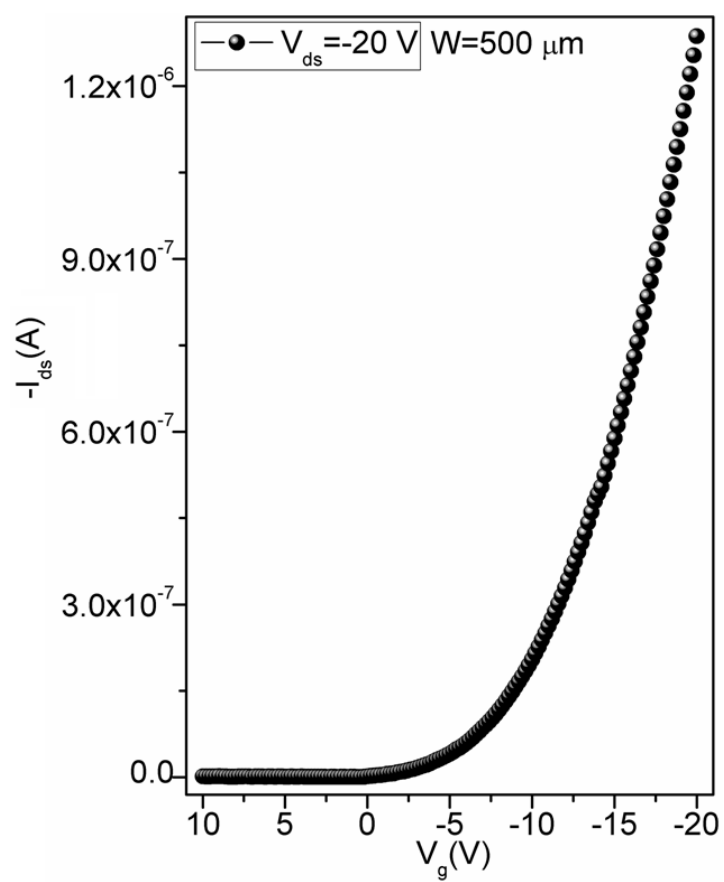
hesaplanan mobilite değerleri, bazı ince film transistörlerin mobilitelerinden daha büyüktür [38]. Mobilitenin, crystallite tane boyutuna önemli ölçüde duyarlı olduğu iyi bilinmektedir. Transistörün daha yüksek mobilitesi, dielektrik tabaka üzerine kaplanan pentasen filminin yapısına (morfolojisine) atfedilmektedir. SiO₂ geçit dielektriğinin yüzey pürüzlülüğü, organik fototransistörün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü transistörün yük taşıyıcı taşınımı, dielektrik tabakanın özelliklerinden etkilenir. Pentasenin yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerinkinden daha küçüktür. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin mobilite değerleri, transistörü daha yüksek kapasitansa sahip Ta₂O₅ dielektrik tabakalı 100 ve 300 nm arasında tane boyutu ile daha küçük taneler ile pentasen tabakasıyla yapılan pentasen transistörün mobilitelerinden ($8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V s}$) [66] daha yüksektir. Bu, çalışılan transistörün SiO₂ tabakası üzerine kaplanan pentasenin daha büyük tane boyutu ve daha düşük pürüzlülükten dolayı daha yüksek mobiliteye sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen mobilite değerleri, organik ince film transistörleri için tipik bir değerdir. Bu, herhangi bir organik ince film transistörün daha yüksek mobilitelerinin aktif tabakaya, aktif tabaka filminin hazırlama metoduna ve morfolojik (yapısal) özelliklere bağlı olduğunu göstermektedir. Pentasen esaslı organik ince filmin eşik voltajı, organik ince film transistörlerin elektronik teknoloji uygulamaları için önemlidir.

Pürüzlülük ve tane boyut parametreleri OTFT'lerin elektriksel performansını etkileyip, transistörün mobilitesi üzerinde önemli bir role sahiptir. Transistörün daha yüksek mobilitesi, dielektrik tabaka üzerine kaplanan pentasen filminin yapısına atfedilmektedir. Bu, çalışılan transistörün SiO₂ tabakası üzerine kaplanan pentasenin daha küçük tane boyutu ve daha yüksek pürüzlülükten dolayı daha düşük mobiliteye sahip olduğunu göstermektedir. SiO₂ geçit dielektriğinin yüzey pürüzlülüğü, organik fototransistörün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü transistörün yük taşıyıcı taşınımı, dielektrik tabakanın özelliklerinden etkilenir. Pentasenin yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerde daha küçüktür. Fakat, çalışılan transistörün mobilitesi (Tablo 7.1), transistörü daha yüksek kapasitansa sahip Ta₂O₅ dielektrik tabakalı 100 ve 300 nm arasında tane boyutu ile daha küçük taneler ile pentasen tabakasıyla yapılan pentasen transistörün mobilitelerinden ($8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V s}$) [201] daha yüksektir. Pürüzlülük ve tane boyutunun TFT'lerin performansı üzerine etkisi hakkında birkaç çalışma bulunmaktadır [202-204]. Genelde, tane boyutu pürüzlülüğün artmasıyla azalmaktadır, buda düşük mobiliteye sebep olmaktadır.

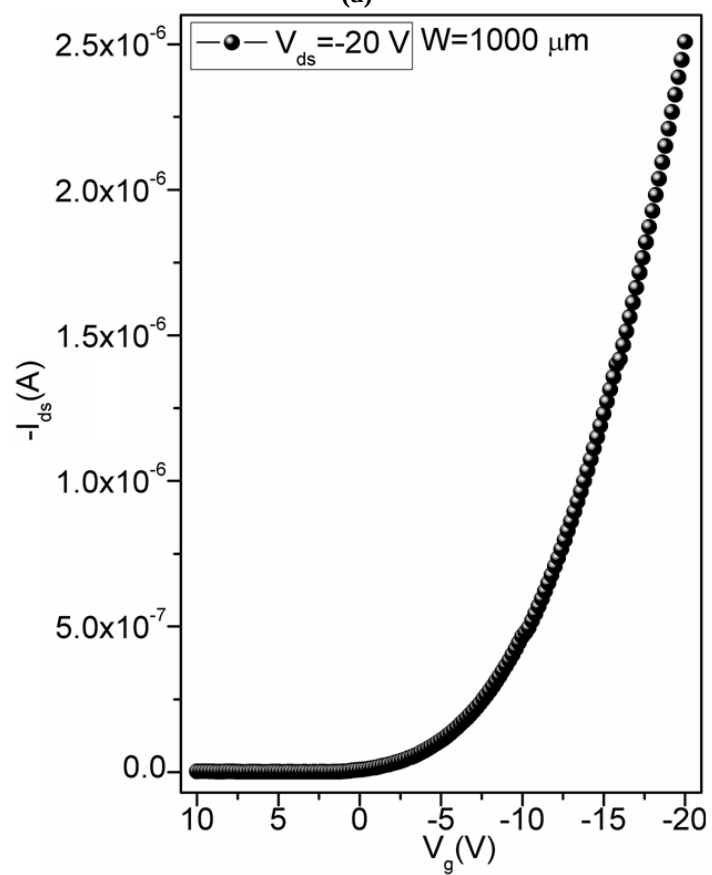
Pürüzlülüğün artmasıyla mobilitenin azalması, tuzak durumlarının miktarının artmasına atfedilebilir. Ayrıca, ya tane sınırlarına ya da yüzey saçılmasına da atfedilebilir. Mobilité, bu parametreler ile etkilenir, çünkü mobilité, pentasenin moleküler diziliminin derecesine çok duyarlıdır. Aynı zamanda transistörün parametreleri üzerinde, organik bileşik tabakanın ve doğal oksit tabakanın etkisi de var. Tane boyutu, dielektrik tabakanın nemli özelliklerine atfedilebilir. Daha geniş tane boyutları ile pentasen filmleri, daha büyük taşıyıcı mobilitelerini gösterir. Eğer dielektrik filmi, çok kötü yüzey pürüzlülüğüne sahipse, o zaman bu pürüzlülük kanal bölgesinde vadilere sebep olmaktadır. Bu vadiler, saçılma sayısı ile taşıyıcı tuzaklar gibi hareket edebilir.

Şekil 7.61(a-d)'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafiklerinden n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin eşik voltaj (V_{th})'ları ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranları bulundu ve Tablo 7.1'de verildi. Tablo 7.1'de görüldüğü gibi, n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin kanal genişlikleri değiştikçe eşik voltajları ve açma/kapama oranları değişmektedir. Bu değişimin kararlı olmadığı görüldü. Eşik voltajı V_{th} , arayüzeydeki tuzak durumlarından dolayı değişebilir. Bu yükler, ilkin arayüzeyde tuzaklanır ve daha sonra bu yükler, geçit voltajının uygulanmasıyla kanal (D) akımına katılabilirler. Bu çalışma ve referans [152,205,206]'de çalışılan pentasen OTFT transistörlerin ölçülen mobilitelerin sonuçlarının, pentasen tabakasının hazırlama işlemine çok duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle kaplama hızı, pentasen transistörün yük taşıması ve arayüzey özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir.

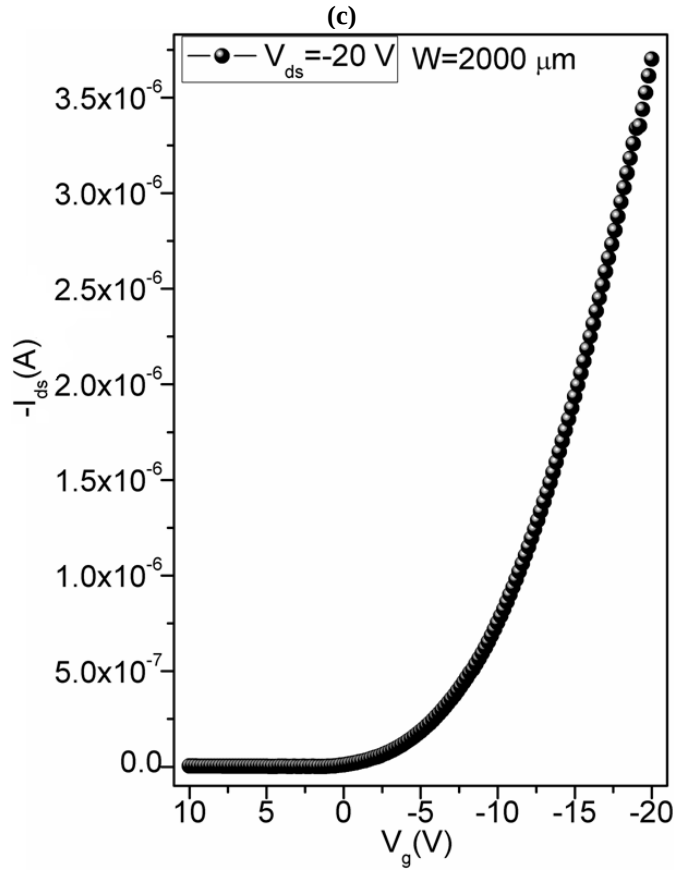
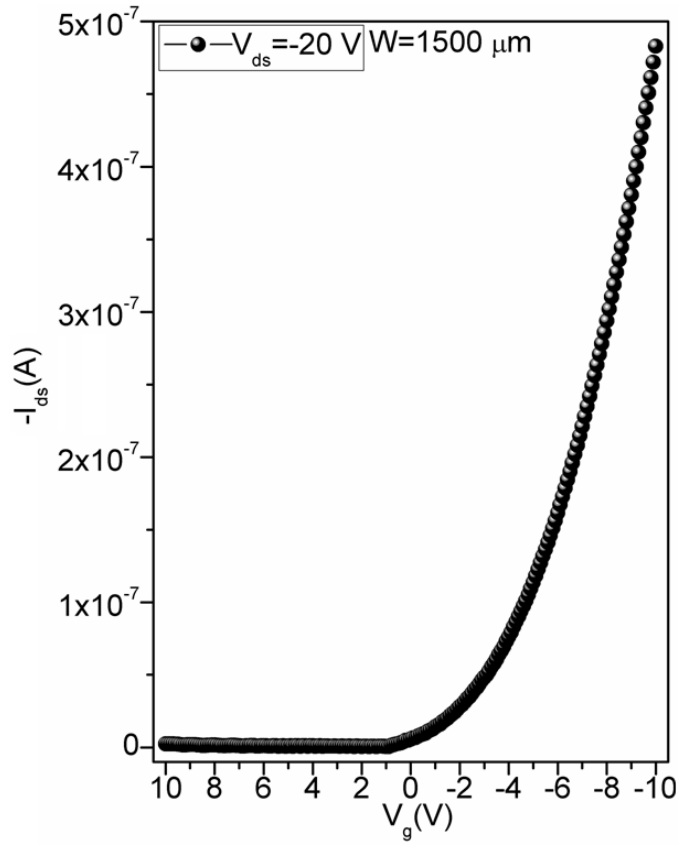
Farklı kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin mobilité değerleri, CuPc-OTFT transistörünün mobilité μ değeri ($5.32 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), Al₂O₃, Ta₂O₅ + SiO₂, Ta₂O₅ gibi farklı yüksek dielektrik sabitli oksit ince filmler üzerine hazırlanan CuPc-esaslı FET'lerin [207] ve polymethyl methacrylate (PMMA) dielektrik tabakası kullanılarak hazırlanan $0.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ mobiliteli CuPc-OTFT'lerin [208], geçit yalıtkanı olarak SiO₂ ve SiN_x bileşiği kullanılarak hazırlanan $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ mobiliteli transistörün, aktif tabaka kalınlığının optimizasyonu ile SiO₂ yalıtkanı üzerinde hazırlanan $3.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ mobiliteli transistörün [209], OTS tek tabakalar ile kimyasal olarak değiştirilen silisyum dioksit geçit yalıtkanı kullanılarak hazırlanan $1.48 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ mobiliteli transistörün [210] mobilitelerinden daha büyüktür. Bu durum, diğer üretim şartları ile birlikte oksit tabakasının ve aktif tabakanın transistörün transfer karakteristikleri üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.



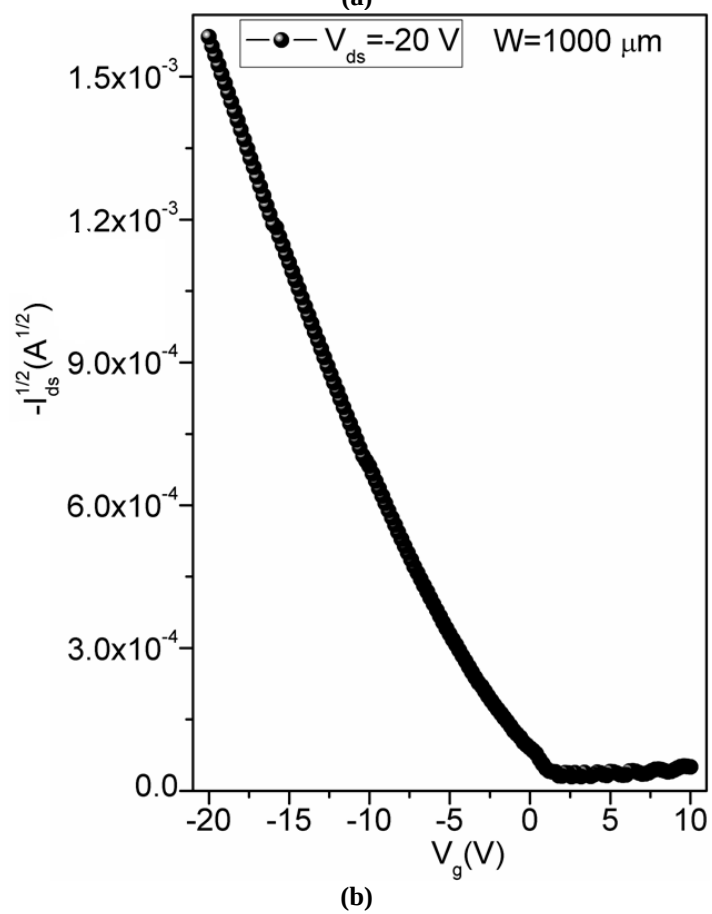
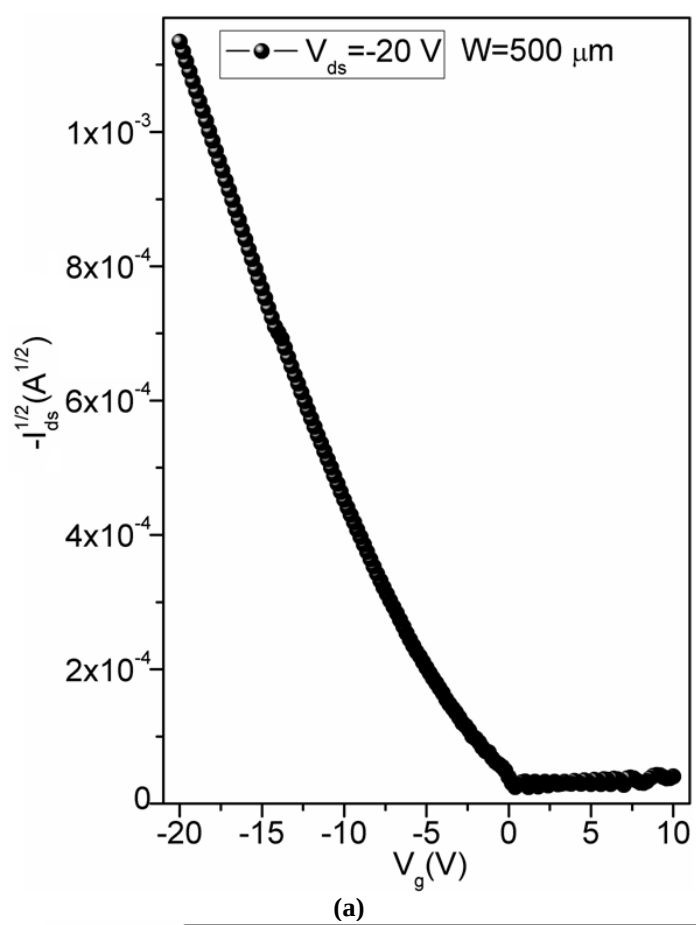
(a)

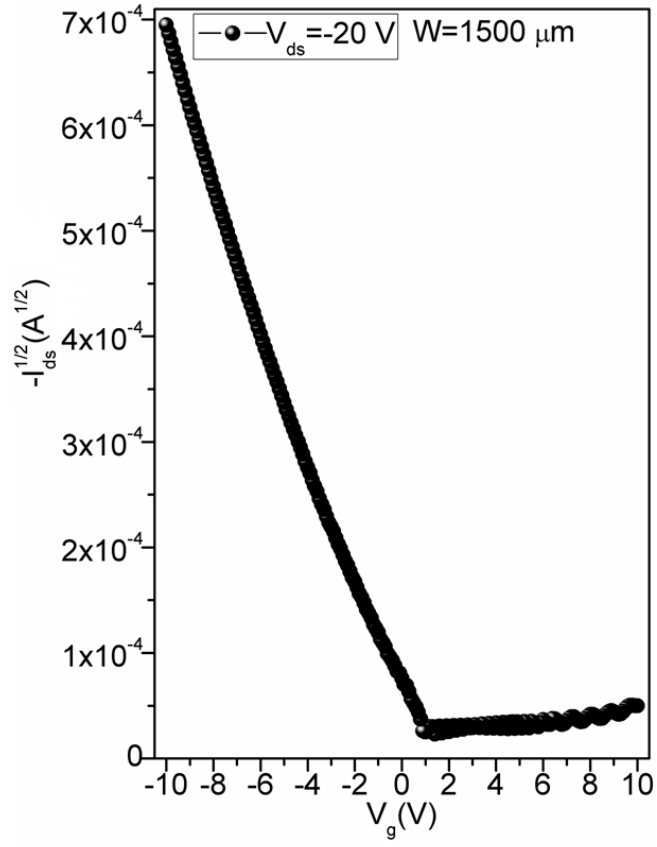


(b)

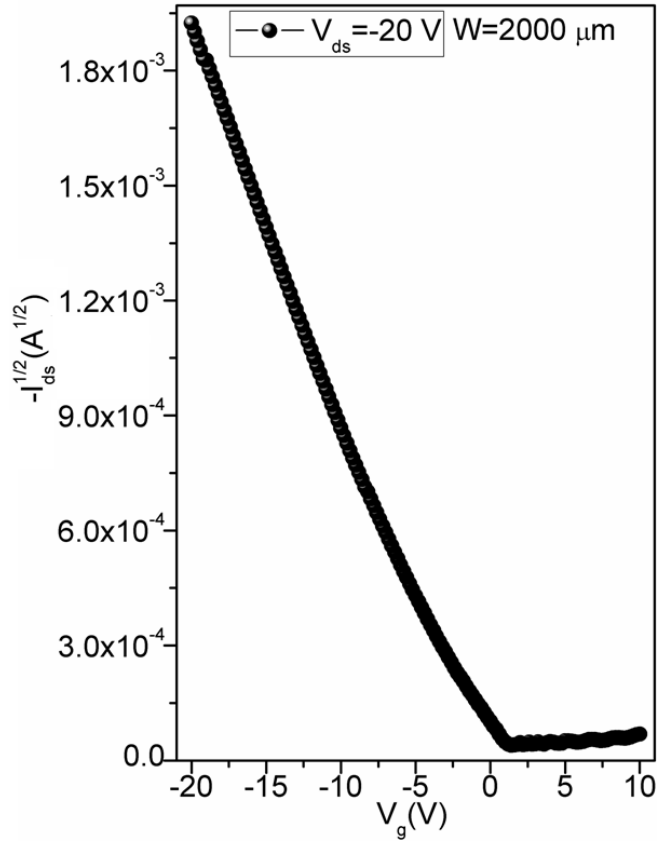


Şekil 7.60 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişliklerindeki -20 V altında, $-I_{ds}$ - V_g grafikleri





(c)



(d)

Şekil 7.61 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri

Tablo 7.1 Farklı kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

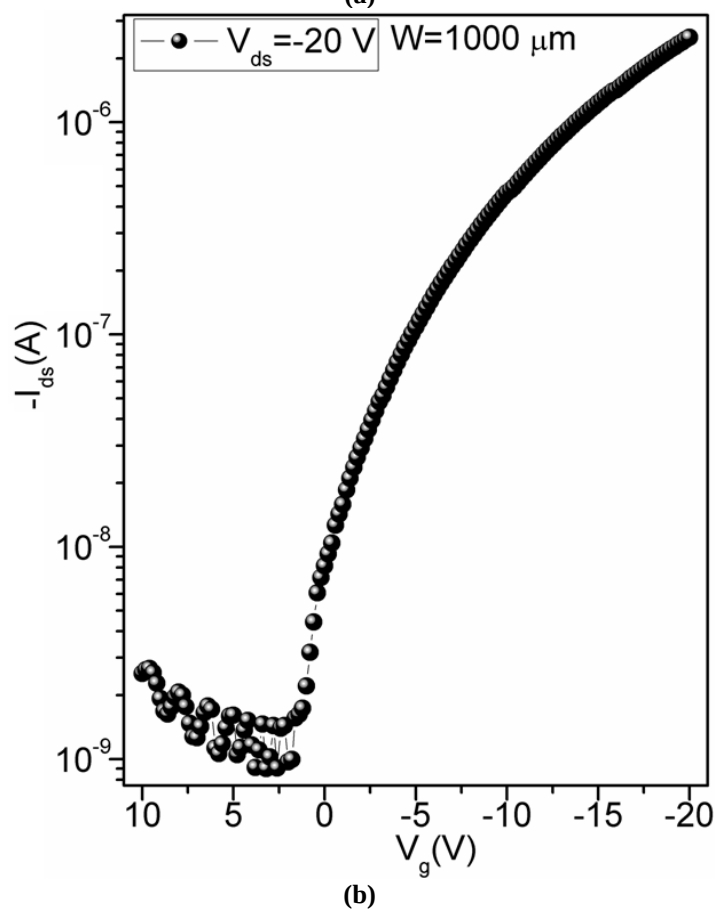
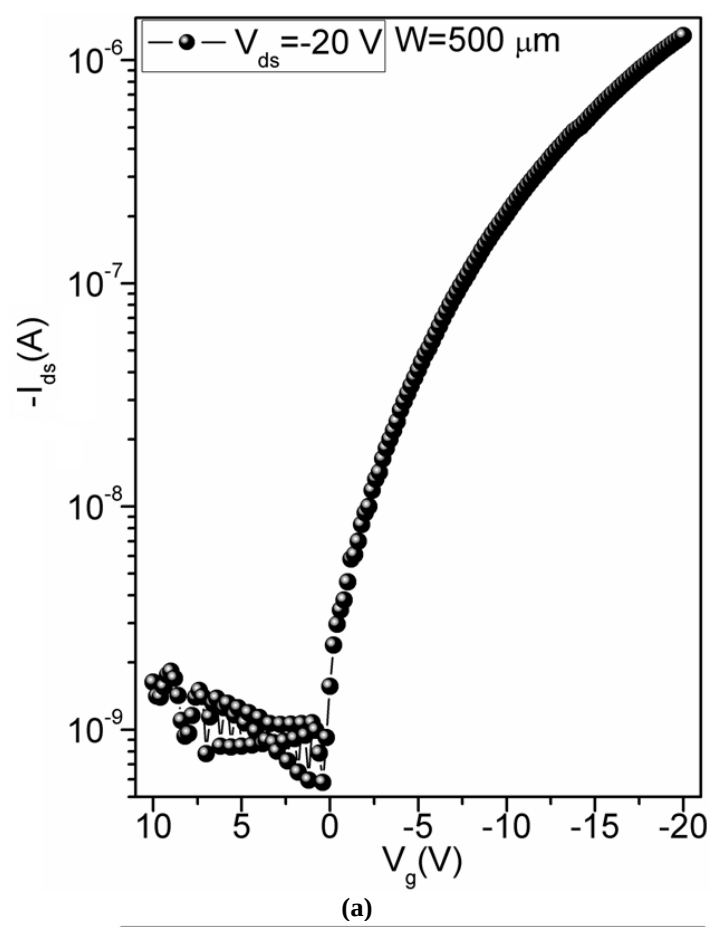
Kanal Genişliği (W) μm	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
500	6.104	-4.43	2.214	2.84
1000	4.491	-2.47	2.777	3.035
1500	2.122	-0.69	0.89	3.106
2000	3.353	-2.05	2.306	3.080

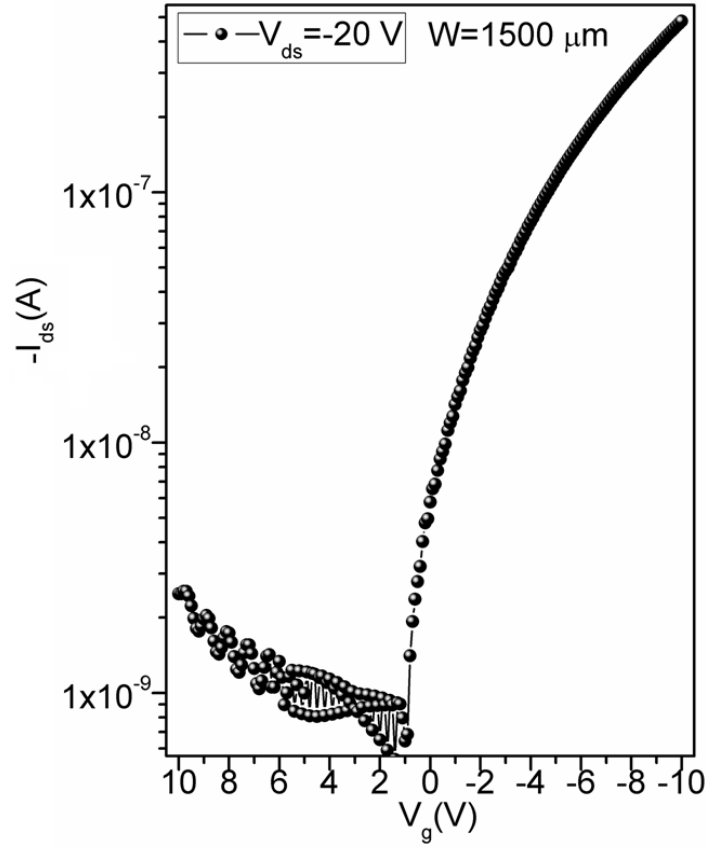
Herhangi organik ince film transistörünün performansı için, bir diğer önemli parametre, alt-eşik salınım değeri olup transistörün açma (turn-on) hızının bir ölçüsüdür ve V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ 'nin grafiğinden belirlenebilir, çünkü transistörün S değeri, voltaj salınımını kontrol edip, transistörü kapalı (off) durumdan açık (on) duruma getirmek için gereklidir. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin S değerleri, Şekil 7.62(a-d) grafikleri yardımıyla ve

$$S = \left[\frac{d \log(I_d)}{d V_g} \right]^{-1} \quad (7.5)$$

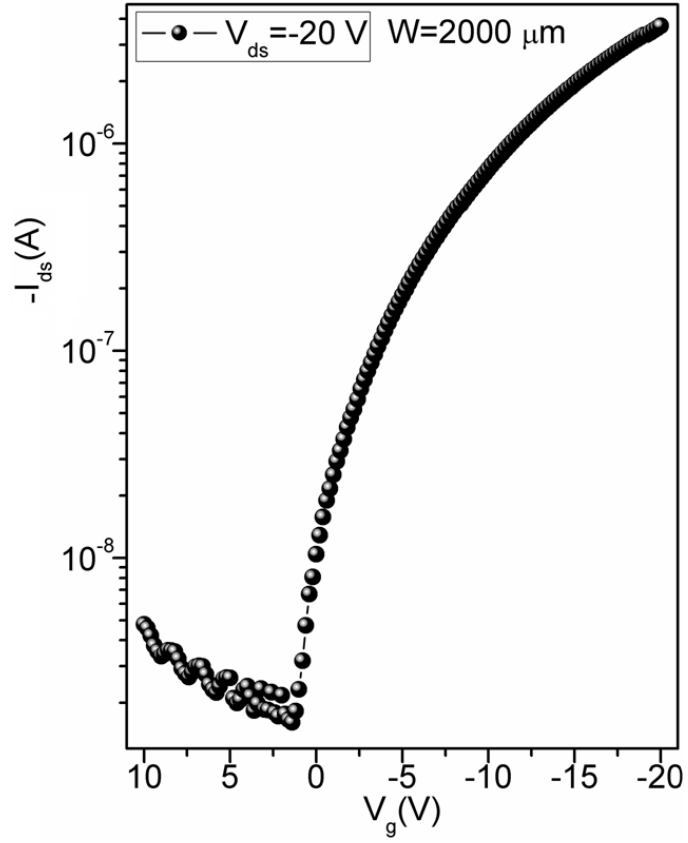
ifadesi ile hesaplandı [187] ve Tablo 7.1'de verildi. Tablo 7.1'de görüldüğü gibi, kanal genişliklerinin değişmesiyle S değerleri de değişmektedir.

1500 μm kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET en yüksek S değerine sahip iken, 500 μm kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET en düşük S değerine sahiptir. Çalışılan transistörün, daha küçük S değeri ile daha iyi performans sergiledikleri görüldü. Kanal (D) akımının alt-eşik davranışı, yasak bantdaki kusurlu durumların dağılımına atfedilmektedir [38].





(c)



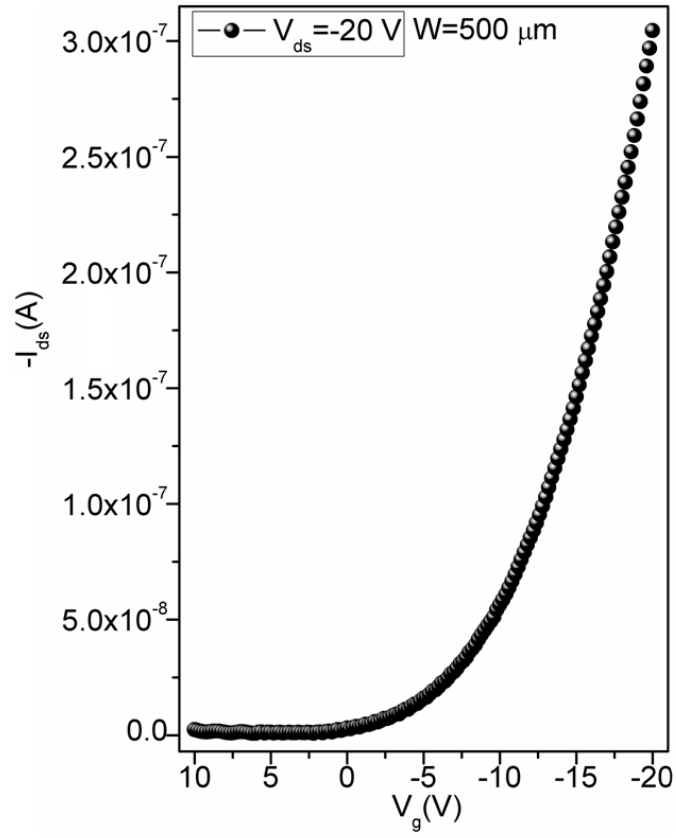
(d)

Şekil 7.62 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

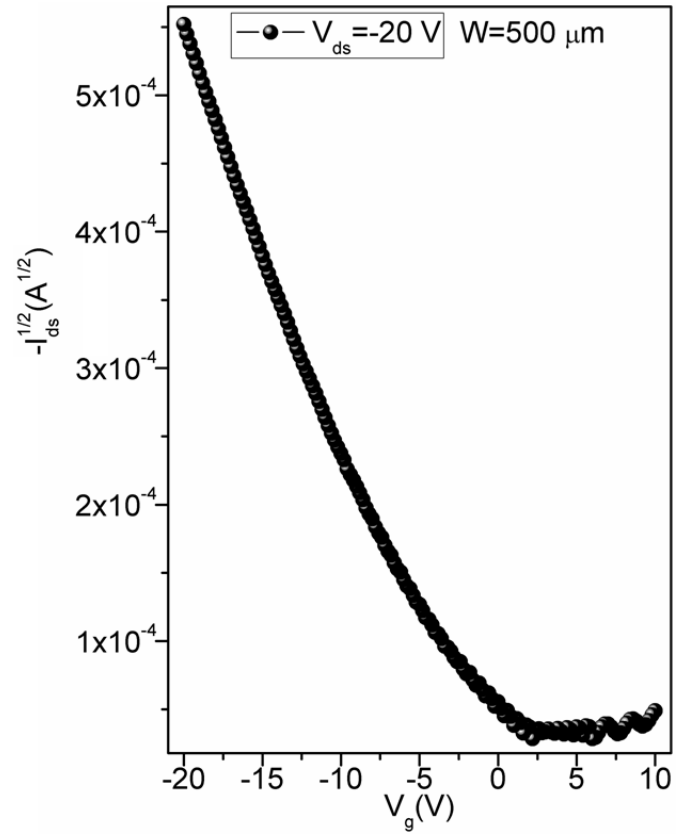
Şekil 7.63, $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ μm kanal genişlikli 7.2.1.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 34.515 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ μm kanal genişlikli 7.2.1.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafikleri, Şekil 7.64'de gösterilmektedir. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin mobilitesi, Şekil 7.64 grafiğinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak $1.26 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak hesaplandı. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in bu mobilite değeri, bazı ince film transistörlerin mobilitelerinden daha büyüktür [38]. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin bu mobilite değeri, 7.2.1.1 kısımda anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin aynı kanal genişliğindeki mobilite değerinden daha küçüktür.

Bu, çalışılan transistörün SiO_2 tabakası üzerine kaplanan pentasenin daha küçük tane boyutu ve daha yüksek pürüzlülüğünden dolayı daha düşük mobilitelere sahip olduğunu göstermektedir. Pentasenin yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerde daha küçüktür. Fakat, çalışılan transistörün mobilitesi ($1.26 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), transistörü daha yüksek kapasitansa sahip Ta_2O_5 dielektrik tabakalı 100 ve 300 nm arasında tane boyutu ile daha küçük taneler ile pentasen tabakasıyla yapılan pentasen transistörün mobilitelerinden ($8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$) [201] daha yüksektir.

Şekil 7.64'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafiğinden n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in eşik voltaj (V_{th})'ı ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı, sırasıyla -3.35 V ve 3.741×10^2 olarak bulundu. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in bu açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı, 7.2.1.1 kısımda anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranından düşüktür. Bu durum, oksit tabakasının üretim şekliyle kalınlığının mobilite ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı üzerindeki etkisini açıklamaktadır. 7.2.1.1 kısımda anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin oksit (yalıtkan) tabakası 7.2.1.2 kısımda anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin oksit (yalıtkan) tabakasından daha iyi performans sergilemektedir.



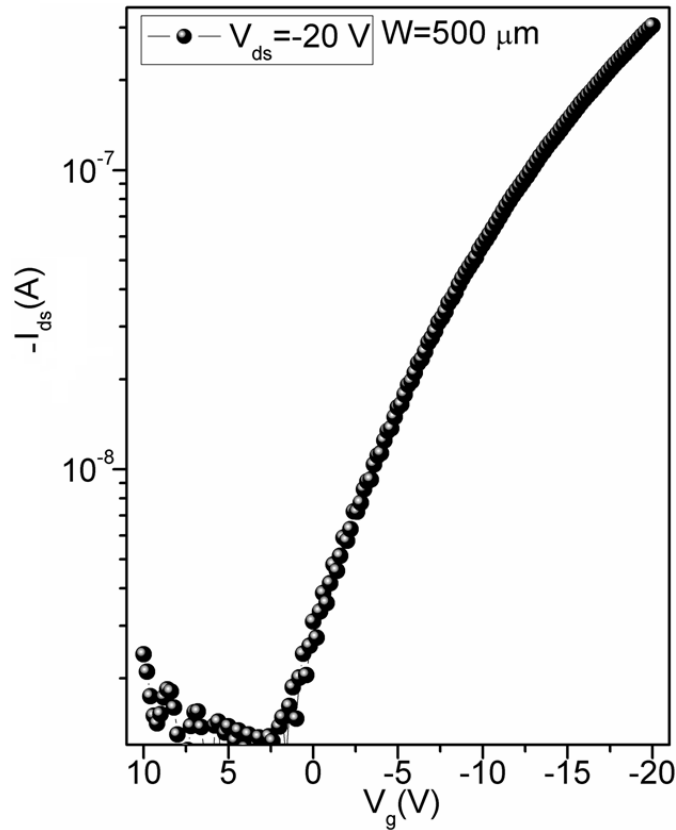
Şekil 7.63 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin -20 V altında, $-I_{ds}$ - V_g grafikleri



Şekil 7.64 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri

$W=500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli 7.2.1.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin S değeri, Şekil 7.65 grafiği yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak 4.606 V/decade olarak hesaplandı. Bu S değeri, 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin S değerinden daha büyüktür. Böylece, daha yüksek S değeri ile transistör, daha düşük performans sergilemektedir.

Şekil 7.66(a-b), $V_{ds}=-20 \text{ V}$ altında $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerin yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 11.505 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $V_{ds}=-20 \text{ V}$ altında $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafikleri, Şekil 7.67(a-b)'de gösterilmektedir.



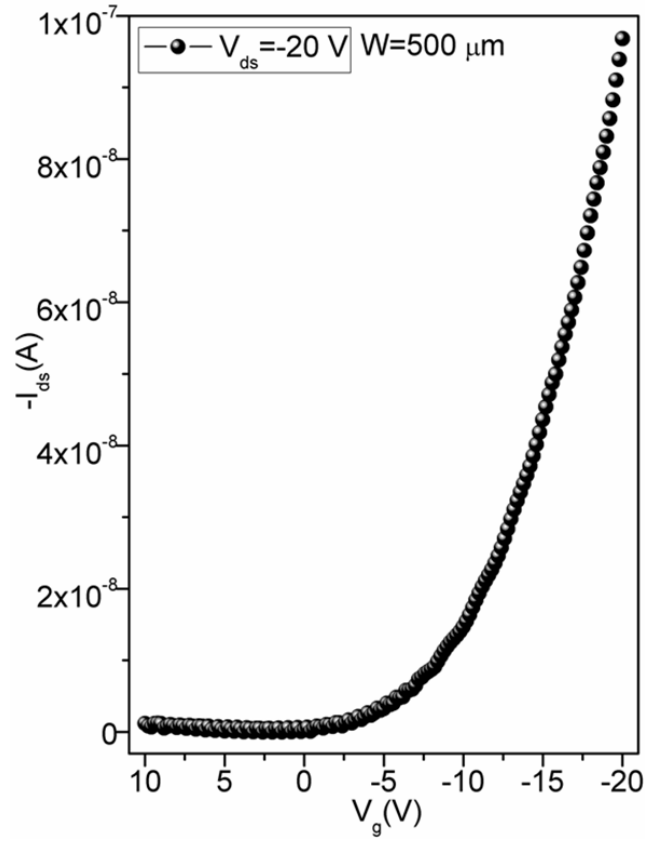
Şekil 7.65 7.2.1.2. kısmında anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

W=500 ve 1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin mobiliteleri Şekil 7.67(a-b)' grafiklerinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak sırasıyla 1.21×10^{-2} ve $3.25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak hesaplandı. 1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilitesi, 500 μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilitelerinden büyüktür.

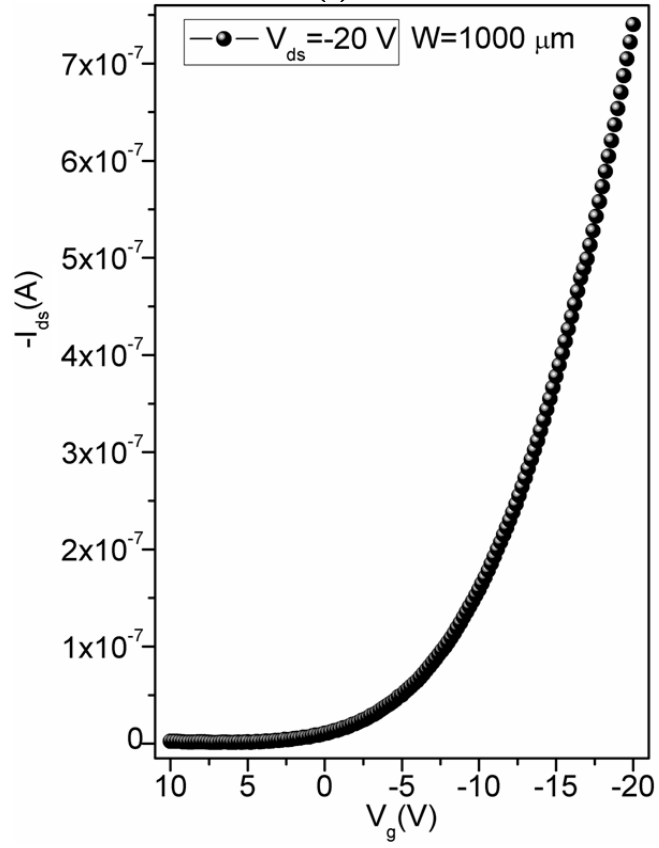
Pentasenin daha küçük tane boyutu ve daha yüksek pürüzlülüğünden dolayı daha düşük mobilitelere sahip olduğunu göstermektedir. Pentasenin yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerde daha küçüktür. Fakat, çalışılan transistörün mobilitesi ($3.25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), transistörü daha yüksek kapasitansa sahip Ta₂O₅ dielektrik tabakalı 100 ve 300 nm arasında tane boyutu ile daha küçük taneler ile pentasen tabakasıyla yapılan pentasen transistörün mobilitelerinden ($8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V s}$) [201] daha yüksektir.

Şekil 7.67(a-b)'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafiklerinden, W=500 ve 1000 μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin eşik voltaj (V_{th})'ları ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranları, sırasıyla ve -3.75 V ve -0.9 V ve 9.186×10^2 ve 6.44×10^2 olarak bulundu.

W=500 ve 1000 μm kanal genişlikli, 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin S değeri, Şekil 7.68(a-b) grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak, sırasıyla 5.754 V/decade ve 5.509 V/decade olarak hesaplandı. Bu S değerlerinden, daha düşük S değerine (W=1000 μm için) sahip transistör, daha iyi performans sergilemektedir.

