



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL/ORGANİK/İNORGANİK SCHOTTKY DİYODLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Narin ŞİMŞİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalını

Temmuz-2012

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Narin ŞİMŞİR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL/ORGANİK/İNORGANİK SCHOTTKY DİYODLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Narin ŞİMŞİR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Haluk Şafak

2012, 58 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Haluk ŞAFAK
Doç. Dr. Mehmet ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Hayrettin KÜÇÜKÇELEBİ

Bu çalışmada organik ara yüzeyli GaAs yarıiletkenli Schottky diyot hazırlandı. Hazırlanan diyotların 75-350 K sıcaklık aralığında akım-gerilim ölçümleri yapıldı. Akım-gerilim karakteristiklerinden idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç gibi diyota ait bazı parametreler hesaplandı. Bu parametreler farklı metotlarla elde edilerek karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen parametrelerden hazırlanan diyotun iyi bir doğrultucu özelliği taşıdığı ve ideal diyot davranışına yakın olduğu tespit edildi. Ayrıca perylene ara yüzeyli Schottky diyotun ara yüzey durumlarını belirlemek için oda sıcaklığında 1MHz frekansında sığa-gerilim karakteristikleri incelendi. Bu ölçümlerden taşıyıcı yoğunluğu, engel yüksekliği gibi diyota ait bazı elektriksel parametreler elde edildi. Akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği ile sığa-gerilim ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği karşılaştırılmalı olarak verildi. Her iki yöntemden elde edilen değerlerin uyum içinde olduğu gözlendi.

Anahtar Kelimeler: organik yarıiletkenler, metal-yarıiletken kontaklar, Schottky kontak, elektriksel özellikler, PMI.

ABSTRACT

MS THESIS

TEMPERATURE DEPENDENT ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF METAL/ORGANIC/INORGANIC SCHOTTKY DIODES

Narin ŞİMŞİR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY IN PHYSİSC

Advisor: Prof. Dr. Haluk ŞAFAK

2012, 58 Pages

Jury
Prof. Dr. Haluk ŞAFAK
Assoc. Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
Asst. Prof. Dr. Hayrettin KÜÇÜKÇELEBİ

In this study, the GaAs semiconductor Schottky diodes with organic interface have been fabricated. The current- voltage characteristics of prepared Schotty diodes have been measured at a range of temperature of 75-350 K. By using current-voltage characteristics, the idealite factor, barrier height and some other parameters of diode have been calculated for all temperatures. These parameters were given as comparatively. It was observed that the diode have a good rectification behavior at all temperature and considerably near the ideal diode behavior. Besides, for determine the interface states of Schottky diode with perylene interface, capacitance-voltage characteristics have been investigated at room temperature for 1MHz frequency. From these measurements, concentration of ionized donors, barrier height and some other diode parameters have been obtained. Some parameters of diode have been compared with the results obtained by different methods. It was seen that there is a good agreement with each other.

Keywords: organic emiconductors, metal-semiconductor contacts, Schottky contacts, electrical properties, PMI.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi sayın Hocam, Prof. Dr. Haluk ŞAFAK danışmalığında yürütülmüştür. Yüksek lisans eğitimim boyunca benden bilgi ve tecrübesini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Haluk ŞAFAK'a teşekkürü bir borç bilir, minnetlerimi sunarım.

Bu çalışmada kullanılan numunelerin hazırlanmasında, deneylerin yapılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde katkılarından dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Ö. Faruk Yüksel'e içten teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalar sırasındaki yardımlarından dolayı sayın Feza BOY'a ve numunelerin temininde destek veren sayın Doç. Dr. Mahmut KUŞ'a teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için imkân sağlayan Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ve Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Bu süreçte benden maddi-manevi her konuda desteklerini esirgemeyen aileme ve nişanlıma şükranlarımı sunarım.

Narin ŞİMŞİR
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET……iv

ABSTRACT……v

ÖNSÖZ……vi

İÇİNDEKİLER……vii

SİMGELER VE KISALTMALAR……ix

1. GİRİŞ……1

2. ORGANİK YARIİLETKENLER……5

2.1. Organik Yarıiletkenlerle İlgili Temel Kavramları……6
2.1.1. Organik Yarıiletkenlerde Akım İletim Mekanizması……8
2.1.2. Yük Enjekte Mekanizması……11
2.2. Organik Yarıiletken Aygıtlar……14
2.2.1. Organik Işık Yayan Diyotlar (OLED)……14
2.2.2. Organik Alan Etkili Transistörler (OFET)……16
2.2.3. Organik Fotovoltaik Güneş Pilleri……17

3. METAL-YARIİLETKEN AYGITLARDA AKIM İLETİM MEKANİZMALARI……18

3.1. Metal İş Fonksiyonu ve Schottky Etkisi……18
3.2. İdeal Schottky Kontak……22
3.3. Metal-Yarıiletken Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları……27
3.3.1. Termiyonik Emisyon Teorisi……28
3.3.2. Schottky Engel Yüksekliğinin Belirlenmesi……31
3.4. Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Diyot Karakterisitiklerinin Belirlenmesi……34

4. MATERYAL VE METOT……36

4.1. GaAs Kristalinin Temizlenmesi……36
4.2. Ohmik Kontağın Oluşturulması……37
4.3. Organik Filmin Hazırlanması ve Schottky Kontağın Yapılması……38
4.4. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri……39

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA……41

5.1. Akım-Gerilim Ölçümleri……41
5.2. Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Akım-Gerilim Karakteristikleri……46
5.3. Sığa-Gerilim Karakteristikleri……49

6.TARTIŞMA……54

KAYNAKLAR 55

ÖZGEÇMİŞ 58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

: Metalin iş fonksiyonu
: Serbest elektron kütlesi
: Elektron ilgisi
: Engel yüksekliği
: Yasak enerji aralığı
:Fermi seviyesi
: Elektron yükü
: Difüzyon potansiyeli
: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
: Boş uzayın geçirgenliği
: Donor yoğunluğu
: Tüketim bölgesi sığası
: Akım yoğunluğu
: Seri direnç
: İdealite faktörü
: Diyot alanı
: Richardson sabiti
: Boltzman sabiti
: Mobilite
: Etkin durum yoğunluğu
: İyonlaşma potansiyeli

Kısaltmalar

OLED	: Organik ışık yayan diyot
OTFT	: Organik ince film transistör
	: Elektronvolt
HOMO	: En yüksek işgal edilen moleküler orbital seviyesi
LUMO	: En düşük işgal edilmemiş moleküler orbital seviyesi
MS	: Metal-yarıiletken
I-V	: Akım-gerilim
C-V	: Sığa-gerilim
TE	: Termiyonik Emisyon Teorisi
GaAs	: Galyum Arsenad
MS	: Metal-yarıiletken
PMI	: Perilen monoimid
PDI	: Perilen diimid

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS) Schotty kontaklar, elektronik ve optoelektronik alanlarında sıkça kullanılmaktadır. MS kontaklar güneş pili, metal-yarıiletken alan etkili transistörler, laser diyotlar, fotodiyotlar, devrelerin anahtarlama hızını artırma, mikro dalga devre elemanları ve daha birçok uygulamaya sahip olup teknolojide geniş bir kullanım alanı oluşturmaktadır.

Bilindiği gibi, metal-yarıiletken kontakların elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasında kullanılan ara yüzey malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Metal-yarıiletken kontakların ara yüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü gibi diyota ait birçok parametreyi değiştireceğinden kullanılan ara yüzey malzemesi doğrudan malzemenin özelliklerini, performansını ve verimini etkiler [Sze, 1981; Rhoderick, 1978].