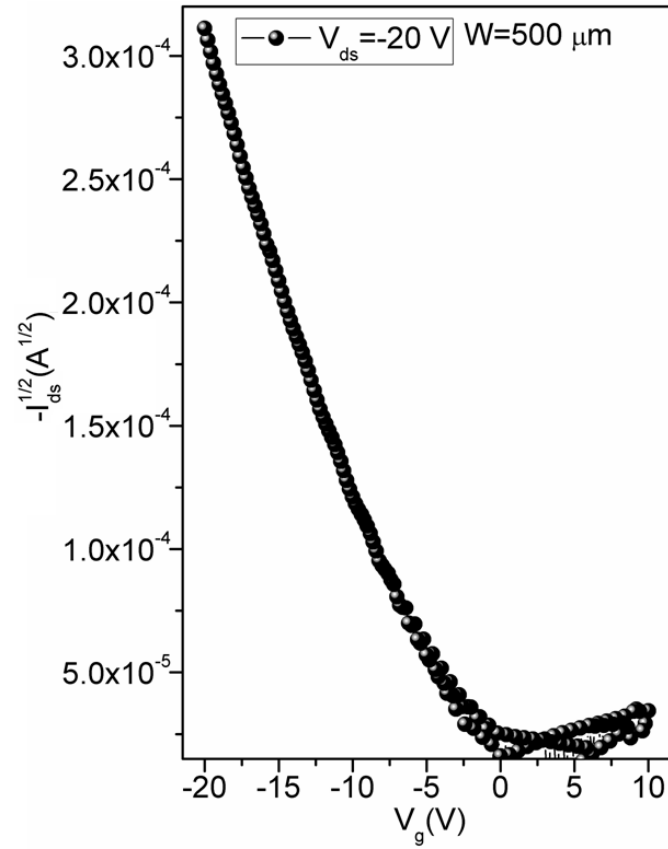


(a)

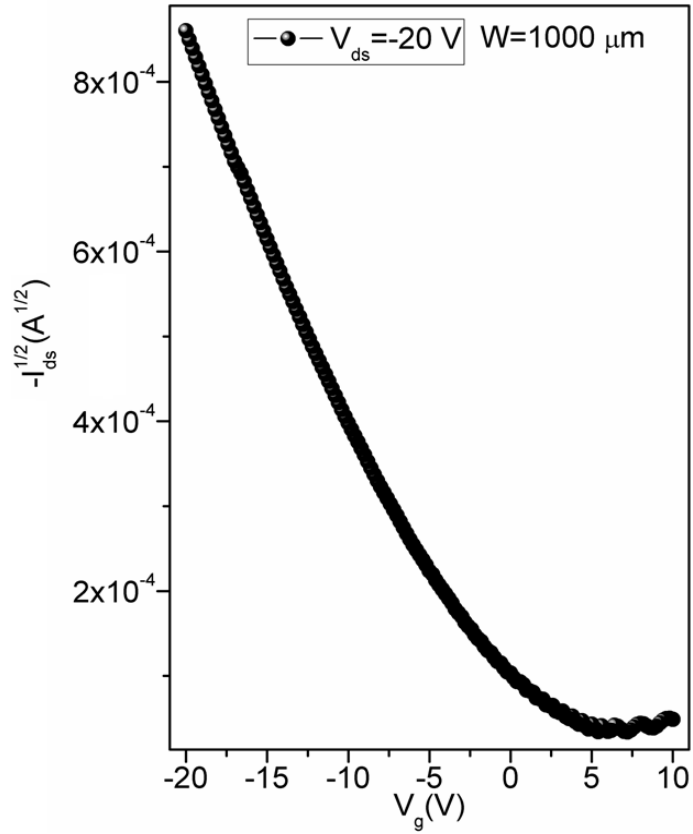


(b)

Şekil 7.66 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin -20 V altında, $-I_{ds}$ - V_g grafikleri

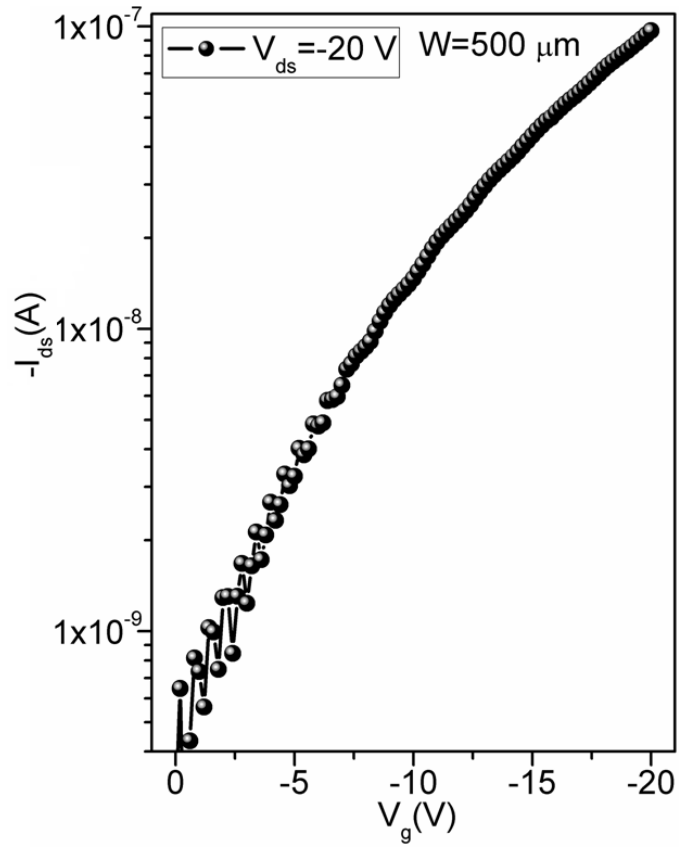


(a)

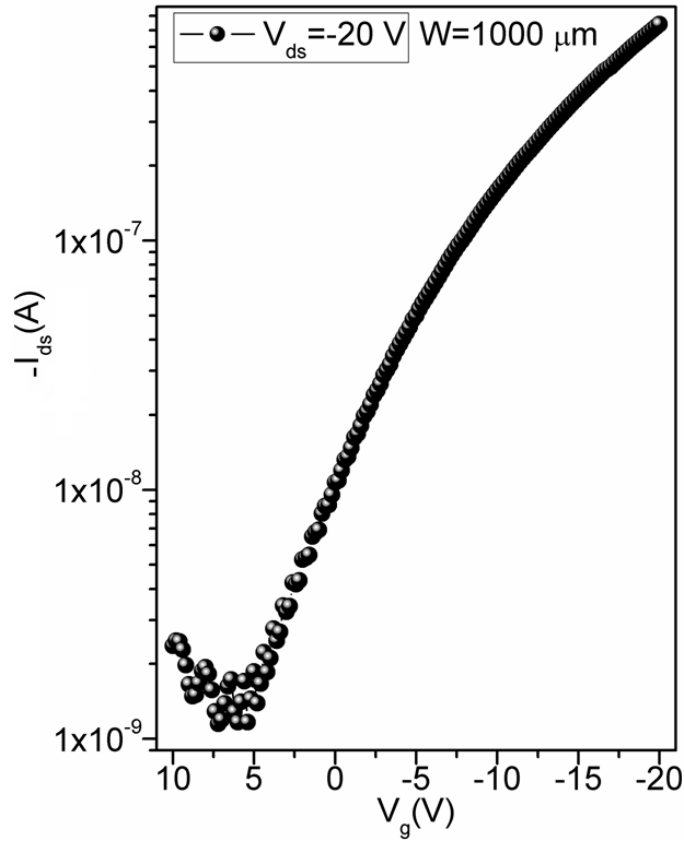


(b)

Şekil 7.67 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) $W = 500 \mu m$ ve (b) $W = 1000 \mu m$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafiği



(a)



(b)

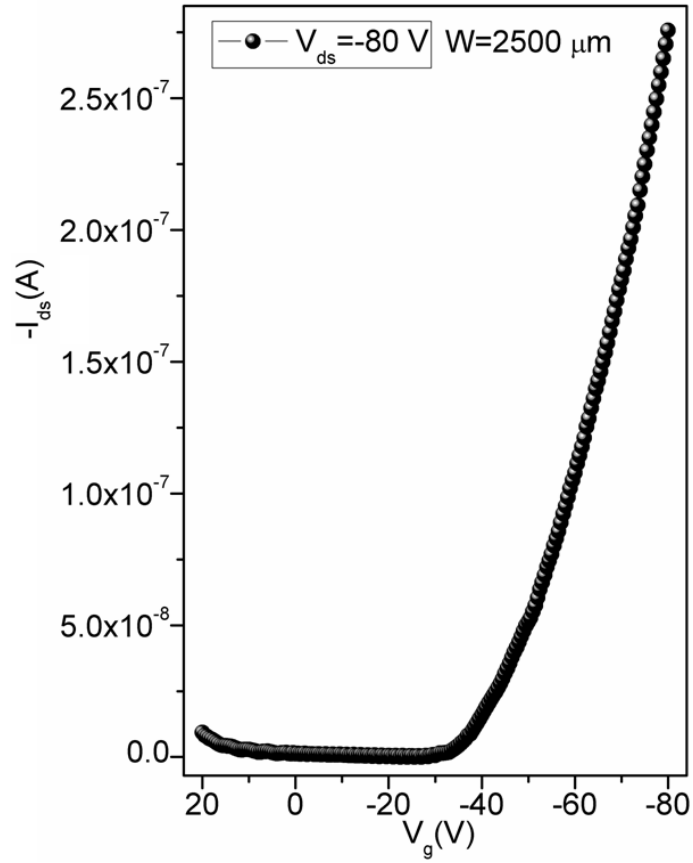
Şekil 7.68 7.2.1.3. kısmında anlatılan (a) $W=500$ μm ve (b) $W=1000$ μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

Şekil 7.69, $V_{ds}=-80$ V altında $W=2500$ μm kanal genişlikli 7.2.2.1. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 15.174 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $V_{ds}=-80$ V altında $W=2500$ μm kanal genişlikli 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafikleri, Şekil 7.70'de gösterilmektedir. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin mobilitesi, Şekil 7.70 grafiğinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak $5.173 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak hesaplandı. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'in bu mobilite değeri, termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerin mobilite değerlerinden daha yüksektir. Bu durum, termal yolla büyütülen SiO_2 geçit tabakasının sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO_2 geçit tabakasına göre, n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'i için daha iyi performans sağladığını göstermektedir.

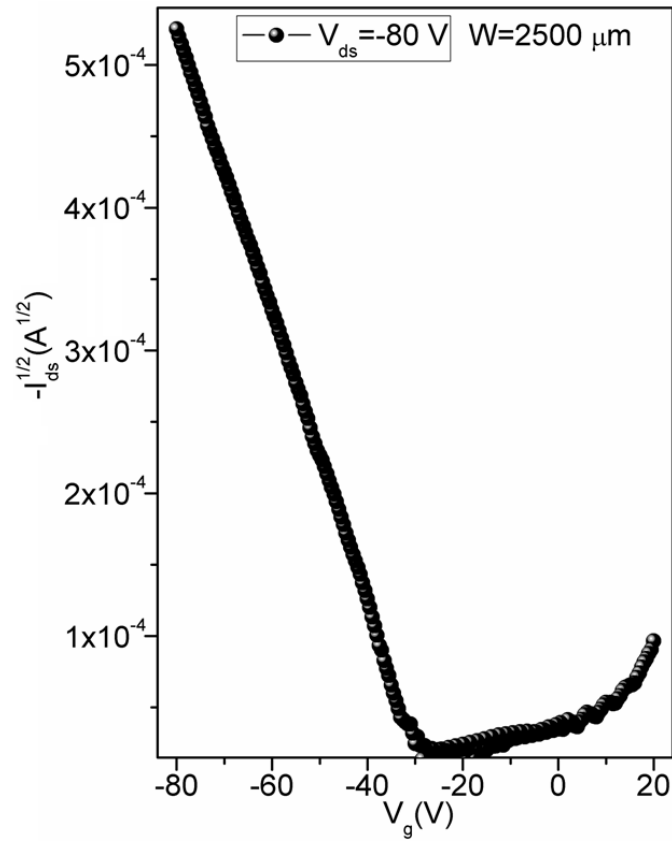
Pentasenin yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerde daha küçüktür. Çalışılan transistörün mobilitesi, üretim işlemleri ile birlikte pentasen ve oksit tabakasının pürüzlülüğünden dolayı düşük olarak elde edilmiştir.

Şekil 7.70'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafiklerinden, $W=2500$ μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin eşik voltaj (V_{th}) ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı, sırasıyla ve -27.1 V ve 2.025×10^3 olarak bulundu.

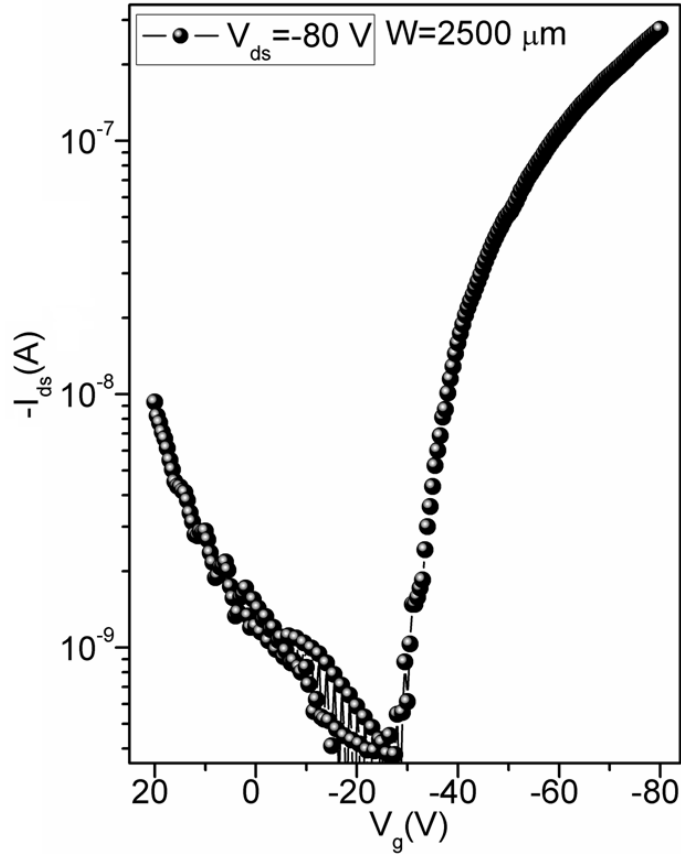
$W=2500$ μm kanal genişlikli 7.2.2.1. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin S değeri, Şekil 7.71 grafiği yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak 21.65 V/decade olarak hesaplandı. Bu S değeri, çok büyük olduğundan mobilite değerinin düşük çıkması beklenen bir sonuçtur. Yani daha yüksek S değeri ile daha az performans sergiledikleri görüldü.



Şekil 7.69 7.2.2.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin -80 V altında, $-I_{ds}$ - V_g grafiği



Şekil 7.70 7.2.2.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin -80 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafiği



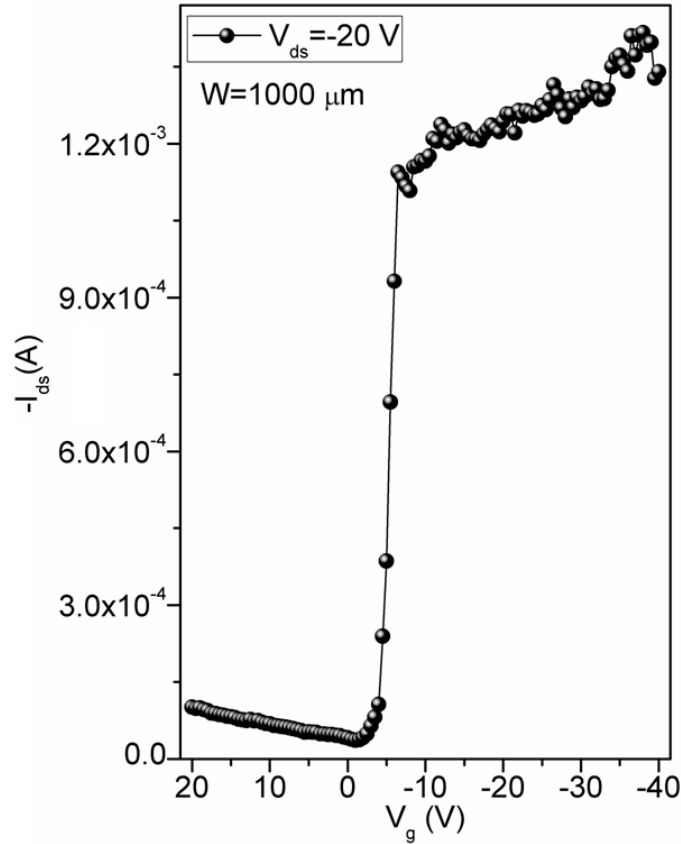
Şekil 7.71 7.2.2.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin -80 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafiği

Şekil 7.72, $V_{ds} = -20$ V altında $W = 1000$ μm kanal genişlikli 7.2.2.2. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/BaTiO₃/pentaseen OFET'inin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds} - V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/BaTiO₃/pentaseen OFET'in yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 4.558×10^{-7} F/cm² olarak hesaplandı. $V_{ds} = -20$ V altında $W = 1000$ μm kanal genişlikli 7.2.2.2. kısmında anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentaseen OFET'inin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.73'de gösterilmektedir. n-Si/BaTiO₃/pentaseen OFET'inin mobilitesi Şekil 7.73 grafiğinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak 41.171 cm²/Vs olarak hesaplandı. n-Si/BaTiO₃/pentaseen OFET'in bu mobilite değeri, çok yüksek olup, bu çalışmada hazırladığımız OFET'ler içerisinde en yüksek mobilite değerine sahip olup, en iyi transistör performans özelliği sergilemektedir. Burada, oksit tipinin yüksek dielektrik sabitine sahip olan BaTiO₃ geçit yalıtkan tabakanın kullanılmasıyla çok iyi OFET'lerin elde edilebileceği görüldü.

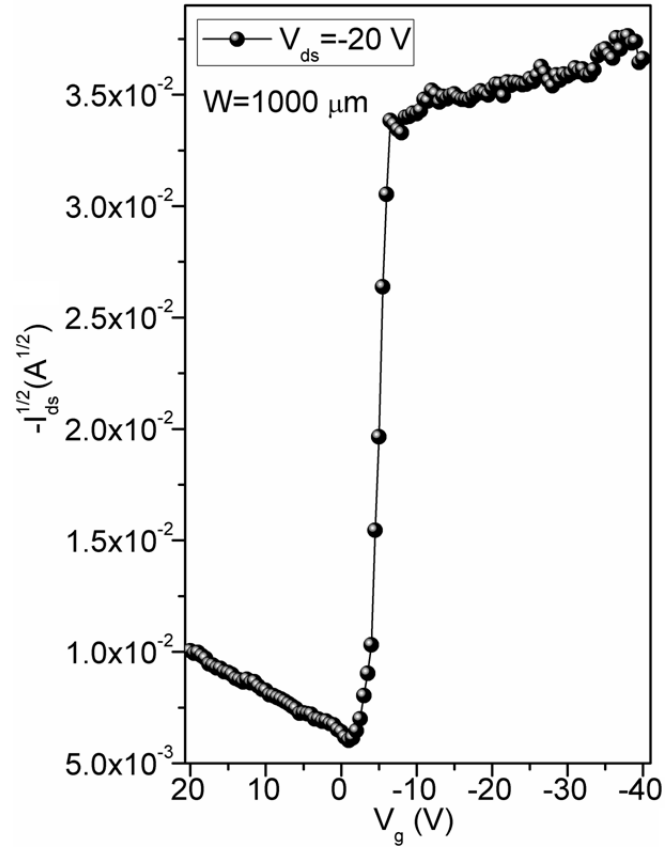
Bu, çalışılan transistörün BaTiO₃ tabakası üzerine kaplanan pentasenin tane boyutu ve pürüzlülükleri yüksek olmasına rağmen iyi bir BaTiO₃ geçit tabakasından dolayı 41.171 cm²/Vs'lik iyi bir mobilite sergilemektedir. Burada yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu kadar yüksek kapasitansa sahip BaTiO₃ geçit tabakasının kullanımında önemli olduğu görüldü.

Şekil 7.73'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafiklerinden, W=1000 µm kanal genişlikli n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin eşik voltajı (V_{th}) ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı, sırasıyla ve -2.98 V ve 38.91 olarak bulundu.

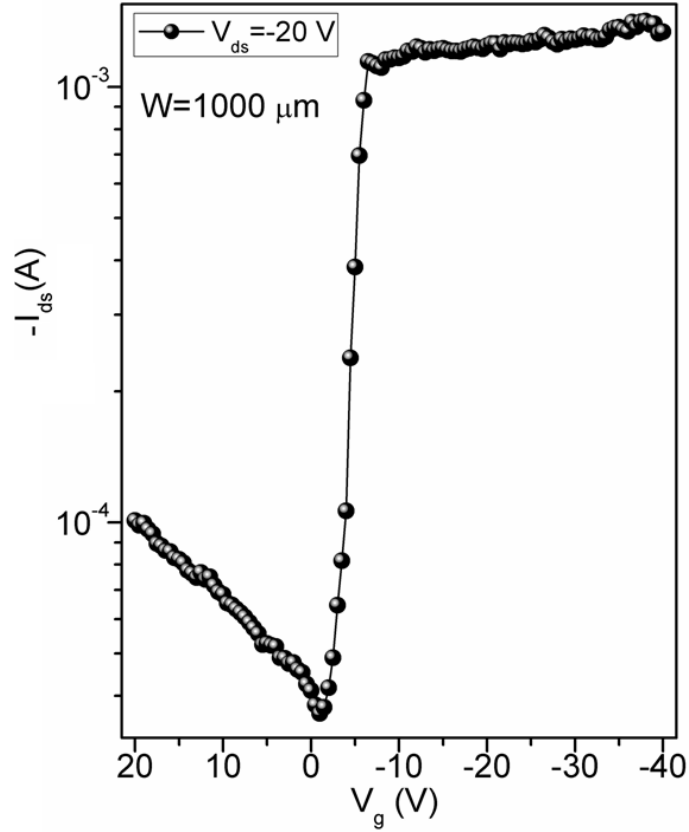
W=1000 µm kanal genişlikli 7.2.2.2. kısımda anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin S değeri, Şekil 7.74 grafiği yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak 0.915 V/decade olarak hesaplandı. Bu S değeri, çok küçük olduğundan mobilite değerinin yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Yani çok daha düşük S değeri ile çok daha iyi performans sergiledikleri görüldü.



Şekil 7.72 7.2.2.2. kısımda anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin -20 V altında, $-I_{ds}-V_g$ grafiği



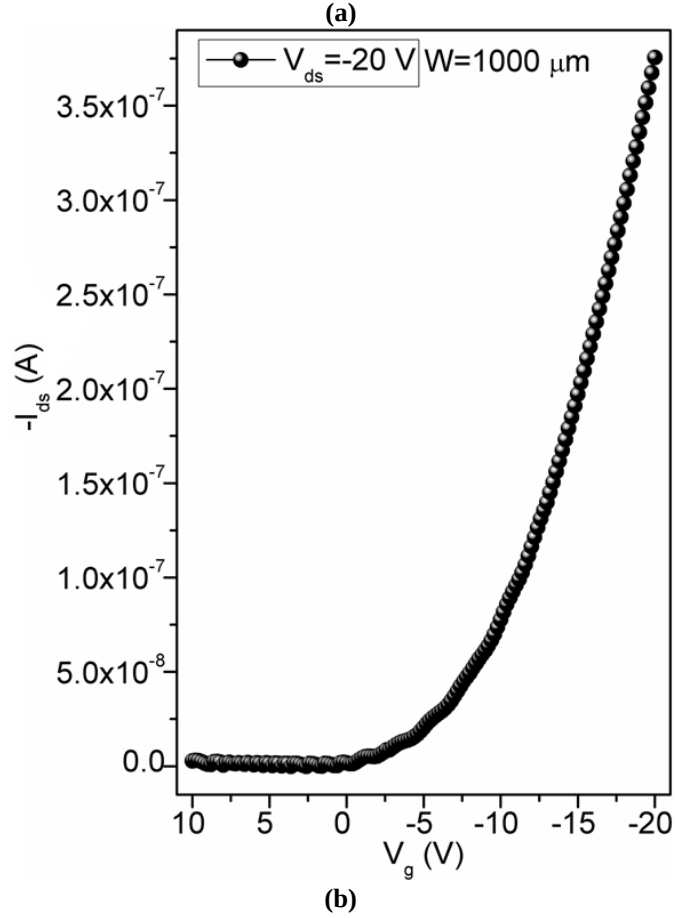
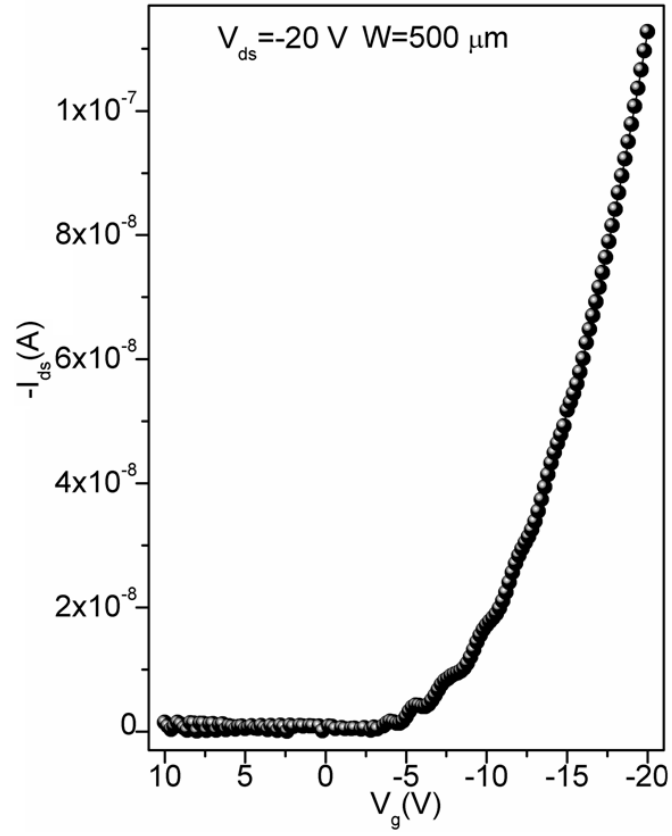
Şekil 7.73 7.2.2.2. kısımda anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentacene OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafiği



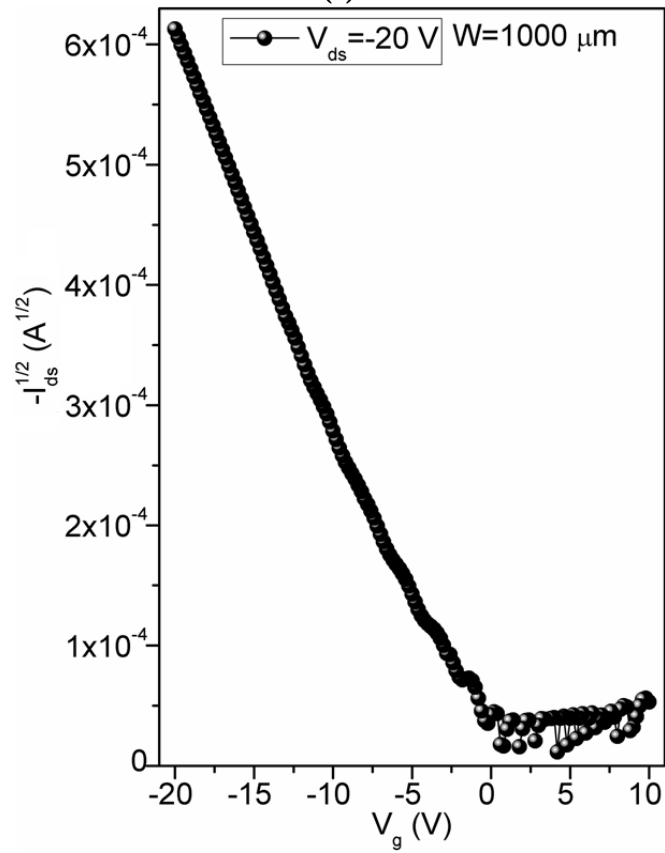
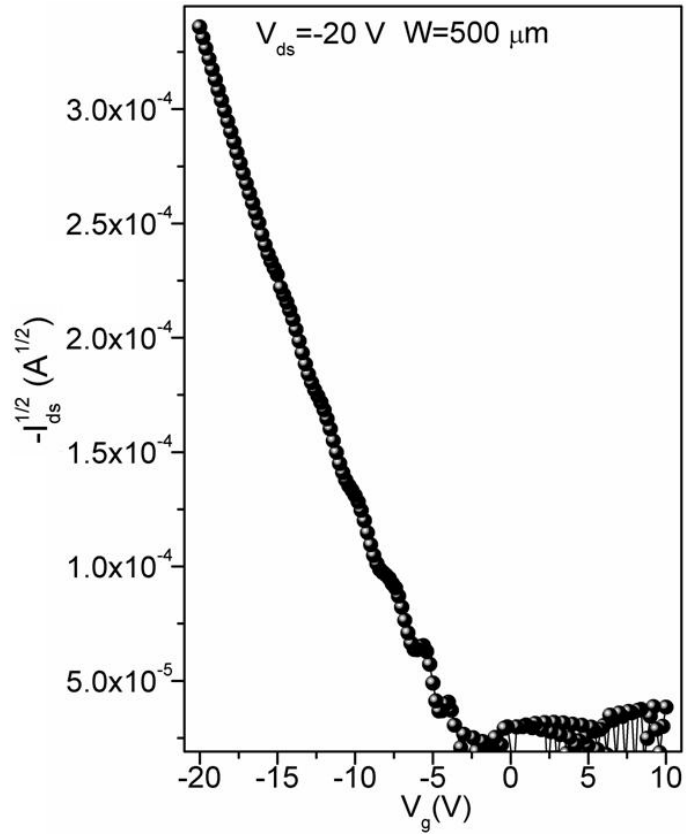
Şekil 7.74 7.2.2.2. kısımda anlatılan n-Si/BaTiO₃/pentacene OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafiği

Şekil 7.75(a-b), $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli 7.2.3.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al_2O_3 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerin yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 38.35 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.76(a-b)'de gösterilmektedir. $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin mobiliteleri Şekil 7.76(a-b) grafiklerinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak sırasıyla 4.132×10^{-3} ve $5.99 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak hesaplandı. 1000 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin mobilitesi, 500 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin mobilitelerinden büyüktür. Şekil 7.76(a-b)'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafiklerinden, $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin eşik voltaj (V_{th})'ları ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranları, sırasıyla -3.495 V ve -1.89 V ve 9.272×10^2 ve 2.735×10^3 olarak bulundu.

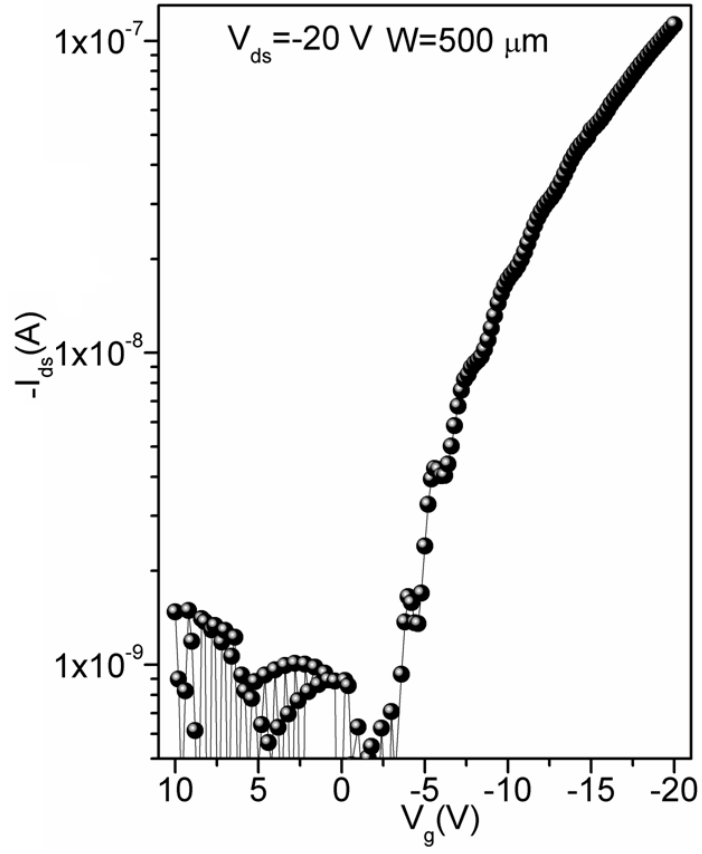
$W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli, 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin S değeri, Şekil 7.77(a-b) grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak, sırasıyla 6.64 V/decade ve 5.725 V/decade olarak hesaplandı. Bu S değerlerinden, daha düşük S değeri ($W=1000$ μm için) ile daha iyi performans sergiledikleri görüldü.



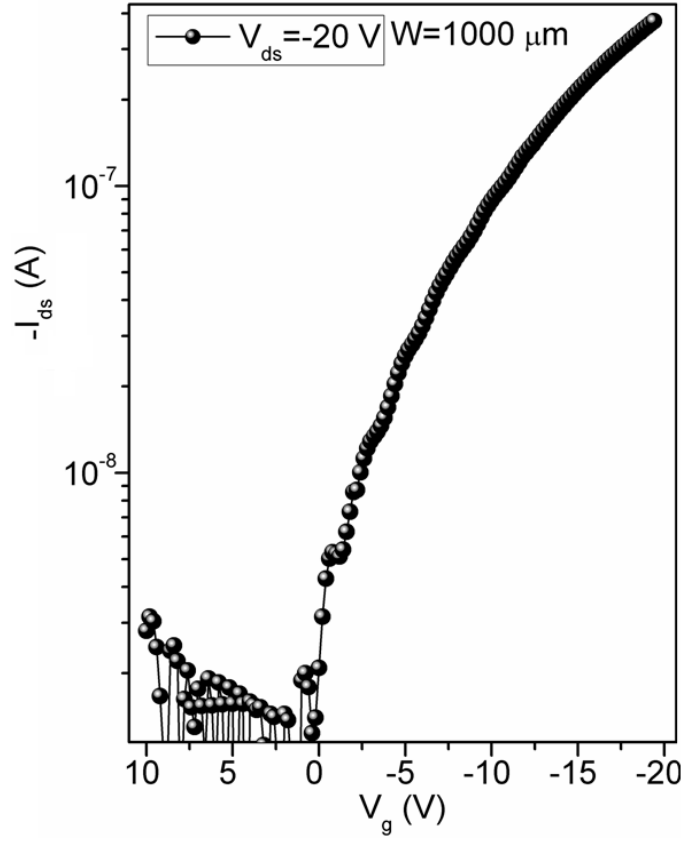
Şekil 7.75 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin -20 V altında, $-I_{ds}$ - V_g grafikleri



Şekil 7.76 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri



(a)



(b)

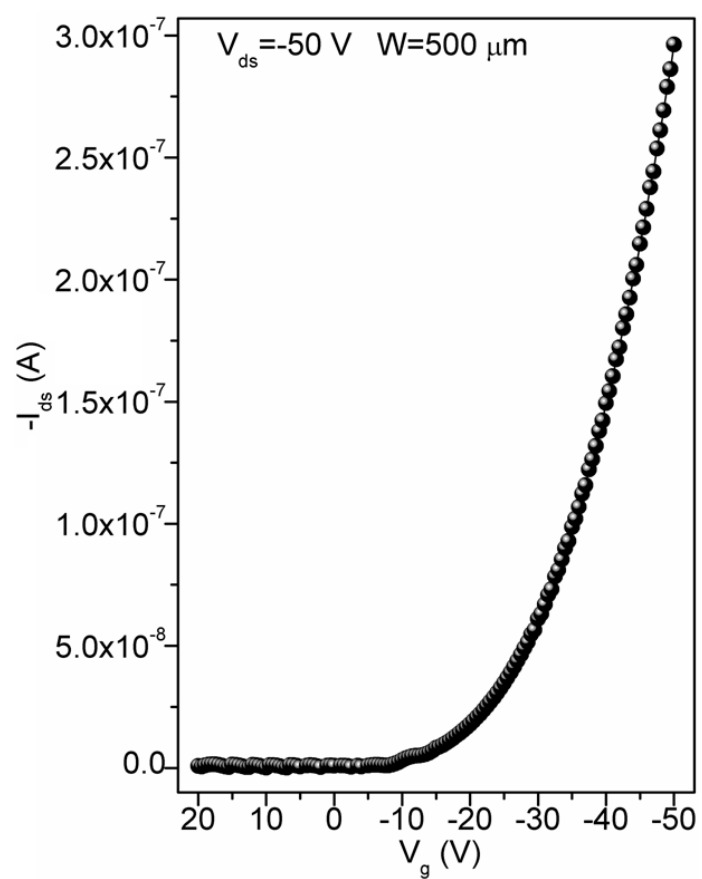
Şekil 7.77 7.2.3.1. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

Şekil 7.78(a-d), farklı V_{ds} voltajlarında $W=500, 1000, 1500$ ve $2000 \mu m$ kanal genişlikli 7.2.3.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al_2O_3 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerin yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 24.644 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $W=500, 1000, 1500$ ve $2000 \mu m$ kanal genişlikli 7.2.3.2. kısımda anlatılan p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.79(a-d)'de gösterilmektedir. p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin mobiliteleri, Şekil 7.79(a-d) grafiklerinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.2'de verildi. Tablo 7.2'de görüldüğü gibi, en yüksek mobilite/en düşük S, $2000 \mu m$ kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inden elde edilirken, en düşük mobilite/en yüksek S ise $1500 \mu m$ kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'i için elde edildi. Ayrıca kanal genişliği arttıkça, eşik voltajı giderek sıfıra yaklaşmaktadır.

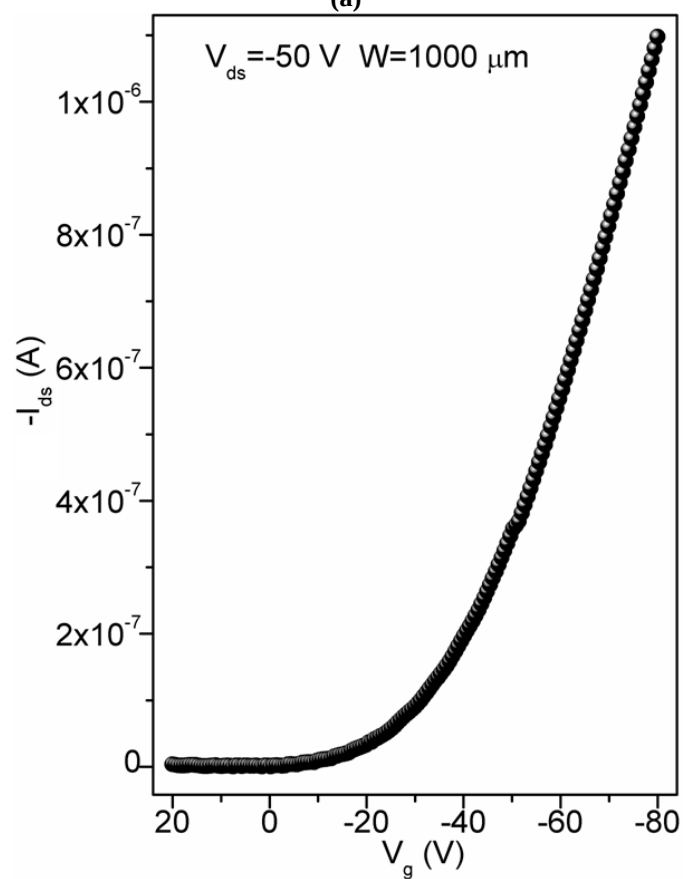
$W=500, 1000, 1500$ ve $2000 \mu m$ kanal genişlikli, 7.2.3.2. kısımda anlatılan p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin S değeri, Şekil 7.80(a-d) grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak bulundu ve Tablo 7.2'de verildi. Bu S değerlerinden, daha düşük S değeri ($W=2000 \mu m$ için) ile daha iyi performans sergiledikleri görüldü.

Tablo 7.2 Farklı kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

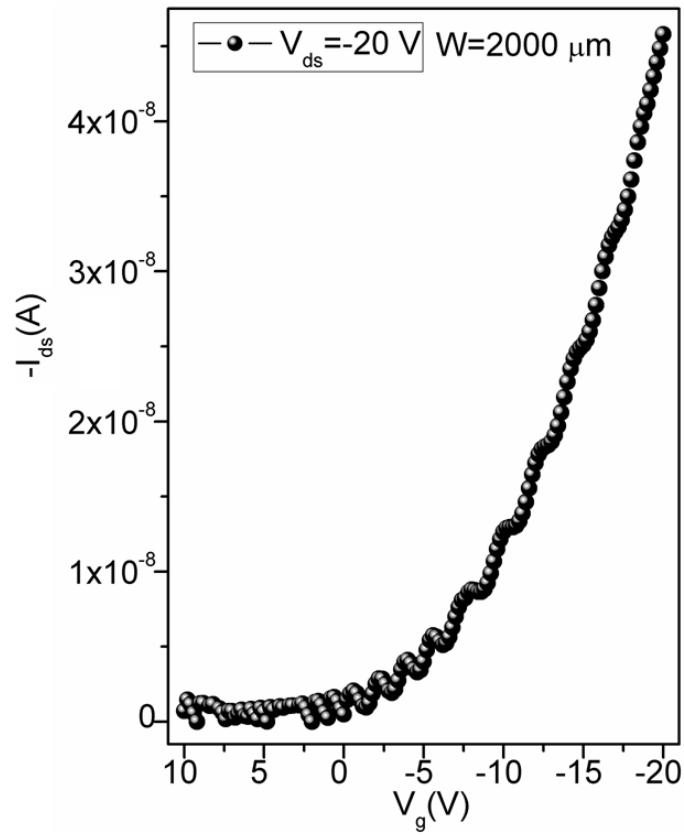
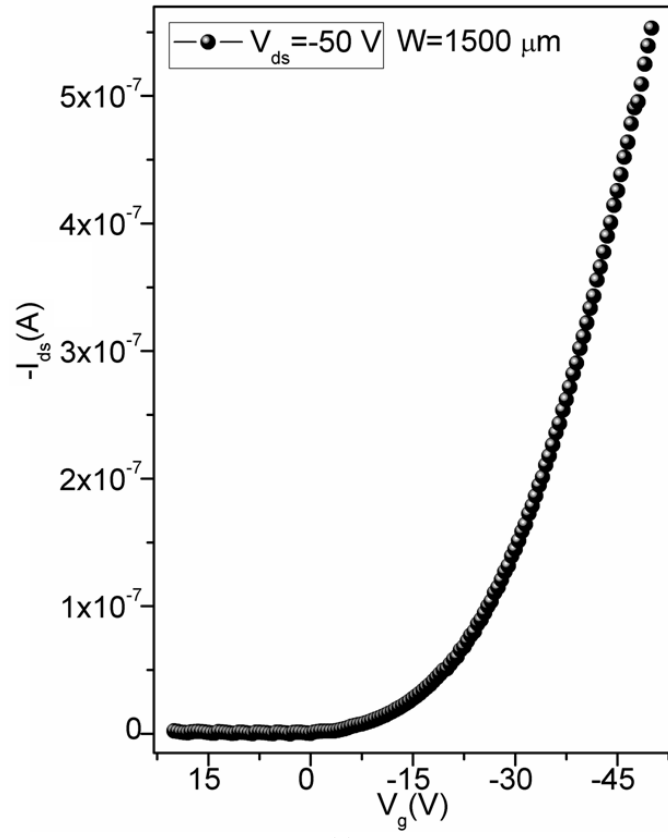
Kanal Genişliği (W) μm	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-3}$	Eşik Voltajı $V_{th} (V)$	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
500	4.071	-15.8	0.95	11.3
1000	2.071	-13.45	1.388	13.63
1500	1.911	-10.4	1.755	13.862
2000	5.797	-1.805	2.726	7.769



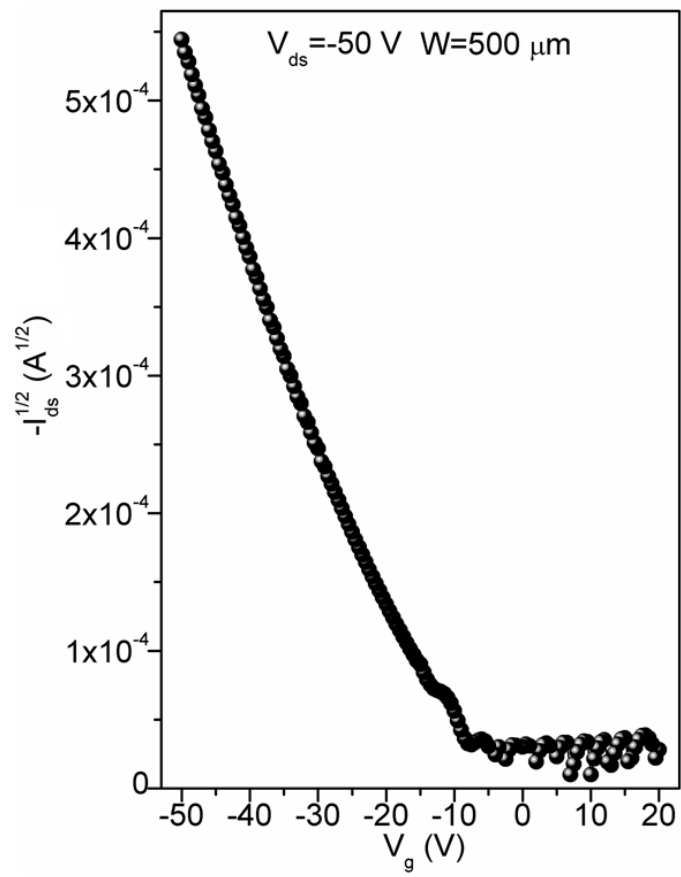
(a)



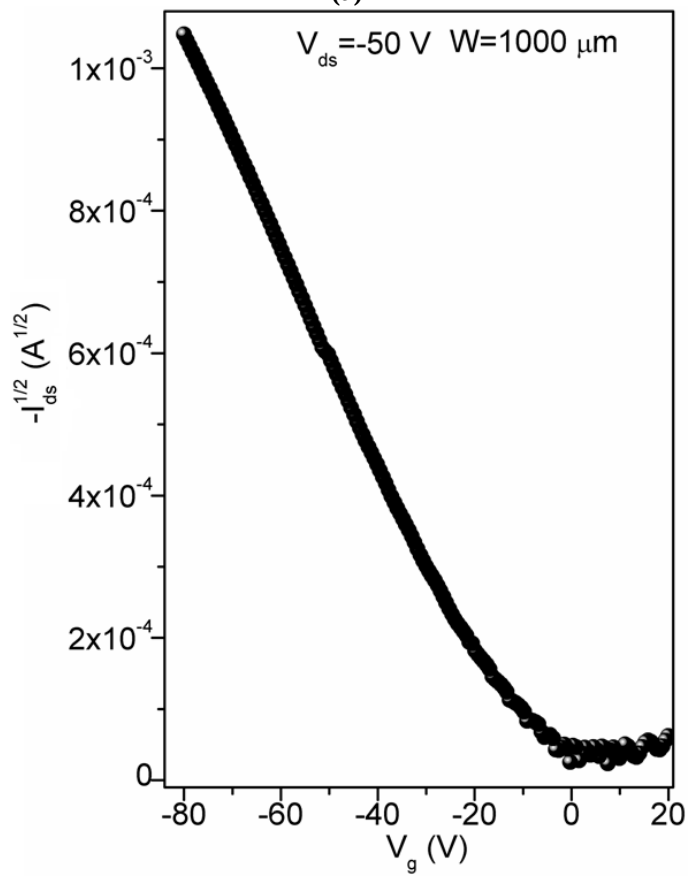
(b)



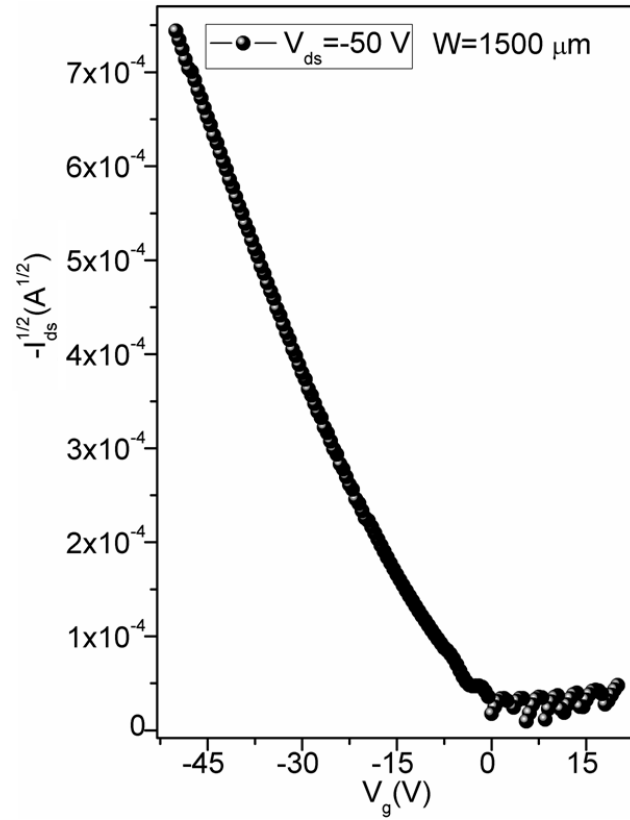
Şekil 7.78 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=500\ \mu\text{m}$, (b) $W=1000\ \mu\text{m}$, (c) $W=1500\ \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında $-I_{ds}$ - V_g grafikleri



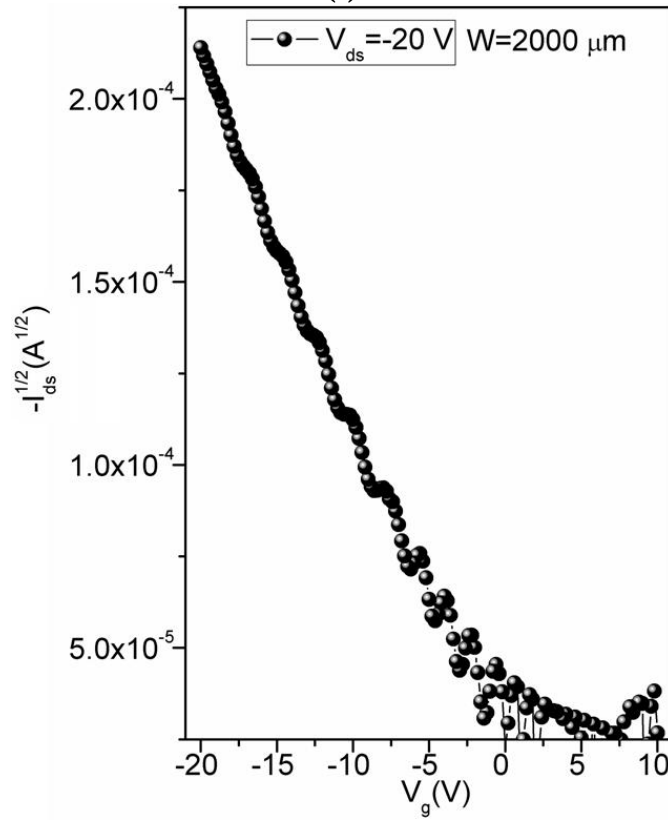
(a)



(b)

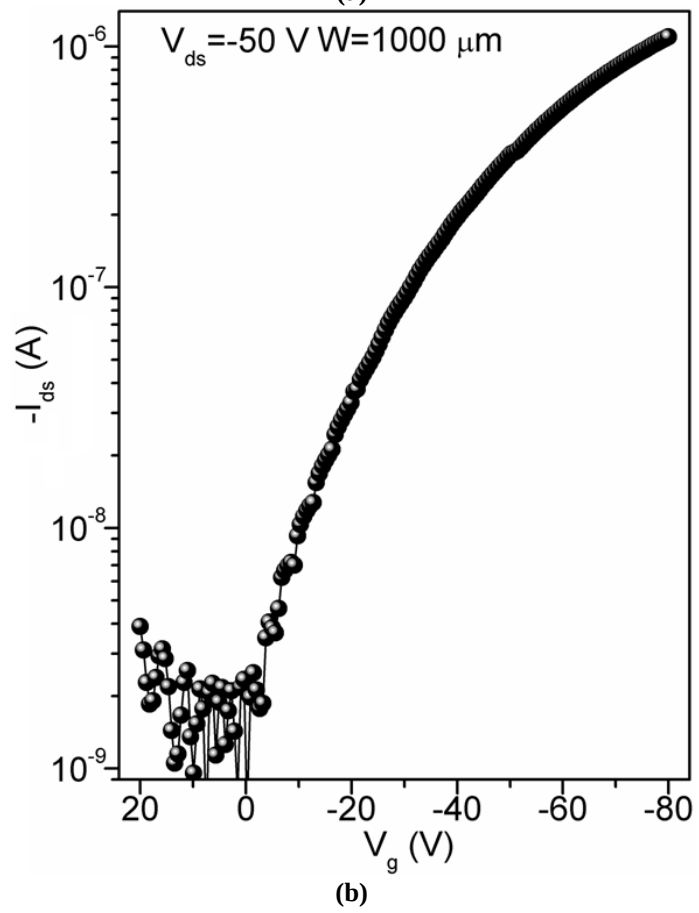
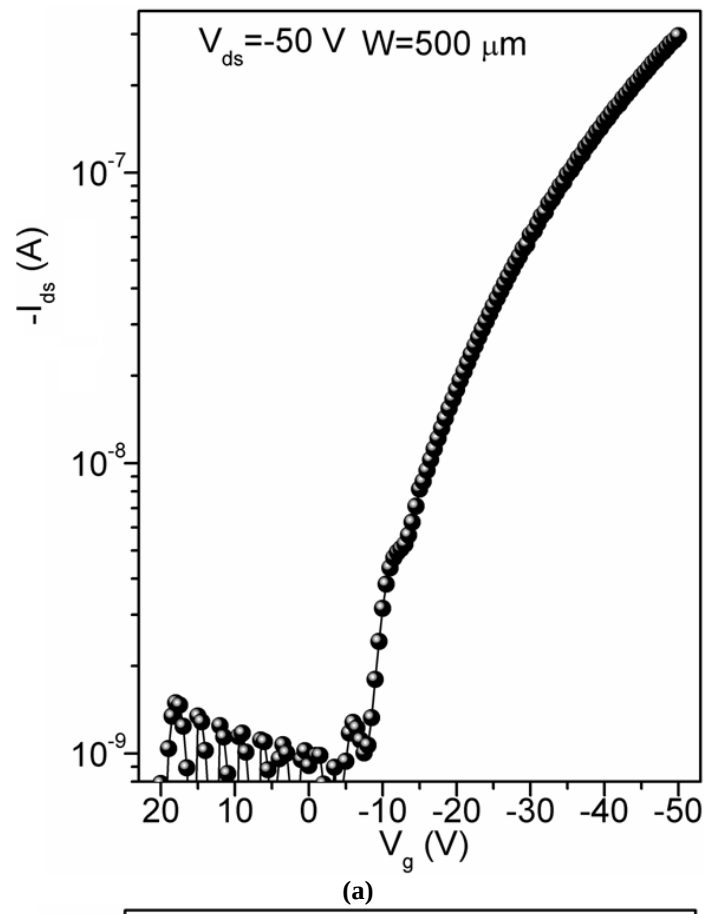


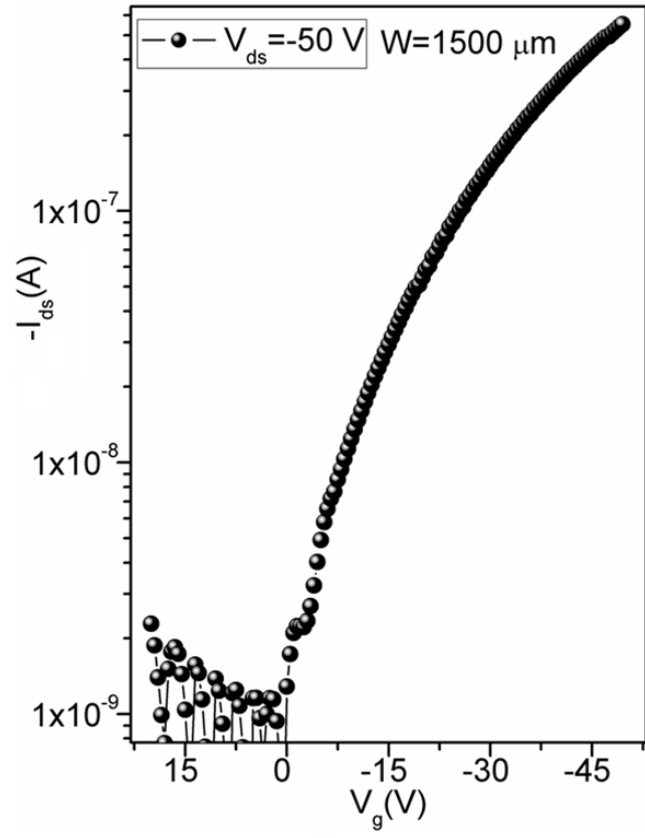
(c)



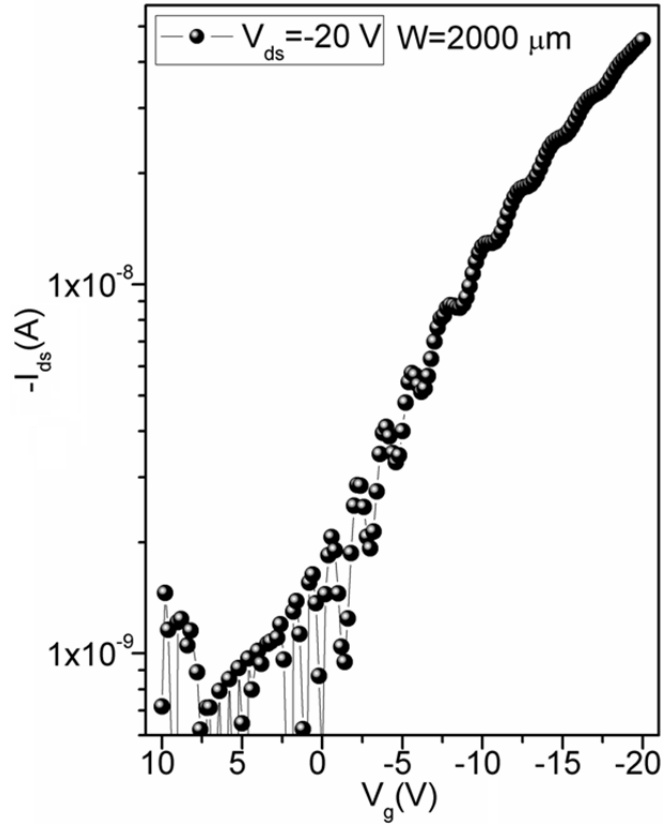
(d)

Şekil 7.79 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=500\ \mu\text{m}$, (b) $W=1000\ \mu\text{m}$, (c) $W=1500\ \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000\ \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri





(c)



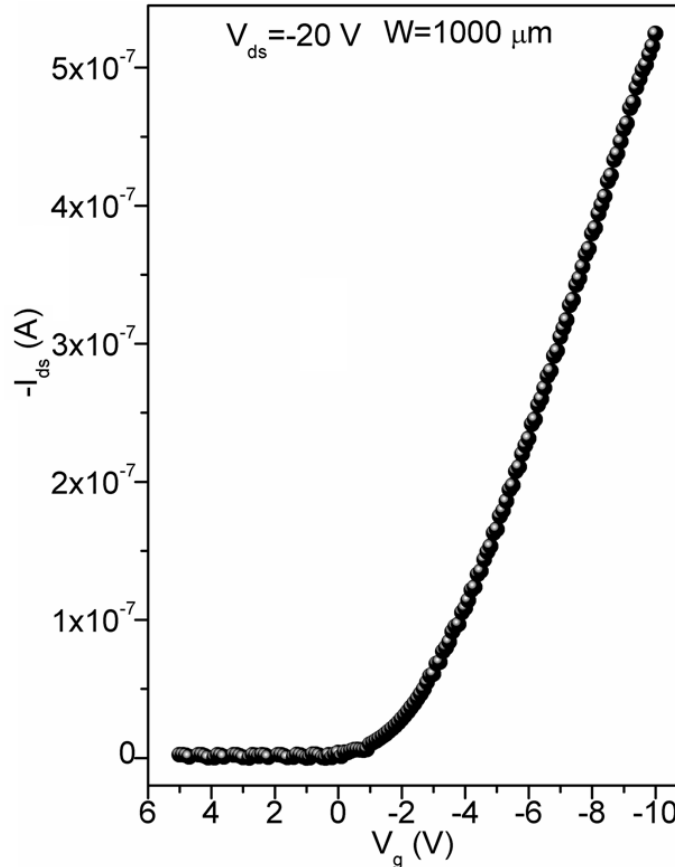
(d)

Şekil 7.80 7.2.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$, (b) $W=1000 \mu\text{m}$, (c) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (d) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacene OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

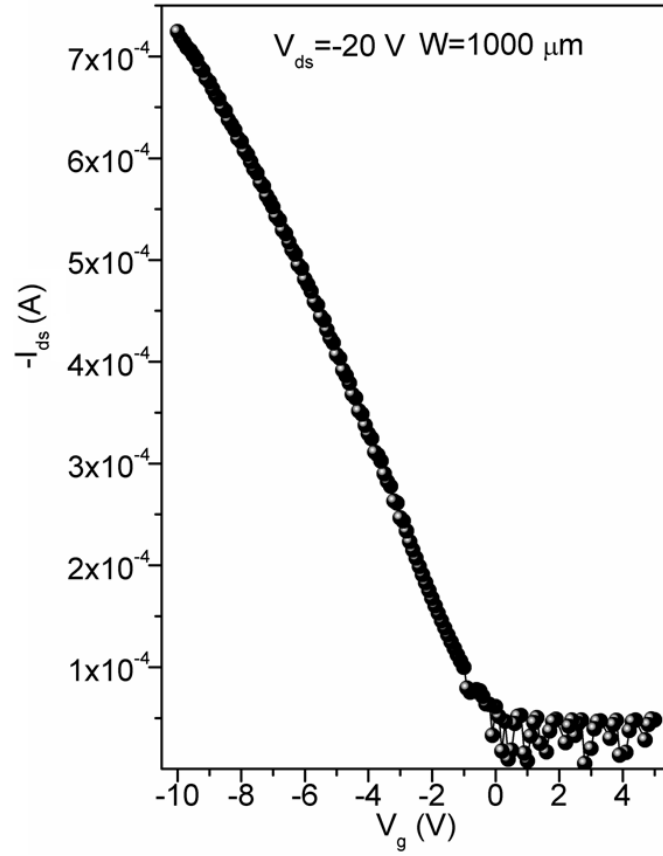
7.5.2.2. Pentasen Türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) Pentasen (TIPS) Esaslı Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri

Şekil 7.81, $V_{ds}=-20$ V altında $W=1000$ μm kanal genişlikli 7.3.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'in yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 34.515 nF/cm² olarak hesaplandı. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafikleri, Şekil 7.82'de gösterilmektedir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilitesi, Şekil 7.82 grafiğinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak 3.518×10^{-2} cm²/Vs olarak hesaplandı. Şekil 7.82'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2}-V_g$ grafiğinden, 1000 μm kanal genişlikli n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin eşik voltajı (V_{th}) ve açma/kapama oranı ($I_{açma}/I_{kapama}$), sırasıyla 0.215 V ve 2.896×10^3 olarak bulundu.

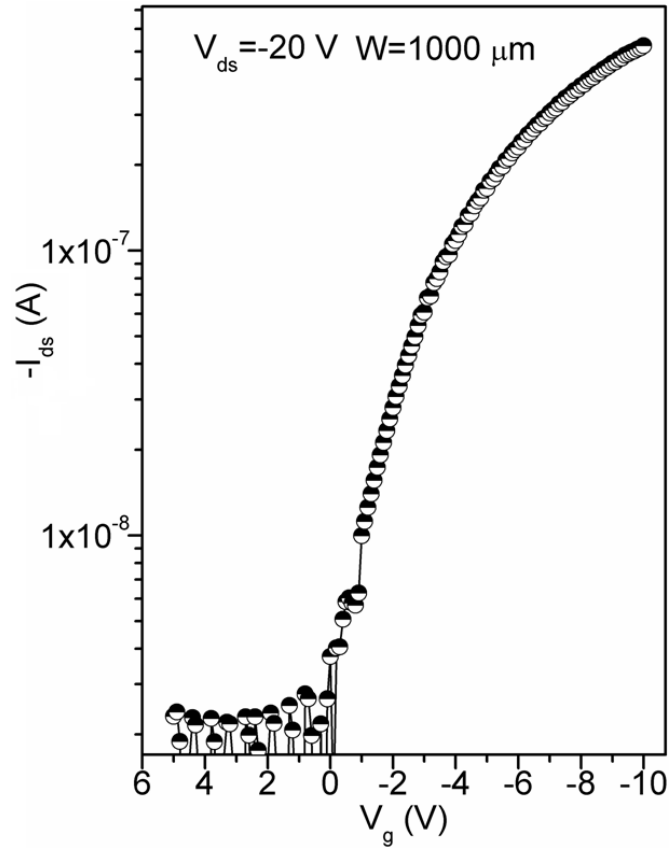
$W=1000$ μm kanal genişlikli 7.3.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin S değeri, Şekil 7.83 grafiği yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak 4.052 V/decade olarak hesaplandı.



Şekil 7.81 7.3.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -20 V altında, $-I_{ds}-V_g$ grafiği



Şekil 7.82 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafiği



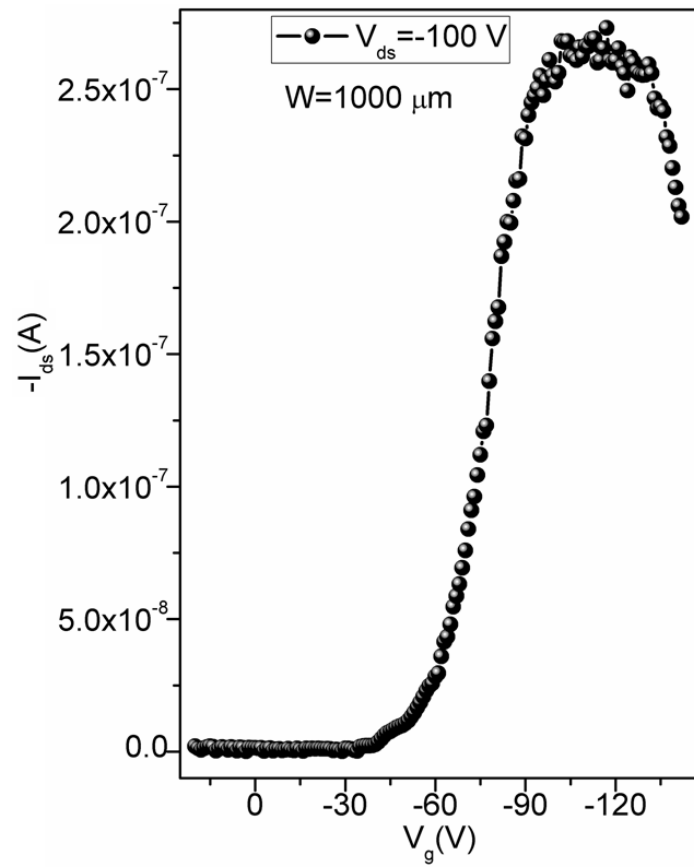
Şekil 7.83 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -20 V altında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafiği

Şekil 7.84(a-c), farklı $V_{ds}=-100$ V voltajlarında $W=1000$, 1500 ve 2000 μm kanal genişlikli 7.3.2. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerin yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 11.505 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $W=1000$, 1500 ve 2000 μm kanal genişlikli 7.3.2. kısımda anlatılan p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.85(a-c)’de gösterilmektedir. p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerinin mobiliteleri, Şekil 7.85(a-c) grafiklerinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.3’de verildi. Tablo 7.3’de görüldüğü gibi, en yüksek mobilite/en düşük S, 1000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’inden elde edilirken, en düşük mobilite/en yüksek S ise 2000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’i için elde edildi.

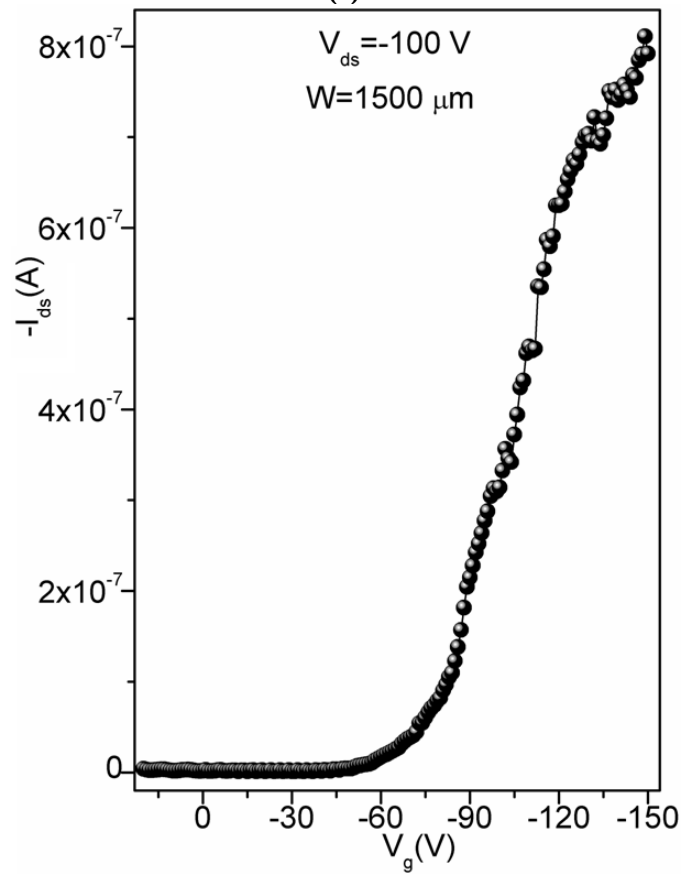
$W=1000$, 1500 ve 1000 μm kanal genişlikli, 7.3.2. kısımda anlatılan p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerinin S değeri, Şekil 7.86(a-c) grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak bulundu ve Tablo 7.3’de verildi. Bu S değerlerinden, daha düşük S değeri ($W=1000$ μm için) ile daha iyi performans sergiledikleri görüldü.

Tablo 7.3 Farklı kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET’lerinin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri.

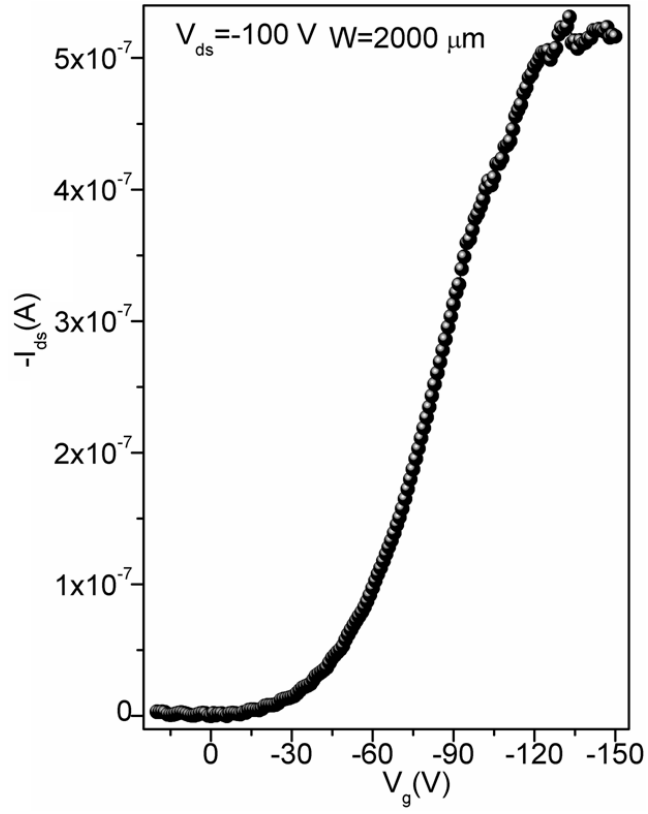
Kanal Genişliği (W) μm	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-3}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
1000	2.734	-48.1	1.258	9.978
1500	2.712	-61.1	0.617	13.99
2000	0.583	-24.25	1.669	21.568



(a)

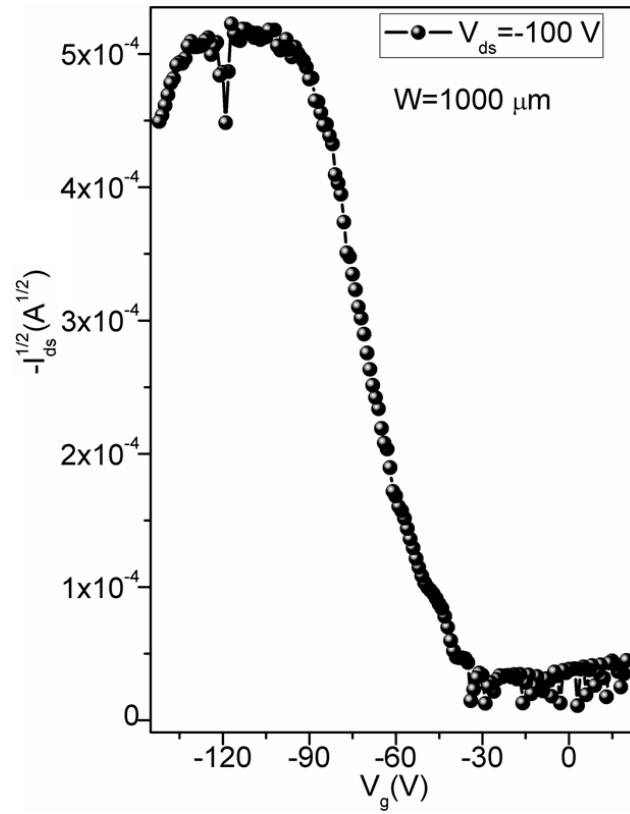


(b)

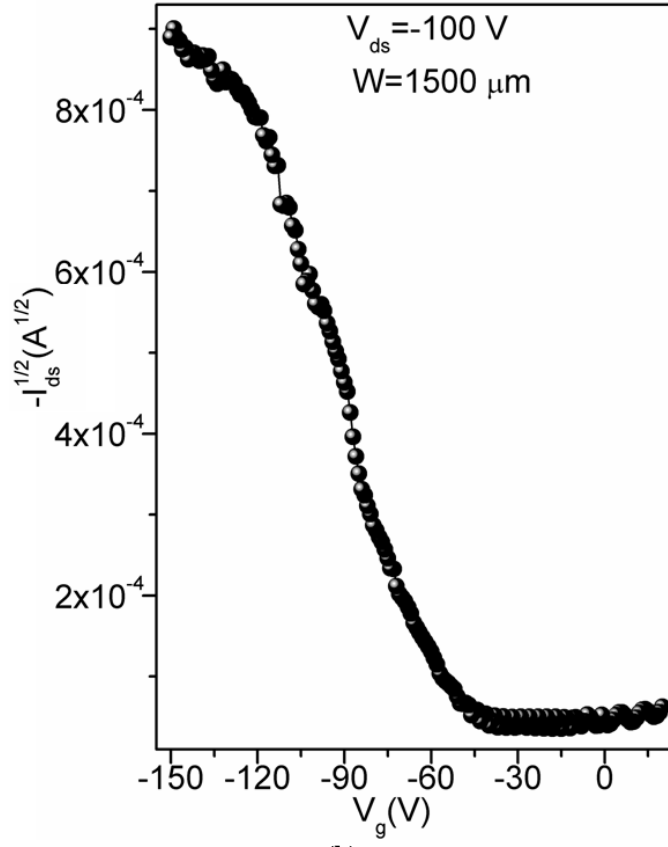


(c)

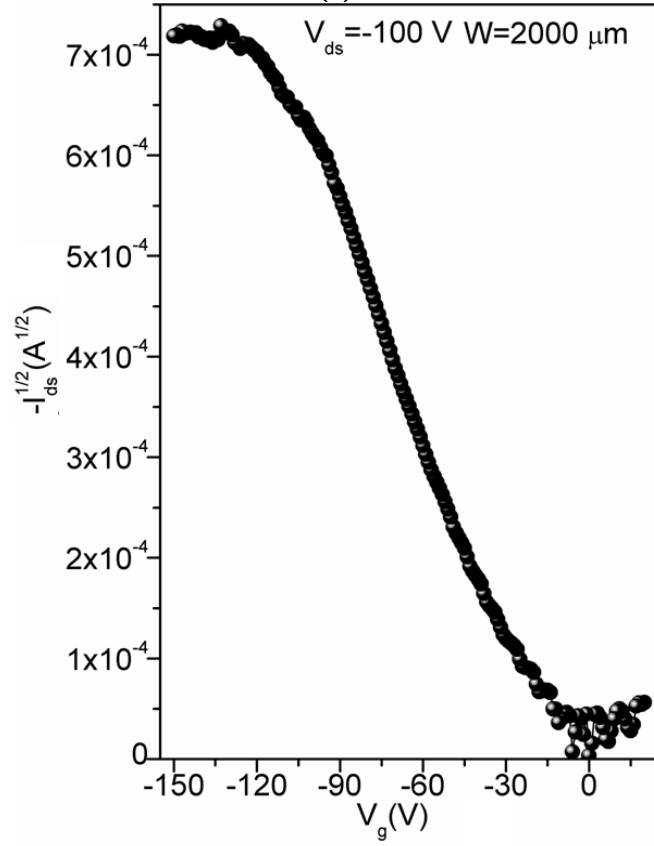
Şekil 7.84 7.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında $-I_{ds}$ - V_g grafikleri



(a)

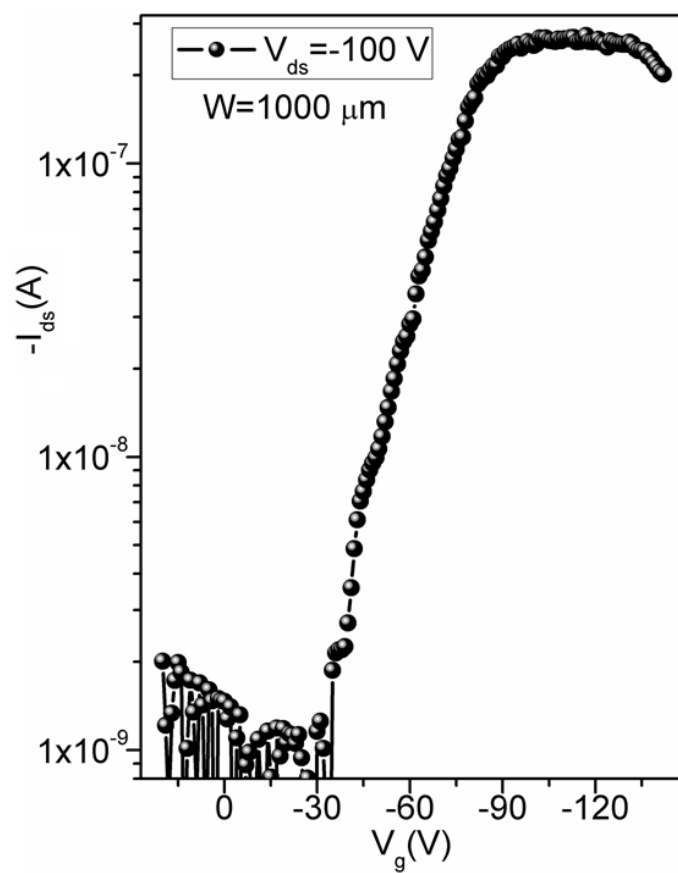


(b)

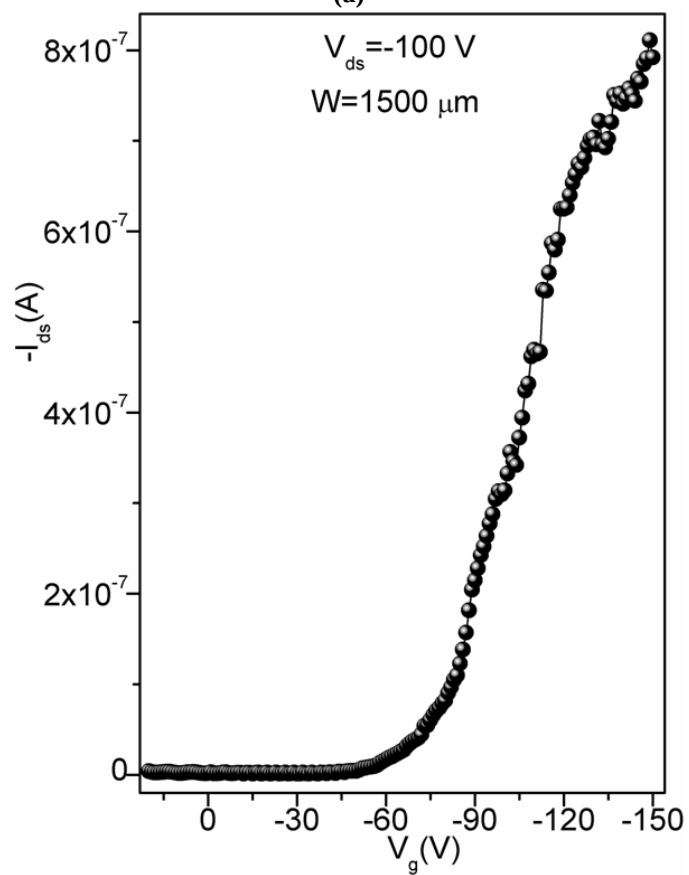


(c)

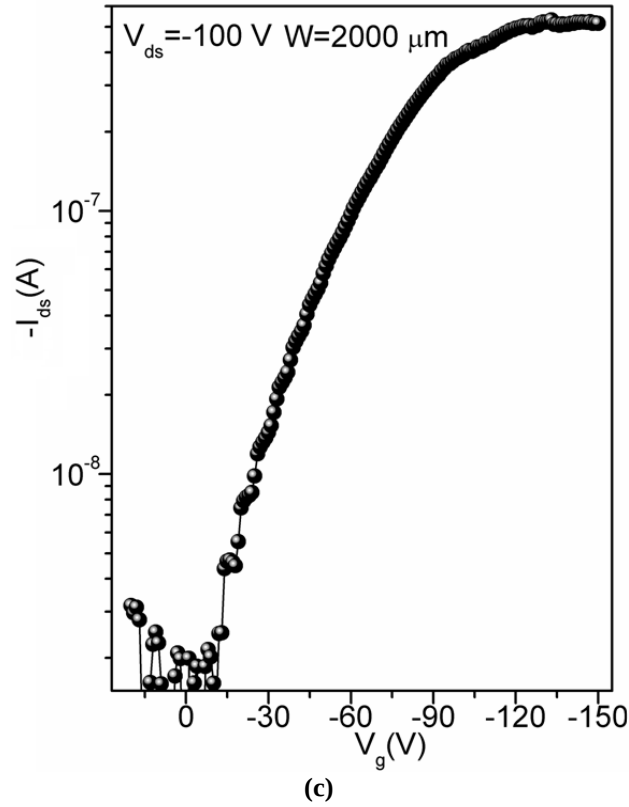
Şekil 7.85 7.3.2. kısmında anlatılan (a) $W=1000 \mu m$, (b) $W=1500 \mu m$ ve (c) $W=2000 \mu m$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin $V_{ds} = -100 V$ altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri



(a)



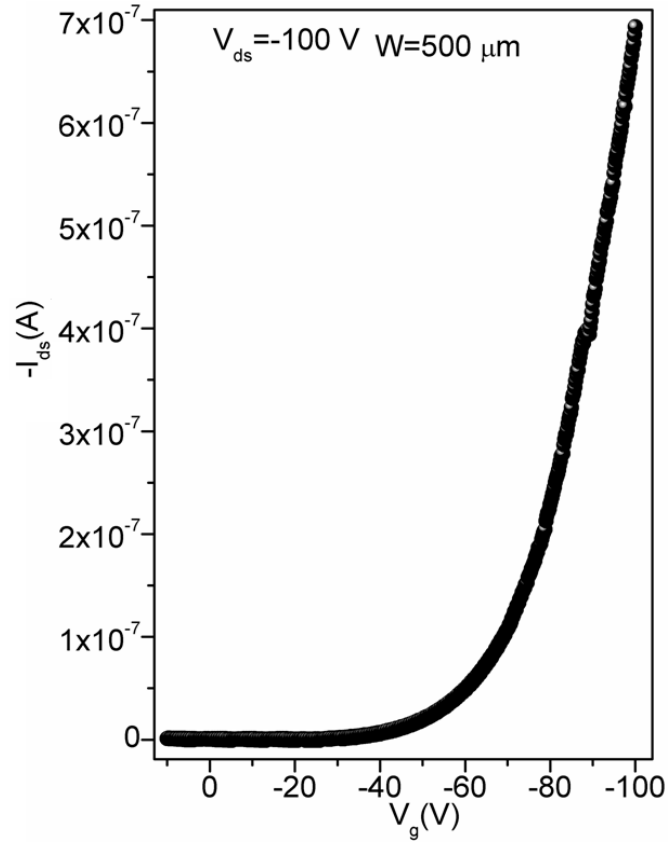
(b)



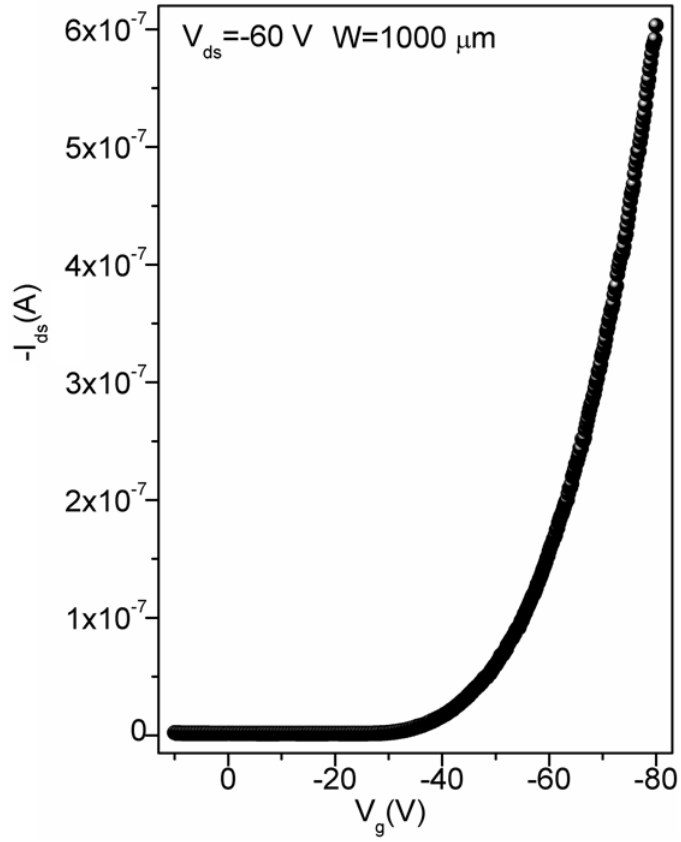
Şekil 7.86 7.3.2. kısımda anlatılan (a) $W=1000 \mu\text{m}$, (b) $W=1500 \mu\text{m}$ ve (c) $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

Şekil 7.87(a-b), farklı V_{ds} voltajlarında $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli 7.3.3. kısımda anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin karanlıktaki akım-voltaj ($-I_{ds}-V_g$) karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerin yalıtkan tabaka kapasitansı C_i , 11.505 nF/cm^2 olarak hesaplandı. $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafikleri, Şekil 7.88(a-b)'de gösterilmektedir. $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin mobiliteleri Şekil 7.88(a-b) grafiklerinin eğiminden ve denklem (7.4) kullanılarak, sırasıyla 1.159×10^{-2} ve $5.755 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak hesaplandı. $500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in mobilitesi, $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'in mobilitesinden büyüktür. Şekil 7.88(a-b)'de gösterilen $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ grafiklerinden, $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin eşik voltaj (V_{th})'ları ve açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranları, sırasıyla -54.45 V ve -38.8 V ve 6.903×10^3 ve 4.785×10^2 olarak bulundu.

$W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin S değeri, Şekil 7.89(a-b) grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak, sırasıyla 5.98 V/decade ve 15.27 V/decade olarak bulundu.