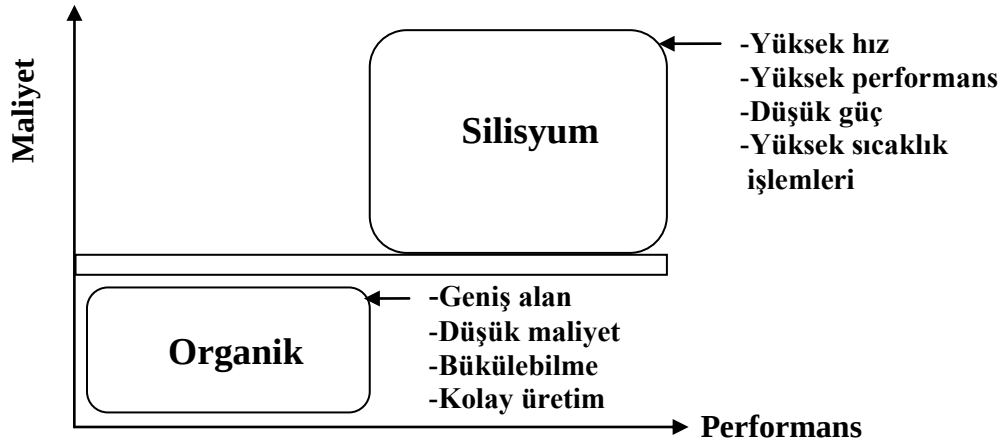
Son zamanlarda birçok araştırmacı Schottky kontağın elektriksel özelliklerini modifiye etmek için ara yüzey malzemesi olarak organik yarıiletken malzeme kullanımı üzerine çalışmalar yapmaktadır [Yakuphanoğlu ve ark., 2010; Aydoğan ve ark., 2010; Okur ve ark., 2009; Gupta ve ark., 2005, Aydın ve ark., 2011; Yahia ve ark., 2011]. Araştırmacıları organik yarıiletken üzerine çalışmaya yönelten birçok sebep vardır. Bunlar; organik yarıiletkenlerin spin kaplama ve baskı gibi ucuz ve tek seferde oldukça fazla üretim yapılabilen kaplama teknikleriyle ucuz maliyetle üretilebilmeleri, bükülebilir olmaları, yüksek zarar eşiği ve yüksek nonlineerlik gibi daha birçok özelliğe sahip olmaları şeklinde sıralanabilir [Güllü ve ark., 2010]. Bu özellikleri sayesinde elektronik ve optoelektronik alanında organik ışık yayan diyot (Organic Light Emitting Diode-OLED), organik Schottky engel diyotları, organik alan etkili transistörler (Organic Field Effect Transistor-OFET), fotovoltaik ve güneş pilleri ve spintronik gibi teknolojik uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır [Yahia ve ark. 2011].

Tarihsel olarak organik malzemeler aktif olmayan paketleme, kaplama, süsleme gibi uygulamalarından dolayı yalıtkan olarak düşünülürdü. Organik malzemelerin elektriksel davranışları üzerine ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda yapılmıştır. Fotoiletken organik malzemeler 1970'lerde keşfedilmiş ve herografik sensörlerde kullanılmıştır. 1970'li yılların sonlarında iletken polimerlerin ve 1980'li yıllarda ışık yayıcı polimerlerin ve konjuge yarıiletkenlerin keşfi organik elektronik alanındaki çalışmalara yeni bir ivme kazandırdı. Polyacetylene elektrik iletimi yapabilen ilk polimer olarak kaydedildi ve iyot katkılı oksidatifin elektriksel iletkenliği 12 kat arttırdığı kanıtlandı.

Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa'ya oksitlenmiş, iyot katkılı polyacetylene çalışmalarından dolayı 2000 yılında Nobel Kimya ödülü verildi.

Organik yarıiletken malzemelerin elektriksel kararlılıklarından, fonksiyonelliklerinden ve performanslarından dolayı devam eden gelişmeler laboratuar şartlarında yüksek verimli aygıt üretimine yol açtı. Yine bu alandaki ilerlemeler çalışmaları akademik alandan endüstriyel alana kaydırmıştır.

Organik yarıiletkenlerin ucuz üretim maliyeti bu alandaki market fırsatları için bir avantajdır. Bir organik yarıiletkenin üretimi bir silisyum üretiminden çok daha ucuzdur. Silisyum tabanlı cihazlar yüksek maliyetleri, karmaşık wafer süreçleri ve işleme ekipmanları, yüksek çözücü aletler, wafer test ekipmanları, pahalı kimyasal işlemlerinden dolayı yüksek maliyete sahiptirler. Bunun aksine organik yarıiletkenlerin düşük maliyetli malzeme üretimi, daha az karmaşık süreçler, daha basit üretim teknikleri ve daha az atık oluşturduğu bilinmektedir. Şekil 1.1 de organik ve inorganik (silisyum) yarıiletkenlerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 1.1: Organik ve inorganik (silisyum) yarıiletkenlerin bazı özellikleri.

Forest ve ark (1981), ara yüzey malzemesi olarak organik bileşik (PTCDA), yarıiletken olarak p-Si kullanarak organik Schottky kontakları hazırlamışlardır. Elde edilen Schottky diyotların akım-gerilim karakteristiklerinin kontak yapılırken kullanılan metale bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Aydoğan ve ark. birkaç organik ara yüzey malzemesi kullanarak organik tabanlı yarıiletken Schottky diyot elde etmişlerdir. Araştırmacılar Indigotindissulfonate Sodyum (IS) Schottky diyotunun elektriksel karakterizasyonunu incelemişlerdir. IS

tabakasının etkin engel yüksekliği ile artığını gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi olarak bu tabakaların metal-yarıiletken arasında bir engel oluşturduğu şeklinde açıklandı. C-V ölçümlerinde ise, yüksek frekanslardaki düşük sığa değerlerini ara yüzey durumları ile açıkladılar. Aynı araştırmacılar farklı bir çalışmada organik Orcein tabanlı Schottky diyotunun akım-gerilim ve sığa-gerilim karakteristiklerini elde ettiler. Aydoğan ve ark. Au/Carmine/n-Si organik Schottky diyotun elektriksel parametrelerini hesaplamış ve diyotun iyi doğrultucu davranış gösterdiğini kaydetmişlerdir. Diyot parametreleri Cheung ve Norde gibi farklı yöntemlerle hesaplanmış, her iki yöntemle hesaplanan niceliklerin birbiriyle uyum içinde tespit edilmiştir [Aydoğan ve ark., 2010; Aydoğan ve ark., 2010].

Gupta ve ark. kompozit yarıiletken polyaline üzerine çalışmalar yaptılar. Elde ettikleri Schottky diyotların elektriksel karakterizasyonu yapılmış ve diyotlara ait bazı parametreler elde etmişlerdir. Yaptıkları incelemelerde kompozit malzemelerin saf polimerlerden mekanik olarak daha sıkı olduğunu kaydetmişlerdir. Ayrıca diyot parametrelerinin sıcaklıkla değişimi göz önüne alındığında diyotun idealite faktörünün yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygun olduğunu göstermişlerdir [Gupta ve ark., 2004; Gupta ve ark., 2005].

Vural ve ark. 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada Al/Rhodamine-101/n-GaAs ve Cu/Rhodamine/n-GaAs organik Schotty yapılarının akım-gerilim karakteristiklerini incelemiş ve sonuçları Al/n-GaAs ve Cu/n-GaAs diyotları karşılaştırılmalı olarak vermişlerdir. Bulgularını ara yüzeye organik yarıiletken konulmasının diyotun özelliklerini modifiye ettiği şeklinde açıklamışlardır. Aydoğan ve ark. Al/Rhodamine-101/n-GaAs organik Schottky yapının geniş bir sıcaklık aralığında (80-350K) akım-gerilim karakteristiklerini incelemiş, diyota ait bazı parametrelerin sıcaklıkla değişimini yorumlamışlardır. İdelite faktörünün artan sıcaklıkla azaldığı ve engel yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Engel yüksekliği ve idealite faktörünün bu davranışları metal-yarıiletken ara yüzeydeki homojensizlikler ile açıklandı [Vural ve ark., 2007; Vural ve ark., 2010].