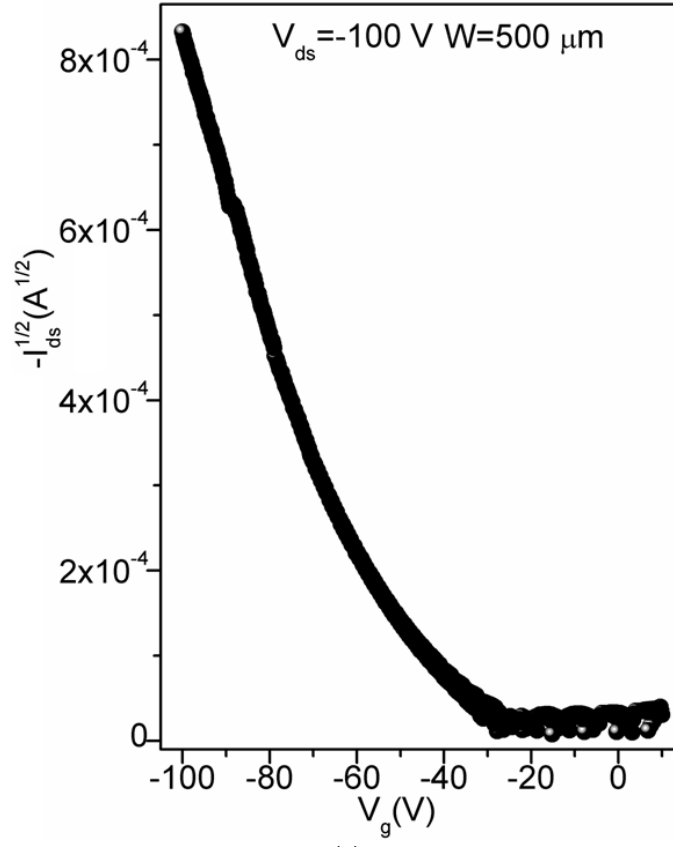


(a)

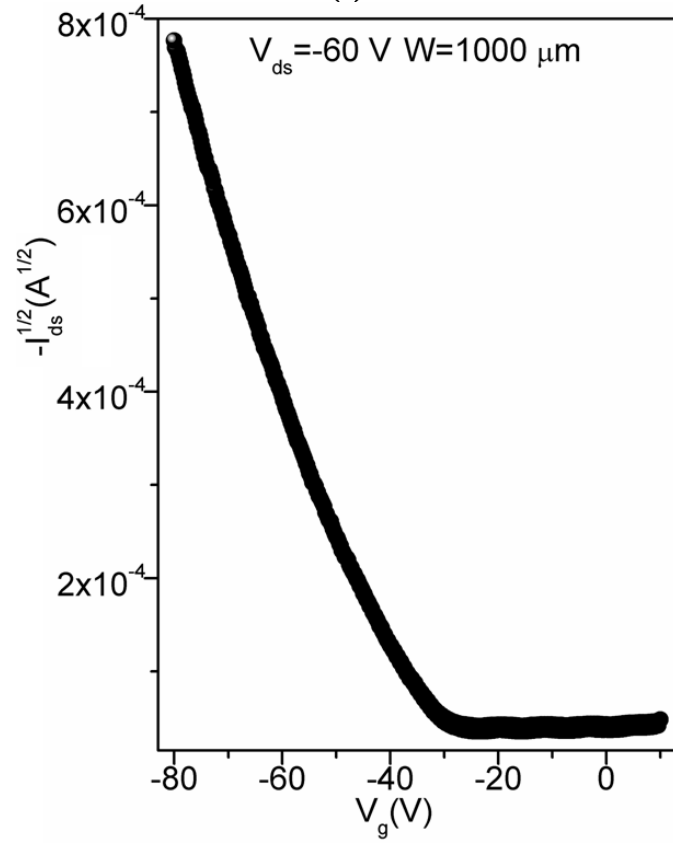


(b)

Şekil 7.87 7.3.3. kısmında anlatılan (a) $W=500 \mu\text{m}$ ve (b) $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında $-I_{ds}$ - V_g grafikleri

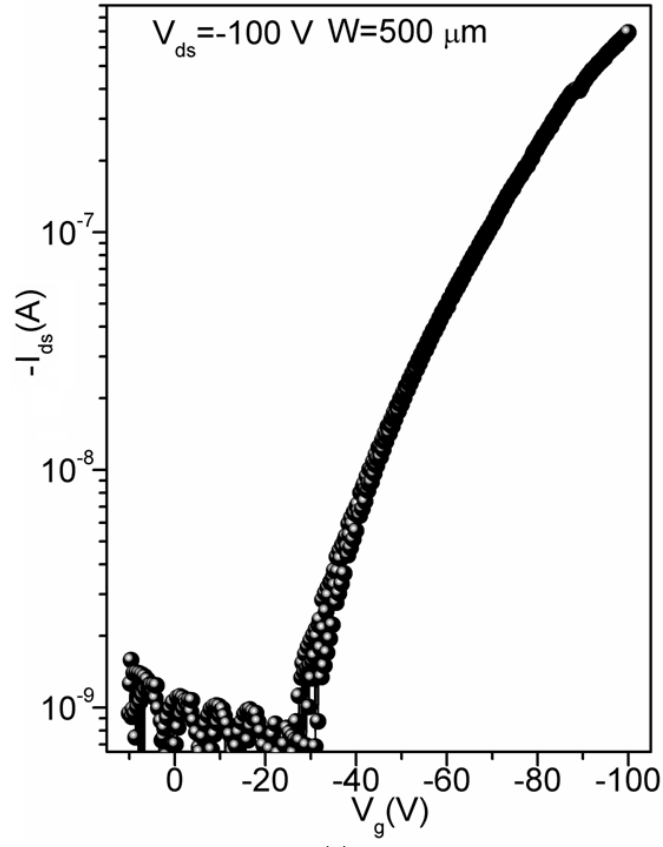


(a)

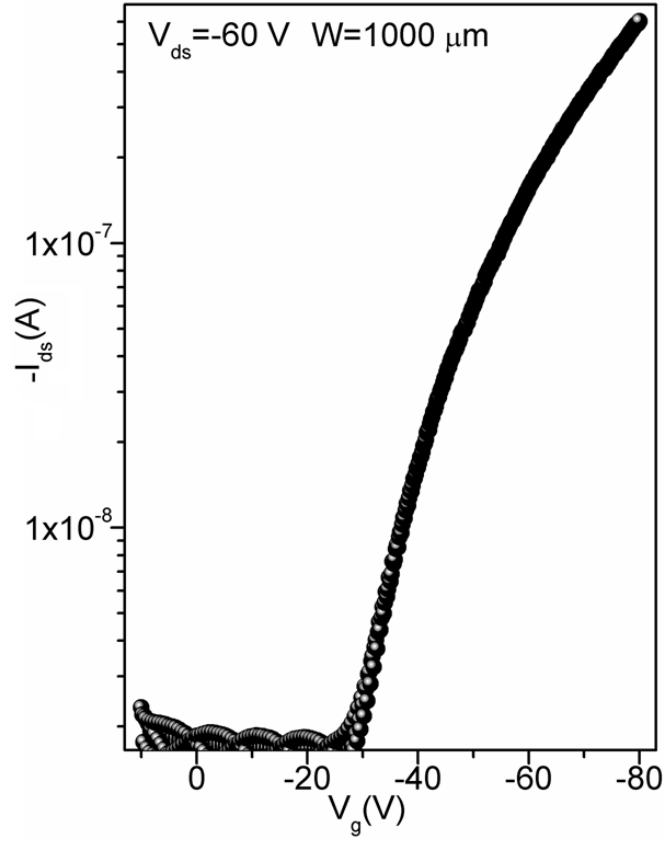


(b)

Şekil 7.88 7.3.3. kısmında anlatılan (a) $W=500$ μm ve (b) $W=1000$ μm kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ grafikleri



(a)

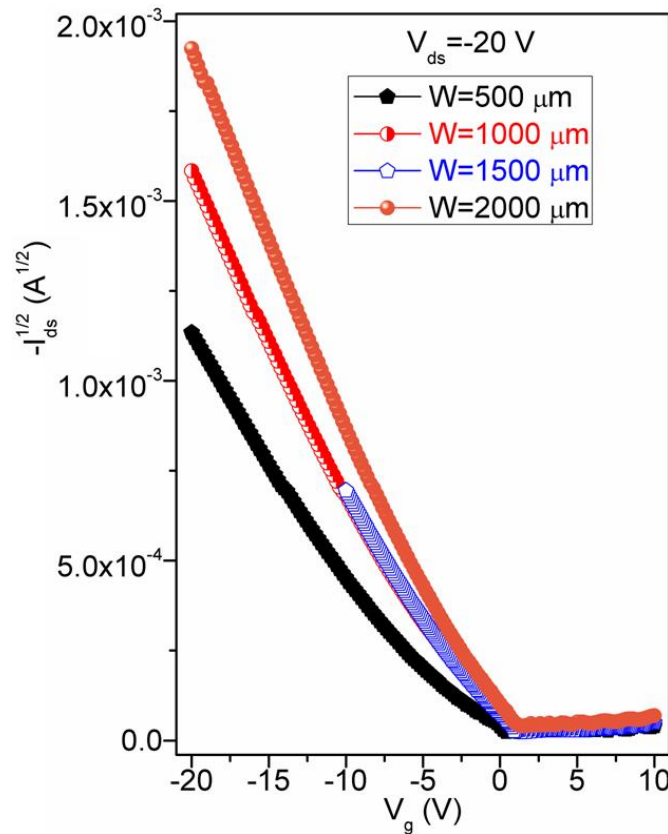


(b)

Şekil 7.89 7.3.3. kısmında anlatılan **(a)** $W = 500 \text{ } \mu\text{m}$ ve **(b)** $W = 1000 \text{ } \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-\log I_{ds}$ grafikleri

7.5.2.3. Kanal Genişliğinin Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Hazırlanan OFET'lerin transfer karakteristiklerine kanal genişliği (W) etkisi incelendi. Şekil 7.90, $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$, 1000 , 1500 ve 2000 μm kanal genişlikli, 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. $W=2000$ μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'i hariç, kanal genişliği arttıkça mobilite değeri azalmaktadır. n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerin kanal genişlikleri değiştikçe eşik voltajları ve açma/kapama oranları değişmektedir. Bu değişimin kararlı olmadığı görüldü. 1500 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'i en yüksek S değerine sahip iken, 500 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'i en düşük S değerine sahiptir.



Şekil 7.90 n-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin $W=500$, 1000 , 1500 ve 2000 μm kanal genişliklerindeki -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri

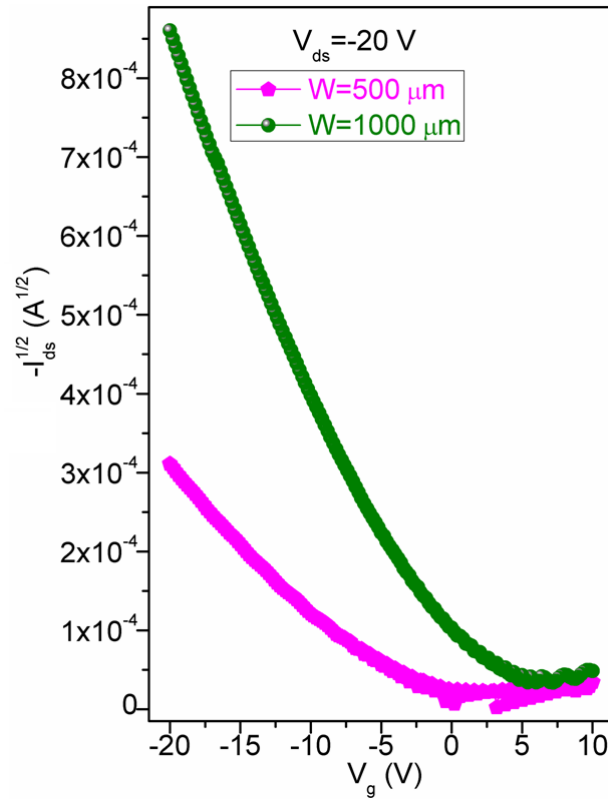
Şekil 7.91, $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. 1000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin mobilitesi, 500 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /pentasen OFET'inin mobilitesinden büyüktür.

Şekil 7.92, $V_{ds}=-20$ V altında $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. 1000 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin mobilitesi, 500 μm kanal genişlikli n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin mobilitesinden büyüktür.

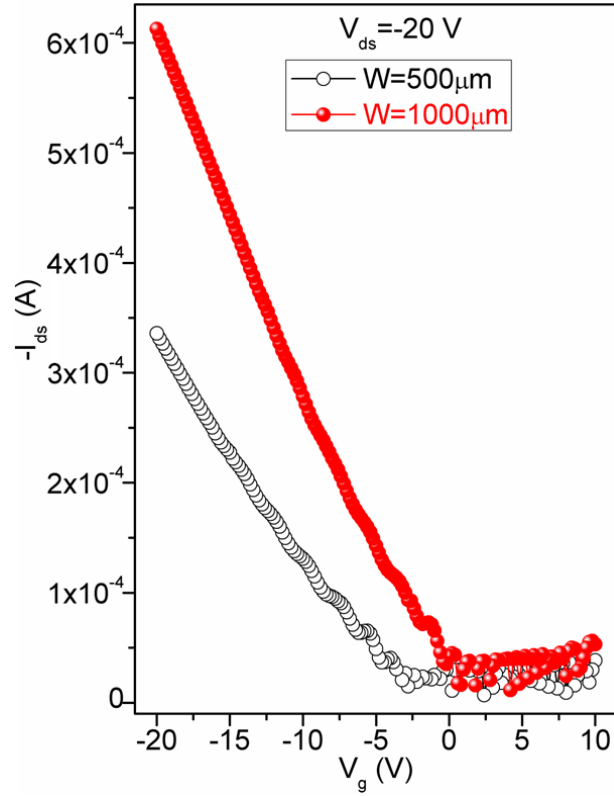
Şekil 7.93, $V_{ds}=-50$ V altında $W=500$, 1000 ve 1500 μm kanal genişlikli 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. En yüksek mobilite/en düşük S, 2000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inden elde edilirken, en düşük mobilite/en yüksek S ise 1500 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'i için elde edildi. Ayrıca kanal genişliği arttıkça, eşik voltajı giderek sıfıra yaklaşmaktadır.

Şekil 7.94, $V_{ds}=-100$ V voltajlarında $W=1000$, 1500 ve 2000 μm kanal genişlikli 7.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. En yüksek mobilite/en düşük S, 1000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'inden elde edilirken, en düşük mobilite/en yüksek S ise 2000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'i için elde edildi.

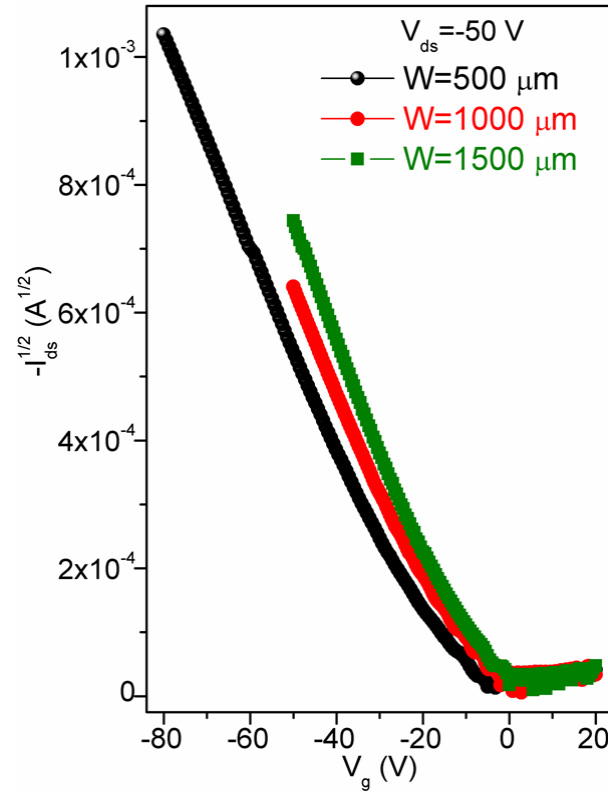
Şekil 7.95, farklı V_{ds} voltajlarında $W=500$ ve 1000 μm kanal genişlikli 7.3.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'lerinin karanlıktaki $-I_{ds}^{1/2} - V_g$ eğrilerini göstermektedir. 500 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'in mobilitesi, 1000 μm kanal genişlikli p-Si/ SiO_2 /TIPS OFET'in mobilitesinden büyüktür.



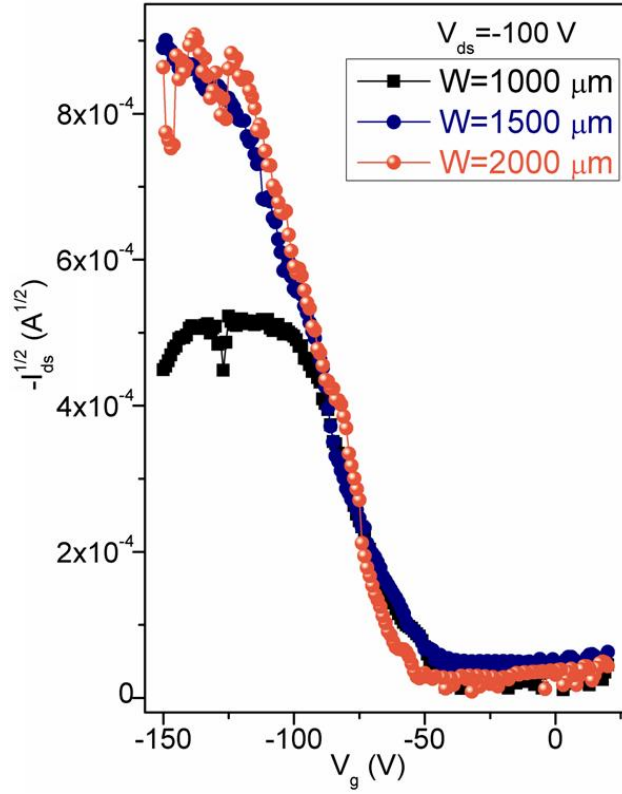
Şekil 7.91 7.2.1.3. kısmında anlatılan $W = 500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri



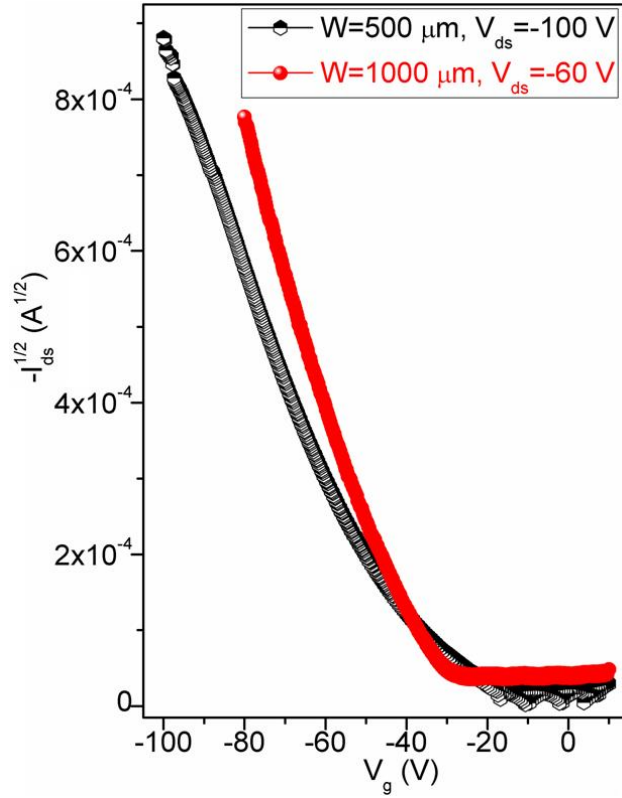
Şekil 7.92 7.2.3.1. kısmında anlatılan $W = 500$, $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin -20 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri



Şekil 7.93 7.2.3.2. kısmında anlatılan $W=500$, 1000 ve $1500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin -50 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri



Şekil 7.94 7.3.2. kısmında anlatılan $W=1000$, 1500 ve $2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin -100 V altında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri



Şekil 7.95 7.3.3. kısmında anlatılan $W=500$ ve $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin farklı V_{ds} voltajlarında V_g 'ye karşı $-I_{ds}^{1/2}$ eğrileri

7.5.2.4. Oksit Kalınlığının Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)'lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Hesaplanan verilere göre, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($6.104 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($1.21 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. Bu durum, diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber oksit kalınlığı arttıkça, mobilite değerinin azaldığını göstermektedir. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için açma/kapama oranı, 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) açma/kapama oranından çok daha büyüktür. Ancak, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için S değeri (2.84), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) S değeri (5.754)'nden daha küçüktür. Benzer şekilde, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=1000 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($4.491 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin

($W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($3.25 \times 10^{-2}\text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. Bu durum, diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber oksit kalınlığı arttıkça mobilite değerinin azaldığını göstermektedir. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için açma/kapama oranı, 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için) açma/kapama oranından çok daha büyüktür. Ancak, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için S değeri (3.035), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500\text{ }\mu\text{m}$ için) S değeri (5.509)'nden daha küçüktür.

100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=500\text{ }\mu\text{m}$ için mobilite değeri ($4.132 \times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=500\text{ }\mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($4.071 \times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=500\text{ }\mu\text{m}$ için açma/kapama oranı (9.272×10^2) ve S değeri (6.64 V/decade), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=500\text{ }\mu\text{m}$ için) açma/kapama oranı (9.50×10^2) ve S değeri (11.3 V/decade)'nden daha küçüktür. Benzer şekilde, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için mobilite değeri ($5.99 \times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($2.071 \times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için açma/kapama oranı (2.735×10^3), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için) açma/kapama oranı (1.388×10^3)'ndan daha büyüktür. Ancak, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için S değeri (5.725 V/decade), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=1000\text{ }\mu\text{m}$ için) S değeri (13.63 V/decade)'nden daha küçüktür. Böylece, dielektrik (oksit) tabaka kalınlığının, transistörlerin performansı üzerinde etkin bir parametre olduğu görüldü. Geçit tabakasının kalınlığındaki düşüş, yük taşıma karakteristiklerini artırmaktadır. Dielektrik tabakasının pürüzlülüğünün transistörün performansını artırdığı görüldü, çünkü dielektrik film üzerine termal olarak kaplanan pentasen'deki mobilite, komşu pentasen molekülleri arasında π -orbital overlap'ı ile etkilenmektedir. Aynı zamanda, bir OTFT aygıtının işlevselliği yarıiletken tabakanın morfolojisine (yapısına) güçlü bir şekilde bağlıdır, bu yüzden bir pürüzsüz dielektrik-yarıiletken arayüzey, bir OTFT kanalda etkili taşıma için gereklidir

[38]. Eğer, dielektrik film kötü yüzey pürüzlülüğüne sahipse, o zaman bu pürüzlülük kanal bölgesinde vadilere sebep olmaktadır ve bu vadiler, saçılmaların sayısı ile taşıyıcı tuzakları olarak hareket edebilir. Ayrıca, bir OTFT’de geçit voltajı, yalıtkan kalınlığı ve dielektrik sabit ile transistörü değiştirir.

7.5.2.5. Oksit Tipinin Hazırlanan Organik Alan Etkili Transistör (OFET)’lerin Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Organik alan etkili transistör üretiminde, organik yarıiletken malzeme seçimi transistörün transfer karakteristiklerinde etkili olduğu kadar, uygun geçit (yalıtkan/dielektik) malzeme seçimi de etkilidir. Çünkü, OFET’lerde kullanılan dielektrik yalıtkan tabaka, mobilite, açma/kapama oranı, eşik voltajı gibi transistör parametreleri üzerinde önemli bir faktördür. Alan etkili bir transistörlerdeki verimin iyi olması için; dielektrik (yalıtkan) malzeme, yüksek dielektrik katsayısına sahip olmalı, altlıklar üzerinde homojen düzgün bir film yapısı sağlanmalı, istenmeyen tuzak etkisinden kurtulmak için minimum safsızlık içermeli, organik yalıtkan özelliği sergiliyor ise homojen ve kaliteli bir film elde etmek için en iyi bir kimyasal çözücüde çözünmesi sağlanmalı ve yüksek sıcaklıklarda termal kararlılık göstermelidirler.

Bu tez çalışmasında, OFET’lerin hazırlanması için, geçit oksit (yalıtkan/dielektrik) tabaka olarak: termal olarak büyütülen (satın alınan ve hazırlanan) SiO_2 , sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO_2 ve BaTiO_3 , termal yolla ve sol-jel yöntemiyle oluşturulan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ olmak üzere 5 farklı oksit tabakası kullanıldı. Farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET’lerde, oksit tipinin transfer karakteristikleri üzerinde etkili olduğu görüldü.

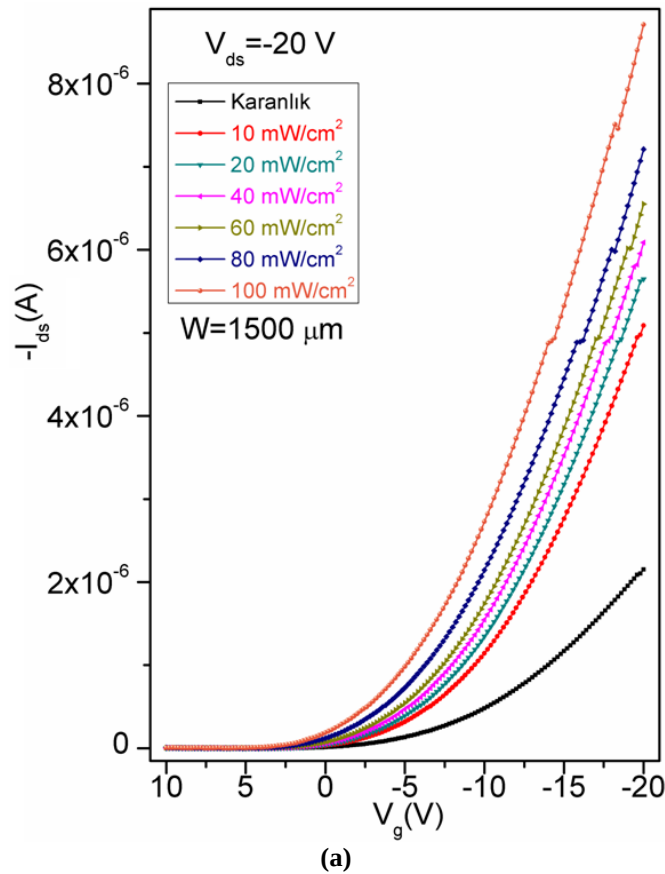
Termal yolla büyütülen (hazır alınan) SiO_2 oksit tabakalı, $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişliğine sahip n-Si/ SiO_2 /Pentaseen OFET’inin tüm kanal genişliklerindeki mobilite değerleri (Tablo 7.1), yalıtkan tabakası sol-jel yöntemiyle hazırlanan n-Si/ SiO_2 /Pentaseen OFET’inin mobilitesi ($5.173 \times 10^{-4}\ \text{cm}^2/\text{Vs}$)’nden çok daha büyük, termal yolla ve sol-jel yöntemiyle büyütülen $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oksit tabakalı, $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişliğine sahip n-Si/ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ /Pentaseen OFET’inin mobilitesi ($5.99 \times 10^{-3}\ \text{cm}^2/\text{Vs}$)’nden büyük, sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO_3 oksit tabakalı, $W=1000\ \mu\text{m}$ kanal genişliğine sahip n-Si/ BaTiO_3 /Pentaseen OFET’inin mobilitesi ($41.171\ \text{cm}^2/\text{Vs}$)’nden çok daha küçüktür. Böylece, BaTiO_3 oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/ BaTiO_3 /Pentaseen OFET’in en yüksek mobilite

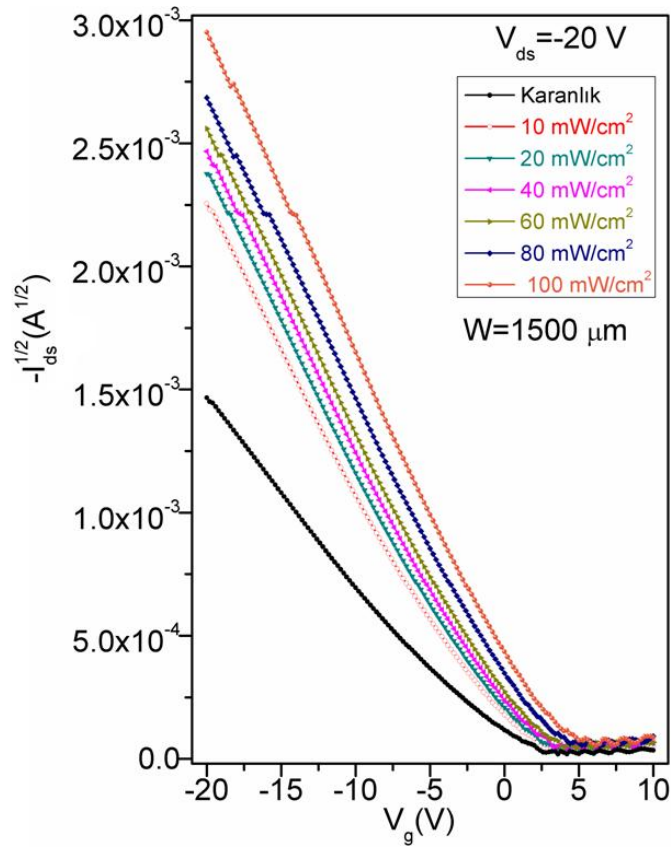
değerine sahip olduğu, yalıtkan tabakası sol-jel yöntemiyle hazırlanan n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'in en düşük mobilite değerine sahip olduğu görüldü.

7.5.2.6. Aydınlanmanın Transistörün Transfer Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

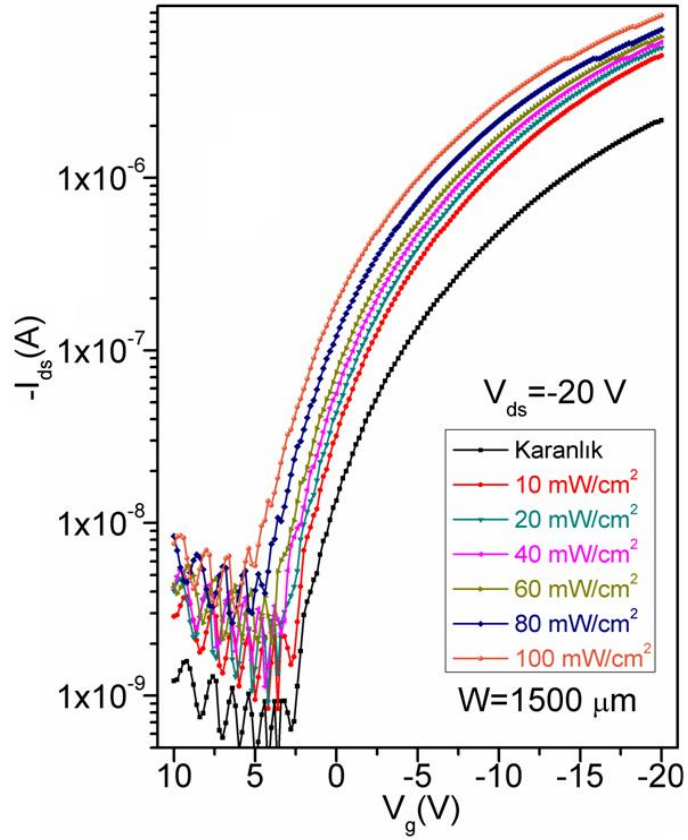
Organik forotransistör (OPT)'ler, hem fotoiletkenlik hem de fotovoltajik davranış sergileyebilirler. Fotoaktif durumda, kanalın iletkenliği ışıkla oluşan yüklerden dolayı aydınlatma ile artmaktadır. Fakat fotovoltajik davranış, ışık aydınlatmasından dolayı fotovoltajdır. Fotovoltaj, kaynak altında toplanan elektronların geniş sayısı ile uyarılır.

Şekil 7.96(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında $W=1500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin $V_{ds}=-20 \text{ V}$ altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları, Şekil 7.96b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.4'de verildi. Şekil 7.96b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.





(b)



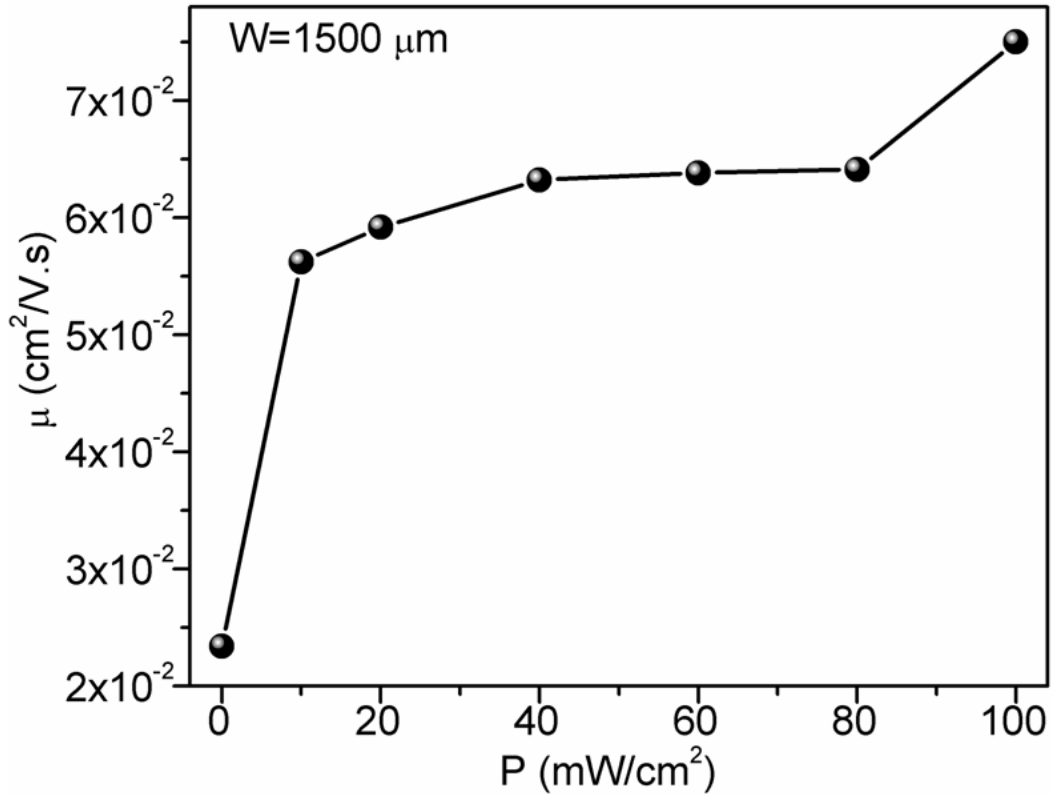
(c)

Şekil 7.96 7.2.1.1. kısımda anlatılan n-Si/SiO₂/pentacene OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

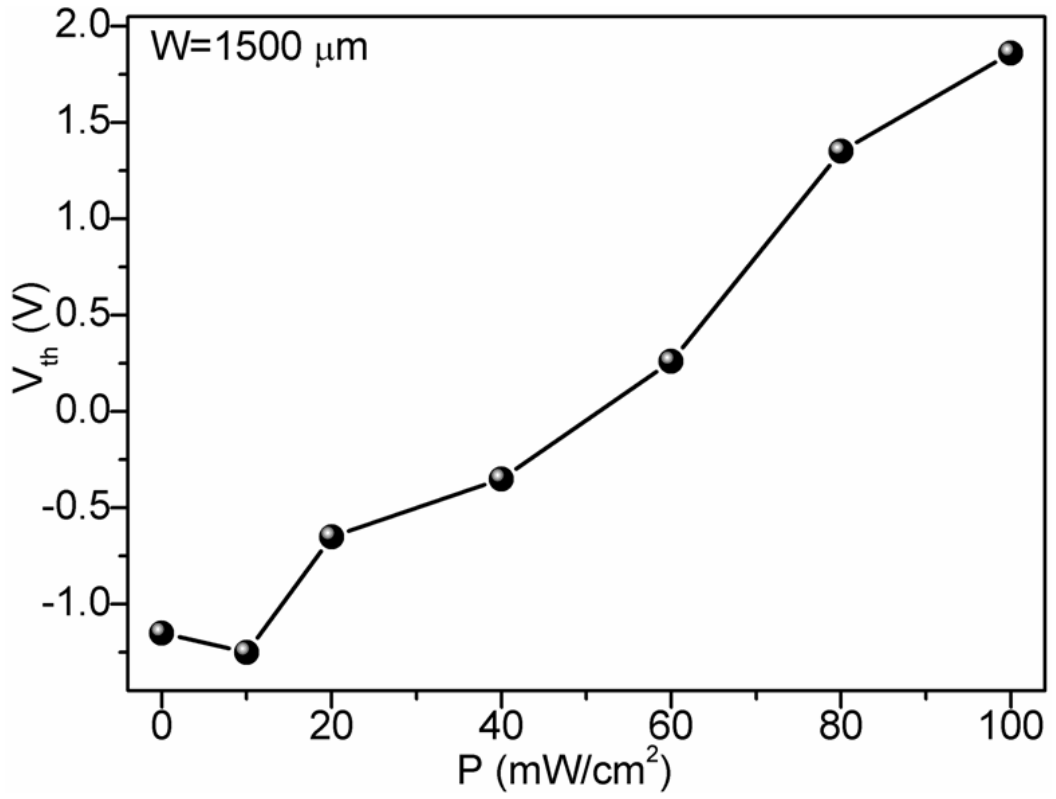
Tablo 7.4 Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
0	2.339	-1.15	5.366	4.361
10	5.622	-1.25	5.567	4.192
20	5.916	-0.65	6.135	4.002
40	6.322	-0.35	5.385	3.887
60	6.382	0.26	3.258	3.783
80	6.412	1.35	2.736	3.674
100	7.502	1.86	2.862	3.614

Şekil 7.97(a-b)'de görüldüğü gibi, n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. Bu, transistörlerin elektronik devrelere entegrasyonu için gereklidir. Görünür ışık fotonları, yarıiletken-silisyum diyodu arayüzeyinde pozitif dipoller oluşturur ve aslında negatif geçit voltajını değiştirir, bu durum, transistörün dielektrik tabaka/yarıiletken arayüzeyde ışıkla oluşan boşlukların tuzaklanmasına atfedilebilir. Pentasen esaslı organik ince filmin eşik voltajı, organik ince film transistörlerin elektronik teknoloji uygulamaları için önemlidir. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat inversiyon (terslenme) bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur. Transistörün yüksek V_{th} değeri, tane sınırlarındaki tuzaklar ve pentasen ve geçit dielektrik arayüzeyindeki kusurların diğer tiplerinden kaynaklanır [211]. Toplanma bölgesine ulaşması için gerekli eşik voltajı, aydınlatma altında azalmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 7.97 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi

Karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=1500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, 7.2.1.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin S ve $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ değerleri, Şekil 7.96c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.4'de verildi. Elde edilen S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Bu, arayüzeydeki tuzakların yoğunluğunun, beyaz ışık aydınlatması ile azaldığını göstermektedir. Çünkü S değeri, tuzak davranışının varlığını ve dielektrik ve pentasen aktif tabakası arasındaki arayüzey kalitesini göstermektedir. Kanal (D) akımının alt-eşik davranışı, yasak bant aralığındaki kusurlu durumların dağılımına atfedilir. Böylece, mevcut arayüzey tuzakların maksimum sayısı,

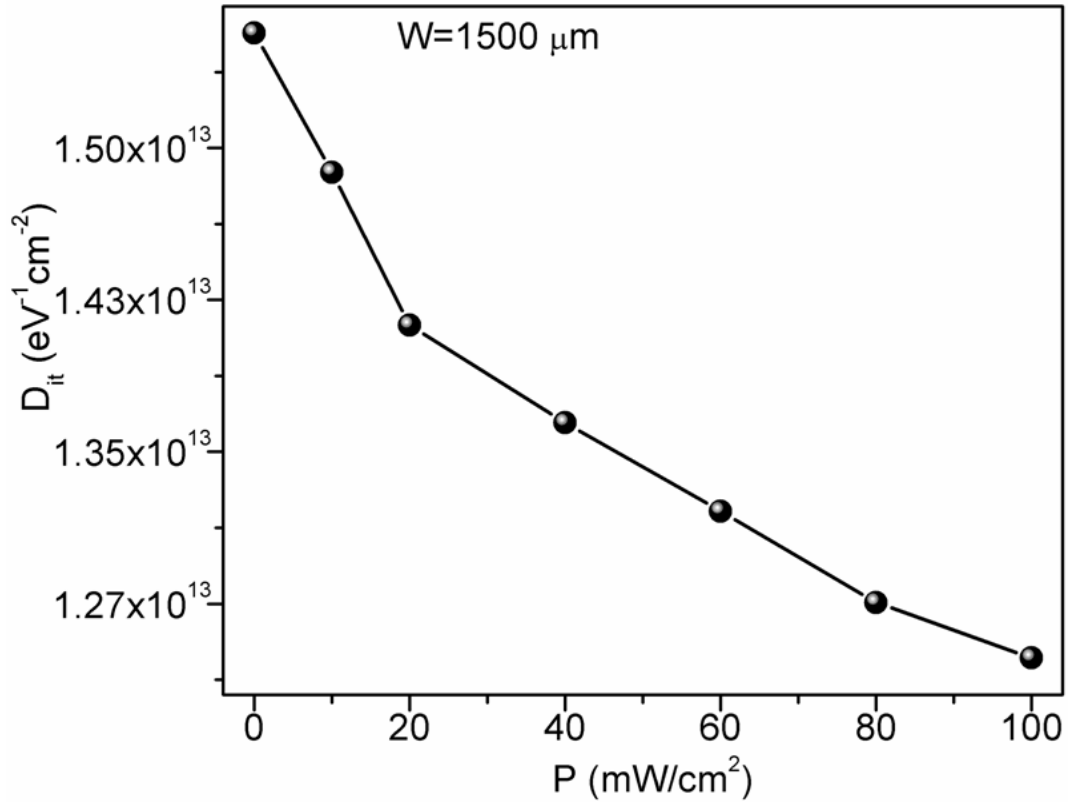
$$D_{it} = \left[\frac{S \log(e)}{kT/q} - 1 \right] \frac{C_i}{q} \quad (7.6)$$

ile hesaplanabilir [212,213]. Burada, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve q elektron yüküdür. Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin D_{it} değerleri, belirlendi ve Tablo 7.5'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. D_{it} değerlerindeki değişim, arayüzeyde tuzaklanan boşlukların taşıma durumları içine fotouyarılmasından dolayı olabilir [104].

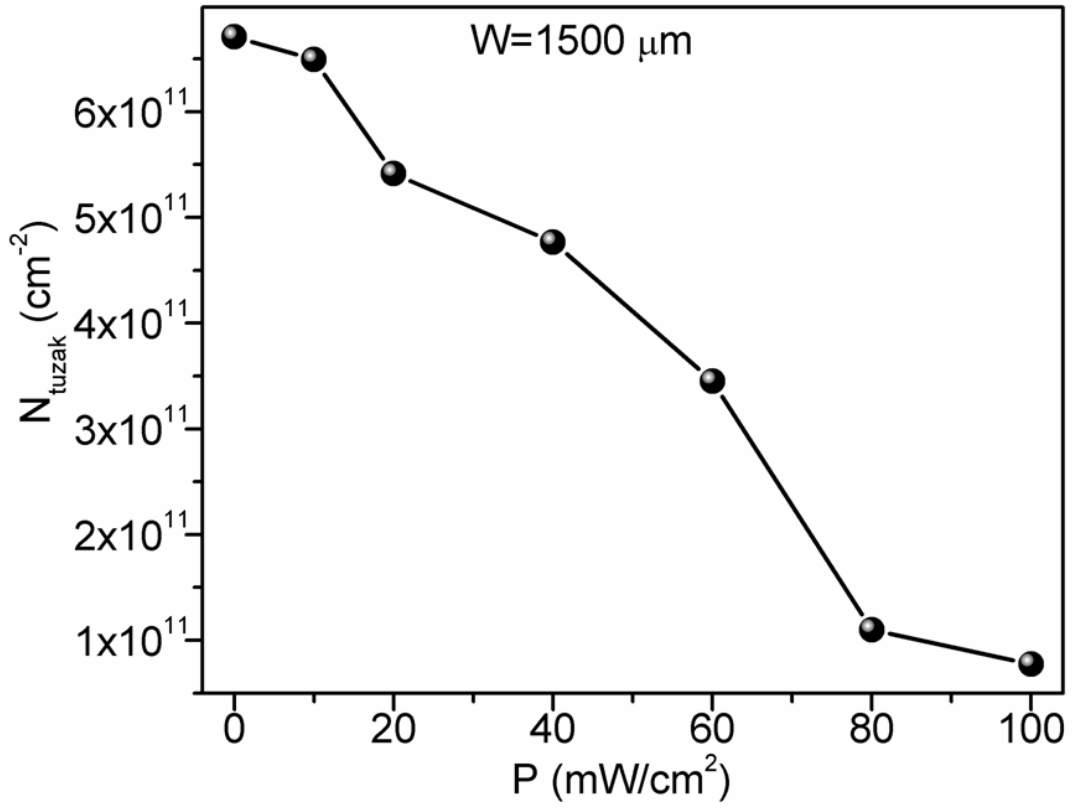
Aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı,

$$\Delta N = \frac{C_i \Delta V_{th}}{q} \quad (7.7)$$

ile hesaplanabilir [152]. Beyaz ışık aydınlatmaları altında n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin ΔN (veya N_{tuzak}) değerleri, hesaplandı ve Tablo 7.5'de verildi. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil 7.98(a-b)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

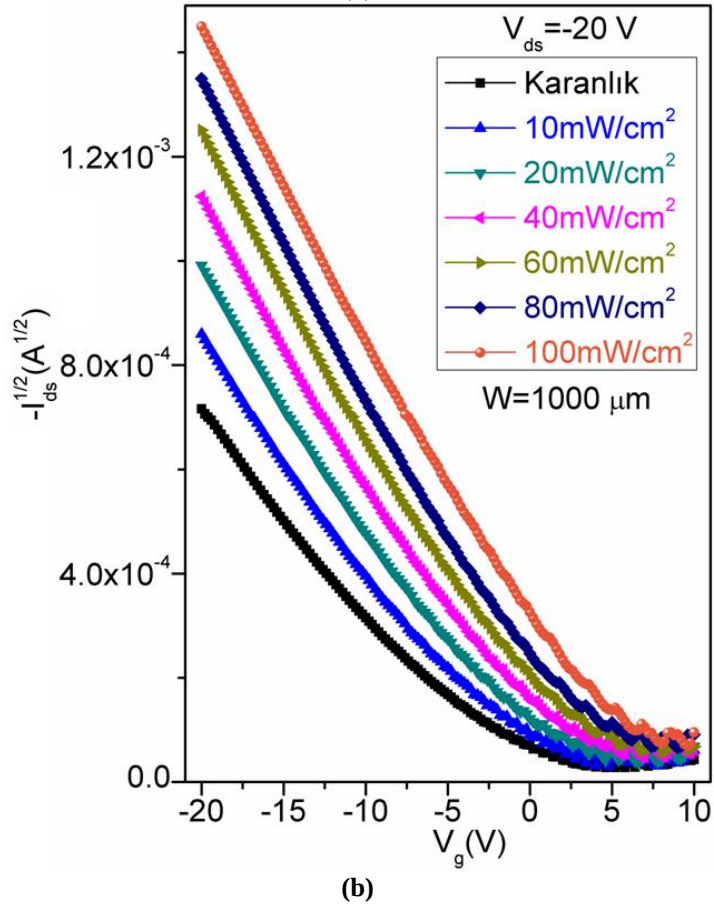
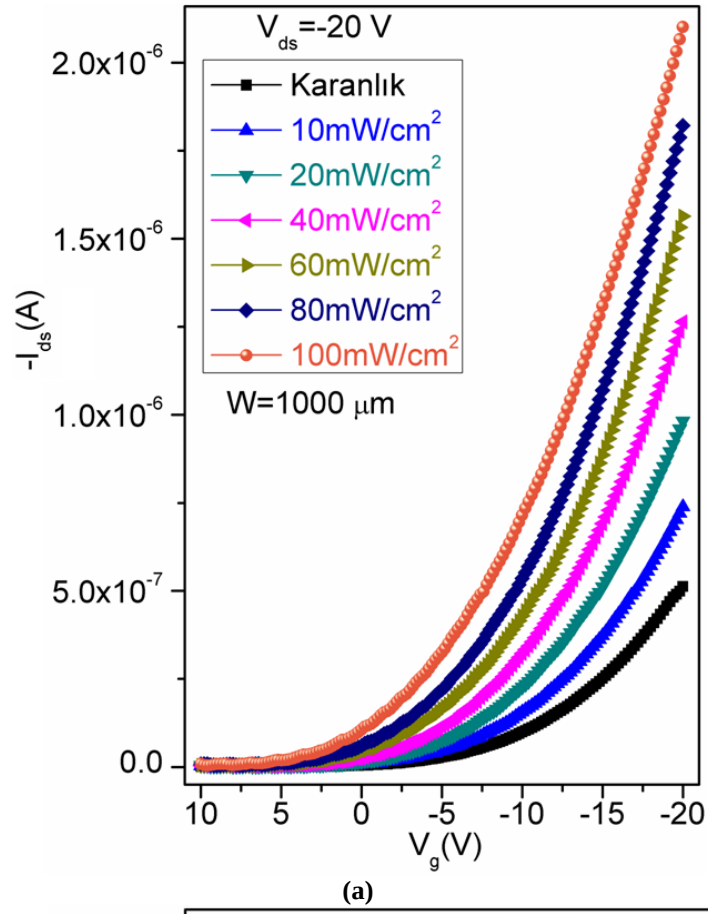
Şekil 7.98 n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

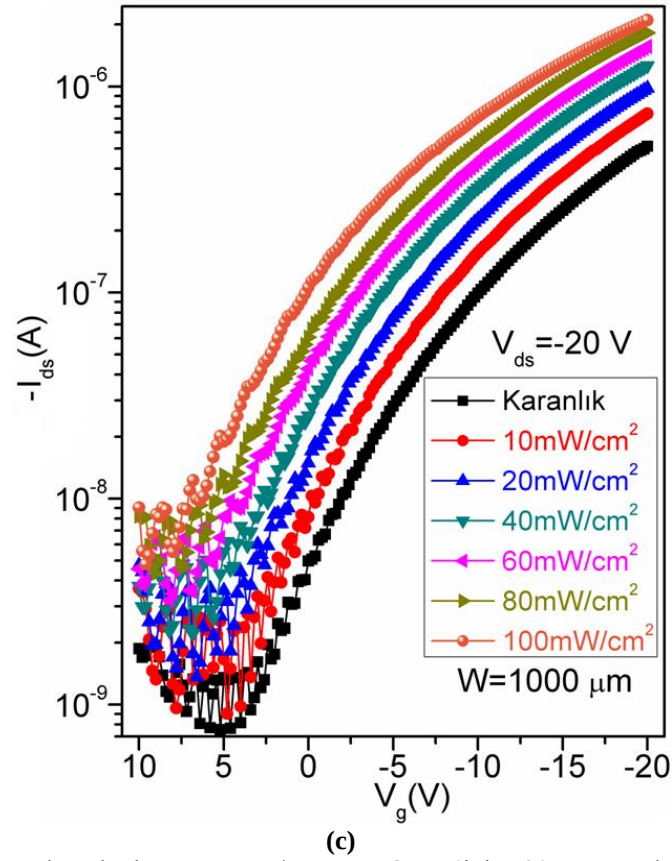
Tablo 7.5 Karanlık ve aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	D _{it} (eV ⁻¹ cm ⁻²)x10 ¹³	N _{tuzak} (cm ⁻²)x10 ¹¹
0	1.557	6.709
10	1.488	6.493
20	1.412	5.415
40	1.364	4.768
60	1.321	3.452
80	1.276	1.100
100	1.248	0.777

Şekil 7.99(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında W=1000 µm kanal genişlikli, 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin V_{ds}=-20 V altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları Şekil 7.99b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.6'da verildi. Şekil 7.99b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.

Şekil 7.100(a-b)'de görüldüğü gibi, p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. p-Si/SiO₂/pentasen OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat terslenme bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur.

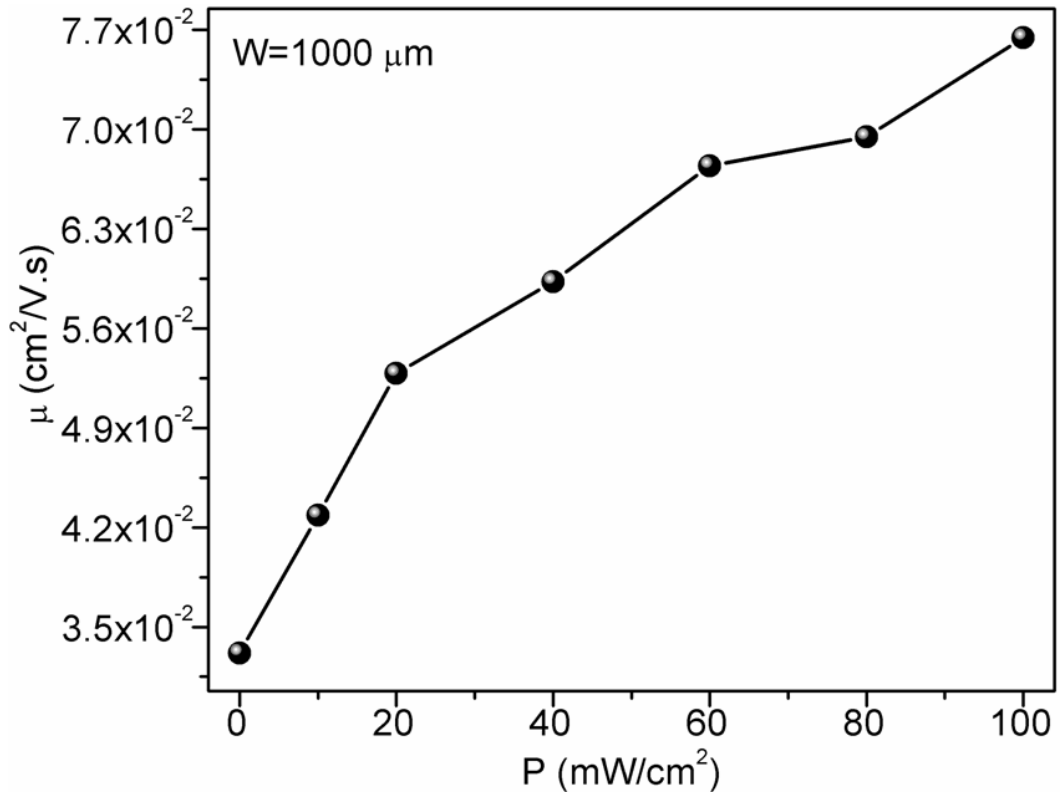




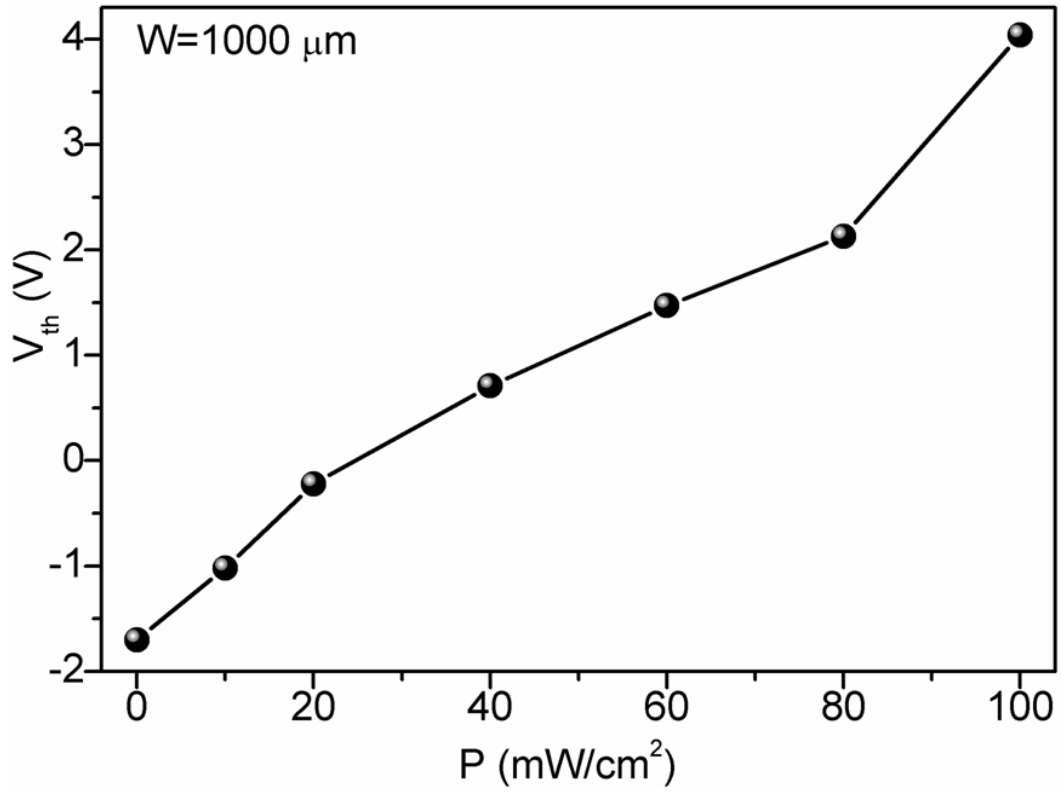
Şekil 7.99 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g'ye karşı (a) -I_{ds}, (b) -I_{ds}^{1/2} ve (c) -logI_{ds} grafiği

Tablo 7.6 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/pentaseen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı V _{th} (V)	Açma/kapama (I _{açma} /I _{kapama}) oranı $\times 10^2$	S (V/decade)
0	3.317	-1.7	6.767	10.584
10	4.285	-1.02	8.163	9.41
20	5.283	-0.22	7.194	8.812
40	5.929	0.71	5.697	8.302
60	6.743	1.47	4.870	7.691
80	6.947	2.13	4.207	7.345
100	7.645	4.04	4.377	6.923



(a)



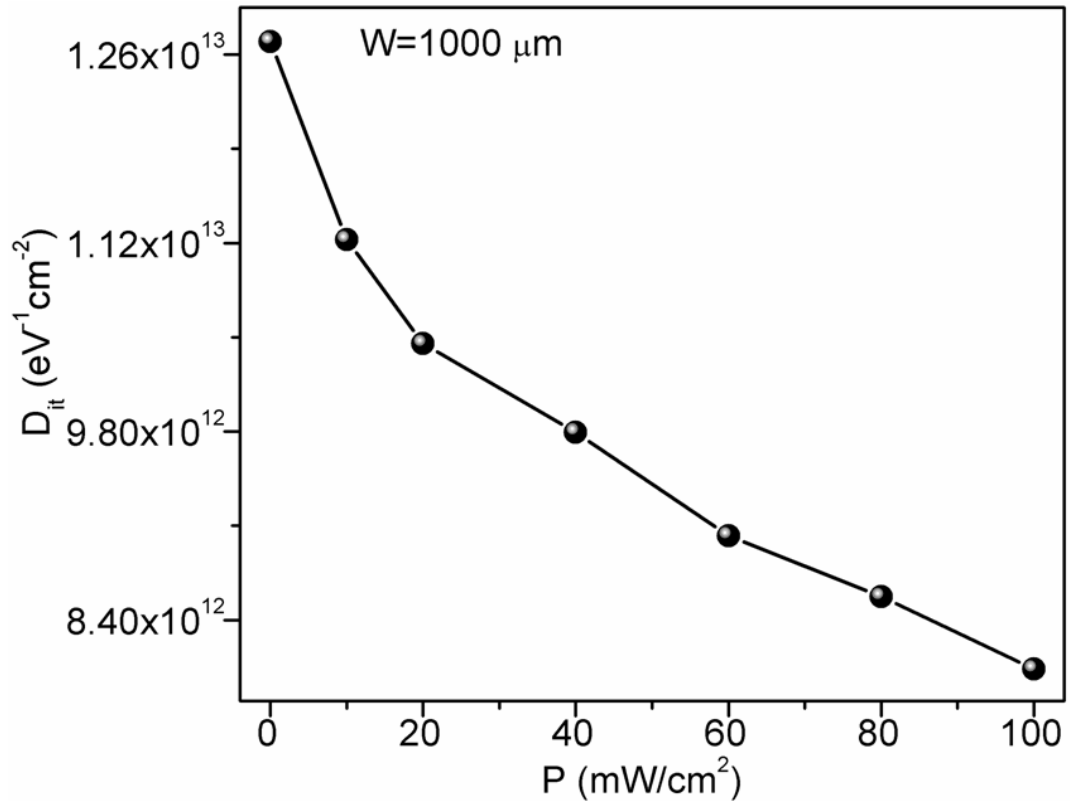
(b)

Şekil 7.100 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı **(a)** mobilite ve **(b)** eşik voltajı değişimi

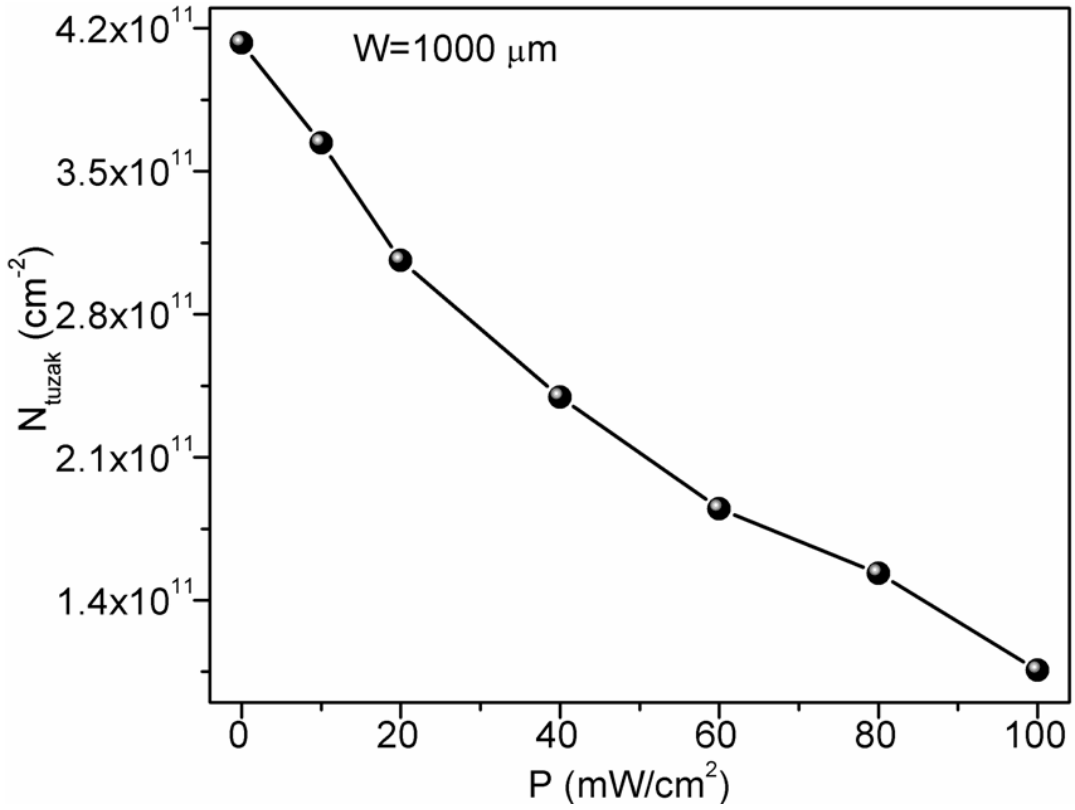
Karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=1000\text{ }\mu\text{m}$ kanal genişlikli, 7.2.1.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin S ve $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ değerleri, Şekil 7.99c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.6'da verildi. Elde edilen S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin D_{it} değerleri, denklem (7.6) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.7'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.7'de verildi. p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil7.101(a-b)'de gösterilmektedir.

Tablo 7.7 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	D_{it} (eV ⁻¹ cm ⁻²)x10 ¹³	N_{tuzak} (cm ⁻²)x10 ¹¹
0	1.270	4.127
10	1.122	3.639
20	1.045	3.063
40	0.980	2.395
60	0.902	1.848
80	0.857	1.532
100	0.804	1.057



(a)

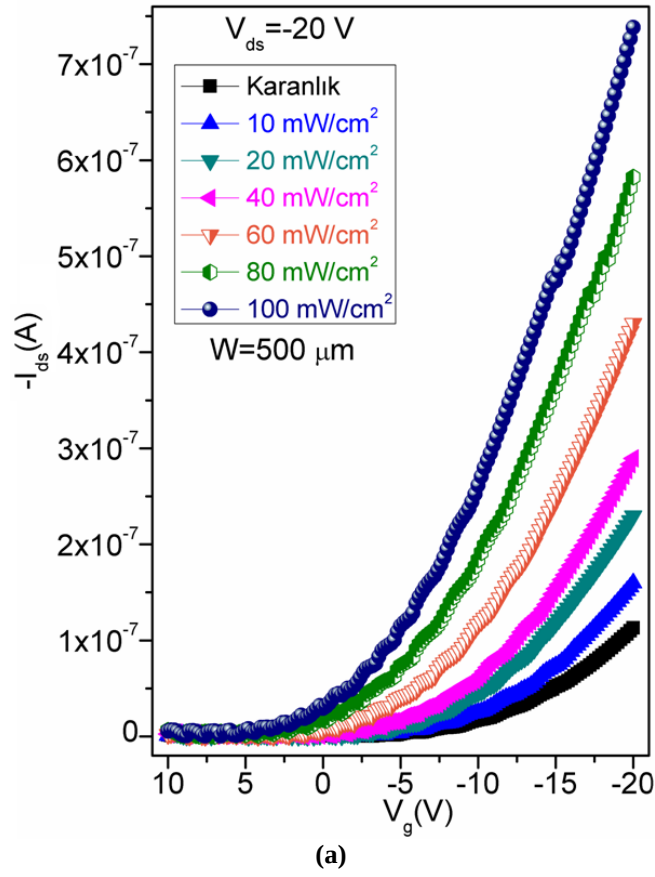


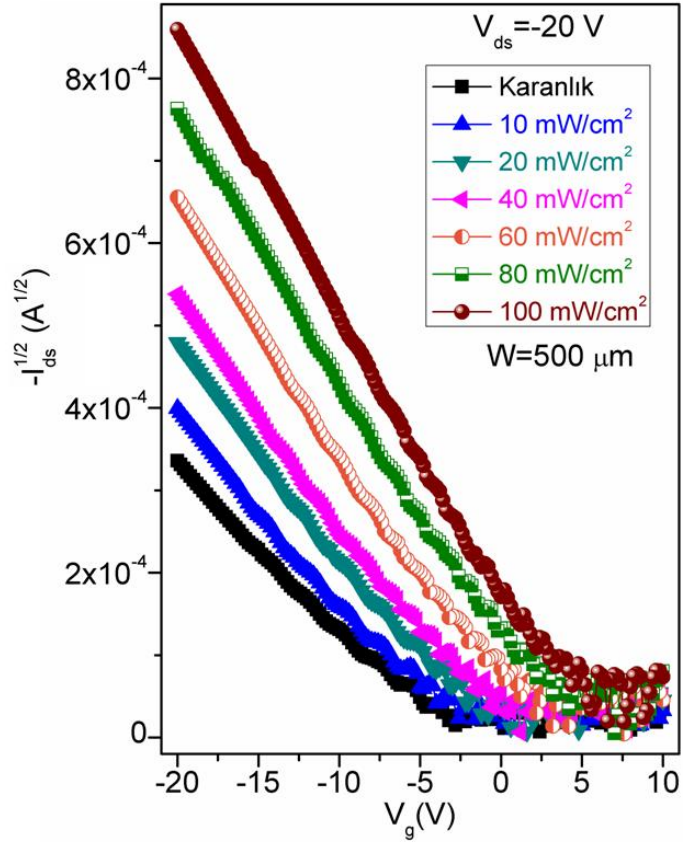
(b)

Şekil 7.101 p-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

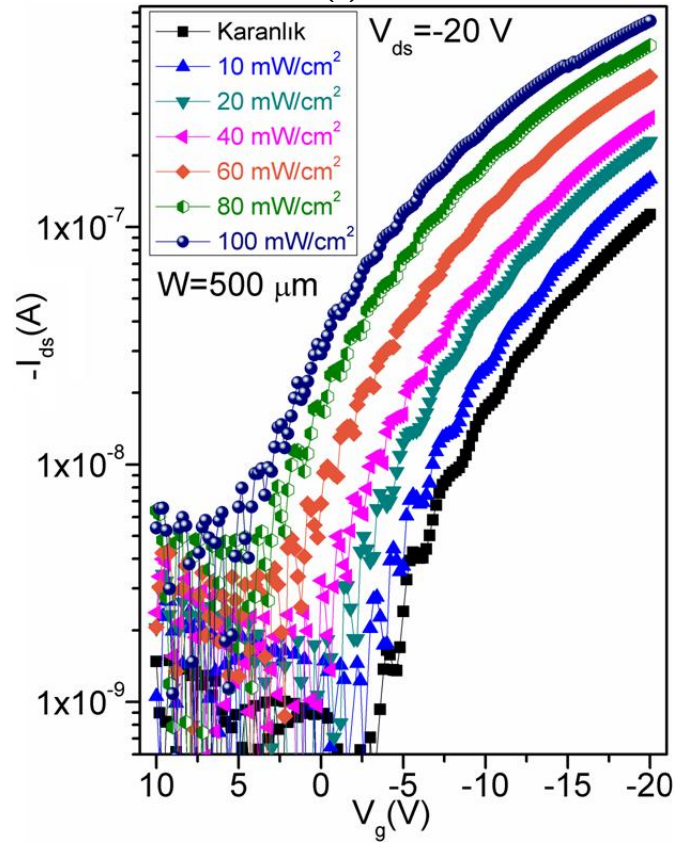
Şekil 7.102(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında $W=500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, 7.2.3.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al_2O_3 geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin $V_{ds}=-20 \text{ V}$ altında transfer karakteristiklerini göstermektedir.

n-Si/ SiO_2 / Al_2O_3 /pentasen OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları, Şekil 7.102b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.8'de verildi. Şekil 7.102b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.





(b)



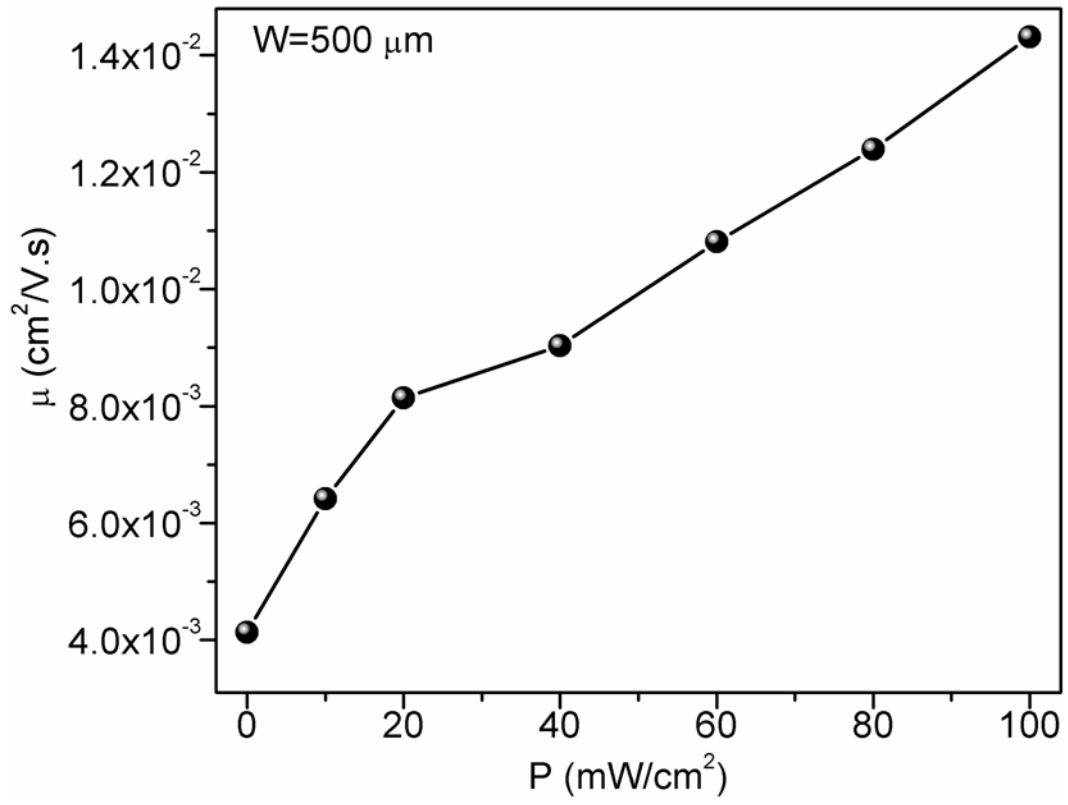
(c)

Şekil 7.102 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacene OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

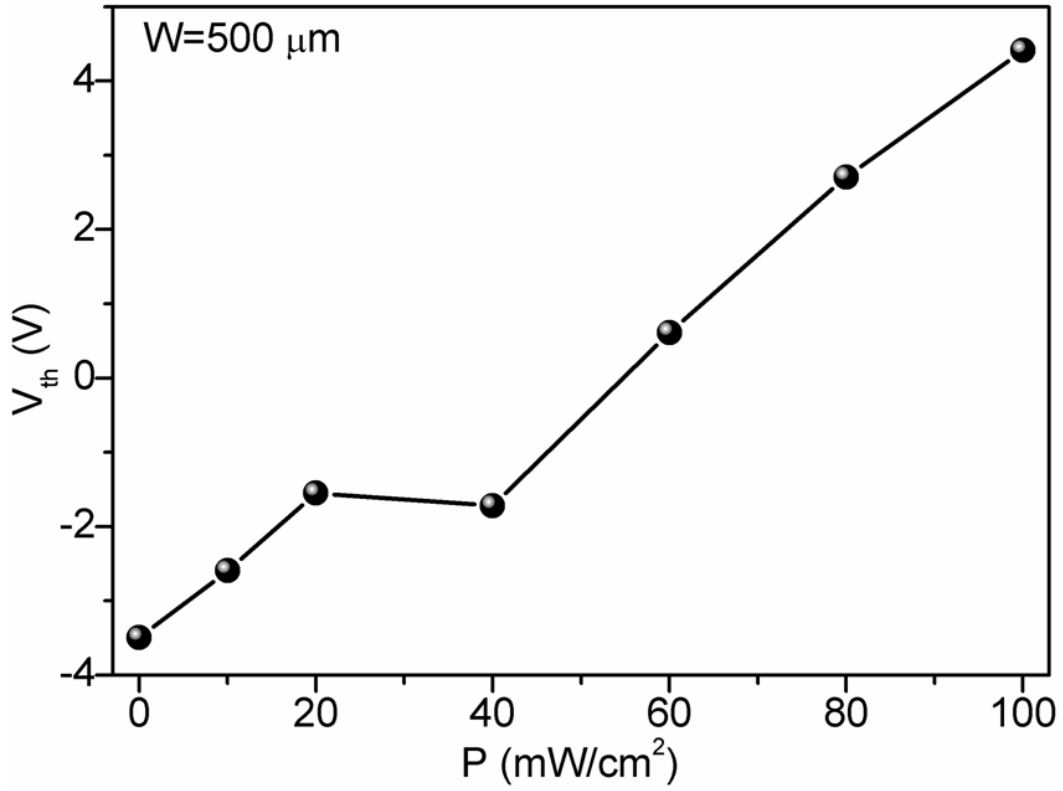
Tablo 7.8 Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
0	0.413	-3.495	0.927	6.64
10	0.642	-2.595	0.928	6.278
20	0.814	-1.55	0.933	5.135
40	0.903	-1.72	1.597	5.002
60	1.081	0.612	2.002	4.761
80	1.239	2.706	2.005	4.541
100	1.431	4.413	2.006	4.129

Şekil 7.103(a-b)'de görüldüğü gibi, n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat terslenme bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur. Karanlık-aydınlatma şartları altında, W=500 μm kanal genişlikli, 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin S ve $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri, Şekil 7.102c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.8'de verildi. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin D_{it} değerleri, denklem (7.6) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.9'da verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Beyaz ışık aydınlatmaları altında n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.9'da verildi. n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil 7.104(a-b)'de gösterilmektedir.

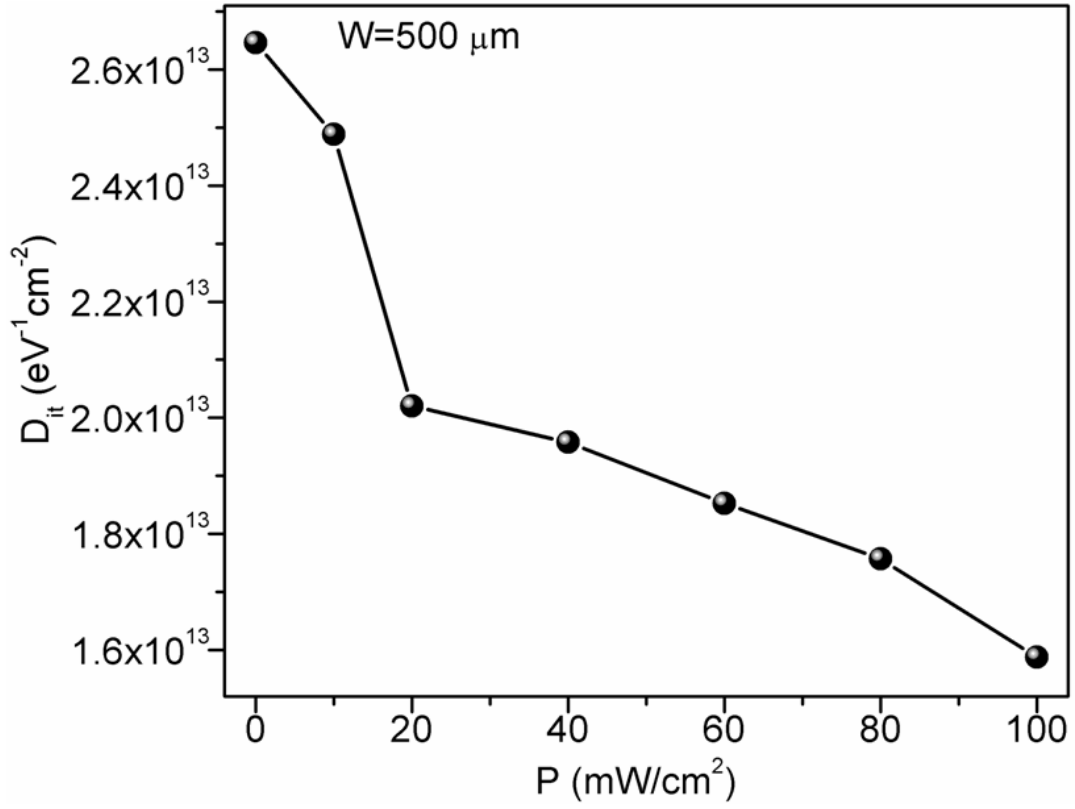


(a)

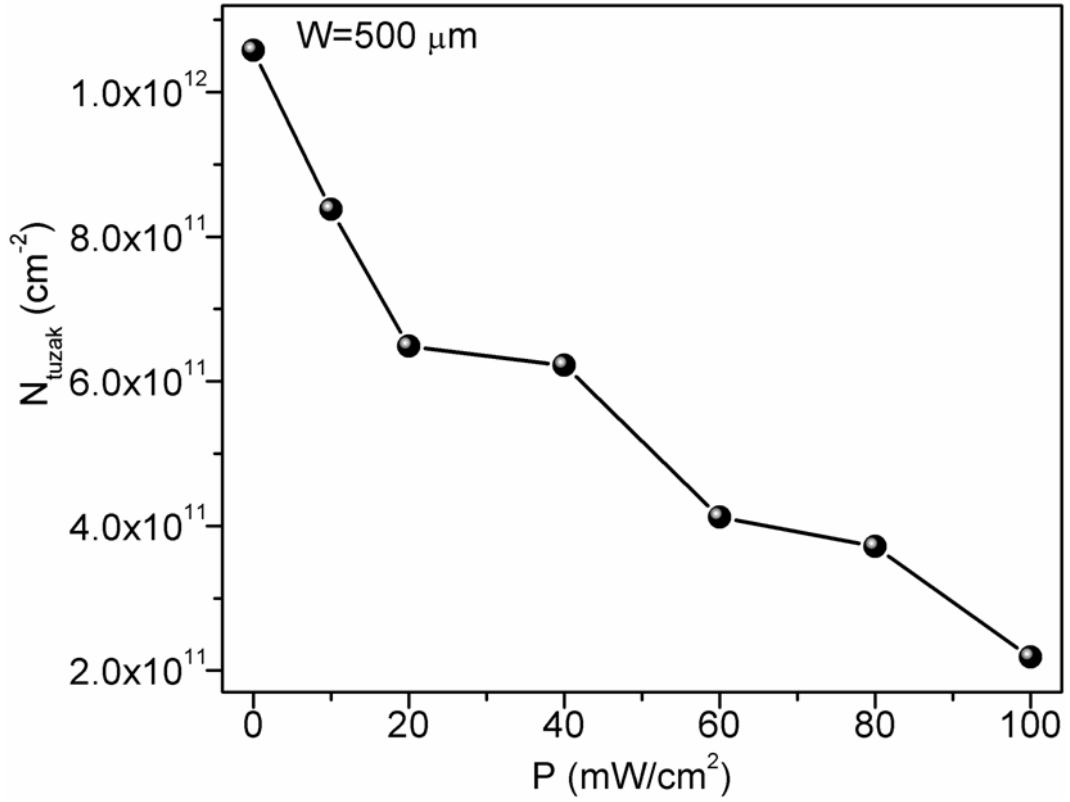


(b)

Şekil 7.103 7.2.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi



(a)



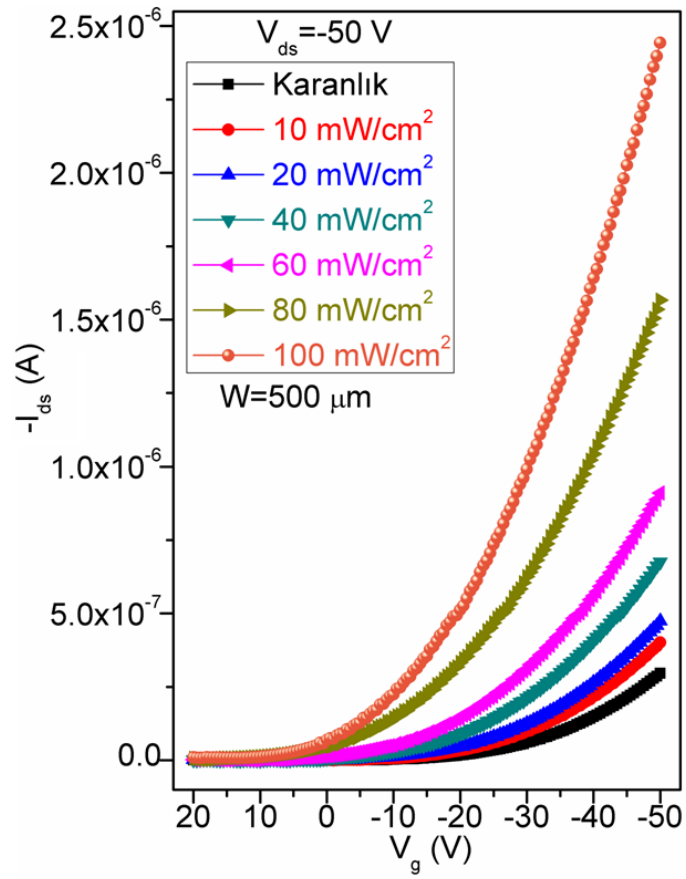
(b)

Şekil 7.104 n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

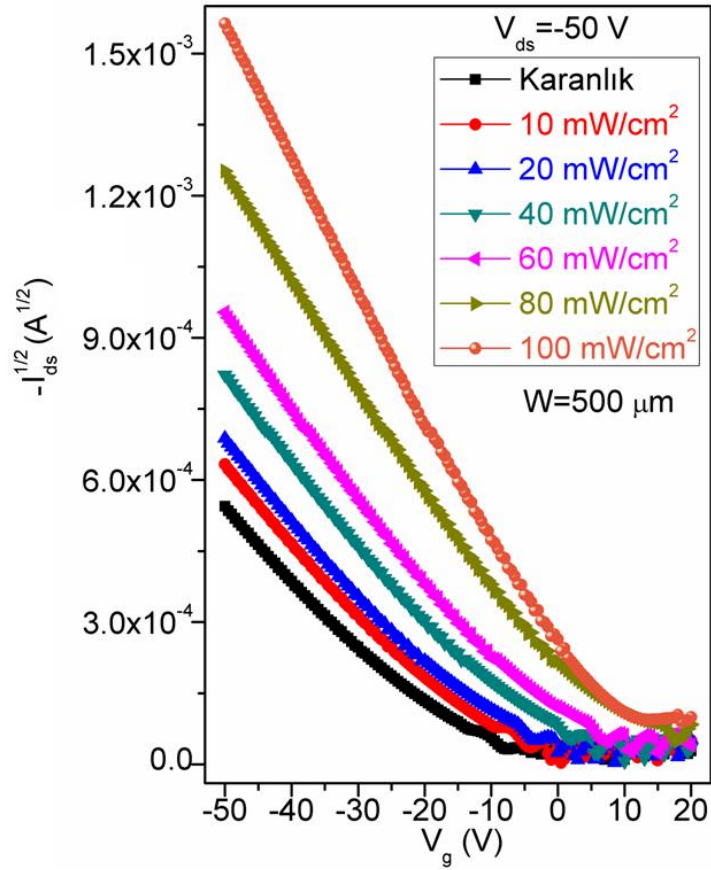
Tablo 7.9 Karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm²)	D_{it} (eV⁻¹cm⁻²)x10¹³	N_{tuzak} (cm⁻²)x10¹¹
0	2.646	10.577
10	2.489	8.377
20	2.020	6.486
40	1.958	6.220
60	1.853	4.123
80	1.758	3.715
100	1.588	2.186

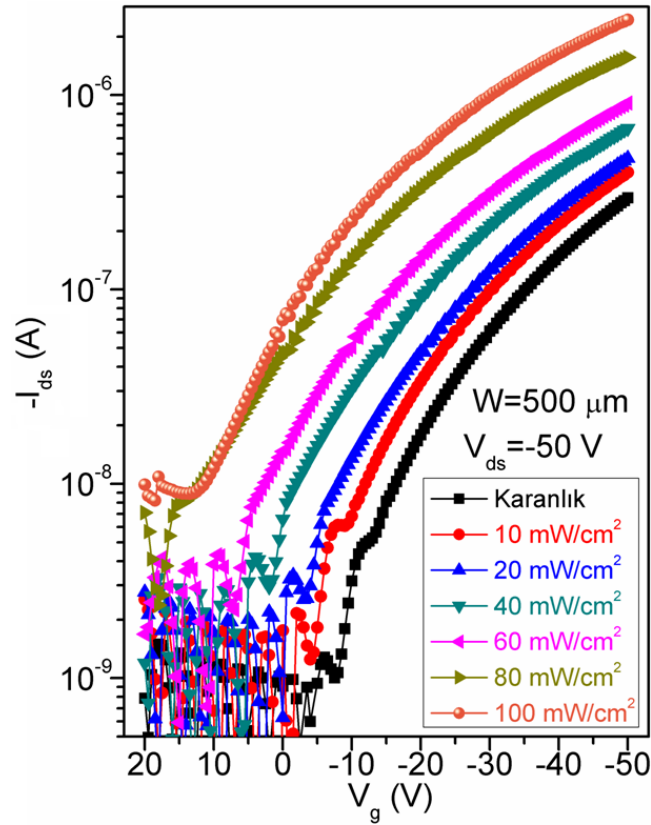
Şekil 7.105(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında W=500 µm kanal genişlikli, 7.2.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin V_{ds}=-50 V altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları Şekil 7.105b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.10'da verildi. Şekil 7.105b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.105 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacene OFET'inin -50 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

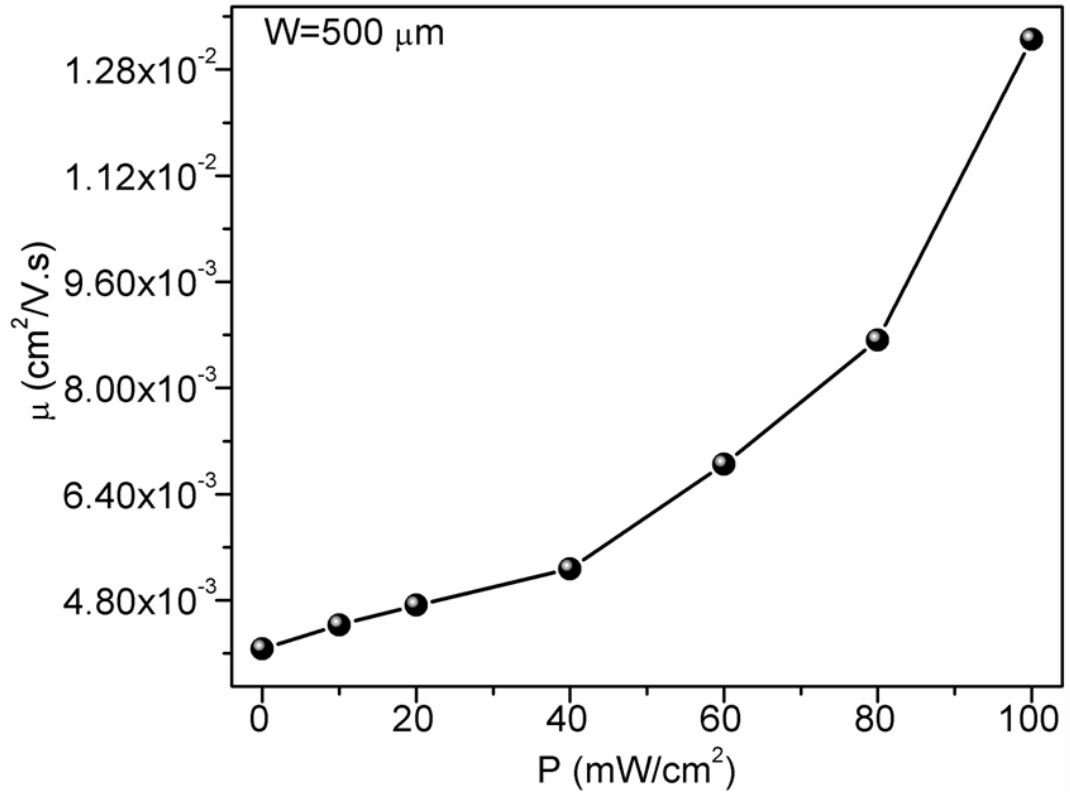
Tablo 7.10 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentacene OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite μ (cm ² /Vs)	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı	S (V/decade)
0	0.00407	-15.8	949.79	11.3
10	0.00443	-11.92	1627.67	10.243
20	0.00473	-9.91	1840.95	10.201
40	0.00528	-4.71	1393.03	10.138
60	0.00685	-3.6	1269.22	9.967
80	0.00872	4.01	297.5	9.089
100	0.01326	10.18	298.8	8.248

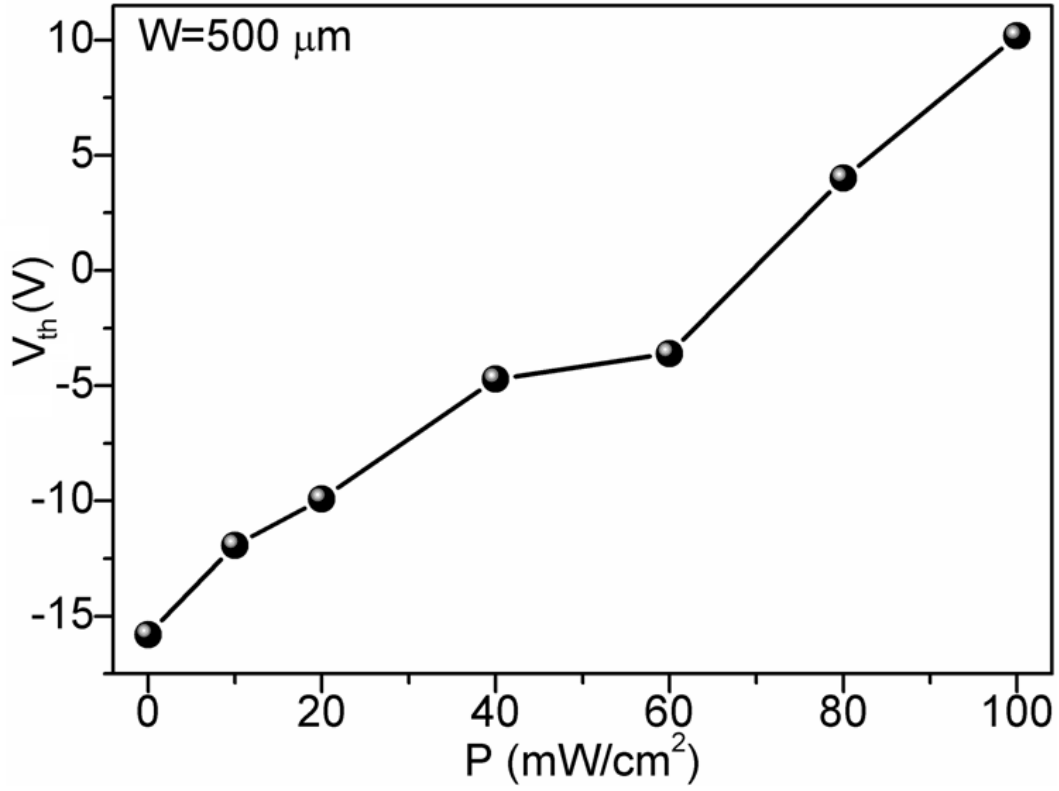
Şekil 7.106(a-b)'de görüldüğü gibi, p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, beyaz ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat terslenme bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur.

Karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=500 \mu m$ kanal genişlikli, 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin S ve $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri, Şekil 7.105c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.10'da verildi. Elde edilen S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin D_{it} değerleri, denklem (7.6) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.11'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.11'de verildi. p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil 7.107(a-b)'de gösterilmektedir.