Diğer yandan perylene ve türevleri, özellikle moleküler organik alanında sıkça çalışılan malzemeler arasında yer almaktadır. Perilenler ilk olarak 1913 de Kardos tarafından keşfedilmiştir. İlk uygulamalarda tekstilde daha sonraları yüksek performanslı pigmentlerde kullanılmıştır. Isısal ve foto kararlılığı, yüksek soğurma kabiliyeti ve yüksek floresans verimleri nedeniyle ilgi çekmeye devam etmektedir. Alan etkili transistörler, flüoresan güneş toplayıcıları, elektro fotografik cihazlar, lazer

boyaları, fotovoltik güneş pilleri ve organik LED lambalar gibi daha birçok organik elektronik uygulamalarında kullanılmaktadırlar [Kuş, 2006; Asir ve ark., 2010; Yang ve ark., 2008; Tomizaki ve ark., 2003].

Bu çalışmada Ag/perylene monoimide/n-GaAs organik Schottky kontağı hazırlanma aşamasından sonra I-V ve C-V ölçümleri alındı. Bu ölçümler sonucunda diyota ait bazı parametreler elde edildi. Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde organik yarıiletkenlerin tarihsel gelişimi ve literatür özeti verilmiştir. İkinci bölümde organik yarıiletkenlerin genel özellikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde Schottky diyotların özellikleri verilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılan malzemenin temizlenme ve üretim aşamaları belirtilmiştir. Sonuçlar ve tartışma başlığı ile verilen son bölümde ölçümlerden alınan veriler değerlendirilmiştir.

2. ORGANİK YARIİLETKENLER

Son yıllarda organik elektronik aygıtlar optoelektronik teknolojide en çok dikkat çeken alanlardan bir tanesidir. Bu aygıtlar fonksiyonlarına göre üç ana sınıfa ayrılır: Organik ışık yayan diyot (OLED), organik güneş pilleri, organik ince film transistörler (OTFT) . Fonksiyonları bir yana, bu aygıtlar genelde anot/organik malzeme/katot şeklindeki bir sandviç yapıya sahiptirler. OLED lerde genelde aygıt ışıkla temasa izin veren ve mekanik desteği sağlayan düz bir cam üzerine büyütülür. Ortadaki aktif organik malzeme organik yarıiletken olarak adlandırılır. Bir organik yarıiletken zayıf van der Waals kuvvetleriyle bağlanmış organik molekül düzenine sahiptir. Bu moleküller elektriksel iletimden sorumlu olan gevşek -elektronları içerir. OLED ve güneş pillerinde organik yarıiletkenler genellikle normal yarıiletkenlerin aksine bir yalıtkan gibi davranır. OTFT uygulamalarında iletkenlikleri daha fazladır.

İnorganik elektronik aygıtlarda (ışık yayan diyotlar-LED), Si tabanlı alan etkili transistörler, vb.) aktif elektronik malzemesi olarak kristal olarak bilinen inorganik malzemeleri kullanılır [Sze ve ark., 2006]. Bunun bir sonucu olarak inorganik yarıiletkenler çok sert yapıdadır. Organik aygıtlarda ise polikristal ya da amorf denilen organik yarıiletkenler kullanılır. Organik yarıiletkenlerin inorganik yarıiletkenlere göre bazı üstün özellikleri vardır. Bunlardan ilki, organik yarıiletkenlerin mekanik olarak esnek olmalarıdır. Bu özelliklerinden ötürü bükülebilir elektronik aygıtlar elde etmek için plastik bir yüzey üzerine büyütülebilirler (bükülebilir ve taşınabilir organik güneş pilleri). Ayrıca zayıf bağlı van der Waals kuvvetlerinden dolayı organik yarıiletkenlerin sıcaklık süreçleri inorganiklere göre daha zayıftır. Bundan dolayı belli bir süre içinde çok fazla üretim yapılabilen tekniklerle büyütülürler. Organik sentezindeki çok yönlülükten dolayı, organik malzemeler aygıtın uygulamasına göre farklı özelliklerde sentezlenebilir. Örneğin molekülün moleküler ağırlığı, yasak enerji aralığı, moleküler orbital enerji seviyeleri, yapısal özellikler ve katkılama gibi malzemeye ait birçok özellik ve parametre değiştirilebilir [So, 2010].

Organik elektronik malzemelerin sayılan avantajlarının yanında bazı zorlukları da mevcuttur. Bu zorlukların başında organik malzemenin kararlılığı gelmektedir. van der Waals kuvvetleri organik yarıiletkenlerin esnekliğine yol açtığından aynı zamanda bu malzemelerin erime noktasını ve cam geçiş sıcaklığını düşürür. Tipik olarak pratik malzemelerde sıcaklığı ’den daha düşüktür. Bu yüzden organik

yarıiletkenlerin ince filmleri ısıya dayanıklı değildir. İnce film sıcaklığına ulaştığında organik film kristal olma eğilimindedir ve yakın elektron kontaktan ya da organik filmden tabakalara ayrılır. Bu nedenle organik filmin ısısal olarak daha dayanıklı olmasını sağlayacak çalışmalar devam etmektedir. Organik elektronik aygıtlardaki bir diğer zorluk ise elektriksel süreçlerin anlaşılmasında yatar. Bir organik yarıiletken yaklaşık dan daha büyük bir enerji aralığına sahiptir. Bu yüzden oda sıcaklığında bile ısısal yolla oluşan çok sayıda taşıyıcı vardır. Uygun işlemlerle iç elektrottan serbest yük taşıyıcıların enjeksiyonu sağlanır. Çizelge 2.1 de bazı organik ve inorganik yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları, erime noktası ve mobiliteleri verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi organik yarıiletkenlerin taşıyıcı mobiliteleri inorganiklere göre çok daha küçüktür.

Çizelge 2.1: Bazı inorganik ve organik malzemelerin band aralığı, erime noktası ve mobiliteleri

	Malzeme	**Band Aralığı (eV)**	**Erime Noktası**	**Mobilite(cm^2/Vs)**	
				Deşik	**Elektron**
İnorganik Yarıiletkenler	Si	1.11	1685	500	1900
	GaAs	1.35	1510	400	8800
	GaP	2.24	1750	150	300
	Ge	0.67	1231	1820	3800
Organik Yarıiletkenler	TPD	3.2	176		
	-NPB	3.0	280		
	m-MTDATA	3.2	205		-
	Al	2.7	>300		

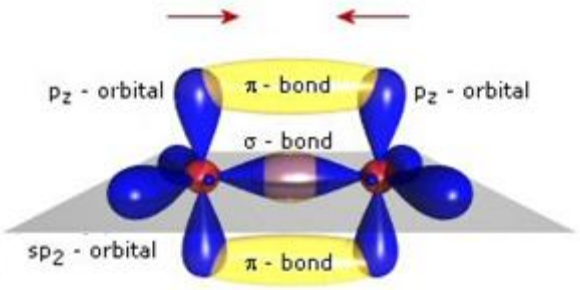
2.1. Organik Yarıiletkenlerle İlgili Temel Kavramları

Organik yarıiletkenler karbon tabanlı küçük moleküller ve polimerler olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Moleküler organik elektronik materyaller kendisini tekrarlamayan oldukça küçük moleküllerdir ve aynı zamanda monomerler olarak da adlandırılırlar. Polimer organik elektronik materyaller ise tekli, ikili veya daha çok monomerin (kopolimer) bağlı zincirlerinden oluşur. Hem monomer hem de polimer malzemeler konjuge bantların bel kemiğini içerir. Molekülde iletim bu bantlar sayesinde gerçekleşir. Polimerler küçük moleküllere oranla daha çok çözelti durumunda bulunur. Bu yüzden polimerler bir çözeltiden spin kaplama yöntemi yardımıyla büyütülürler. Küçük moleküller ise genellikle vakumda buharlaştırma ya da süblimleşme gibi yöntemler ile büyütülmektedirler. Hem polimer hem de moleküler aygıtlar taşıyıcı enjeksiyonunu optimize etmek ve optik emisyonda taşıyıcıların yeniden birleşme

verimini kontrol etmek için çoklu tabakalar içerirler. Ayrıca polimerlerin bir üstünlüğü de ince aktif tabakada pinholler ve küçük molekül filmlerdeki diğer kusurlar olmadan üretilebilir. Bu durum aygıtın daha düşük potansiyel altında oluşuma izin verir [Rockett, 2008].