Şekil 7.108(a-c) ve 7.109(a-c), sırasıyla karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında $W=1000 \mu m$ kanal genişlikli, 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin $V_{ds}=-20 V$ altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin karanlık, UV ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları, Şekil 7.108b ve 7.109b grafiklerinden hesaplandı ve Tablo 7.12'de verildi. Şekil 7.108b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, UV aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, UV ve beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir. Fakat UV ve beyaz ışık aydınlatmaları altında, eşik voltajı V_{th} , daha büyük geçit voltajlarına değişmektedir. Bu, UV aydınlatmasının toplanma moduna ulaşması için eşik voltajında bir değişime sebep olduğunu göstermektedir.

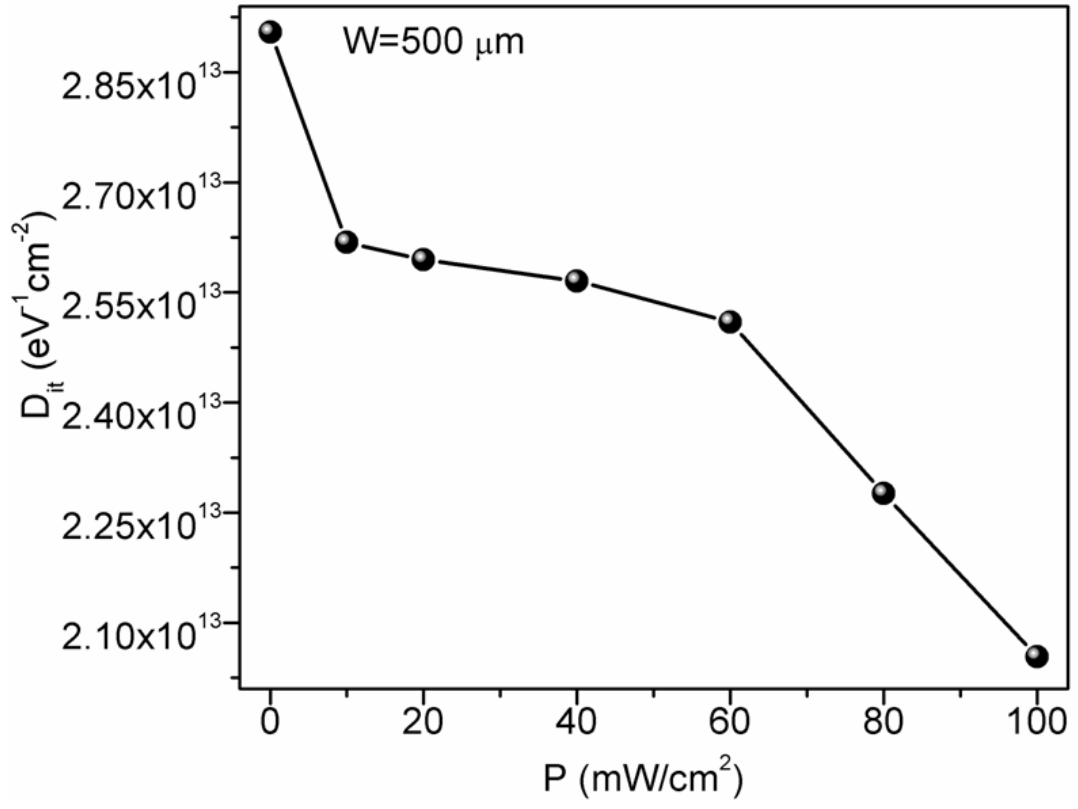


(a)

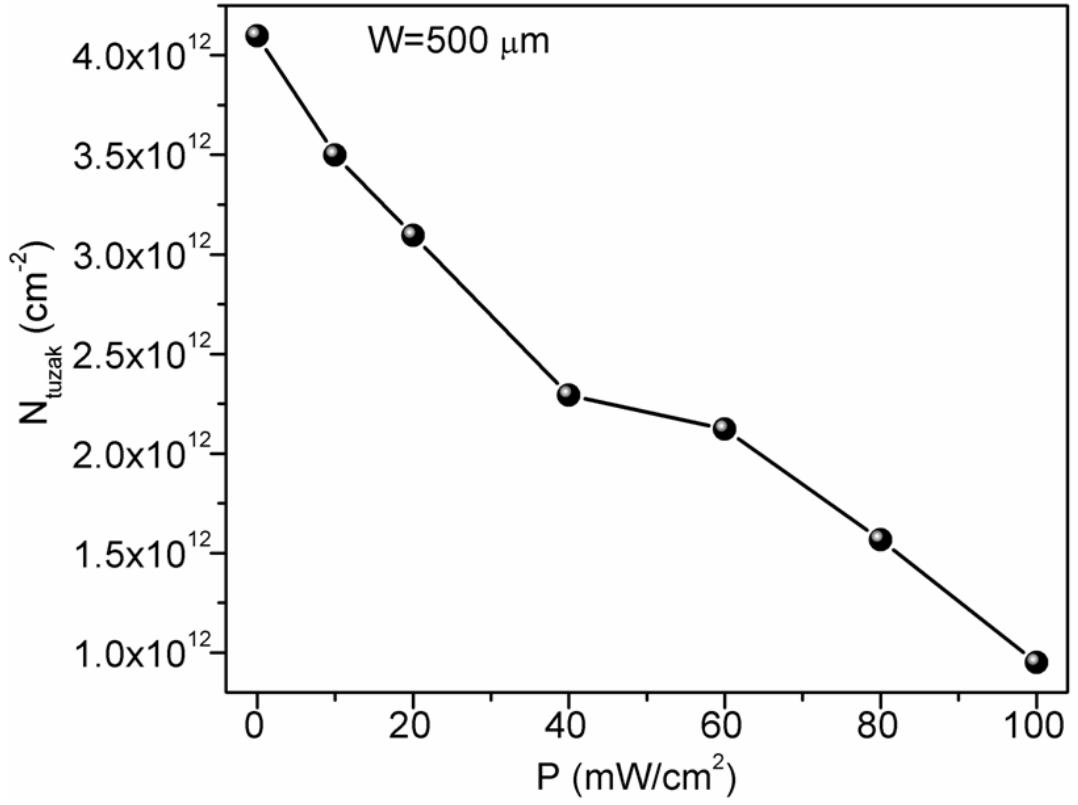


(b)

Şekil 7.106 7.2.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi



(a)

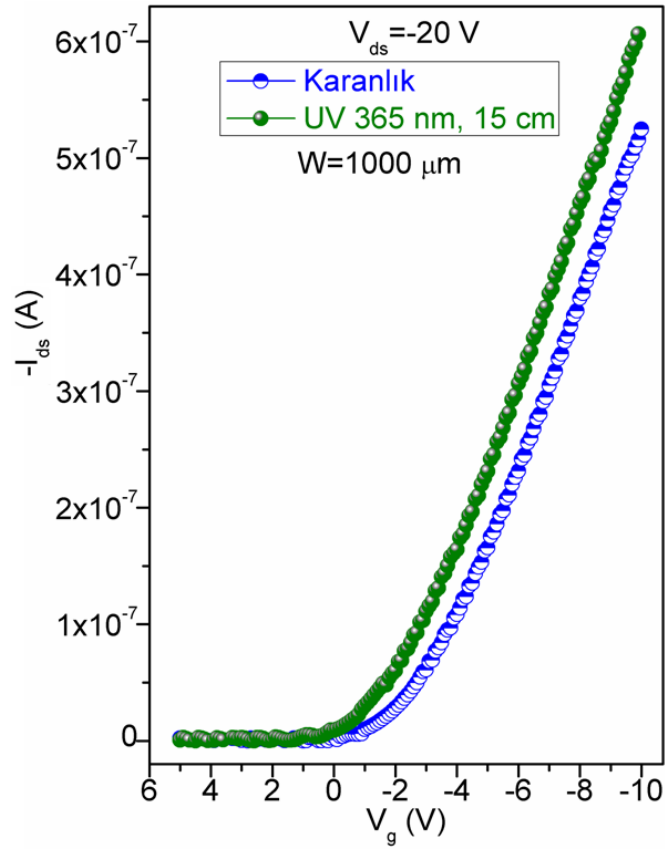


(b)

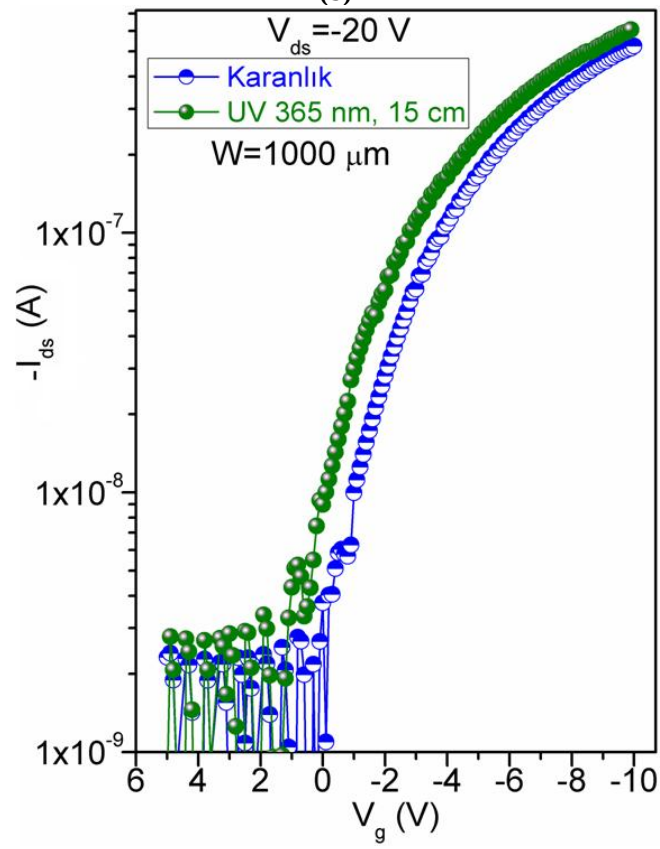
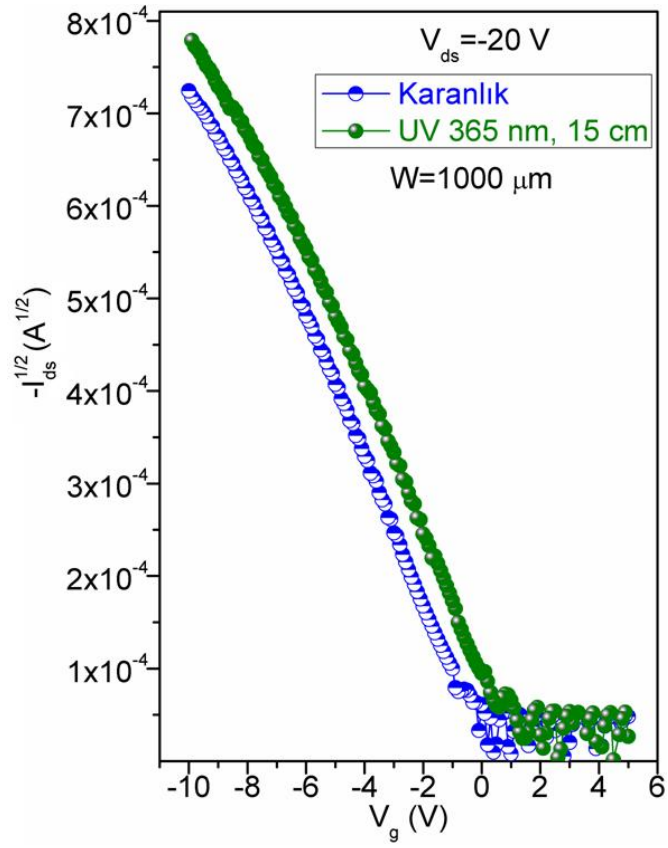
Şekil 7.107 p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

Tablo 7.11 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

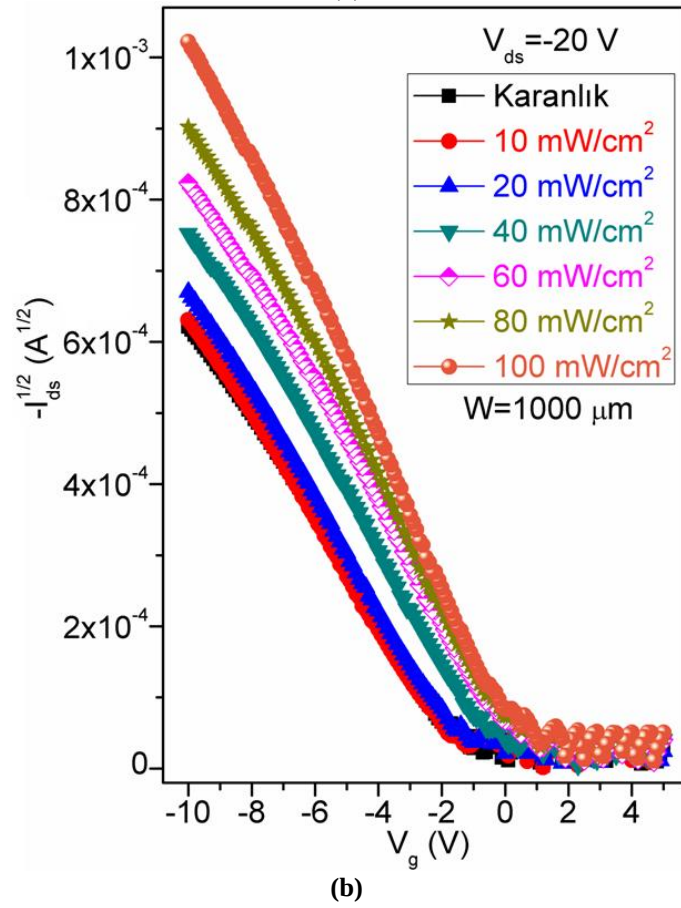
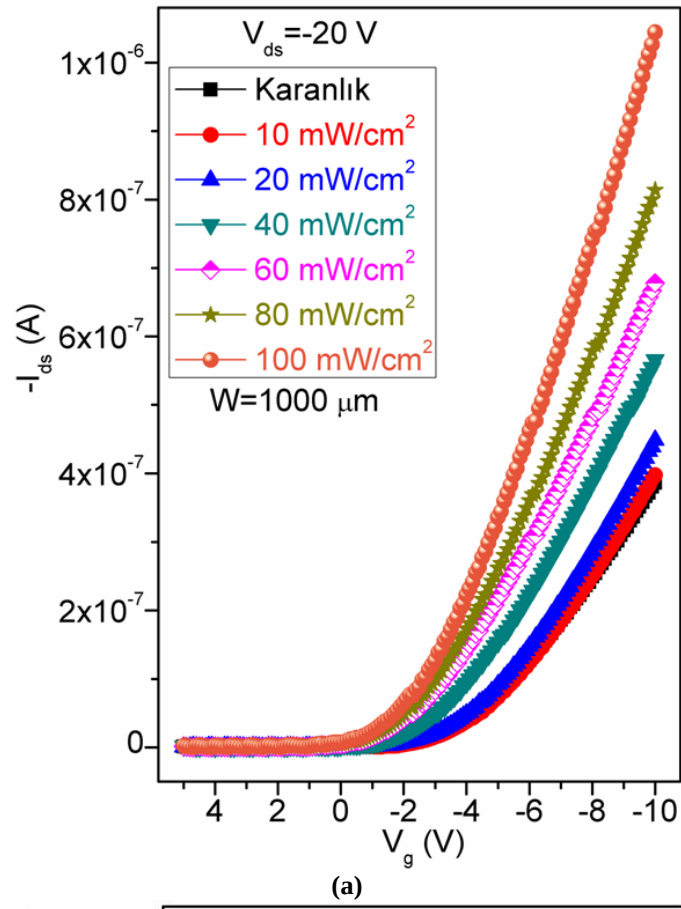
Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	D _{it} (eV ⁻¹ cm ⁻²)x10 ¹³	N _{tuzak} (cm ⁻²)x10 ¹²
0	2.905	4.097
10	2.618	3.50
20	2.594	3.094
40	2.566	2.293
60	2.510	2.123
80	2.276	1.568
100	2.054	0.950

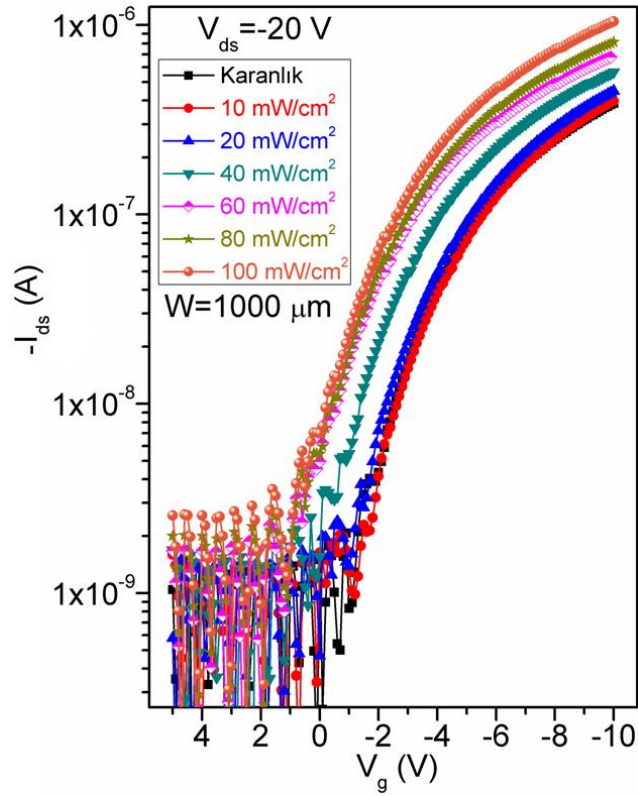


(a)



Şekil 7.108 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -20 V altında karanlık-UV durumundaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği





(c)

Şekil 7.109 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -20 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

Tablo 7.12 Karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

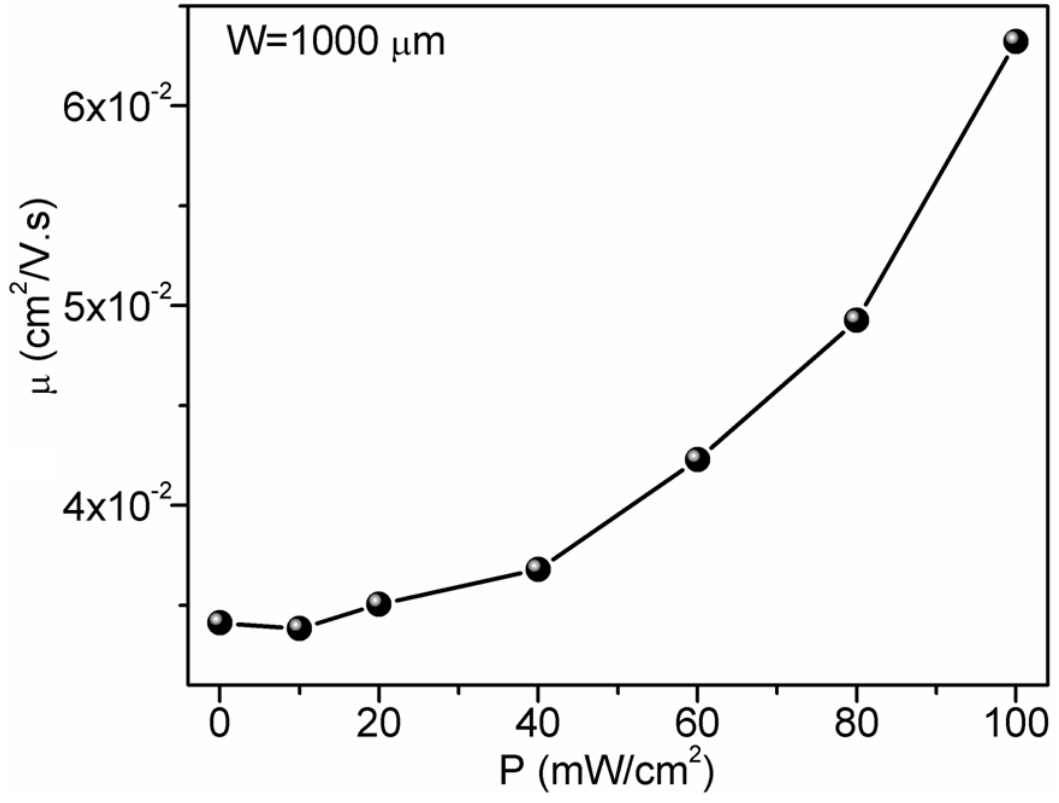
Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	$I_{açma}/I_{kapama}$ oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
0	3.412	-1.29	3.382	3.895
10	3.383	-1.055	3.851	3.563
20	3.505	-0.901	3.833	3.0791
40	3.679	-0.04	3.945	3.0206
60	4.228	0.46	5.601	2.88
80	4.926	0.51	5.603	2.864
100	6.322	0.525	5.604	2.739
365 nm UV	3.960	1.095	3.695	3.726

Şekil 7.110(a-b)'de görüldüğü gibi, n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajının değişimi, ışık aydınlatması ile lineer olmayan bir davranış göstermektedir. Bu lineer olmayan davranış, toplanma yükleri ile engellenen dielektrik tabaka/yarıiletken arayüzeyindeki yük transferinden kaynaklanmakta ve bu durum daha yüksek ışık şiddetlerinde daha düşük fotoduyarlılığın oluşumuna sebep olmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. Bu, transistörlerin elektronik devrelere entegrasyonu için gereklidir. Görünür ışık fotonları, yarıiletken-silisyum diyodu arayüzeyinde pozitif dipoller oluşturur ve aslında negatif geçit voltajını değiştirir, bu durum, transistörün dielektrik tabaka/yarıiletken arayüzeyde ışıkla oluşan boşlukların tuzaklanmasına atfedilebilir. Pentasen esaslı organik ince filmin eşik voltajı, organik ince film transistörlerin elektronik teknoloji uygulamaları için önemlidir. n-Si/SiO₂/TIPS OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat terslenme bölgesinde çalışmaz, böylece UV aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur.

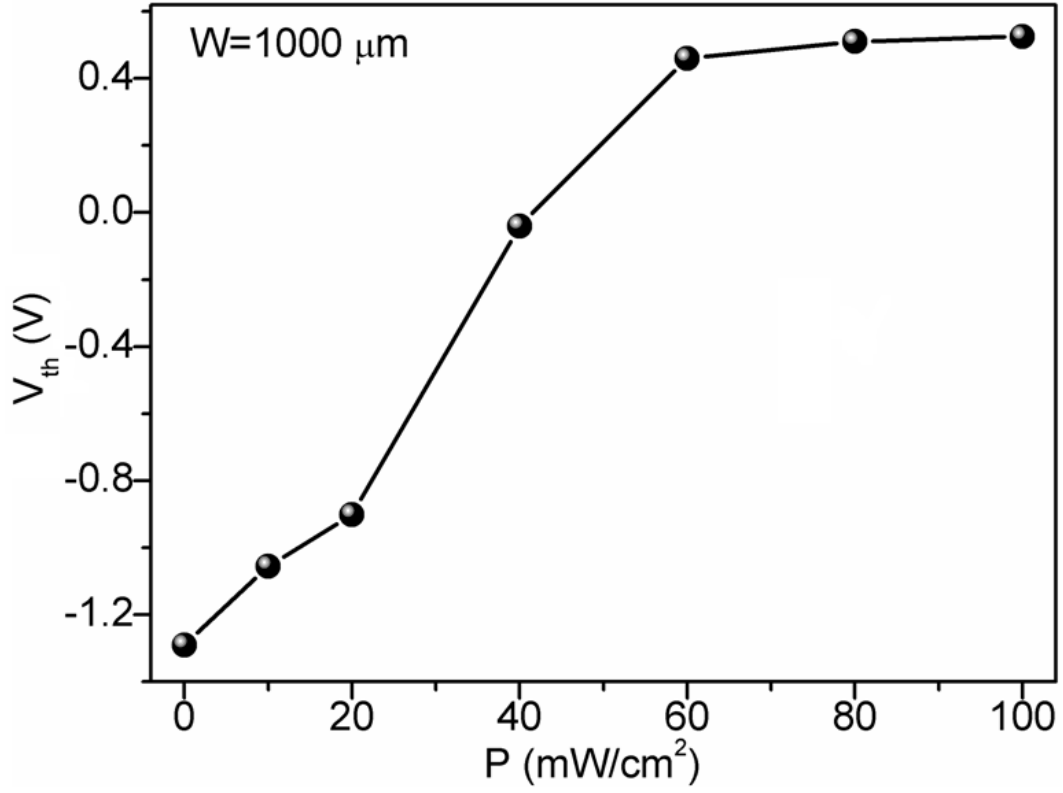
Transistörün yüksek V_{th} değeri, tane sınırlarındaki tuzaklar ve pentasen ve geçit dielektrik arayüzeyindeki kusurların diğer tiplerinden kaynaklanır [211]. Toplanma bölgesine ulaşması için gerekli eşik voltajı, aydınlatma altında azalmaktadır.

Şekil 7.112(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında $W=2000\ \mu m$ kanal genişlikli, 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin $V_{ds}=-100\ V$ altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları, Şekil 7.112b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.14'de verildi. Şekil 7.112b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.

Karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=1000\ \mu m$ kanal genişlikli 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin S ve $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri, Şekil 7.108c ve 7.109c grafikleri yardımıyla ve denklem (7.5) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.12'de verildi. Elde edilen I_{on}/I_{off} ve S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, UV aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Bu, arayüzeydeki tuzakların yoğunluğunun, UV aydınlatması ile azaldığını göstermektedir. Çünkü S değeri, tuzak davranışının varlığını ve dielektrik ve pentasen aktif tabakası arasındaki arayüzey kalitesini göstermektedir.



(a)



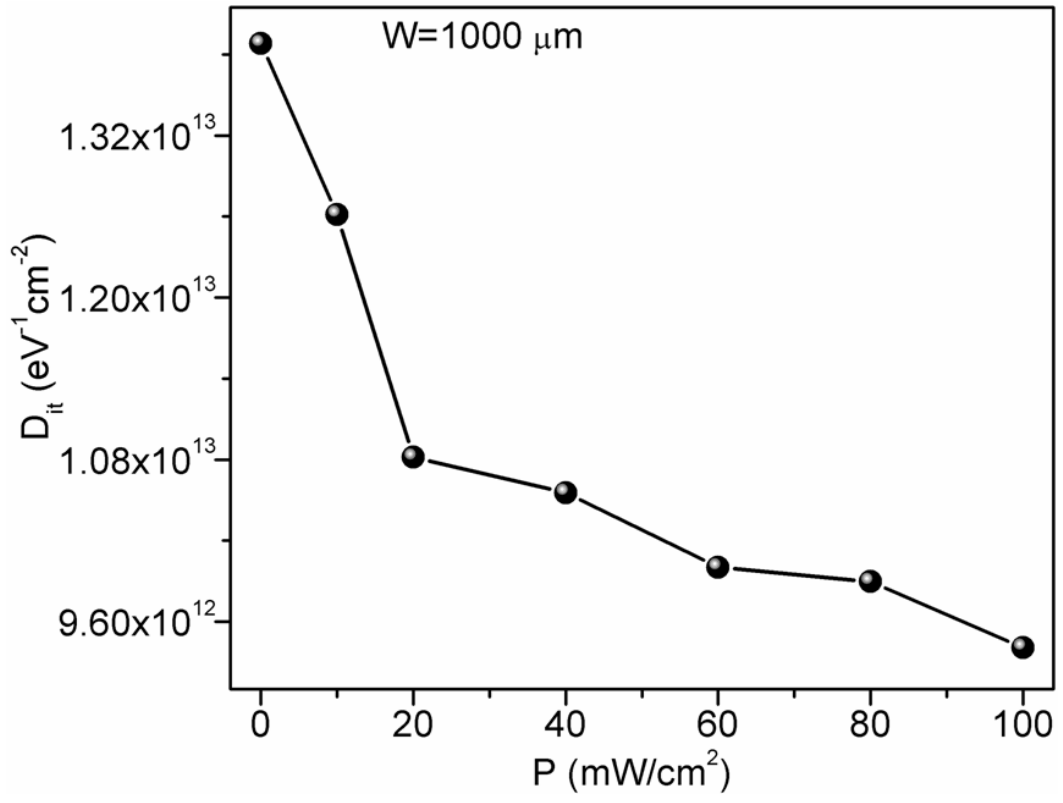
(b)

Şekil 7.110 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlanma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi

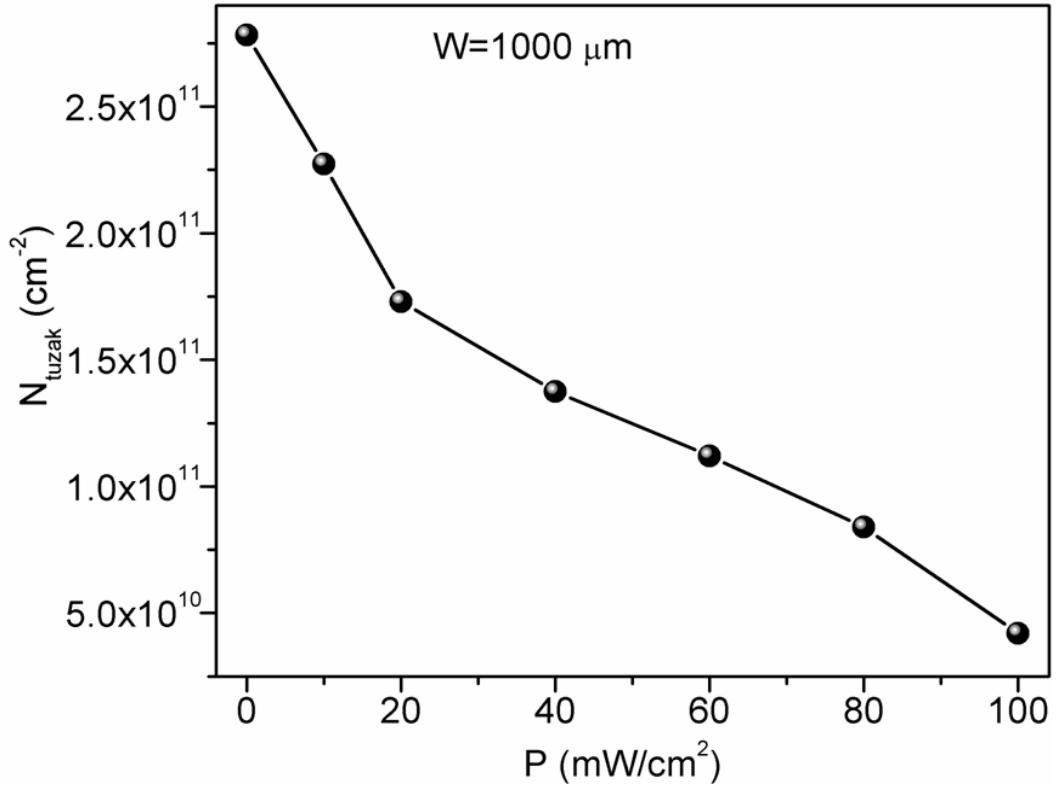
Kanal (D) akımının alt-eşik davranışı, yasak bant aralığındaki kusurlu durumların dağılımına atfedilir. Böylece, mevcut arayüzey tuzakların maksimum sayısı, denklem (7.6) ile hesaplanmaktadır. Karanlık, UV ve beyaz ışık aydınlatmaları altında n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} değerleri, belirlendi ve Tablo 7.13'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. D_{it} değerlerindeki değişim, arayüzeyde tuzaklanan boşlukların taşıma durumları içine fotouyarılmasından dolayı olabilir. Aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) ile hesaplandı ve Tablo 7.13'de verildi. Tablo 7.13'de anlaşılacağı üzere, beyaz ışık aydınlatması altında yüzey birimi başına yük taşıyıcıların sayısı, UV ışık aydınlatması altındaki yük taşıyıcıların sayısından daha büyüktür. Şekil 7.111(a-b), aydınlatmaya karşı sırasıyla, D_{it} ve N_{tuzak} değişimini göstermektedir.

Tablo 7.13 Karanlık-UV ve karanlık-aydınlatma şartları altında n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	D _{it} (eV ⁻¹ cm ⁻²)x10 ¹³	N _{tuzak} (cm ⁻²)x10 ¹¹
0	1.388	2.783
10	1.262	2.274
20	1.082	1.730
40	1.055	1.374
60	1.000	1.121
80	0.990	0.839
100	0.941	0.4201
365 nm UV	1.322	0.4638

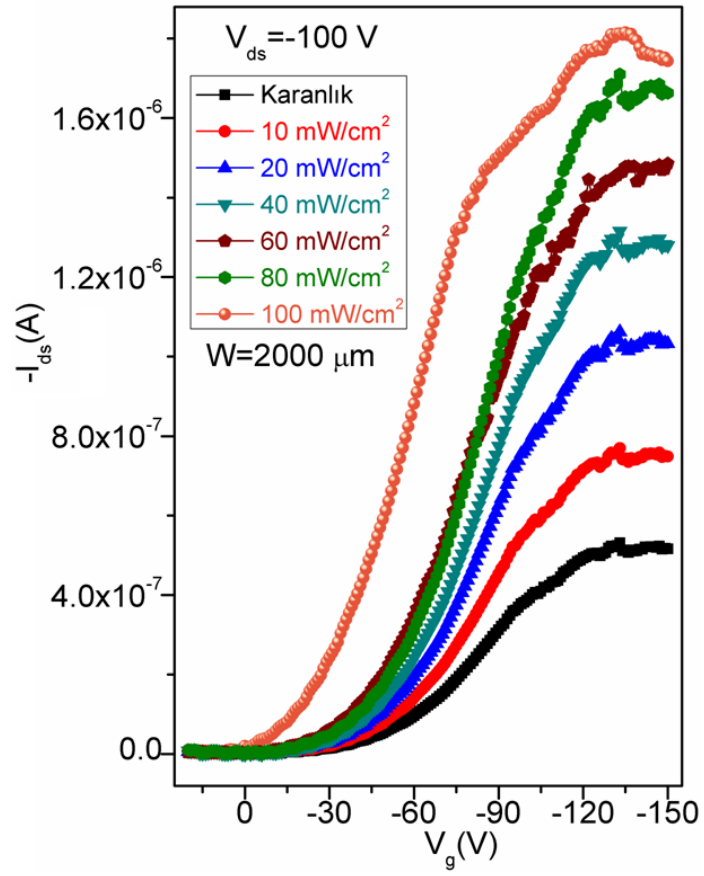


(a)

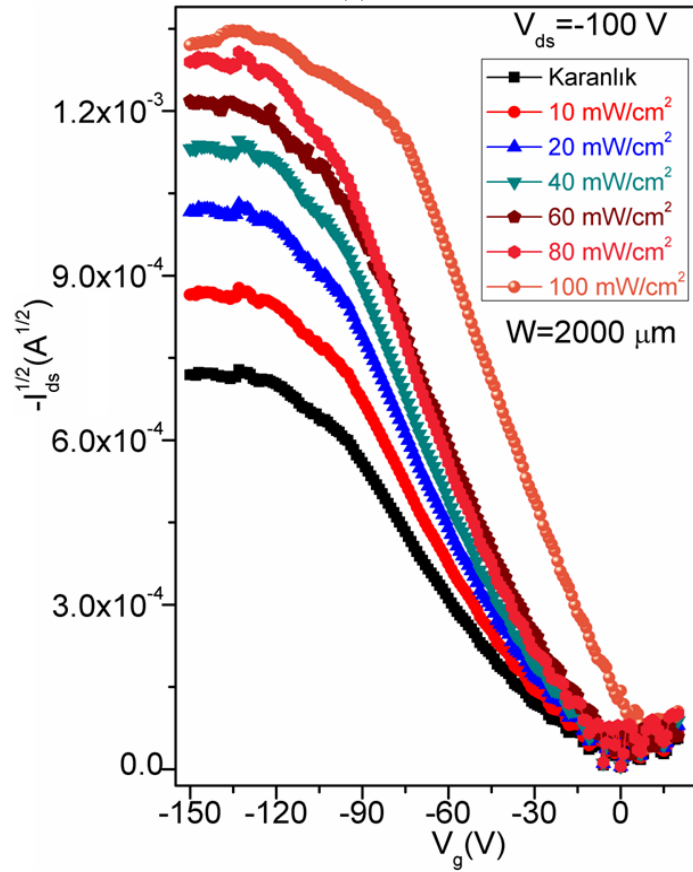


(b)

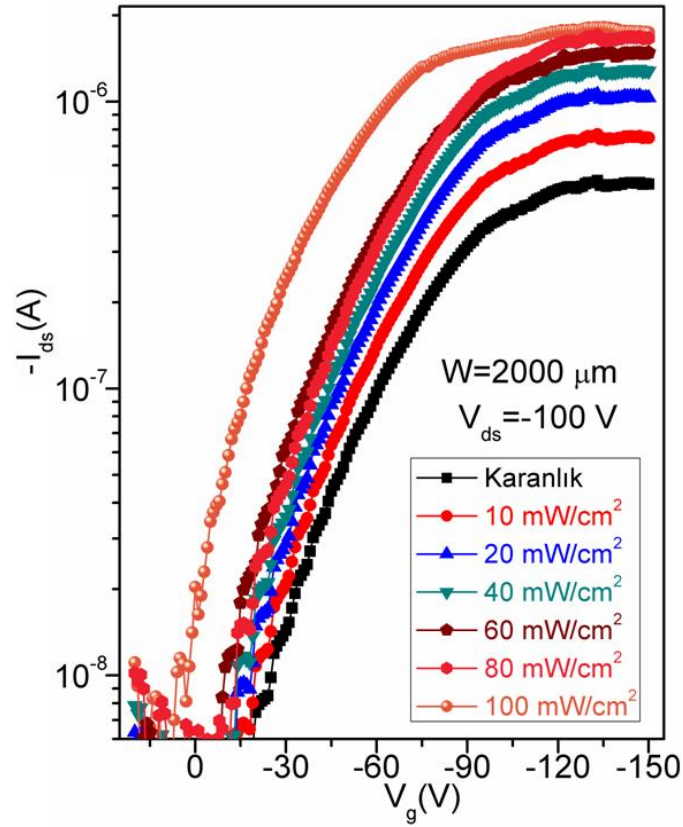
Şekil 7.111 n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.112 7.3.2. kısımda anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -100 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

Tablo 7.14 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilite, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

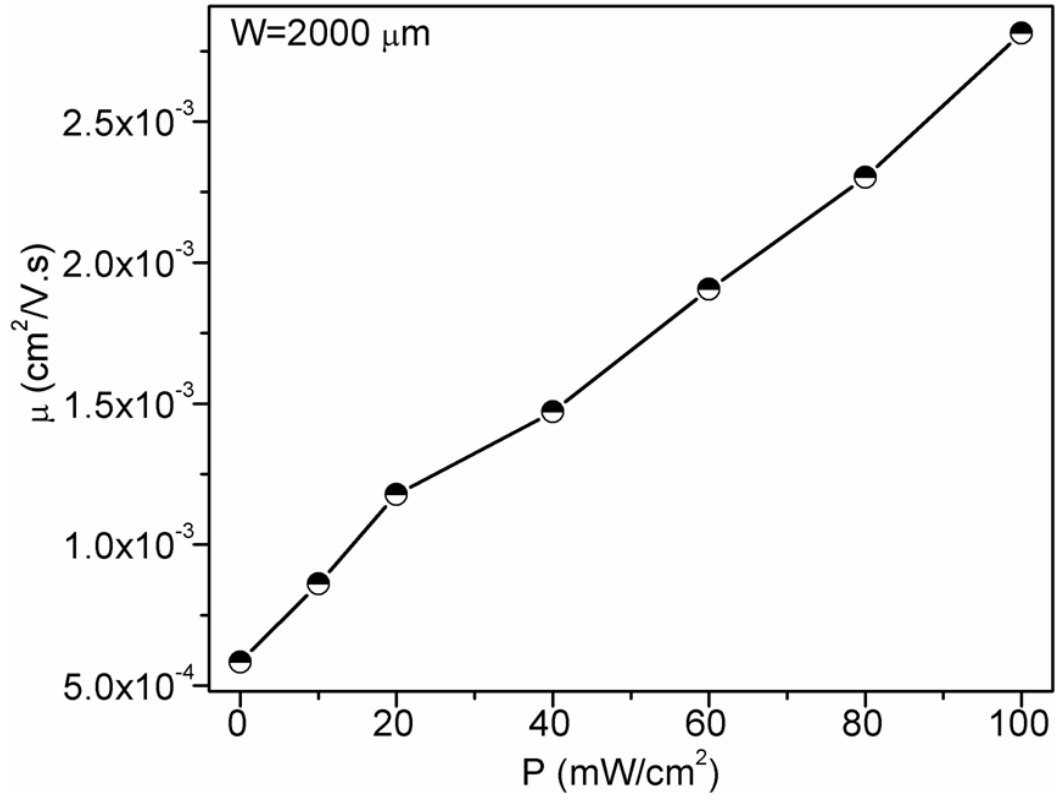
Aydınlatma Şiddeti (mW/cm ²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-3}$	Eşik Voltajı V_{th} (V)	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$) oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
0	0.583	-24.25	1.669	21.568
10	0.861	-23.35	1.689	20.939
20	1.180	-21.1	1.691	19.164
40	1.470	-20.25	1.692	16.341
60	1.910	-18.02	1.694	13.942
80	2.300	-16.75	1.695	13.913
100	2.810	3.1	1.245	10.581

Şekil 7.113(a-b)'de görüldüğü gibi, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat inversiyon bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur.

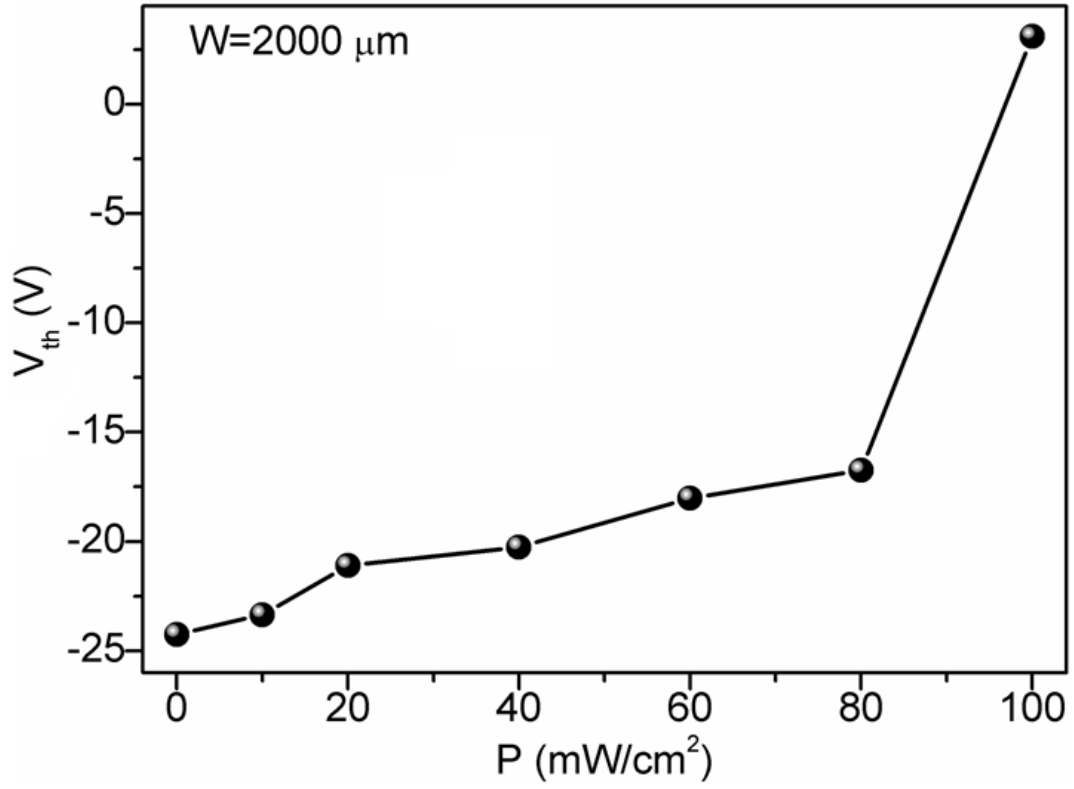
Karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=2000 \mu m$ kanal genişlikli, 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin S ve $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri, Şekil 7.112c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.14'de verildi. Elde edilen S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir. Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} değerleri, denklem (7.6) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.8'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.8'de verildi. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil 7.114(a-b)'de gösterilmektedir.