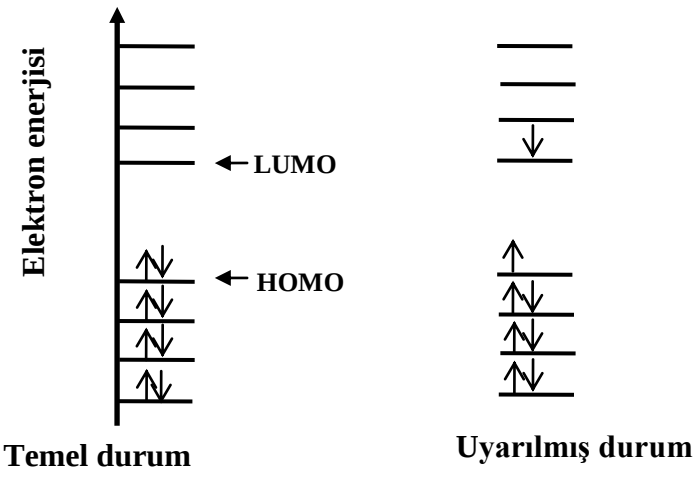
Organik elektronik malzemeler tamamen konjuge yapıdadır. Yani kendi yapıları boyunca devamlı bir çift bağ yapısına sahiptir. Konjuge moleküller çiftli bağları kırarak yükleri iletebilir. Kırılan bandın yeniden oluşturulması ışık yayınımına sebep olabilir. Konjuge organik malzemelerde temel özellik molekülün uzunluğu boyunca çift bağların sürekli bir seri olmasıdır. Burada zincirdeki her bir karbon atomu yakın komşularıyla bir bağ yapar ve ikili bağ zincirleri oluştururlar. Çünkü her bir karbon atomu ikili bağ yapısına bir bağ katkı yapar [Rockett, 2008].

Organik yarıiletkenlerin genellikle band enerjileri enerji aralığındaki değerleri alır. Organik moleküllerin elektronik seviyeleri hibritleşmesi boyunca karbon atomlarının orbitalinden türetilirler. Bir hibrit orbitalinde büyük bağlanma enerjileri ile 3 tane bağı vardır. ve bağı tek organik molekülden oluşan atomları bağlayan güçlü moleküller arası bağlardır. bağındaki elektronlar elektronları olarak adlandırılır ve lokalize durumdadırlar. orbitalinin dışındaki daha düşük enerjili bağlar bağlarıdır. bağlarındaki elektronlara elektronları denir. Gevşek bağlar olup bir molekül içinde lokalize olmamış durumdadırlar. Bu yüzden konjuge moleküllerin en düşük elektronik uyarılmaları geçişleridir. Bu tür geçişler spektrumun görünür bölgesinde soğurma ya da salınıma yol açan 1.5 ile 3 eV değerindeki bir enerji aralığında gerçekleşir. İki atom arasında ikili bağ varsa biri , diğeri bağıdır; üçlü bağ varsa bir tanesi bağı iken diğerleri bağıdır. bağı atom çekirdeklerini birleştiren eksen üzerinde oluşan bağlar iken bağları ise bu eksenin dışında oluşan bağlardır. bağı bağından daha güçlüdür. Şekil 2.1 de etilen organik bileşiğinde ve bağları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Etilen organik molekülündeki ve bağları.

Elektronlar tarafından işgal edilen en yüksek bağlı orbital en yüksek işgal edilen moleküler orbital (Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO)) olarak adlandırılır. İşgal edilmeyen en düşük anti ( ) bağlı orbital ise en düşük işgal edilmemiş moleküler orbital (Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO)) olarak tanımlanır ve Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Organik moleküllerdeki HOMO ve LUMO seviyeleri inorganik moleküllerdeki iletim ve valans bağlarına karşılık gelmektedir.



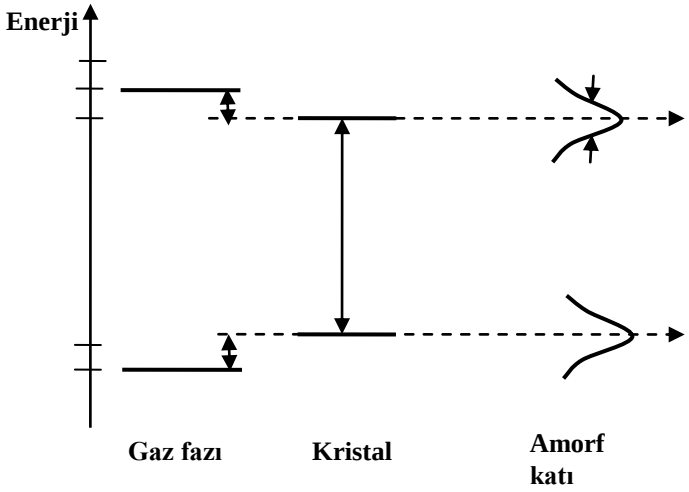
Şekil 2.2: Organik bir yarıiletkende temel ve uyarılmış durumlar için HOMO ve LUMO seviyeleri.

Moleküller katı fazda olduğunda zayıf van der Waals bağlarıyla etkileşirler. Bu etkileşim yeterince zayıfsa içerisinde molekülerin hiçbiri uzun menzilli düzen göstermediği düzensiz bir katı oluşur. Bu düzensizlik molekülün lokal çevresinin, geometrisinin ve moleküldeki kimyasal kusurların bir sonucudur. Ayrıca zayıf etkileşimlerden dolayı komşu moleküllerin merkezindeki dalga fonksiyonun moleküller arası üst üste gelmesi oldukça küçüktür. Bu yüzden organik yarıiletkenlerin elektriksel karakterleri moleküler enerji seviyeleri göz önüne alınarak incelenir [So, 2010].

2.1.1. Organik Yarıiletkenlerde Akım İletim Mekanizması

Organik katı bir molekülde deşik ve elektronların geçişini incelemek için iyonik moleküler seviyelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Örneğin, nötr molekülünden bir katyon oluşturularak bir elektron kopartılabilir. Bu elektron bir molekülden diğerine hareket edebilir. Elektron geçişi aynı zamanda negatif yüklü bir

iyonu gerektirir. Polimerler için bu durum pozitif ve negatif polaranlar tarafından gerçekleştirilir. Gaz fazındaki yalıtılmış moleküllerle kıyaslandığında, bu iyonik seviyeler katıda polarizasyon enerjileri nedeniyle kararlıdırlar. Temel seviye ile ilk uyrarılmış tekli seviye arasında optiksel aralık eksitonuna karşılık gelen bağlantısız bir elektron-deşik çifti oluşturmak için gerekli tek parçacık enerji aralığından önemli ölçüde daha küçüktür. Moleküler krsitallerden düzensiz organik katılara gidildiğinde, farklı moleküler düzenlemelerden dolayı bölgesel değişen polarizasyon enerjisi göz önüne alınır. Bu durum ise Şekil 2.3 de gösterildiği gibi aktarım konumlarının dağılımı için Gaussian bir durum yoğunluğuna yol açan farklı moleküler çevrelerinden kaynaklanmaktadır [Brütting, 2005].



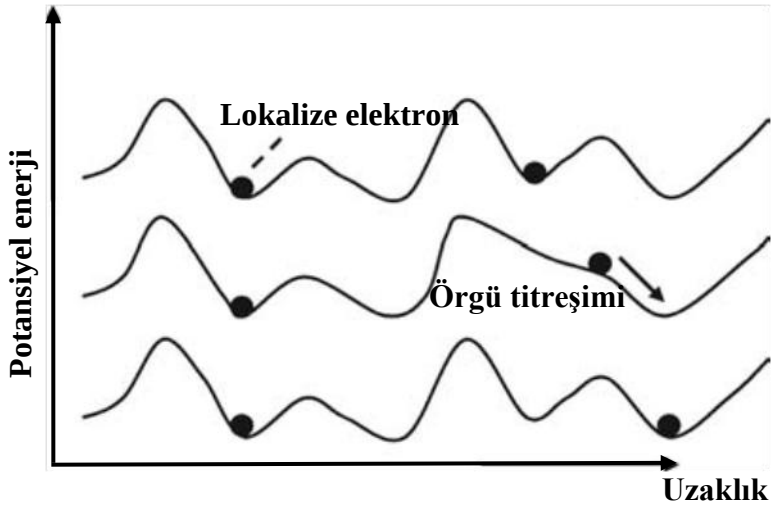
Şekil 2.3: İzole bir molekül (solda), moleküler bir kristal (ortada) ve amorf bir katı (sağda) için enerji seviyeleri

Organik yarıiletkenlerde taşıyıcı yük geçiş mekanizması aşamaları band ve hopping geçişi olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Band geçişi genellikle çok yüksek sıcaklıklarda olmayan yüksek saflıktaki organik kristallerde gözlenir. Bununla birlikte, elektronik lokal bozulmalar zayıf olduğundan band genişliği inorganik yarıiletkenlerle kıyaslanacak kadar küçüktür (oda sıcaklığında birkaç civarında). Bu yüzden moleküler bir kristalde oda sıcaklığındaki mobiliteler arasındaki değerleri alır. Bant geçişinin karakteristik bir özelliği olarak sıcaklık bağımlılığı düşük sıcaklıklara gidildikçe şeklinde daha güçlü bir davranış izler [Brütting, 2005]. Diğer bir geçiş türü olan hopping geçiş mekanizması ise 1993'te Landau tarafından önerilen bir mekanizmadır. Organik bir yarıiletkende yük taşıyıcıları hareket ettiği zaman kusurlardan, düzensizliklerden ya da polarizasyondan kaynaklanan potansiyel

tarafından lokalize olurlar. Yük iletimi ısısal olarak aktiflendirilmiş örgü titreşimlerinden dolayı iki komşu molekül arasındaki yüklerin zıpladığı bir molekül içi süreçtir. Hopping hareketi adyabatik olmayan elektron transfer reaksiyonu olarak bilinir [So, 2010]. Bu tür geçişlerde mobilite değeri düşerek değerine yaklaşır. Hopping geçişlerinde band geçişlerindeki güçlü sıcaklık bağımlığı etkin bir davranış sergiler ve mobilitenin uygulanan elektrik alana bağımlılığı

(2.1)

şeklinde tanımlanır. Denklemde mobilitenin sıcaklığa daha zayıf bağlı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4: Hopping geçiş mekanizması.

Şekil 2.4 de gösterildiği gibi eğer örgü düzensiz ya da taşıyıcılar kusurlu bölgede lokalize olmuşsa, örgü titreşimleri bir bölgeden diğerine hareket eder. Bu hareket moleküler arası bir süreçtir ve sıcaklık arttıkça mobilite artar [So,2010].

Makroskobik bir malzemede, malzeme boyunca akım yük taşıyıcı yoğunluğu ve taşıyıcı sürüklenme hızı , mobilite ve elektrik alan verilir.

(2.2)

şeklinde verilir.

Metallerin aksine hem taşıyıcı yoğunluğu hem de mobilite uygulanan alana bağlı olduğundan ile arasında lineer bir ilişki yoktur. Bu ifadeye göre ve nicelikleri akım büyüklüğünü belirler.

Yukarıda tartışıldığı gibi, mobilite organik yarıiletkenlerde safsızlıklara ve düzen mertebesine güçlü bir şekilde bağlıdır. Bu yüzden malzemenin hazırlanma ve büyütülme işlemleri önemlidir. Mobilite değeri organik malzemelerde aralığındaki değerleri alırken amorf malzemelerde yaklaşık değerini alır. Bir yarıiletkende saf taşıyıcı yoğunluğu

(2.3)

ifadesi ile verilir. Burada bant aralığı etkin durum yoğunluğudur. Bir organik yarıiletken için ve tipik değerleri göz önüne alınırsa oda sıcaklığında yaklaşık değeri bulunur. Normal şartlarda bu değere safsızlıklardan dolayı hiçbir zaman ulaşılmaz. İnorganik bir yarıiletken örneğin Si için ve alındığında değerinde hesaplanır. Açıkça görülüyor ki organik yarıiletkenler yeterince saf olduklarında oldukça düşük iletkenliğe sahiptirler.

Organik yarıiletkenlerdeki taşıyıcı yoğunluğunu arttırmak için

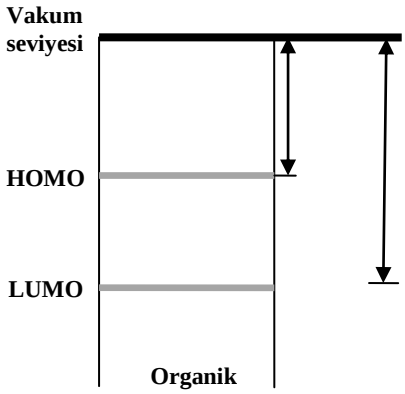
- Elektrokimyasal katkılama
- Kontaklardan taşıyıcı enjektesi
- Taşıyıcıların fotonlarla oluşturulması
- Alan etki katkılama

gibi işlemler yapılabilir [Brütting, 2005].

2.1.2. Yük Enjekte Mekanizması

Yük enjekte mekanizmasını tanımlamak için genel olarak üç önemli yaklaşımdan bahsedilir: (1) Alan etkili termiyonik enjekte modeli. Burada elektrotlardan çıkan taşıyıcılar potansiyel engeli aşmak için iç alan ve görüntü yük potansiyelinin üst üste binmesinin sonucunda ısısal olarak uyarılır. (2) Fowler-Nordheim (FN) tünelleme enjekte modeli. Bu model yüksek bir elektrik alan altında metal-organik kontağın (MO)

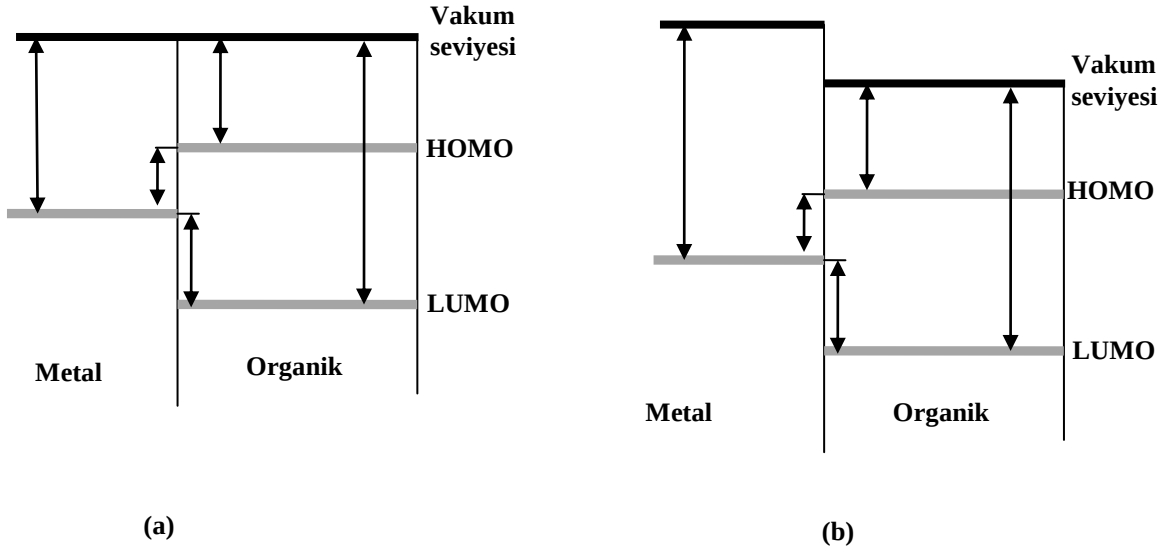
engel yüksekliği boyunca taşıyıcıların tünellemesidir.(3) Isısal olarak aktiflendirilmiş hopping enjekte modeli. Metalin Fermi seviyesinden organik yarıiletkenlerin lokalize durumlarına taşıyıcıların zıplaması durumudur [So, 2010]. Bütün bu yaklaşımlarda metal elektrot ile aktif tabaka arasındaki ara yüzeylerde, enjeksiyon süreçleri yük enjeksiyon engeli tarafından kontrol edilir. Burada metal elektrot ile organik aktif tabaka arasındaki enerji farkı organik tabakanın HOMO (ya da LUMO) ile elektrodun Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır.