Tablo 7.15 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm²)	$D_{it} (eV^{-1}cm^{-2}) \times 10^{13}$	$N_{tuzak} (cm^{-2}) \times 10^{12}$
0	2.595	1.822
10	2.506	1.744
20	2.282	1.679
40	1.935	1.517
60	1.642	1.456
80	1.630	1.296
100	1.232	1.204

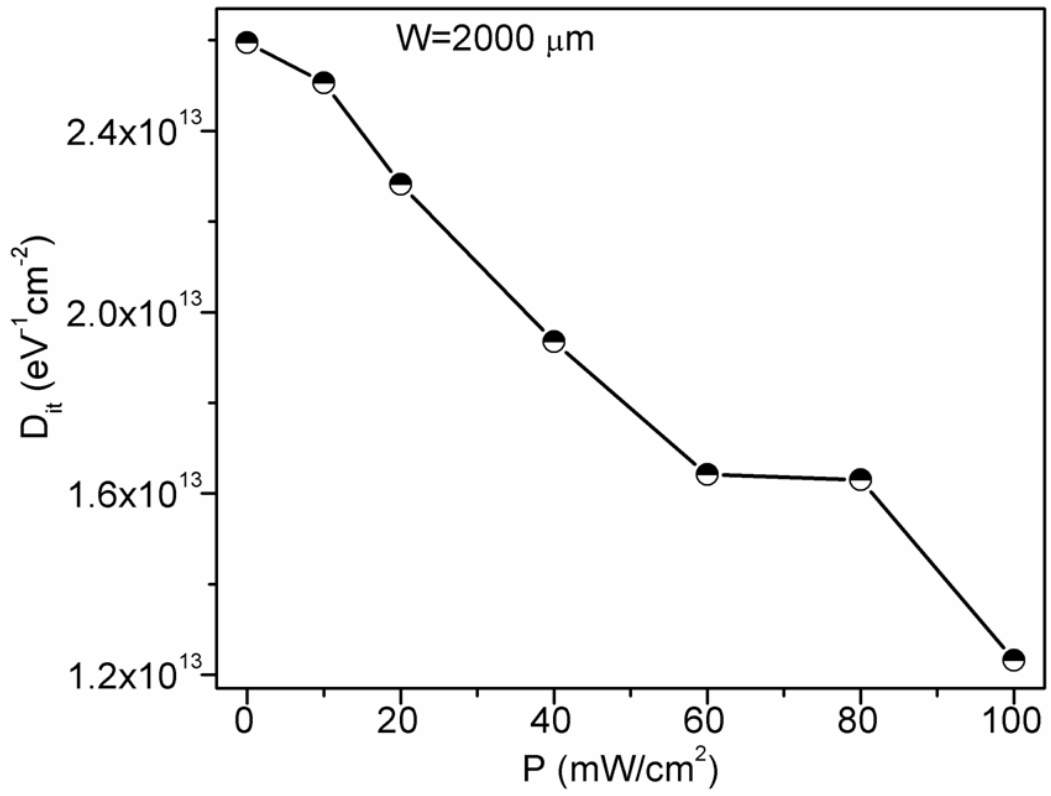


(a)

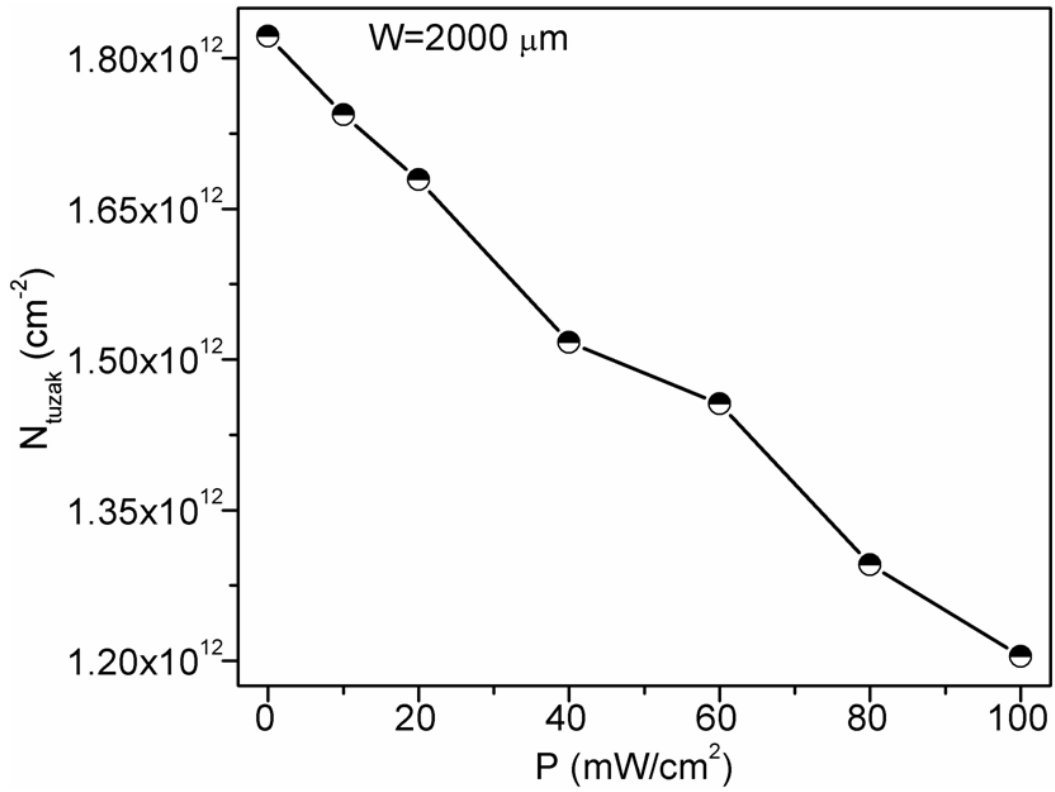


(b)

Şekil 7.113 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi



(a)



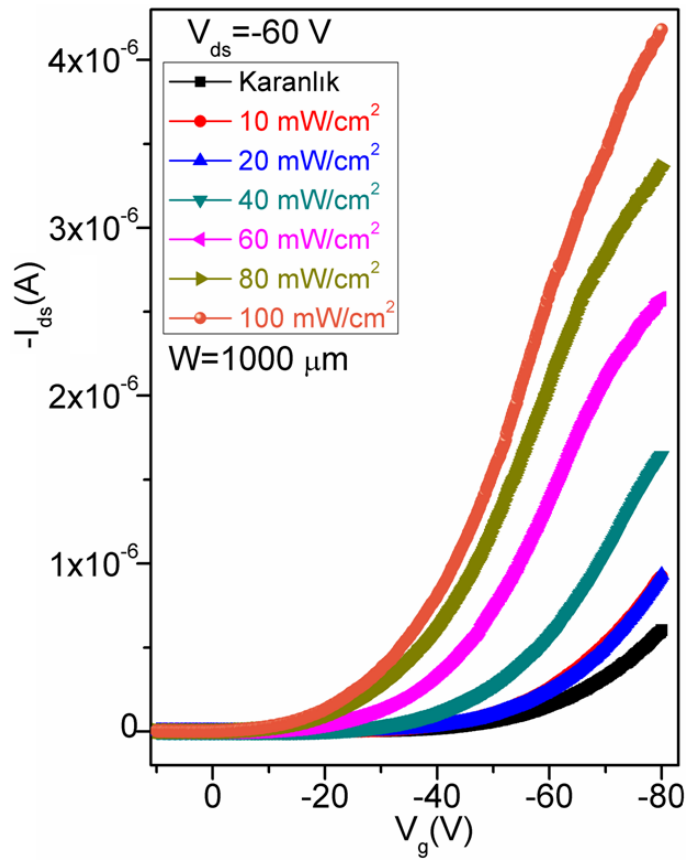
(b)

Şekil 7.114 7.3.2. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

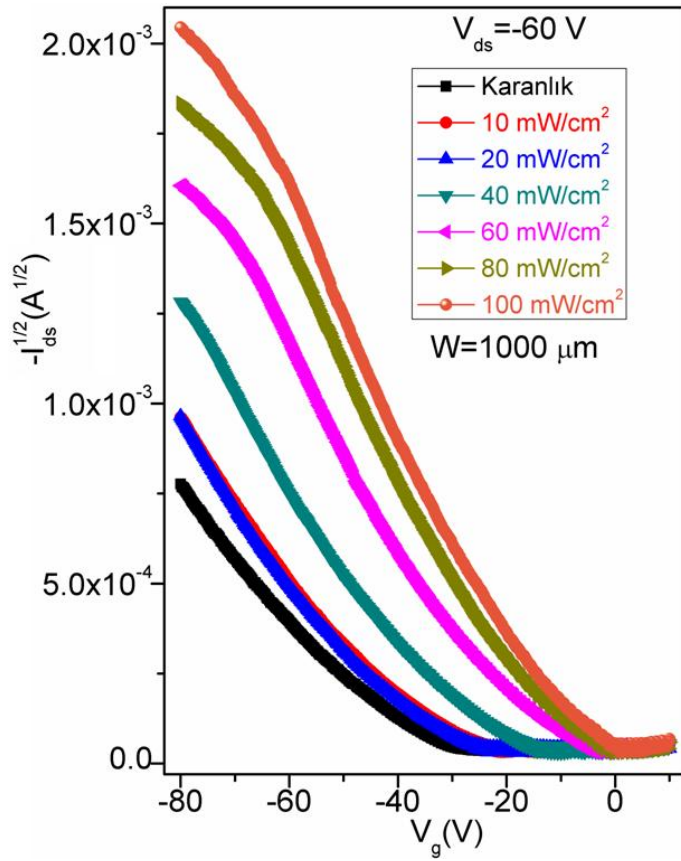
Şekil 7.115(a-c) karanlık-aydınlatma şartları altında $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli, 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin $V_{ds}=-60 \text{ V}$ altında transfer karakteristiklerini göstermektedir. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin karanlık, ve aydınlatma şartları altındaki mobiliteleri ve eşik voltajları, Şekil 7.115b eğrilerinden hesaplandı ve Tablo 7.16'da verildi. Şekil 7.115b'de görüldüğü gibi eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir.

Tablo 7.16 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobiliteler, eşik voltajı, açma/kapama oranı ve alt-eşik salınım değerleri

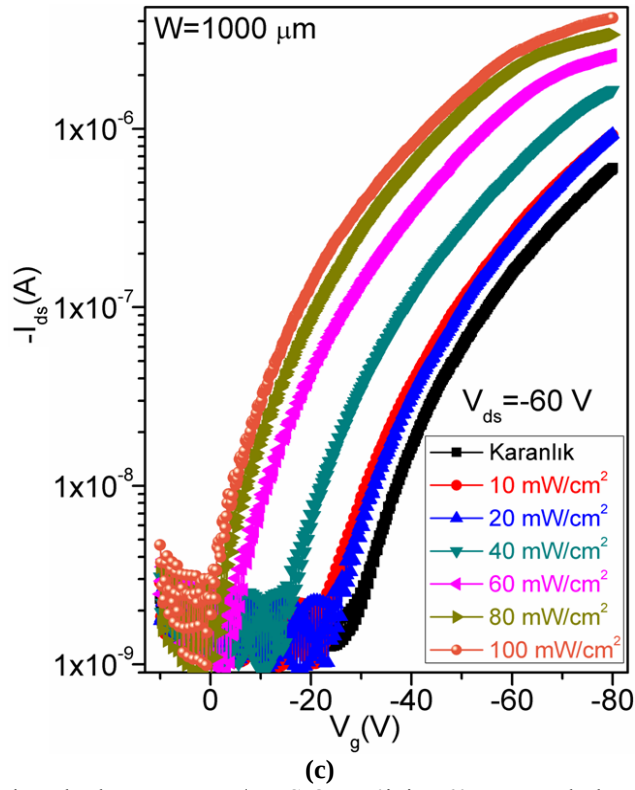
Aydınlatma Şiddeti (mW/cm²)	Mobilite $\mu(\text{cm}^2/\text{Vs}) \times 10^{-2}$	Eşik Voltajı $V_{th} \text{ (V)}$	Açma/kapama ($I_{açma}/I_{kapama}$)oranı $\times 10^3$	S (V/decade)
0	0.575	-38.8	0.479	5.98
10	0.810	-36.55	0.952	5.917
20	1.012	-34.75	1.004	5.524
40	1.290	-32.55	1.804	5.424
60	1.760	-23.4	2.790	5.298
80	1.940	-17.9	3.695	4.944
100	2.503	-16.4	4.223	4.831



(a)



(b)

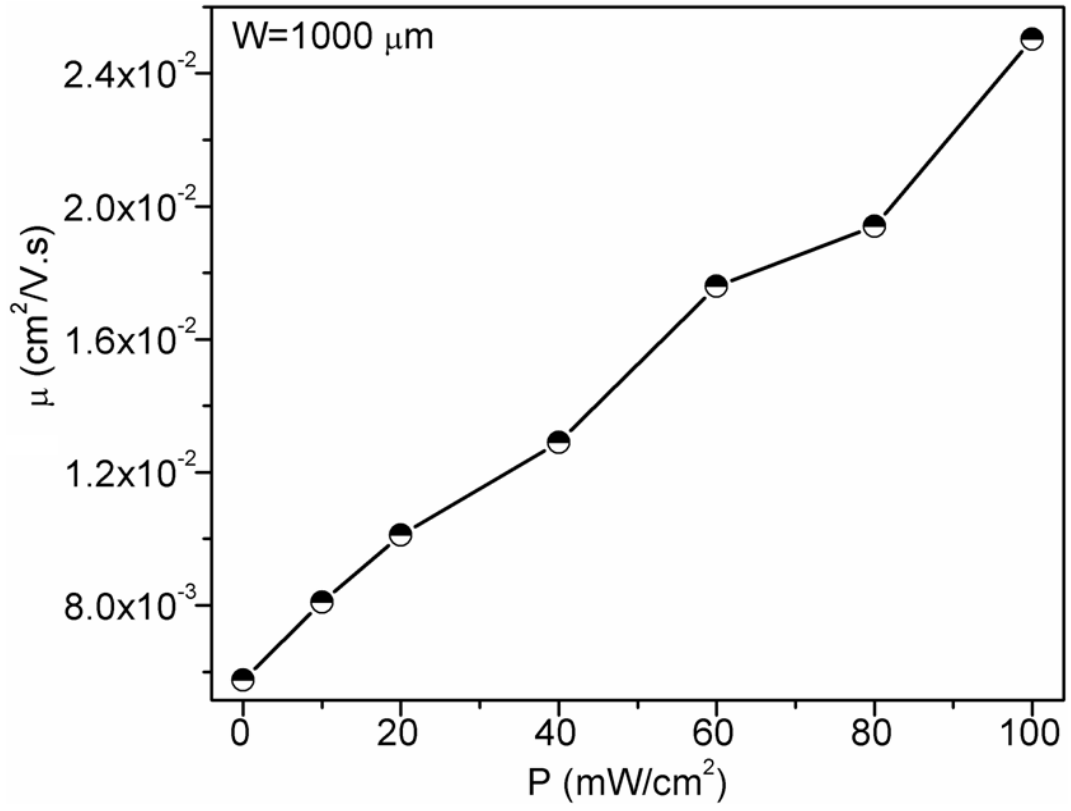


Şekil 7.115 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin -60 V ve aydınlatma şartları altındaki V_g 'ye karşı (a) $-I_{ds}$, (b) $-I_{ds}^{1/2}$ ve (c) $-\log I_{ds}$ grafiği

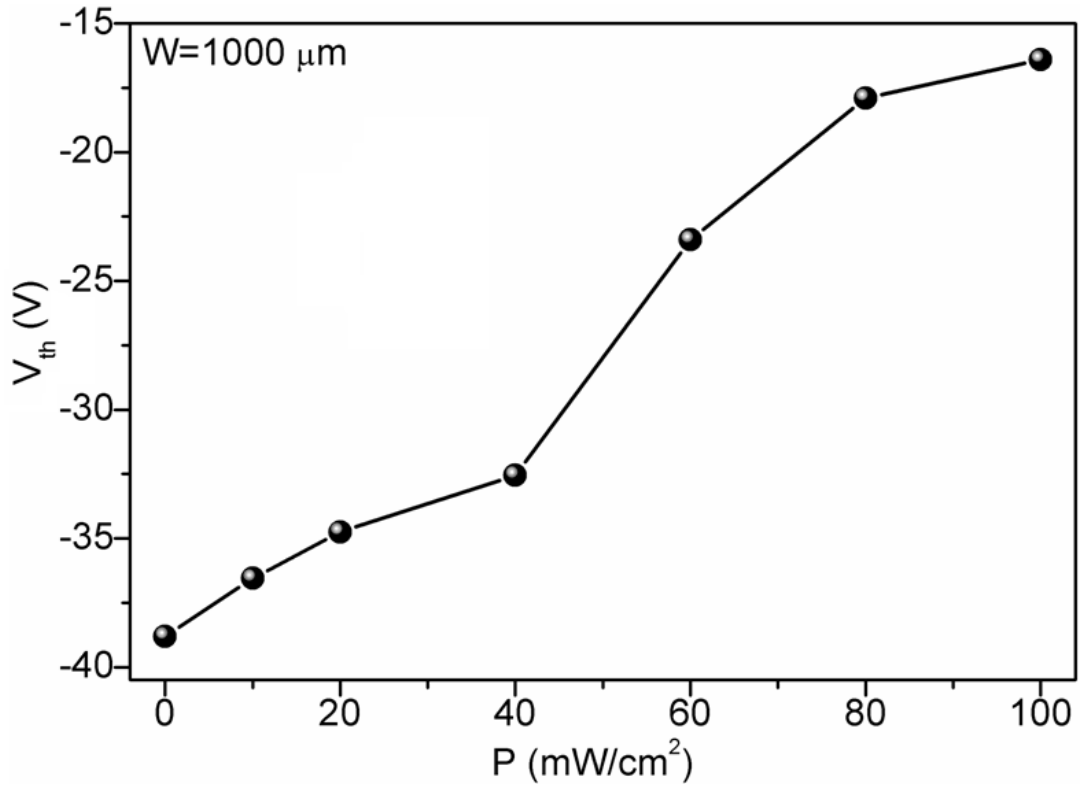
Şekil 7.116(a-b)'de görüldüğü gibi, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilite ve eşik voltajı değerleri, aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'i toplanma bölgesinde çalışır, fakat terslenme bölgesinde çalışmaz, böylece beyaz ışık aydınlatması altındaki V_{th} değeri karanlık altındaki değerden daha yüksek olur.

Karanlık-aydınlatma şartları altında, $W=1000 \mu m$ kanal genişlikli, 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin S ve $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri, Şekil 7.115c grafikleri yardımıyla hesaplandı ve Tablo 7.16'da verildi. Elde edilen S değerleri, daha fazla ışıkla oluşan yüklerden dolayı görünür ışık aydınlatması ile azalmaktadır. Karanlıktaki S değeri, beyaz ışık aydınlatması altındaki S değerinden daha yüksektir.

Karanlık ve beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} değerleri, denklem (7.6) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.17'de verildi. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Beyaz ışık aydınlatmaları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma üzerinde yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı, denklem (7.7) kullanılarak hesaplandı ve Tablo 7.17'de verildi. p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı D_{it} ve N_{tuzak} grafiği, Şekil 7.117(a-b)'de gösterilmektedir.

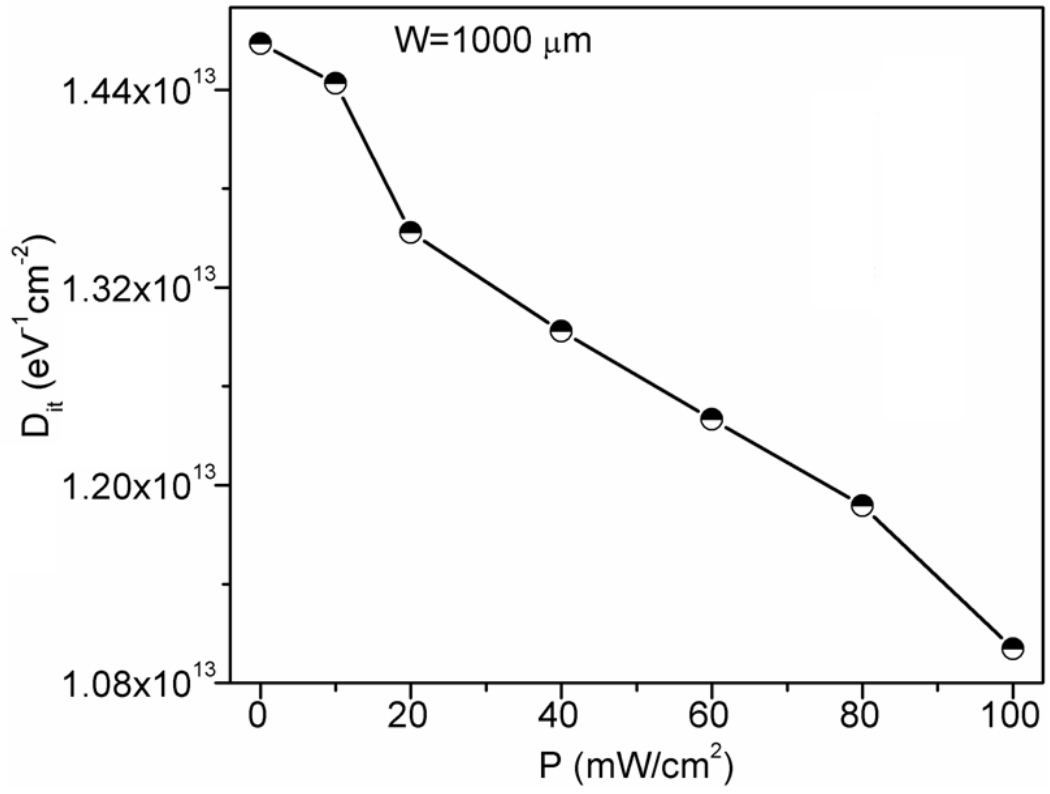


(a)

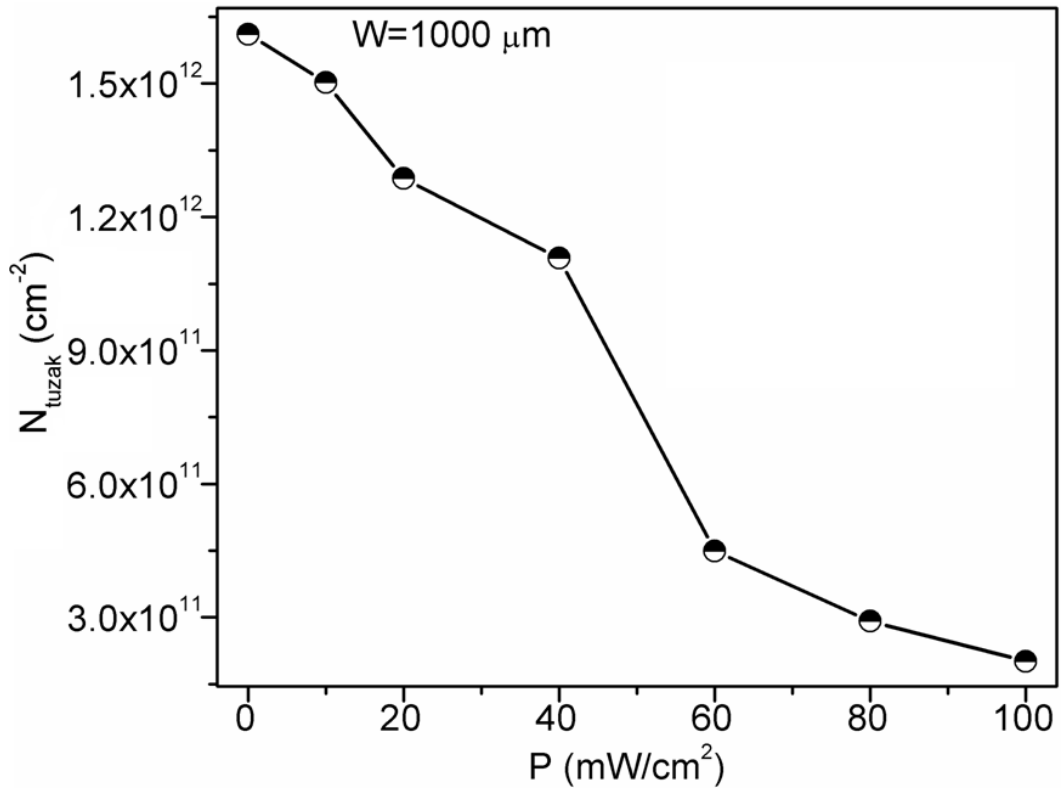


(b)

Şekil 7.116 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) mobilite ve (b) eşik voltajı değişimi



(a)



(b)

Şekil 7.117 7.3.3. kısmında anlatılan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin aydınlatma şiddetine karşı (a) D_{it} ve (b) N_{tuzak} grafiği

Tablo 7.17 Karanlık-aydınlatma şartları altında p-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin D_{it} ve N_{tuzak} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (mW/cm²)	D_{it} (eV⁻¹cm⁻²)x10¹³	N_{tuzak} (cm⁻²)x10¹²
0	1.468	1.611
10	1.444	1.503
20	1.353	1.287
40	1.293	1.107
60	1.240	0.449
80	1.188	0.291
100	1.101	0.201

Elde edilen sonuçlar, dielektrik tabakası tipinin ve kalınlığının ve pentasen ve TIPS aktif tabakanın, pentasen ve TIPS OFET'lerinin fotoalgılama özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. SiO₂ dielektrik tabakasına sahip pentasen ve TIPS aktif kanalı üzerine 365 nm'lik UV ışığı maruz bırakıldığı zaman, ışıkla uyarılan taşıyıcılardan dolayı, karanlık akımının önemli ölçüde artırıldığı bulundu.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, organik alan etkili transistör (OFET)'lerin hazırlanmasında aktif tabaka olarak kullanılan pentasen ve pentasen türevi 6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletkenleri, termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak cam altlık üzerine kaplanarak, filmlerin optik özellikleri incelendi.

Pentasen esaslı organik alan etkili transistörler; farklı silisyum altlıkları üzerine termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı, sol-jel yöntemiyle elde edilen geçit yalıtkanı ve termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle elde edilen ikinci bir geçit yalıtkanı kullanılmak üzere üç farklı geçit yalıtkan tabakası üzerine hazırlandı. Sol-jel yöntemi kullanılarak elde edilen SiO_2 ve BaTiO_3 oksit jelleri ile silisyum altlıkları üzerine geçit yalıtkan tabakalar oluşturularak organik alan etkili transistör (OFET)'ler hazırlandı. Satın alınan termal yolla büyütülen SiO_2 geçit yalıtkan tabakalı silisyum altlıkları üzerine, sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al_2O_3 oksit yalıtkan tabakası kaplanarak, iki farklı organik alan etkili transistör (OFET) hazırlandı. Pentasen türevi 6,13-Bis (triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) organik yarıiletkeni, klorobenzen çözücüsünden iyice çözülerek, silisyum altlıkları üzerine çözünebilir-işlemleri yöntemle spin-kaplama yapılarak ve farklı iki kalınlıkta termal buharlaştırma yöntemiyle kaplanarak, toplamda üç farklı TIPS esaslı OFET hazırlandı.

Hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'lerde oksit tabakası üzerine kaplanan pentasen ve pentasen türevi TIPS filminin yüzey morfolojisi, bir atomik kuvvet mikroskop (AFM)'u kullanılarak araştırıldı. *Hazırlanan OFET'lerdeki pentasen ve TIPS filmlerinin yapısal özellikleri sonuçlarına göre:* Hazırlanan OFET'lerin pentasen ve pentasen türevi (TIPS) filminin AFM görüntülerinden Park System XEI paket programı kullanılarak elde edilen tane boyutu ve pürüzlülükleri hesaplandı. Pürüzlülük ve tane boyut parametreleri, OTFT'lerin elektriksel performansını etkilemektedir. Pürüzlülük ve tane boyut parametreleri, transistörün mobilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Transistörün daha yüksek mobilitesi, dielektrik tabaka üzerine kaplanan pentasen veya TIPS filminin yapısına atfedilmektedir. Pentasen ve TIPS'ın yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutu, yüksek mobiliteli transistörlerde daha küçüktür.

Farklı kanal genişlikleri, oksit tipleri, oksit kalınlıkları, kaplama metodları, aktif organik tabaka (pentasen ve TIPS) kalınlıkları kullanılarak hazırlanan organik alan etkili transistör (OFET)'lerin performans (çıkış ve transfer) karakteristikleri, karanlık ve aydınlatma şartları altında araştırıldı. Ayrıca, aktif tabakası (TIPS) sol-jel yöntemiyle kaplanan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin fotoduyarlılık özellikleri, 365 nm ile yüksek şiddetli bir UV ışığı altında araştırıldı.

Hazırlanan farklı pentasen esaslı ve pentasen türevi 6,13-Bis (triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) esaslı organik alan etkili transistör (OFET)'lerin çıkış karakteristikleri; kanal genişliği, oksit kalınlığı, oksit tipi, aydınlatma şiddeti ve aktif tabaka kalınlığı gibi üretim şartları değiştirilerek ayrı ayrı incelendi.

Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristikleri sonuçlarına göre: kanal (D) akımı, negatif kanal voltajı ile artmakta ve transistörün aktif kanalının kısıtılmasından dolayı bir doyuma ulaşmaktadır. Böylece, hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristikleri lineer (daha düşük voltajlarda) ve doyum bölgelerine sahip olduğu görüldü. Hazırlanan pentasen ve pentasen türevi TIPS esaslı OFET'lerin negatif voltajlar ile kanal (D) akımındaki artıştan dolayı iyi kontrol edilebilen bir geçit ile p-tipi OFET karakteristikleri sergiledikleri, yani OFET'lerin tipik olarak p-kanal çalışma modunda çalıştığı görüldü. Böylece, hazırlanan OFET aygıtları, toplanma modunda çalışıp ve p-kanal karakteristikleri gösterdiği görüldü. Sol-jel yöntemiyle elde edilen geçit yalıtkan tabakalı n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in transistör performansının, 7.2.1.1. ve 7.2.1.2. de anlatılan termal yolla büyütülen geçit yalıtkan tabakalı n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin transistör performansından daha düşük olduğu görüldü. n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'in doyum bölgesi daha küçük geçit voltajlarında daha belirgin bir şekilde görülürken daha yüksek geçit voltajlarında hemen hemen lineer bir davranış özelliği sergilemektedir. n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı 0'dan -5 V'a kadar değişirken kanal akımı bu çalışmadaki tüm OFET'lerin kanal akımından çok daha büyük olup 10⁻³ A mertebesine kadar yükselmektedir. Sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkan tabakalı n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'i, bu çalışmadaki tüm OFET'lere göre daha düşük kanal-kaynak voltajlarında ve geçit voltajlarında çalışmakta ve kanal akımları çok daha yüksektir. Bu durum da, sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkan tabakalı bu OFET'in transistör performansının, bu çalışmadaki tüm OFET'lerin transistör performansından daha yüksek olduğunu göstermektedir, dolayısıyla bu transistörün

performansının yüksek olmasından dolayı, en iyi transistör olduğu görülmektedir. Farklı kanal genişliklerindeki p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin çıkış karakteristikleri, geçit voltajı $V_g = -100$ V'ta, kanal genişliği arttıkça kanal akımı pentasen esaslı OFET'lerinin aksine azalmaktadır. Ayrıca pentasen esaslı OFET'lere göre, pentasen türevi TIPS esaslı OFET'ler daha yüksek kaynak/kanal ve geçit voltajlarında çalışmaktadırlar. Bir diğer önemli özellik, çözünabilir-işlemleri spin-kaplama yöntemi kullanılarak kaplanan pentasen türevi TIPS ile hazırlanan OFET, termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak kaplanan pentasen türevi TIPS ile hazırlanan OFET'lerin transistör karakteristiklerinden daha iyi performans sergileyip, daha düşük kaynak/kanal ve geçit voltajlarında çalışmaktadırlar.

Pentasen türevi TIPS filminin kalınlığı azaldıkça, kanal akımının çok az düştüğü ve transistörün çıkış karakteristiğinin daha kararlı olduğu görüldü.

Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine kanal genişliği (W) etkisi de incelendi. *Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine kanal genişliği (W) etkisi sonuçlarına göre:* n-Si/SiO₂/Pentasen, p-Si/SiO₂/Pentasen ve p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'leri için, genel olarak kanal genişliğinin artmasıyla kanal akımının da arttığı görüldü. Ancak, p-Si/SiO₂/TIPS OFET'leri için, kanal genişliği arttıkça kanal akımı pentasen esaslı OFET'lerinin aksine azalmaktadır.

Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine oksit kalınlığının etkisi de incelendi. *Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine oksit kalınlığının etkisi sonuçlarına göre:* 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin W=500 ve 1000 μ m için $V_g = -10$ V'taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin (W=500 ve 1000 μ m için) aynı geçit voltajındaki kanal akımından çok daha büyük olduğu görüldü. Benzer şekilde, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin W=500 ve 1000 μ m için $V_g = -20$ V'taki kanal akımı, 300 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin (W=500 ve 1000 μ m için) aynı geçit voltajındaki kanal akımından daha büyüktür. Bu durum, diğer üretim şartlarına da bağlı olmakla beraber oksit kalınlığı arttıkça kanal akım değerinin azaldığını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, OFET'lerin hazırlanması için, geçit oksit (yalıtkan/dielektrik) tabaka olarak: Termal olarak büyütülen (satın alınan ve hazırlanan) SiO₂, sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ ve BaTiO₃, termal yolla ve sol-jel yöntemiyle oluşturulan SiO₂/Al₂O₃ olmak üzere 5 farklı oksit tabakası kullanıldı. Farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET'lerde, oksit tipinin çıkış karakteristikleri üzerinde etkili olduğu görüldü. *Hazırlanan*

OFET'lerin çıkış karakteristiklerine oksit tipinin etkisi sonuçlarına göre: Termal yolla büyütülen (hazır alınan) SiO₂ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin V_g=-10 V'taki kanal akımı değeri (-3x10⁻⁷ A), termal yolla ve sol-jel yöntemiyle büyütülen SiO₂/Al₂O₃ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin V_g=-10 V'taki kanal akımı değeri (-3.5x10⁻⁸ A)'nden büyük, sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ oksit tabakalı, W=1000 µm kanal genişliğine sahip n-Si/ BaTiO₃/Pentasen OFET'inin V_g=-5 V'taki kanal akımı değeri (-2x10⁻³ A)'nden küçüktür. Böylece, BaTiO₃ oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/ BaTiO₃/Pentasen OFET'in en yüksek kanal akım değerine sahip olduğu, SiO₂/Al₂O₃ oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'in ise en düşük kanal akım değerine sahip olduğu görüldü. Çift oksit tabaka (SiO₂/Al₂O₃)'sının OFET'in çıkış karakteristikleri üzerinde etkili olduğu apaçık görülmektedir.

Hazırlanan pentasen ve pentasen türevi TIPS esaslı organik alan etkili transistörlerin fotoduyarlılık (fotoalgılama) özellikleri araştırıldı. *Hazırlanan OFET'lerin çıkış karakteristiklerine aydınlanmanın etkisi sonuçlarına göre:* Transistörlerin fotoduyarlılık özellikleri, fotovoltaiik ve fotoduyarlılık etkilerinin transistörün aktif tabakasında yer aldığını göstermektedir. Aydınlatma şiddetlerinin artmasıyla, kontak direncinin Ag/pentasen'in ve Ag/TIPS'in etkisini azaltmaktadır. Böylece, aydınlatma şiddeti arttıkça, kanal akımında arttığı görüldü. Hazırlanan OFET'lerin aydınlatma şiddeti arttıkça, fotoduyarlılıklarının arttığı görüldü.

Hazırlanan farklı pentasen esaslı ve pentasen türevi 6,13-Bis (triisopropylsilylethynyl) pentasen (TIPS) esaslı organik alan etkili transistör (OFET)'lerin transfer karakteristikleri; kanal genişliği, oksit kalınlığı, oksit tipi, aydınlatma şiddeti ve aktif tabaka kalınlığı gibi üretim şartları değiştirilerek ayrı ayrı incelendi. *Hazırlanan OFET'lerin transfer karakteristikleri sonuçlarına göre:* W=500, 1000, 1500 ve 2000 µm kanal genişlikli 7.2.1.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin mobiliteleri, 6.104x10⁻² ile 2.122x10⁻² cm²/Vs aralığında değişmektedir. Çalışılan transistörün, daha küçük S değeri ile daha iyi performans sergiledikleri görüldü. W=500 µm kanal genişlikli 7.2.1.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilitesi 1.26x10⁻² cm²/Vs olarak hesaplandı. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin bu mobilite değeri, 7.2.1.1 kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin aynı kanal genişliğindeki mobilite değerinden daha küçüktür. 7.2.1.1 kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen

OFET'inin oksit (yalıtkan) tabakası 7.2.1.2 kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin oksit (yalıtkan) tabakasından daha iyi performans sergilemektedir. W=500 ve 1000 µm kanal genişlikli 7.2.1.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerinin mobiliteleri sırasıyla 1.21×10^{-2} ve 3.25×10^{-2} cm²/Vs olarak hesaplandı. W=2500 µm kanal genişlikli 7.2.2.1. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'inin mobilitesi 5.173×10^{-4} cm²/Vs olarak hesaplandı. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'in bu mobilite değeri, termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin mobilite değerlerinden daha yüksektir. Bu durum, termal yolla büyütülen SiO₂ geçit tabakasının sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ geçit tabakasına göre, n-Si/SiO₂/pentasen OFET'i için daha iyi performans sağladığını göstermektedir. W=1000 µm kanal genişlikli 7.2.2.2. kısmında anlatılan sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'inin mobilitesi 41.171 cm²/Vs olarak hesaplandı. n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'in bu mobilite değeri, çok yüksek olup, bu çalışmada hazırladığımız OFET'ler içerisinde en yüksek mobilite değerine sahiptir ve en iyi transistör performans özelliği sergilemektedir. Burada, oksit tipinin yüksek dielektrik sabitine sahip olan BaTiO₃ geçit yalıtkan tabakanın kullanılmasıyla çok iyi OFET'lerin elde edilebileceği görüldü. Yani transistörlerin çok daha düşük S değeri ile çok daha iyi performans sergiledikleri görüldü. W=500 ve 1000 µm kanal genişlikli 7.2.3.1. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin mobiliteleri sırasıyla 4.132×10^{-3} ve 5.99×10^{-3} cm²/Vs olarak hesaplandı. W=500, 1000, 1500 ve 2000 µm kanal genişlikli 7.2.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı üzerine sol-jel yöntemiyle oluşturulan Al₂O₃ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'lerinin mobiliteleri 1.911×10^{-3} ile 5.797×10^{-3} cm²/Vs aralığında değişmektedir. W=1000 µm kanal genişlikli 7.3.1. kısmında anlatılan n-Si/SiO₂/TIPS OFET'inin mobilitesi 3.518×10^{-2} cm²/Vs olarak hesaplandı. W=1000, 1500 ve 2000 µm kanal genişlikli 7.3.2. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin mobiliteleri 0.583×10^{-3} ile 2.734×10^{-3} cm²/Vs aralığında değişmektedir. W=500 ve 1000 µm kanal genişlikli 7.3.3. kısmında anlatılan termal yolla büyütülen SiO₂ geçit yalıtkanı ile hazırlanan p-Si/SiO₂/TIPS OFET'lerinin mobiliteleri sırasıyla 1.159×10^{-2} ve 5.755×10^{-3} cm²/Vs olarak hesaplandı. *Kanal genişliği (W)'nin hazırlanan OFET'lerin*

transfer karakteristiklerine etkisi sonuçlarına göre: $W=2000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/pentasen OFET'i hariç, kanal genişliği arttıkça mobilite değeri azalmaktadır. n-Si/SiO₂/pentasen OFET'lerin kanal genişlikleri değiştikçe eşik voltajları ve açma/kapama oranları değişmektedir. $1000 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin mobilitesi, $500 \mu\text{m}$ kanal genişlikli n-Si/SiO₂/Al₂O₃/pentasen OFET'inin mobilitesinden büyüktür. Ayrıca kanal genişliği arttıkça, eşik voltajı giderek sıfıra yaklaşmaktadır. Böylece, kanal genişliğinin de OFET'lerin transfer karakteristikleri ve transistör performans parametreleri üzerinde etkili olduğu görüldü.

Oksit kalınlığının hazırlanan OFET'lerin transfer karakteristiklerine etkisi sonuçlarına göre: 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($6.104 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($1.21 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için S değeri (2.84), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) S değeri (5.754)'nden daha küçüktür. Benzer şekilde, 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin $W=1000 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($4.491 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin ($W=1000 \mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($3.25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=500 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($4.132 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=500 \mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($4.071 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. 100 nm oksit kalınlığına sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin $W=1000 \mu\text{m}$ için mobilite değeri ($5.99 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$), 300 nm oksit kalınlığına sahip p-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen OFET'inin ($W=1000 \mu\text{m}$ için) mobilite değeri ($2.071 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyüktür. Böylece, dielektrik (oksit) tabakasının kalınlığının, transistörlerin performansı üzerinde etkin parametre olduğu görüldü. Geçit tabakasının kalınlığındaki düşüş, yük taşıma karakteristiklerini artırmaktadır.

Oksit tipinin hazırlanan OFET'lerin transfer karakteristiklerine etkisi sonuçlarına göre: Farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET'lerde, oksit tipinin transfer karakteristikleri üzerinde etkili olduğu görüldü. Termal yolla büyütülen (hazır alınan) SiO₂ oksit tabakalı, $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin tüm kanal genişliklerindeki mobilite değerleri (Tablo 7.3), yalıtkan tabakası sol-jel yöntemiyle hazırlanan n-Si/SiO₂/Pentasen OFET'inin mobilitesi ($5.173 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden çok daha büyük, termal yolla ve sol-jel yöntemiyle büyütülen SiO₂/Al₂O₃ oksit tabakalı, $W=1000 \mu\text{m}$ kanal genişliğine sahip n-Si/SiO₂/Al₂O₃/Pentasen

OFET'inin mobilitesi ($5.99 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden büyük, sol-jel yöntemiyle elde edilen BaTiO₃ oksit tabakalı, W=1000 μm kanal genişliğine sahip n-Si/ BaTiO₃/Pentase OFET'inin mobilitesi ($41.171 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)'nden çok daha küçüktür. Böylece, BaTiO₃ oksit tabaka ile hazırlanan n-Si/ BaTiO₃/Pentase OFET'in en yüksek mobilite değerine sahip olduğu, yalıtkan tabakası sol-jel yöntemiyle hazırlanan n-Si/SiO₂/Pentase OFET'in en düşük mobilite değerine sahip olduğu görüldü. *Aydınlanmanın hazırlanan OFET'lerin transfer karakteristiklerine etkisi sonuçlarına göre:* OFET'lerin mobilite, eşik voltajı, (I_{ph}/I_{dark}) (açma-kapama) oranı ve S değerleri gibi elektriksel parametreler, görünür ışık aydınlatması ile değiştirildi. Fotoaktif durumda, kanalın iletkenliği ışıkla oluşan yüklerden dolayı aydınlatma ile artmaktadır. Eşik voltajı, beyaz ışık aydınlatması ile daha düşük değerden daha yüksek değere değişmektedir. Bu, transistörün eşik voltajının, beyaz ışık aydınlatmaları altında arttığını göstermektedir. Mobilite ve eşik voltajı değerleri aydınlatma şiddeti ile artmaktadır. Eşik voltajlarındaki değişim ve mobilite değerlerindeki artış, görünür ışık ile taşıyıcı yüklerin oluşmasıyla açıklanır. Bu, transistörlerin elektronik devrelere entegrasyonu için gereklidir. Sonuç olarak, ışığa duyarlı OFET'ler üretildi ve bu OFET'ler foto OFET (fototransistör) olarak kullanılabilirler. Elde edilen verilere göre, daha düşük D_{it} değerinin, en yüksek mobiliteye sebep olduğunu göstermektedir. Aydınlatma şiddeti arttıkça, OFET'lerin yüzey birim başına yük taşıyıcıların sayısı N_{tuzak} ve alt-eşik salınım S değerleri azalmaktadır. Arayüzey tuzak yoğunluğu D_{it} , fotoakıma katkı sağlayan aydınlatma ile azalmaktadır.

9. ÖNERİLER

Bu çalışmalara ilaveten aşağıdaki çalışmalar yapılabilir:

- Üretilen transistörlerin sıcaklığa bağlı elektriksel parametreleri araştırılabilir.
- Özellikle, mobilitesi çok yüksek olarak elde edilen n-Si/BaTiO₃/Pentaseen transistörü olmak üzere, üretilen tüm OFET'lerin teknolojiye ve sanayide kullanımı sağlanabilir.
- Üretilen transistörlerin performansı, başka üretim şartları değiştirilerek daha çok geliştirilebilir.
- Sol-gel yöntemiyle farklı geçit dielektrik malzemeler oluşturularak, yüksek performanslı transistörler üretilebilir.
- Tüm transistörlerin ayrıntılı mikro yapı incelemeleri, geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) ile daha detaylı olarak yapılabilir.
- Aktif tabaka olarak kullanılan pentaseen ve pentaseen türevi TIPS organik yarıiletken malzemesi yerine başka yüksek verimli organik yarıiletken malzemeler kullanılarak, transistörlerin performansı geliştirilebilir.
- Aktif tabaka olarak kullanılan pentaseen türevi TIPS organik yarıiletken malzemesi yerine pentaseenin başka türevleri kullanılarak, transistörlerin performansı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yakuphanoglu, F., Caglar, M., Caglar, Y. and Ilican, S.,** 2010. Improved mobility of the copper phthalocyanine thin-film transistor, *Synthetic Metals*, **160**, 1520–1523.
- [2] **Kumaki, D., Umeda, T., Suzuki, T. and Tokito, S.,** 2008. High-mobility bottom-contact thin-film transistor based on anthracene oligomer, *Org. Electron*, **9**, 921.
- [3] **Zhang, M., Tsao, H.N., Pisula, W., Yang, C., Mishra, A.K. and Müllen, K.,** 2007. Field-effect transistors based on a benzothiadiazole-cyclopentadithiophene copolymer, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 3472.
- [4] **Sirringhaus, H.,** 2005. Device physics of solution-processed organic field-effect transistors, *Adv. Mater.*, **17**, 2411.
- [5] **Dimitrakopoulos, C.D. and Malenfant, P.R.L.,** 2002. Organic thin film transistors for large area electronics, *Adv. Mater. (Weinheim, Germany)*, **14**, 99.
- [6] **Katz, H.E. Bao, Z. and Gilat, S.L.,** 2001. Synthetic chemistry for ultrapure, processable, and high-mobility organic transistor semiconductors, *Acc. Chem. Res.*, **34**, 359.
- [7] **Facchetti, M.-H. Yoon, and Marks, T.J.,** 2005. Gate dielectrics for organic field-effect transistors: new opportunities for organic electronics, *Adv. Mater.*, **17**, 1705.
- [8] **Zhang, Y., Petta, J.R., Ambily, S., Shen, Y., Ralph, D.C. and Malliaras, G.G.,** 2003. 30 nm Channel Length Pentacene Transistors, *Adv. Mater.*, **15**, 1632.
- [9] **Klauk, H., Halik, M., Zschieschang, U., Schmid, G. and Radlik, W.,** 2002. High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors, *J. Appl. Phys.*, **92**, 5259.
- [10] **Jurchescu O.D., Baas, J. and Palstra, T.T.M.,** 2004. Effect of impurities on the mobility of single crystal pentacene, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 3061.
- [11] **Gao, P., Beckmann, D., Tsao, H.N., Feng, X., Enkelmann, V., Baumgarten, M., Pisula, W. and Mullen, K.,** 2009. Dithieno[2,3-d;20,30-d0]benzo[1,2-b;4,5-b0]dithiophene (DTBDT) as Semiconductor for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors, *Adv. Mater.*, **21**, 213.
- [12] **Umeda, T., Kumaki, D. and Tokito, S.,** 2009. Surface-energy-dependent field-effect mobilities up to 1 cm²/Vs for polymer thin-film transistor, *J. Appl. Phys.*, **105**, 024516.