Şekil 2.5: Saf moleküler bir katının enerji diyagramı.

Şekil 2.5 de tipik moleküler bit katının enerji band diyagramı gösterilmiştir. En üstteki yatay çizgi bir elektronun katıdan kurtulmak için gereken minimum enerji miktarı olarak tanımlanan vakum seviyesi dur. HOMO ve arasındaki enerji aralığı iyonlaşma potansiyeli ( ) ve LUMO ile arasındaki mesafe elektron ilgisidir (affinite,).

Metal ile bir organik katı kontak durumuna geldikleri zaman enerji seviyeleri eşitlenir. Organik yarıiletkenler için moleküler katının yüzeyi asılı bağlara sahip değildir. Bu yüzden metal-organik yüzeylerdeki moleküler enerji seviyesi hizalanması klasik Mott-Schottky modeline uyar yani metal-organik ara yüzeylerde hiçbir etkileşme yoktur. Bu yüzden vakum seviyesi hizalanması kullanılır. Şekil 2.6 da metal-organik ara yüzeyin Mott-Schottky modeline göre enerji diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Metal-organik ara yüzeyin enerji diyagramı. **(a)** ara yüzeyde dipol olmadığı ve vakum seviyesi olduğu varsayımı, **(b)** ara yüzey dipolü ile.

Elektron ve deşik için engel yükseklikleri ve

(2.4)

(2.5)

ifadeleri ile verilmektedir. Burada metalin iş fonksiyonu, iyonlaşma potansiyeli ve elektron ilgisidir.

Bununla birlikte gerçek bir metal-organik ara yüzeyde genelde vakum seviyesine ulaşılamaz. Bir ara yüzey dipol tabakası organik ile metal arasında oluşur. Bunun bir sonucu olarak ara yüzeyde vakum seviyesi süreksiz olur. Şekil 2.6 (b) de görüldüğü gibi ara yüzeye doğru bir kadarlık bir değişim olur. Engel yükseklikleri bu değişime göre yeniden düzenlenirse,

(2.6)

(2.7)

ifadelerine ulaşılır.

Ara yüzey dipolü birçok görüş ile açıklanmaktadır. İleri sürülen bu görüşlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

(1) Organik tabaka ile metal arasındaki elektron transferi,

(2) Görüntü kuvvet etkisi veya metaldeki elektron bulutunun yayılmasından gelen metal yüzeyin modifikasyonu,

(3) Yeni bantların oluşumu ya da düzeltilmesine yol açan kimyasal etkileşimler,

(4) Ara yüzey durumlarının varlığı,

(5) Ara yüzeyde dipol oluşumuna yol açan sabit dipol momenti [Ishii ve ark., 1999].

Metal-organiklerde enjeksiyon engeli uygun bir elektrot kullanılarak yok edilebilir. Bu durumda taşıyıcılar herhangi bir engeli aşmadan organik katı içine serbestçe enjekte edilebilir.

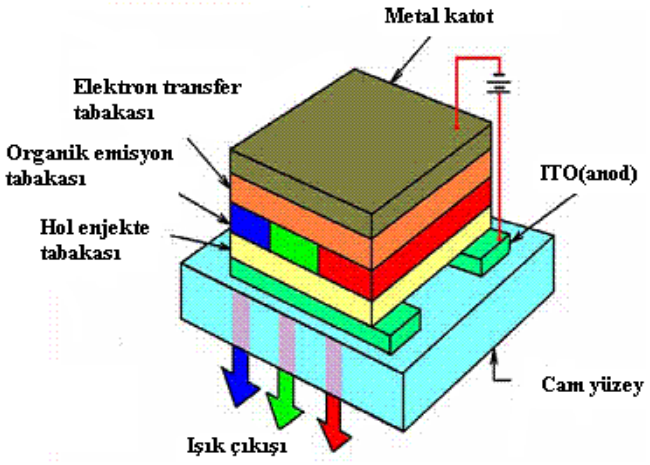
2.2. Organik Yarıiletken Aygıtlar

Organik yarıiletkenlerin avantajlarından dolayı son zamanlarda organik yarıiletken aygıt yapım çalışmaları farklı bir ivme kazandı. Elektronik ve optoelektronik teknolojilerinde daha çok OLED ve OFET, organik güneş pilleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

2.2.1. Organik Işık Yayan Diyotlar (OLED)

İki metal arasına bir ya da daha fazla organik yarıiletken tabaka konulmasıyla hazırlanır. Anot ve katot iş fonksiyonları bakımından farklıdır. Hem anot hem katot yarı geçirgen olabilir. OLED'ler elektrik akımı uygulandığında ince bir film tabakası halinde ışık üretebilen organik moleküller kullanılarak imal edilmiş cihazlardır. Elektrolüminesans durumunda cihaz ışık yayan diyot (OLED) olarak adlandırılır. Burada bir iç potansiyel kaynağı organik yarıiletkende zıt elektrotlardan yük taşıyıcılarının iki tipi ile anottan deşiklerin ve katottan elektronların bipolar bir akımı üretir. Başlangıçta serbest taşıyıcı yük çiftleri karşılaştıklarında uyarılmış molekülleri veya organik tabakadaki eksitonları oluştururlar. Böylece elektrolümnesans yarı geçirgen elektrot boyunca salınır. Salınan lüminesansın yoğunluğu OLED'in parlaklığı ile ilgilidir [Schwoerer ve ark., 2006].

Şekil 2.7 de bir OLED'in temel aygıt yapısı boyunca bir kesiti gösterilmiştir. Bir anot ve bir katot olmak üzere iki elektrot arasındaki bir organik tabakadan oluşmaktadır. Bu organik tabakanın kalınlığı tipik olarak den daha azdır. Bütün tabaka bir yüzey üzerine kurulur. Bu yüzey bir cam ya da esnek polimer tabaka veya ince bir silisyum tabakadan oluşabilir. İki metal geçirgen olabilir. Bunun nedenle anot için genelde iletken ve geçirgen ITO (Indium Tin Oxide) kullanılır, katot için ise Al, Ca gibi metaller kullanılır.



Şekil 2.7: Çok tabakalı OLED yapısı.

OLED 'lerin çalışma prensipleri temel olarak 4 süreçte meydana gelir.

1. Enjeksiyon
2. Yük taşıyıcılarının geçişi
3. Eksiton oluşturmak için bağlanmaları
4. Işık salınımına eşlik eden yeniden birleşme süreci.

Yasak enerji aralığı, eksiton enerjisi, salınan ışığın dalga boyu kullanılan malzemeye bağlı olarak değişiklik gösterir.

Elektron ve deşik karşılaştığı zaman başlangıçta yük taşıyıcı eksitonlardan oluşurlar sonra elektronik olarak uyarılmış tekli veya üçlü durumlara dönüşürler. Her iki uyarılmış seviye ışınımsal olarak bozunur ve bu da elektrolüminesansa katkı yapar. Bozunuma katkı yapan her ışınımsal olmayan katkı OLED in verimini düşürür.