- [13] **Nelson, S.F., Lin, Y.-Y., Gundlach, D.J., and Jackson, T.N.,** 1998. Temperature-independent transport in high-mobility pentacene transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 1854.
- [14] **Halik, M., Klauk, H., Zschieschang, U., Schmid, G., Radlik, W., Ponomarenko, S., Kirchmeyer, S., and Weber, W.,** 2003. High-mobility organic thin film transistors based on a,a'-Didecyloligothiophenes, *J. Appl. Phys.*, **93**, 2977.
- [15] **Mcculloch, M., Heeney, C., Bailey, K., Genevicius, I., Macdonald, M., Shkunov, D., Sparrowe, S., Tierney, R., Wagner, W., Zhang, M.L., Chabinyc, R.J., Kline, M.D. and McGehee, M.F., Toney,** 2006. Liquid-Crystalline Semiconducting Polymers with High-Charge Carrier Mobility, *Nat. Mater.*, **5**, 328.
- [16] **Chen, M.-C., Kim, C., Chen, S.-Y., Chiang, Y.-J., Chung, M.-C., Facchetti, A. and Marks, T.J.,** 2008. Fuctionalized Anthradithiophenes for Organic Field-Effect Transistors, *J. Mater. Chem.*, **18**, 1029.
- [17] **Yakuphanoglu, F. and Farooq, W. A.,** 2011. Threshold voltage control of 2,3 benzanthracene organic thin-film transistor by visible light for integration of transistors into electronic circuits, *Synthetic Metals*, **161**, 51–55.
- [18] **Noh, Y.Y. Kim, D.Y. Yoshida, Y. Yase, K. Jung, B.J. Lim, E. et al.,** 2005. High-photosensitivity p-channel organic phototransistors based on a biphenyl end-capped fused bithiophene oligomer, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 043501.
- [19] **Hamilton, M.C., Martin, S. and Kanicki, J.,** 2004. Thin-Film Organic Polymer Phototransistors, *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **51**, 877.
- [20] **Podzorov, V. and Gershenson, M.E.,** 2005. Photo-induced charge transfer at the interface between organic molecular crystals and polymers, *Phys. Rev. Lett.*, **95**, 016602.
- [21] **Narayana, K.S. and Kumar, N.,** 2001. Light responding polymer field effect transistors , *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 1891.
- [22] **Zhou, L. and Wanga, A., Wu, S.-C., Sun, J., Park, S. and Jackson, T.N.,** 2006. All-organic active matrix flexible display, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 083502.
- [23] **Zschieschang, U., Klauk, H., Halik, M., Schmid, G. and Dehm, C.,** 2003. Flexible Organic Circuits with Printed Gate Electrodes, *Adv. Mater.*, **15**, 1147.
- [24] **Fix, W., Ullmann, A., Ficker, J. and Clemens, W.,** 2002. Fast polymer integrated circuits, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 1735.

- [25] **Klauk, H., Halik, M., Zschieschang, U., Eder, F., Schmid, G. and Dehm, C.,** 2003. Pentacene Organic Transistors and Ring Oscillators on Glass and on Flexible Polymeric Substrates, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 4175.
- [26] **Kitamura, M. Imada, T. and Arakawa, Y.,** 2003. Organic light-emitting diodes driven by pentacene-based thin-film transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 3410.
- [27] **Sheraw, C.D., Zhou, L., Huang, J.R., Gundlach, D.J., Jackson, T.N., Kane, M.G., Hill, I.G., Hammond, M.S., Campi, J., Greening, B.K., Francl, J. and West, J.,** 2002. Organic Thin-Film Transistor-Driven Polymer-Dispersed Liquid Crystal Displays on Flexible Polymeric Substrates, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 1088.
- [28] **Klauk, H., Gundlach, D.J., Bonse, M., Kuo, C.-C. and Jackson, T.N.,** 2000. A reduced complexity process for organic thin film transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 1692.
- [29] **Dimitrakopoulos, C.D., Brown, A.R. and Pomp, A.,** 1996. Molecular beam deposited thin films of pentacene for organic field effect transistor applications, *J. Appl. Phys.*, **80**, 2501.
- [30] **Necliudov, P.V., Shur, M.S., Gundlach, D.J. Jackson, T.N.,** 2000. Modeling of organic thin film transistors of different designs, *J. Appl. Phys.*, **88**, 6594.
- [31] **Schon, J.H., Kloc, Ch. and Batlogg, B.,** 2002. Retraction: Low-temperature transport in high-mobility polycrystalline pentacene field-effect transistors, *Phys. Rev. B*, **66**, 249907.
- [32] **Klauk, H., Gundlach, D.J., Nichols, J.A. and Jackson, T.N.,** 1999. Pentacene Organic Thin Film Transistors for Circuit and Display Applications, *IEEE Trans. Electron Devices*, **46**, 1258.
- [33] **Klauk, H., Gundlach, D.J. and Jackson, T.N.,** 1999. Fast Organic Thin Film Transistor Circuits, *IEEE Electron Device Lett.*, **20**, 289.
- [34] **Hwang, D.K., Choi, J-M., Lee, K., Park, J. H., Kim, E. and Im, S.,** 2008. Semi-transparent pentacene thin film transistors with NiOx electrode operating at low voltages, *Thin Solid Films*, **516**, 1541.
- [35] **Okur, S., Yakuphanoglu, F. and Stathatos, E.,** 2010. High-mobility pentacene phototransistor with nanostructured SiO₂ gate dielectric synthesized by sol-gel method, *Microelectron. Eng.*, **87**, 635.
- [36] **Kwon, J.-H., Chung, M.-H., Oh, T.-Y., Park, H.-S.B.J.-H., Ju, B.-K. and Yakuphanoglu, F.,** 2009. High-mobility pentacene thin-film phototransistor with poly-4-vinylphenol gate dielectric, *Sens. Actuators A*, **156**, 312.

- [37] **Kwon, J.-H., Chung, M.-H., Oh, T.-Y., Ju, B.-K. and Yakuphanoglu, F.,** 2010. Enhanced electrical and photosensing properties of pentacene organic thin-film phototransistors by modifying the gate dielectric thickness, *Microelectron. Eng.*, **87**, 2306.
- [38] **Campbell, J.C. and Tsang, W.T.E.,** 1985. Semiconductors and Semimetal, Academic, New York,
- [39] **Star, A., Lu, Y., Bradley, K. and Gruner, G.,** 2004. Nanotube optoelectronic memory devices, *Nano Lett.*, **4**, 1587.
- [40] **Huang, Y. and Hornsey, R.I.,** 2003. Current-Mode CMOS Image Sensor Using Lateral Bipolar Phototransistors, *IEEE Trans. Electron Devices*, **50**, 2570.
- [41] **Chaji, G., Nathan, A. and Pankhurst, Q.,** 2008. Merged phototransistor pixel with enhanced near infrared response and flicker noise reduction for biomolecular imaging, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 203504.
- [42] **Singh, T.B., Koeppe, R., Sariciftci, N.S., Morana, M. and Brabec, C.J.,** 2008. Monitoring the Channel Formation in Organic Field-Effect Transistors via Photoinduced Charge Transfer, *Adv. Funct. Mater.*, **19**, 789.
- [43] **Yu, G., Srdanov, G., Wang, J., Wang, H., Cao, Y. and Heeger, A.J.,** 2000. Large area, full-color, digital image sensors made with semiconducting, *Synth. Met.*, **111**, 133.
- [44] **Yu, G., Cao, Y., Wang, J., McElvain, J. and Heeger, A.J.,** 1999. High sensitivity polymer photosensors for image sensing applications, *Synth. Met.*, **102**, 904.
- [45] **Forrest, S.R.,** 2000. Active Optoelectronics Using Thin Film Organic Semiconductors, *IEEE J. Sel. Top. Quant.*, **6**, 1072.
- [46] **Lucas, B., El Amrani, A., Chakaroun, M., Ratier, B., Antony, R. and Moliton, A.,** 2009. Ultraviolet light effect on electrical properties of a flexible organic thin film transistor, *Thin Solid Films*, **517**, 6280.
- [47] **Yakuphanoglu, F., and Farooq, W. A.,** 2011. The effect of SiO₂ dielectric layer on ultraviolet detecting properties of pentacene thin film transistor, *Synthetic Metals*, **161**, 132–135.
- [48] **Halik, M., Klauk, H., Zschieschang, U., Kriem, T., Schmid, G., Radlik, W. and Wussow, L.,** 2002. Fully Patterned All-Organic Thin Film Transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 289.
- [49] **Gelinck, G.H., Genus, T.C.T. and de Leeuw, D.M.,** 2000. High-performance all-polymer integrated circuits, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, 1487.

- [50] **Drury, C.J., Mutsaers, C.M.J., Hart, C.M., Matters, M. and de Leeuw, D.M.,** 1998. Low-cost allpolymer integrated circuits, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 108.
- [51] **Voss, D.,** 2000. Cheap and cheerful circuits, *Nature*, **407**, 442.
- [52] **Brown, A.R., Pomp, A., Hart, C.M. and de Leeuw, D.M.,** 1995. Logic gates made from polymer transistors and their use in ring oscillators, *Science*, **270**, 972.
- [53] **Heringdorf, F.-J.M.Z., Reuter, M.C. and Tromp, R.M.,** 2001. Growth dynamics of pentacene thin films, *Nature*, **412**, 517.
- [54] **Bartic, C. and Borghs, G.,** 2006. Organic thin-film transistors as transducers for (bio) analytical applications, *Anal. Bioanal. Chem.*, **384** (2), 354.
- [55] **Baude, P.F., Ender, D.A., Hasse, M.A., Kelley, T.W., Muyres, D.V. and Thesis, S.D.,** 2003. Pentacene-based radio-frequency identification circuitry, *Appl. Phys. Lett.*, **82** (22), 3964.
- [56] **Bao, Z., Lovinger, A.J. and Brown, J.,** 1998. New air-stable n-channel thin film transistors, *J.Am. Chem. Soc.*, **20**, 207.
- [57] **Kelley, T.W., Muyres, D.V., Baude, P.F., Smith, T.P. and Jones, T.D.,** 2003. High performance organic thin film transistors, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **771**, 169–175.
- [58] **Lin, Y., Gundlach, D.J., Nelson, S.F., Jackson, T.N.,** 1997. Pentacene-based organic thin-film transistors, *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **44**, 1325.
- [59] **Malenfant, P.R.L., Dimitrakopoulos, C.D., Gelorme, J.D., Kosbar, L.L., Graham, T.O., Curioni, A., Andreoni, W.,** 2002. N-type organic thin-film transistor with high field-effect mobility based on a N,N_-dialkyl-3,4,9,10-perylene tetracarboxylic diimide derivative, *Appl. Phys. Lett.* **80**, (14), 2517.
- [60] **Katz, H.E., Johnson, J., Lovinger, A.J. and Li, W.,** 2000. Naphthalenetetracarboxylic diimide-based n-channel transistor semiconductors: structural variation and thiol-enhanced gold contacts, *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (32), 7787.
- [61] **Zhang, J., Wang, J., Wang, H. and Yan, D.,** 2004. Organic thin-film transistors in sandwich configuration, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 142.
- [62] **Yuan, J., Zhang, J., Wang, J., Yan, X. and Yan, C.,** 2003. Bottom-contact organic field-effect transistors having low-dielectric layer under source and drain electrodes, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 3967.

- [63] **Bao, Z., Lovinger, A.J. and Dodabalapur, A.,** 1996. Organic field-effect transistors with high mobility based on copper phthalocyanine, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3066.
- [64] **Shtein, M., Mapel, J., Benziger, J.B. and Forrest, S.R.,** 2002. Effects of film morphology and gate dielectric surface preparation on the electrical characteristics of organic-vapor phase-deposited pentacene thin-film transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 268.
- [65] **Halik, M., Klauk, H., Zschieschang, U., Schmid, G., Dehm, C., Schutz, M., Maisch, S., Effenberger, F., Brunnbauer, M. and Stellacci, F.,** 2004. Low-voltage organic transistors with an amorphous molecular gate dielectric, *Nature (London)*, **431**, 963.
- [66] **Gundlach, D.J., Lin, Y.Y., Jackson, T.N., Nelson, S.F. and Schlom, D.G.,** 1997. Pentacene organic thin film transistors—molecular ordering and mobility, *IEEE Electron. Device Lett.*, **18**, 87.
- [67] **Dimitrakopoulos, C., Purushothaman, S., Kymissis, J., Callegari, A. and Shaw, J.,** 1999. Low voltage organic transistors on plastic comprising high-dielectric constant gate insulators, *Science*, **283**, 822.
- [68] **Jang, Y., Kim, D.H., Park, Y.D., Cho, J.H., Hwang, M. and Cho, K.,** 2006. Low-voltage and high field-effect mobility organic transistors with a polymer insulator, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 072101.
- [69] **Mattheus, C.C., Dros, A.B., Baas, J., Meetsma, A., de Boer, J.L. and Palstra, T.T.M.,** 2001. Polymorphism in pentacene, *Acta Crystallogr., Sect. C: Cryst. Struct. Commun.*, **C57**, 939.
- [70] **Minakata, T. Imai H., Ozaki, M. Saco, K.,** 1992. Structural studies on highly ordered and highly conductive thin films of pentacene, *J. Appl. Phys.*, **72**, 5220.
- [71] **Pesavento, P.V., Chesterfield, R.J., Newman, C.R. and Frisbie, C.D.,** 2004. Gated four-probe measurements on pentacene thin-film transistors: contact resistance as a function of gate voltage and temperature, *J. Appl. Phys.*, **96**, 7312.
- [72] **Nakamura, M., Goto, N., Ohashi, N., Sakai, M. and Kudo, K.,** 2005. Potential mapping of pentacene thin-film transistors using purely electric atomic-force-microscope potentiometry, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 122112.
- [73] **Burgi, L., Sirringhaus, H. and Friend, R.H.,** 2002. Non contact potentiometry of polymer field effect transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 2913.
- [74] **Nichols, J.A., Gundlach, D.J. and Jackson, T.N.,** 2003. Potential imaging of pentacene organic thin-film transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 2366.

- [75] **Lang, D.V., Chi, X., Siegrist, T., Sergent, A.M. and Ramirez, A.P.,** 2004. Amorphous like density of gap states in single-crystal pentacene, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 086802.
- [76] **Muller, E.K. and Marohn, J.A.,** 2005. Microscopic evidence for spatially inhomogeneous charge trapping in pentacene, *Adv. Mater.*, **17**, 1410.
- [77] **Kang, J.H., Demetrio da Silva Filho, J-L., Bredas, Zhua, X.-Y.,** 2005. Shallow trap states in pentacene thin films from molecular sliding, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 152115.
- [78] **Kiguchi, M., Nakayama, M., Shimada, T. and Saiki, K.,** 2005. Electric induced charge injection and exhaustion in organic thin film transistors, *Phys. Rev. B*, **71**, 035332.
- [79] **Kim, D.H., Park, Y.D., Jang, Y., Yang, H., Kim, Y.H., Han, J.I., Moon, D.G., Park, S., Chang, T., Chang, C., Joo, M., Ryu, C.Y., Cho, K.,** 2005. Enhancement of field-effect mobility due to surface-mediated molecular ordering in regioregular polythiophene thin film transistors, *Adv. Funct. Mater.*, **15**, 77.
- [80] **Yoshida, M., Uemura, S., Kodzasa, T., Kamata, T., Matsuzawa, M., Kawai, T.,** 2003. Surface potential control of an insulator layer for the high performance organic FET, *Synth. Met.*, **137**, 967.
- [81] **Noh, Y.Y., Kim, D.Y. and Yase, K.,** 2005. Highly sensitive thin-film organic phototransistors: effect of wavelength of light source on device performance, *JAP*, **98** (7), 074505.
- [82] **Debucquoy, M., Verlaak, S., Steudel, S., Myny, K., Genoe, J. and Heremans, P.,** 2007. Correlation between bias stress instability and phototransistor operation of pentacene thinfilm transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **91**, 103508.
- [83] **Seeds, A.J. and Salles, A.A.A.,** 1990. Optical control of microwave semiconductor devices, *IEEE Trans., Microwave Theory Tech.*, **38**, 577.
- [84] **Madjar, Herczfeld, P.R., Paoletta, A.,** 1992. Analytical model for optically generated currents in GaAs MESFETs, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **40**, 1681.
- [85] **Noh, Y.Y. and Kim, D.Y.,** 2007. Organic phototransistor based on pentacene as an efficient red light sensor, *Solid-State Electron.*, **51** (77), 1052.
- [86] **Kwon, J.H., Seo, J.H., Shin, S.I., Kim, K.H., Choi, D.H., Kang, I.B., Kang, H. and Ju, B.K.,** 2008. A 6,13-bis(Triisopropylsilylethynyl) Pentacene Thin-Film Transistor Using a Spun-On Inorganic Gate-Dielectric, *Electron. Dev. IEEE Trans.*, **55**, 500.

- [87] **Kwon, J.H., Lee, S.H. and Ju, B.K.J.,** 2007. Screen-printed multicrystalline silicon solar cells with porous silicon antireflective layer formed by electrochemical etching, *Appl. Phys.*, **101**, 104515.
- [88] **Han, D.W., Heo, J.H., Kwak, D.J., Han, C.H. and Sung, Y.M.,** 2009. Texture, morphology and photovoltaic characteristics of nanoporous F:SnO₂ films, *J. Electr. Eng. Technol.*, **4**, 93.
- [89] **Austin, M. and Chou, S.,** 2002. Fabrication of 70 nm channel length polymer organic thin-film transistors using nanoimprint lithography, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 4431.
- [90] **Dimitrakopoulos, C.D. and Mascaró, D.J.,** 2001. Organic thin-film transistors: A review of recent advances, *IBM J. Res. Dev.*, **45**, 11.
- [91] **Kim, J.K., Kim, J.M., Yoon, T.S., Lee, H.H., Jeon, D. and Kim, Y.S.,** 2009. Pentacene thin film transistors with various polymer gate insulators, *J. Electr. Eng. Technol.*, **4**, 118.
- [92] **Zhou, J., Yang, K., Zhou, J., Liu, Y., Peng, J. and Cao, Y.,** 2007. Poly(3-hexylthiophene) Thin-Film Transistors with Dual insulator Layers, *Jpn., J. Appl. Phys.*, **46**, 913.
- [93] **R.B. Chaabane, A. Ltaief, L. Kaabi, H.B. Ouada, N.J. Renault, J. Davenas,** 2006. Influence of ambient atmosphere on the electrical properties of organic thin film transistors, *Mater. Sci. Eng. C*, **26**, 514.
- [94] **Liu, X., Bai, Y., Chen, L., Wei, F.X., Zhang, X.B., Jiang, X.Y. and Zhang, Zh.L.,** 2007. Organic thin film transistors with double insulator layers, *Microelectron. J.*, **38**, 919.
- [95] **Knipp, D., Kumar, P., Volkel, A.R. and Street, R.A.,** 2005. Influence of organic gate dielectrics on the performance of pentacene thin film transistors, *Synth. Met.*, **155**, 485.
- [96] **Kwon, J. H., Chung, M. H., Oh, T. Y., Bae, H. S., Park, J. H., Ju, B. K. and Yakuphanoglu, F.,** 2009. High-mobility pentacene thin-film phototransistor with poly-4-vinylphenol gate dielectric, *Sensors and Actuators A*, **156**, 312–316.
- [97] **S.R. Forrest,** 2004. The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic, *Nature*, **428**, 911.
- [98] **H.E. Katz, A.J. Lovinger, J. Johnson, C. Kloc, T. Siegrist, W. Li, Y.Y. Lin, A. Dodabalapur,** 2000. A soluble and air-stable organic semiconductor with high electron mobility, *Nature*, **404 (6777)**, 478.
- [99] **Service, R.F.,** 1997. Patterning Electronics on the Cheap, *Science*, **278 (5337)**, 383.

- [100] **Yamamoto, T. and Takimiya, K.**, 2007, FET Characteristics of Dinaphthothienothiophene (DNTT) on Si/SiO₂ Substrates with Various Surface-Modifications, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **20**, 57.
- [101] **Kelley, T.W., Baude, P.F., Gerlach, C., Ender, D.E., Muires, D., Haase, M.A. Vogel, D.E. and Theiss, S.D.**, 2004, Recent Progress in Organic Electronics: Materials, Devices, and Processes, *Chem. Mater.*, **16**, 4413.
- [102] **Kitamura, M. and Arakawa, Y.**, 2008. Pentacene-based organic field-effect Transistors, *J. Phys: Condens. Matter*, **20**, 184011.
- [103] **G.H. Gelinck, H. Edzer, A. Huitema, E.V. Veenendaal, E. Cantatore, L. Schrijnemakers, J.B.P.H. Van Der Putten, T.C.T. Geuns, M. Beenhakkers, J.B. Giesbers, B.-H. Huisman, E.J. Meijer, E.M. Benito, F.J. Touwslager, A.W. Marsman, B.J.E. Van Rens, D.M. De Leeuw**, 2004. Flexible active-matrix displays and shift registers based on solution-processed organic transistors, *Nat. Mater.*, **3**, 106.
- [104] **Fahrettin Y., Farooq, W. A.**, 2011. Flexible pentacene organic field-effect phototransistor, *Synthetic Metals*, **161**, 379–383.
- [105] **Wenbin G, and Liang Shen, D**, 2009. Comparative study of field-effect mobility with different expressions in organic thin film transistors, *Optik*, **120**, 668–672.
- [106] **Peng X, Horowitz G, Fichou D, Garnier F.** 1990. All-organic thin-film transistors made of alpha-sexithienyl semiconducting and various polymeric insulating layers. *Appl. Phys. Lett.* 57:2013--15
- [107] **Parashkov, R., Becker, E., Ginev, G., Riedl, T., Johannes, HH. and Kowalsky, W.**, 2004. All-organic thin-film transistors made of poly(3-butylthiophene) semiconducting and various polymeric insulating layers. *J. Appl. Phys.*, 95:1594--96
- [108] **Park, J., Park, SY., Shim, S., Kang, H. and Lee, HH.**, 2004. A polymer gate dielectric for high-mobility polymer thin-film transistors and solvent effects. *Appl. Phys. Lett.*, 85:3283--85
- [109] **Schroeder, R., Majewski, LA. and Grell, M.**, 2003. A study of the threshold voltage in pentacene organic field-effect transistors, *Appl. Phys. Lett.* 83:3201-3
- [110] **Schroeder, R., Majewski, LA. and Grell, M.**, 2004. All-Organic Permanent Memory Transistor using an Amorphous, Spin-Cast Ferroelectric-like Gate Insulator. *Adv. Mater.*, 16:633—36

- [111] **Singh ThB, Marjanović N, Matt GJ, Günes S, Sariciftci NS, et al.** 2005. Organic Thin-Film Electronics, edited by A.C. Arias, N. Tessler, L. Burgi, and J.A. Emerson (*Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 871E*, Warrendale, PA), **I 4.9.1**.
- [112] **Montaigne Ramil A, Singh ThB, Haber NT, Marjanović N, Günes S, et al.,** 2006. Influence of Film Growth Conditions on Carrier Mobility of Hot Wall Epitaxially Grown Fullerene based Transistors, *J. Cryst Growth*, **288**: 123-127
- [113] **Sze, SM.,** 1981. Physics of Semiconductor Devices, 2nd Edition, Wiley-InterScience, New York, USA.
- [114] **Horowitz, G., Hajlaoui, R., Bourgouiga, R. and Hajlaoui. M.,** 1999. Theory of Organic Field-Effect Transistors. *Synth. Met.*, 101:401
- [115] **Brown, AR., Jarrett, CP., de Leeuw, DM. and Matters, M.,** 1997. Field-Effect Transistors Made From Solution- Processed Organic Semiconductors. *Synth. Met.*, 88:37
- [116] **Horowitz G,** 1998. Organic Field-Effect Transistors. *Adv. Mater.*, 10:365
- [117] **Horowitz G.,** 2004. Organic thin film transistors: From theory to real devices, *J. Mater. Res.*, **19**,1946
- [118] **Klauk, H., Halik, M., Zschieschang, U., Schmid, G. and Radlik, W.,** 2002. High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors. *J. App. Phys.*, 92:5259
- [119] **Knipp, D., Street, RA., Krusor, B., Ho J. and Apte RB.,** 2002. Influence of the dielectric on the growth and performance of pentacene thin-film transistors. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **708**:BB.10
- [120] **Singh ThB, Marjanović N, Matt GJ, Sariciftci NS, Schwödiauer R. and Bauer S.,** 2004. Nonvolatile organic field-effect transistor memory element with a polymeric gate electrode, *Appl. Phys. Lett.*, 85:5409-11
- [121] **Naber RCG, Tanase C, Blom PWM, Gelinck GH, Marsman AW, et al.,** 2005. High-performance solution-processed polymer ferroelectric field-effect transistors, *Nat. Mat.* 4:243—48.
- [122] **Singh ThB, Marjanović N, Stadler P, Auinger M, Matt GJ, et al.** 2005. Fabrication and characterization of solution-processed methanofullerene-based organic field-effect transistors. *J. Appl. Phys.*, 97:083714.
- [123] **Chua LL, Zaumseil J, Chang J, Ou ECW, Ho PKH, et al.** 2005. General observation of n-type field-effect behaviour in organic semiconductors, *Nature* 434:194-99.

- [124] **K. Ryu, I. Kymissis, V. Bulovic', and C. G. Sodini**, 2005. Direct Extraction of Mobility in Pentacene OFETs Using C–V and I–V Measurements, *IEEE Electron Device Letters*, **10**.
- [125] **Bao, Z. and Locklin, J.**, 2007. Organic Field-Effect Transistors, *CRC Pres*, New York, USA.
- [126] **Akın, M., E.**, 2008. N-tipi Yarıiletken Malzemelere Dayalı Organik Alan Etkili Transistörlerin Üretimleri, Performans ve Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [127] **Dexter, D.H., and Seitz, F.**, 1952. Effects of Dislocations on Mobilities in Semiconductors, *Phys. Rev.*, **86**, 964.
- [128] **Carswell, D.J., Ferguson, J., and Lyons, L.E.**, 1954. Photo-and Semi-conductance in Molecular Single Crystals, *Nature*, **173**, 736.
- [129] **Fox, D.**, 1959. Conducting states in organic molecular crystals, *J. Phys. Chem. Solids*, **8**, 439.
- [130] **Volmer, M.**, 1913. Versuche zum Stromleitungsmechanismus in Flüssigkeiten niedriger, *Annalen der Physik*, **40**, 775.
- [131] **Pope, M., Kallmann H., and Magnante P.**, 1963. Electroluminescence in Organic Crystals, *J.Chem. Phys.*, **38**, 2042,
- [132] **Helfrich, W., and Schneider W.G.**, 1965. Recombination Radiation in Anthracene Crystals, *Phys. Rev. Lett.*, **114**, 229.
- [133] **Chiang, C.K., Fincher, C.R., Park, Jr. Y.W., Heeger A.J., Shirakawa H., Louis, E.J., Gau, S.C., and MacDiarmid, A.G.**, 1977. Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene, *Phys. Rev. Lett.*, **39**, 1098.
- [134] **Tang, C.W., 1986.** Two Layer Organic Photovoltaic Cell, *Appl. Phys. Lett.*, **48**, 183.
- [135] **Sahingoz, R., Soykan, C., Yakuphanoglu, F., Voigt, M. and Çetin, H.**, 2006. The determination of the conduction mechanism and extraction of diode parameters of ITO/PEDOT-PSS/POLYMER/Al heterojunction diode, **28**, 962-965.
- [136] **Yakuphanoglu, F.**, 2007. Electrical Characterization and Interface State Density Properties of the ITO/C₇₀/Au Schottky Diode, *J. Phys. Chem. C*, **111**, 1505-1507.
- [137] **Gündüz, B.**, 2007. Organik Yarıiletken Fotodiyotların Hazırlanması ve Optoelektronik Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [138] **Horowitz, G.**, 1998. Organic Field-Effect Transistors, *Adv. Mater.*, **10**, No. 5.

- [139] **De Leeuw D. M., Simenon J. M. M., Brown A. R. and Einerhand R. E. F.,** 1997. Stability of n-type doped conducting polymers and consequences for polymeric microelectronic devices, *Synth. Met.*, **87**, 53.
- [140] **Singh Th. B.,** 2007. Organic transistors lecture , Linz Institute for organic solar cell, 346005, Johannes Kepler University, Austria.
- [141] **Horowitz, G., Bachet, B., Yassar, A., Lang, P., Demanze, F., Fave, J. L., Garnier, and Growth F.,** 1995. Characterization of Sexithiophene Single Crystals, *Chem. Mater.*, **7**, 1337.
- [142] **Horowitz G. and Hajlaoui M. E.,** 2000. Mobility in polycrystalline oligothiophene field-effect transistors dependent on grain size, *Adv. Mater*, **12**, 1046-1050.
- [143] **Kastner J., Paloheimo J. and Kuzmany H.,** 2002. Electron Properties of high-Tc superconductors, Springer Series In Solid State Sciences, Springer, New York.
- [144] **Haddon R. C., Perel A. S., Morris R. C., Palstra T. T. M. and Hebard A. F.,** 1995, C₆₀ thin film transistors, *Appl. Phys, Lett*, **67**, 121.
- [145] **Kobayashi S., Takenobu T., Mori S., Fujiwara S. and Iwasa Y.,** 2003. Fabrication and characterization of C₆₀ thin-film transistors with high field effect mobility, *Appl. Lett.*, **82**, 4581.
- [146] **Eley, D. D., Parfitt, G. D., Perry, M. J. and Taysum, D. H.,** 1953. The semiconductivity of organic substances. Part 1, *Trans. Faraday Soc.*, **49**, 79.
- [147] **D. J. Gundlach, Y. Y. Lin, T. N. Jackson, S. F. Nelson, D. G. Schlom,** 1997. Pentacene organic thin-film transistors-molecular ordering and mobility, *IEEE Electron. Device Lett.*, **18**, 87.
- [148] **Laquindanum, J. G., Katz, H. E., Lovinger, A. J. and Dodabalapur, A.,** 1996. Morphological Origin of High Mobility in Pentacene Thin-Film Transistors, *Chem. Mater.*, **8**, 2542.
- [149] **Horowitz, G., Peng, X. Z., Fichou, D. and Garnier, F.,** 1991. Organic thin-film transistors using π -conjugated oligomers: Influence of the chain length, *J. Mol. Electron.*, **7**, 85.
- [150] **Brown, A. R., Pomp, A., De Leeuw, D. M., M. Klaassen, D. B., Havinga, E. E., Herwig, P. and Müllen, K.,** 1996. Precursor route pentacene metal-insulator-semiconductor field-effect transistors, *J. Appl. Phys.*, **79**, 2136.
- [151] **Salih, A.J., Marshall, J. M. and Maud, J. M.,** 1997. High-mobility low-threshold-voltage pentacene thin-film transistors prepared at rapid growth rates by pulsed-laser deposition, *Phil. Mag. Lett.*, **75**, 169.

- [152] **Okur, S. and Yakuphanoglu, F.,** 2009. Analysis of interface states of the pentacene organic thin film phototransistor by conductance technique, *Sensors and Actuators A*, **149**, 241–245.
- [153] **Jarrett, C. P., Pichler, K., Newbould, R. and Friend, R. H.,** 1996. Transport studies in C₆₀ and C₆₀/C₇₀ thin films using metal-insulator-semiconductor field-effect transistors, *Synth. Met.*, **77**, 35.
- [154] **Brown, R., Deleeuw, D. M., Lous, E. J. and Havinga, E.E.,** 1994. Organic n-type field-effect transistor, *Synth. Met.*, **66**, 257.
- [155] **Haddon, R. C.,** 1996. C₇₀ Thin Film Transistors, *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 3041.
- [156] **Horowitz, G., Kouki, F., Spearman, P., Fichou, D., Nogues, C., Pan, X. and Garnier, F.,** 1996. Evidence for n-type conduction in a perylene tetracarboxylic diimide derivative, *Adv. Mater.*, **8**, 242.
- [157] **Laquindanum, J. G., Katz, H. E., Dodabalapur, A. and Lovinger, A. J.,** 1996. n-Channel Organic Transistor Materials Based on Naphthalene Frameworks, *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 11331.
- [158] **Brown, R., Deleeuw, M. D., Havinga, E.E. and Pomp, A.,** 1994. A universal relation between conductivity and field-effect mobility in doped amorphous organic semiconductors, *Synth. Met.*, **68**, 65.
- [159] **Veres J., Ogier S. D., Leeming S. W., Cupertino D. C. and Khaffaf S. M.,** 2003. Low-k Insulators as the Choice of Dielectrics in Organic Field-Effect Transistors, *Adv. Funct. Mater.*, **13**, 199.
- [160] **Kline, R.J., McGehee, M.D., Kadnikova, E.N., Liu, J.S. and Frechet, J.M.J.,** 2003. Controlling the field-effect mobility of regioregular polythiophene by changing the molecular weight, *Adv. Mater.*, **15**, 1519,.
- [161] **Kline, R.J., McGehee, M.D. and Toney, M.F.,** 2006. Highly oriented crystals at the buried interface in polythiophene thin-film transistors, *Nat. Mater.*, **5**, 222–228.
- [162] **Zen, A., Pflaum, J., Hirschmann, S., Zhuang, W., Jaiser, F., Asawapirom, U., Rabe, J.P., Scherf, U. and Neher, D.,** 2004. Effect of molecular weight and annealing of poly (3-hexylthiophene)s on the performance of organic field-effect transistors, *Adv. Func. Mater.*, **14**, 757–764.
- [163] **Hotta, S., Waragai, K.,** 1993. Crystal structures of oligothiophenes and their relevance to charge transport, *Adv. Mater.*, **5**, 896.
- [164] **Waragai, K., Akimichi, H., Hotta, S., Kano, H. and H. Sakaki,** 1993. FET characteristics of substituted oligothiophenes with a series of polymerization degrees, *Synth. Met.*, 1993, **57**, 4053.

- [165] **Salaneck, W. R., Stafström, S. and Brodas, J. L.,** 1996. Conjugated Polymer Surfaces and Interfaces, Cambridge University Press, Cambridge.
- [166] **Holstein, T.,** 1959. Studies of polaron motion: Part II. The “small” polaron, *Ann. Phys. (NY)*, **8**, 343.
- [167] **J. Frenkel,** 1938. On pre-breakdown phenomena in insulators and electronic semi-conductors, *Phys. Rev.*, **54**, 647.
- [168] **Kahng, D. and Atalla, M. M.,** 1960. Silicon-Silicon Dioxide Field Induced Surface Devices, IRE Solid-State Devices Research Conference, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh.
- [169] **Tsumura, Koezuka H., Ando T.,** 1986. Field effect transistor patent, *Patent number*, 5,107,308.
- [170] **Menekay, S.,** 2007. Karesel İşlemlerde Kullanılan MOS Translineer Çevrimli Devrelerde Hatanın Azaltılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [171] **Weimer, P. K.,** 1962. The "TFT"-a new thin-film transistor, *Proc. IRE*, **50**, 1462.
- [172] **Shur, M.,**1990. Physics of Semiconductor Devices, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 437-446.
- [173] **Allard, S., Forster, M., Souharc, B., Thiem, H. and Scherf, U.,** 2008. Organic Semiconductors for Solution-Processable Field-Effect Transistors (OFETs), *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 4070– 098.
- [174] **Horowitz, G., Hajlaoui, M. E. and Hajlaoui, R.,** 2000. Temperature and gate voltage dependence of hole mobility in polycrystalline oligothiophene thin film transistors, *J. Appl. Phys.*, **87**, 4456 – 4463.
- [175] **Sun Y., Lin Y., Zhu D.,** 2005, Advances in organic field-effect transistors, *J. Mater. Chem*, **15**, 53-65.
- [176] **Kymissis, I.,** 2008. Organic Field Effect Transistors: Theory, Fabrication and Characterization, Columbia University, New York, NY, USA.
- [177] **Özbey, E. P.,** 2004. Sol-Gel Yöntemiyle Hazırlanan SiO₂-TiO₂ Esaslı Yansıtımayıcı Kaplamalar, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [178] **Bardakçı, S.,** 2007. Sol-Gel Yöntemiyle Hazırlanan TiO₂ İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [179] **Facchetti, Yoon M. H., Marks T. J.**, 2005. Gate Dielectrics for Organic Field Effect Transistors: New Opportunities for Organic Electronics, *Adv. Mater*, **17**, 1705-1725.
- [180] **Frank P.**, 2007. Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Organic Dielectric / Organic Semiconductor Interface, *Diploma Thesis at Linz Institute of Organic Solar Cells*.
- [181] **Chua L. L., Zaumseil J., Chang J. F., Ou E. C. W., Ho H., Sirringhaus H., Friend R. H.**, 2005. General observation of n-type field-effect behaviour in organic semiconductors, *Nature*, **434**, 194-199.
- [182] **Torsi, L., Dodabalapur, A. and Katz, H. E.**, 1995. An analytical model for short-channel organic thin-film transistors, *J. Appl. Phys.*, **78**, 1088.
- [183] **Pierret, R.F.**, 1996. Semiconductor Device Fundamentals, Addison-Wesley Publishing Company.
- [184] **Pernstich, K.P., Haas, S., Oberhoff, D., Goldmann, C., Gundlach, D.J., Batlogg, B., Rashid, A.N. and Schitter, G.**, 2004. Threshold voltage shift in organic field effect transistors by dipole monolayers on the gate insulator, *J. Appl. Phys.*, **96**, 6431.
- [185] **Lampert, M.A. and Mark, P.**, 1970. Current Injection in Solids, Academic Press, New York, USA.
- [186] **Gallezot, J.D., Martin, S., Kanicki, J.**, 2001. Photosensitivity of a-Si:H TFTs, *Proc. Int. Display Research Conf. (IDRC)*, 407–410.
- [187] **L.A. Majewski, M. Grell**, 2005. Organic field-effect transistors with ultra-thin modified gate insulator, *Synth. Met.*, **151**, 175.
- [188] **Stadler P.**, 2006. Hysteresis in Bio-Organic Field-Effect Transistors, *Diploma Thesis*, Linz Institute of Organic Solar Cells, Austria.
- [189] **Ortiz-Conde, A. et al.**, 2002. A review of recent MOSFET threshold voltage extraction methods, *Microelectronics Reliability*, **42**, 583.
- [190] **Wong, H.-S. et al.**, 1987. Modeling of transconductance degradation and extraction of threshold voltage in thin oxide MOSFETs, *Solid-State Electron.*, **30**, 953.
- [191] **Zaumseil, J., Baldwin, K. W., and Rogers, J. A.**, 2003. Contact resistance in organic transistors that use source and drain electrodes formed by soft contact lamination, *J. Appl. Phys.*, **93**, 6117.

- [192] **Koch, N. et al.**, 2003. Conjugated organic molecules on metal versus polymer electrodes: Demonstration of a key energy level alignment mechanism, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 70.
- [193] **Gündüz, B., Cavaş, M. and Yakuphanoglu, F.**, 2011. Production of Al₂O₃ Thin films for FET and MOSFET Transistor Gate Applications, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, May 16-18 2011, Elazığ, Turkey.
- [194] **Kim, S.S., Park, S.P., Kim, J.H., Im, S.**, 2002. Photoelectric and optical properties of pentacene films deposited on n-Si by thermal evaporation, *Thin Solid Films*, **420** 19–22.
- [195] **Reizman F. and Van Gelder, W.**, 1967. Optical Thickness Measurement Of SiO₂-Si₃N₄ Films on Silicon, *Solid Stat Electron* **10**. 625.
- [196] **Romeo, M.A., Martinez, M.A.G., Herczfeld, P.R.**, 1996. An analytical model for the photodetection mechanisms in high-electron mobility transistors, *I.E.E.E. Trans, Microwave Theory Technol.*, **44** 2279.
- [197] **Bube, R.H.**, 1960. Photoconductivity of Solids, **Wiley**, New York, USA.
- [198] **Rose**, 1960. Concepts in Photoconductivity, **Interscience**, New York, USA.
- [199] **Kang, G.W., Park, K.M., Song, J.H., Lee, C.H., Hwang, D.H.**, 2005. The electrical characteristics of pentacene-based organic field-effect transistors with polymer gate insulators, *Curr. Appl. Phys.*, **5** 297.
- [200] **Narayanan Unni¹, K.N., Dabos-Seignon, S., Pandey, Nunzi, J.M.**, 2008. Influence of the polymer dielectric characteristics on the performance of pentacene organic field-effect transistors, *Solid-State Electron*, **52** 179.
- [201] **Deman, A.L., Erouel, M., Lallemand, D., Phaner-Goutorbe, M., Lang, P., Tardy, J.**, 2008. Growth related properties of pentacene thin film transistors with different gate dielectrics, *Non-Cryst. Solids*, **354** 1598.
- [202] **Steudel, S., Vusser, S.D., Jonge, S.D., Janssen, D., Verlaak, S., Genoe, J., Heremans, P.**, 2004. Influence of the dielectric roughness on the performance of pentacene transistors, *Appl. Phys. Lett.*, **85** 4400–4402.
- [203] **Lee, W.H., Wang, C.C.**, 2009. Effect of nanocomposite gate dielectric roughness on pentacene field-effect transistor, *J. Vac. Sci. Technol. B* **27** 1116–1121.
- [204] **Fritz, S.E., Kelley, T.W., Frisbie, C.D.**, 2005. Effect of Dielectric Roughness on Performance of Pentacene TFTs and Restoration of Performance with a Polymeric Smoothing Layer, *J. Phys. Chem. B* **109** 10574–10577.
- [205] **Tang, J.X., Lee, C.S., Chan, M.Y., Lee, S.T.**, 2008. Enhanced electrical properties of pentacene-based organic thin-film transistors by modifying the gate insulator surface, *Appl. Surf. Sci.*, **254/23** 7688.
- [206] **Jae Hoon Park, Chang Heon Kang, Yeon Ju Kim, Yong Soo Lee, Jong Sun Choi**, 2004. Characteristics of pentacene-based thin-film transistors, *Mater. Sci. Eng. C*, **24** 27.

- [207] **Higuchi, T., Murayama, T., Itoh, E., Miyairi, K.,** 2006. Electrical properties of phthalocyanine based field effect transistors prepared on various gate oxides, *Thin Solid Films*, **499** 374.
- [208] **Puigdollers, J., Voz, C., Fonrodona, M., Cheylan, S., Stella, M., Andreu, J., Vetter, M., Alcubilla, R.,** 2006. Copper phthalocyanine thin-film transistors with polymeric gate dielectric, *J. Non-Cryst. Solids*, **352** 1778.
- [209] **Hoshino, S., Kamata, T., Yase, K.,** 2002. Effect of active layer thickness on device properties of organic thin-film transistors based on Cu(II) phthalocyanine, *J. Appl. Phys.*, **92** 6028.
- [210] **Xiao, K., Liu, Y., Guo, Y., Yu, G., Wan, L., Zhu, D.,** 2005. Influence of self-assembly monolayers on the characteristics of copper phthalocyanine thin film transistor, *Appl. Phys. A*, **80** 1541.
- [211] **Guo, D., Entani, S., Ikeda, S., Saiki, K.,** 2006. Effect of UV/ozone treatment of the dielectric layer on the device performance of pentacene thin film transistors, *Chem. Phys. Lett.*, **429** 124.
- [212] **Horowitz, G.,** 2003. Tunneling Current in Polycrystalline Organic Thin-Film Transistors, *Adv. Funct. Mater.* **13** 53.
- [213] **Christopher, R.N., Frisbie, C.D., da Silva Filho, D.A., Bredas, J.L., Paul, C.E., Kent, R.M.,** 2004. Introduction to Organic Thin Film Transistors and Design of n-Channel Organic Semiconductors, *Chem. Mater.*, **16** 4436.

ÖZGEÇMİŞ

Bayram GÜNDÜZ, 1983 yılında Elazığ'ın Baskil ilçesinde doğdu. İlkokulu Kızıluşağı köyü ilkokulu'nda (Baskil), ortaöğrenimini Elazığ İmam Hatip Lisesi'nde tamamladı. 2001'de kazandığı Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nden 2005 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans öğreniminde; “*Al/p-Si/CoPc/Au Schottky Diyotunun Hazırlanması ve Elektriksel Karakterizasyonu*”konulu bir yüksek lisans ders semineri sundu ve “*Organik Yarıiletken Fotodiyotların Hazırlanması ve Optoelektronik Özelliklerinin Araştırılması*” konulu bir tez sunarak 2007 yılında yüksek lisansını tamamladı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu doktora öğreniminde; “*Metal-Oksit-Yarıiletken Kontakların Elektriksel Özellikleri*” konulu bir doktora ders semineri sundu. 2009 yılından itibaren Muş Alparslan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.