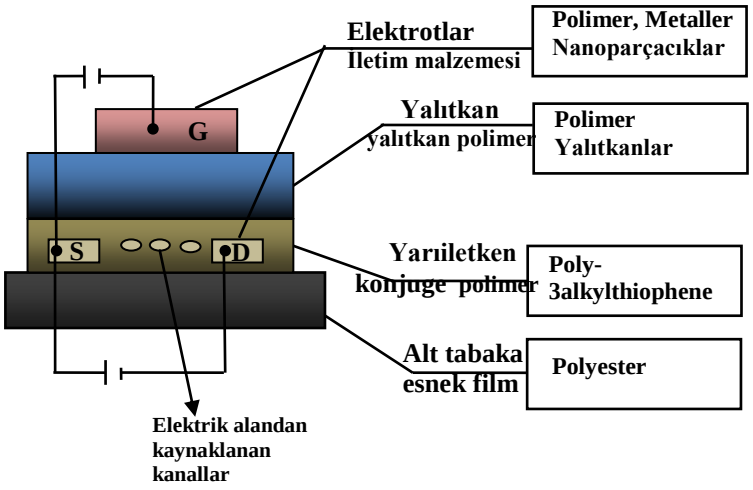
OLED'ler çoğunlukla düz ekran için kullanılmaktadır. LCD teknolojisine alternatif olarak sunulmaktadır. Düşük enerji tüketmesi, ince ve hafif olması gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle son zamanlarda cep telefonlarında kullanımı

oldukça yaygınlaşmıştır. Başlangıçta gösterge uygulamaları için geliştirilen OLED'ler parlak renkli görüntüleri ile düşük güçte geniş görüş açısı sağlayan ekranların yapılabilmesini sağladılar.

Bir OLED'in verimi taşıyıcı yük enjektesinin miktarı, yük tutmanın olasılığı ve farklı kontaklardan elektron ve deşiklerin enjeksiyonları arasındaki denge ile belirlenir.

2.2.2. Organik Alan Etkili Transistörler (OFET)

Alan etkili bir transistör temel olarak 4 farklı bileşenden oluşur: Kaynak/çıkış ve kapı kontakları olarak adlandırılan elektriği ileten bir malzeme, çıkış dielektriği olarak yalıtkan bir malzeme ve yarıiletken bir malzeme. Şekil 2.8 de tipik bir organik alan etkili transistörün şeması gösterilmiştir. Burada kaynak (source) ve akım (drain) elektrotları polyester bir folyo üzerine yerleştirilmektedir ve bu tabakayı sırasıyla polimer yarıiletken tabaka, konjuge polimer ve son olarak bir kapı elektrodu izler.



Şekil 2.8: Organik alan etkili transistör şeması

Bir çıkış potansiyeli uygulandığı zaman yarıiletken/yalıtkan arayüzey tabasında yük taşıyıcılarının birikmesinden dolayı çok dar iletim kanalları oluşur. Bu yüzden akım kaynaktan (S) çıkışa (D) doğru akar. Akım miktarı yük taşıyıcıların sayısını, mobilitesini belirleyen çıkış potansiyeline bağlıdır [Wöll, 2002].

2.2.3. Organik Fotovoltaik Güneş Pilleri

Organik güneş pilinin tercih edilmelerinin sebebi, düşük üretim maliyetleri, organik yarıiletkenlerin esnek yapılı (plastik) ve istenilen yüzeylere kaplanabilir olmalarıdır. Bu yapıların temelinde yatan etki, elektron verici ve elektron alıcı moleküller arasında oluşan etkin elektron transferidir.

Fotovoltaik dönüşümün temel basamakları ışık soğurulması, yük ayrışması, yük iletimi ve yüklerin toplanmasıdır.

1. Işık Soğurulması: Organik yarıiletkenlerde enerji seviyeleri HOMO ile LUMO enerji farkı kadar foton enerjisi soğurulduğunda yarıiletken içinde elektron-deşik (eksiton) çifti oluşur.
2. Yük Ayrışması: Eksitonun ayrışması elektron transferi ile gerçekleşir. Elektron yüksek elektron ilgisi olan malzeme (akseptör) tarafından, deşik ise düşük elektron ilgisi olan malzeme (donor) tarafından kabul edilir.
3. Yüklerin toplanması: Uygulanan bir elektrik alan yardımıyla elektron ve deşikler zıt kutuplara taşınır. Elektron ve deşiklerin yeniden birleşmelerini önlemek için her ikisi de farklı malzemelere taşınır [Zafer C. 2006].

3. METAL-YARIİLETKEN AYGITLARDA AKIM İLETİM MEKANİZMALARI

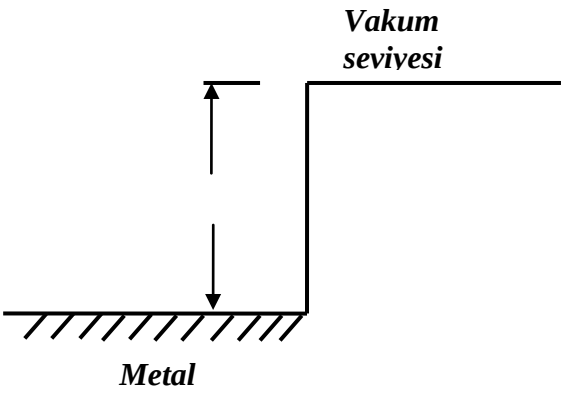
Bu bölümde temel aygıt fiziği, elektrik ve taşıma özellikleri, metal-yarıiletken kontakların oluşumu ve karakterizasyonu üzerinde durulacaktır. Bilindiği gibi, metal yarıiletken kontağın kalitesi çeşitli yarıiletken aygıtların ve entegre devrelerin performansı üzerinde önemli rol oynar. Örneğin, iyi bir omik kontak yarıiletken bir aygıtın başarısı için temel etkenken Schottky kontaklar aygıt uygulamaları için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca farklı aygıt ve devre uygulamalarında, Schottky kontaklar yarıiletken malzemenin ve yüzeyinin fiziksel ve elektriksel özelliklerinin araştırmak için test aracı olarak kullanılırlar. Bir Schottky diyot metal-yarıiletken sistemin ara yüzey özelliklerini ve hacimsel kusurlarını belirlemek için kullanılır. Bundan dolayı, metal-yarıiletken sistemin elektriksel ve fiziksel özelliklerini belirlemede iyi bir omik kontağın ve Schottky kontağın oluşturulması esastır.

Metal-yarıiletken kontakların Schottky ve omik kontak olmak üzere iki şekli vardır. Bir metal ile yarıiletken arasında oluşan kontak doğrultucu ise Schottky kontak, doğrultucu değil ise omik kontak olarak adlandırılır. Bir Schottky kontak metal-yarıiletken kontaklara uygulanan bir beslemin kutupluluğu değiştiği sürece asimetrik bir akım-gerilim karakteristiği sergiler. Diğer yandan omik kontak iç beslemin kutupluluğu ne olursa olsun lineer bir karakteristiği gösterir.

3.1. Metal İş Fonksiyonu ve Schottky Etkisi

Boş uzayda denge şartları altında bir metal için enerji band diyagramı Şekil 3.1 de verilmiştir. Fermi seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkı metalin iş fonksiyonu olarak tanımlanır. Metalin iş fonksiyonu, , K da, bir elektronun metal yüzeyi ya da Fermi seviyesinden kurtulmak için gereken minimum kinetik enerji olarak tanımlanır.

Vakumda metalden bir elektronun kurtulma olasılığı metal yüzeydeki elektronların hızına bağlıdır.



Şekil 3.1 : Metal-vakum ara yüzeyde enerji band diyagramı

Elektronun metal yüzeyden kurtulması için gereken minimum kinetik enerji

– (3.1)

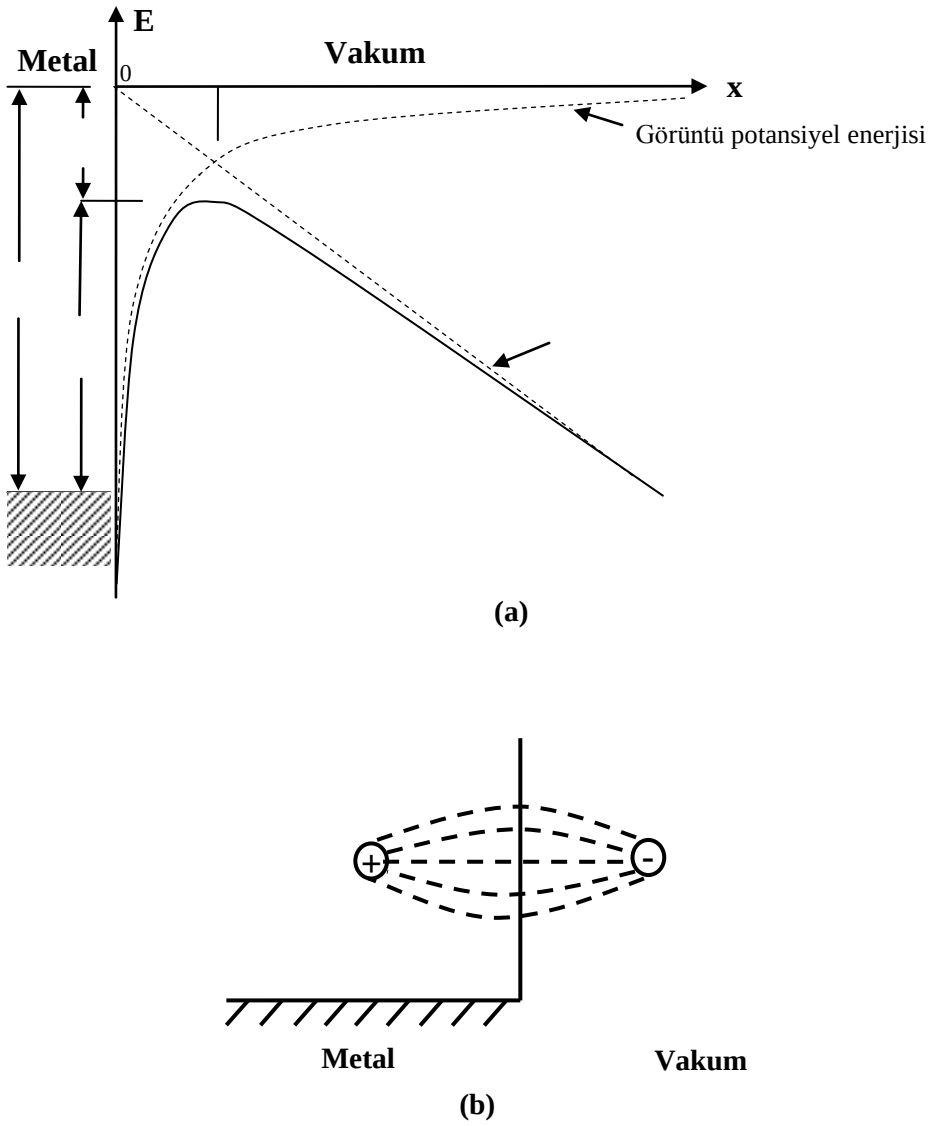
ile verilir. Burada metal yüzeyde elektronun hızı ve serbest elektronun kütlesidir. Schottky etkisi veya görüntü yük düşmesi bir iç elektrik alan metal yüzeye uygulandığı zaman oluşur. Schotty etkisini anlamak için göz önüne alınan enerji diyagramı Şekil 3.2 (a) verilmiştir. Metal yüzeye bir elektrik alan uygulandığı zaman metal yüzeyden kurtulan elektronlar iki iç kuvvetin etkisinde kalırlar: Elektronların metalden kurtulmasıyla oluşan pozitif yüklerin bir sonucu olarak Coulomb çekim kuvvetinden kaynaklanan görüntü kuvveti ve uygulanan elektrik alandan kaynaklanan Lorentz kuvveti. Pozitif görüntü yükleri bir Coulumb çekim kuvveti oluşturur ki bu kuvvet metalden kurtulan elektronların geri çekilmesine yol açar. Görüntü kuvveti

——— (3.2)

ifadesi ile verilir. Burada metal yüzeyinden olan uzaklıktır. Bu görüntü kuvveti ile ilişkili olan potansiyel enerji

——— (3.3)

ile tanımlanır.



Şekil 3.1: Elektrik alan varlığında metal-vakum ara yüzeyde Schottky etkisi. **(a)** uygulanan alanı gösteren enerji diyagramı, **(b)** metal içindeki görüntü yükler.

Uygulanan elektrik alandan kaynaklanan potansiyel enerji

(3.4)

halini alır. Elektronun toplam potansiyel enerjisi denklem (3.3) ile (3.4) ifadelerinin toplamına eşit olup

(3.5)

ifadesi ile verilir. Maksimum potansiyel enerjide oluşan uzaklık ——— şartından

——
—— (3.6)

ile verilir. (3.5) ve (3.6) ifadesi kullanılarak bir elektron için maksimum potansiyel ifadesi

——
—— (3.7)

şeklinde verilir. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi görüntü kuvveti etkisi ve uygulanan alan metalin iş fonksiyonunu düşürür. Bundan dolayı uygulanan elektrik alan altında metalin etkin iş fonksiyonu Şekil 3.1 den elde edilebilir ve

——
—— (3.8)

ifadesi ile tanımlanır. Burada ifadesi görüntü düşmesi potansiyeline eşittir. Görüntü yük düşmesi etkisini görmek için iki elektrik alan göz önüne alalım. Eğer elektrik alan alınırsa değeri bulunur ve olarak hesaplanır. Elektrik alan alınırsa ve değerleri elde edilir. Dolayısıyla metalin etkin iş fonksiyonu görüntü yük düşmesinin bir sonucu olarak yüksek elektrik alan değerlerinde azalır. Çizelge 3.1 de bazı metallerin iş fonksiyonu listelenmiştir.

Çizelge 3.1: Bazı metallerin iş fonksiyonu [Li S., 2006]

Metal	İş fonksiyonu	Metal	İş fonksiyonu
Ti, Al, Ta, Ag	4.33	Rh	5.05
Au, Pd	5.10	In	4.20
Pt	5.65	Se	5.90
Cr, Hg	4.50	Tl	3.90
Mg	3.65	Zn	4.40
Cu	4.65	Fe	4.45
Si	4.85	Mn	4.15
Sn	4.40	Co	5.00
W, Mo, Sb	4.63	Ni	5.15
Ga, Cd	4.28		

3.2. İdeal Schottky Kontak

Schottky-Mott modeline göre, ideal metal-n tipi bir yarıiletken Schottky kontağın engel yüksekliği, metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin elektron ilgisi arasındaki enerji farkına eşittir ve

(3.9)

ifadesi ile tanımlanır. Şekil 3.3 de tipi bir yarıiletken Schottky kontak için kontak yapılmadan önce ve kontak yapıldıktan sonra ve belli şartlar altında enerji band diyagramı çizilmiştir. Şekil 3.3 (a), (b), (c) durumunu ve Şekil 3.3 (d), (e), (f) ise durumunu göstermektedir. Aynı şeklin (a) ve (d) kısımları kontak yapılmadan önce, (b) ve (e) ise kontak yapıldıktan sonraki enerji band yapısını göstermektedir. Burada metal ile yarıiletken arasında ince yaklaşık kalınlığında bir yalıtkan ara yüzey tabakası olduğu varsayılmıştır. Şekil 3.3 (c) ve (f) de kontağın yalıtkan ara yüzey olmaksızın oluştuğu durumdur. durumu için, metalden yarıiletkene geçebilecek elektronlar için bir potansiyel engelin var olduğu Şekil 3.3 (c) den açıkça anlaşılmaktadır ve şekil aynı zamanda metal-yarıiletken kontağın doğrultucu davranış gösterdiğini sergilemektedir. Bununla birlikte, eğer ise (f) durumunda gösterildiği gibi omik kontak elde edilir. Metal-p tipi bir yarıiletken kontak için tipi yarıiletken kontağa zıt davranışlar gözlenir. Çoğu tipi yarıiletken kontak için ölçülen engel yüksekliği, ara yüzey durum yoğunluğu ve görüntü

yük düşmesi etkisi göz önüne alınmadığı için (3.9) denklemi ile verilen ifadedeki engel yüksekliğine basit bir tahmin yapılmasına izin vermez.

Metal-p tipi yarıiletken kontak için engel yüksekliği

— — (3.10)

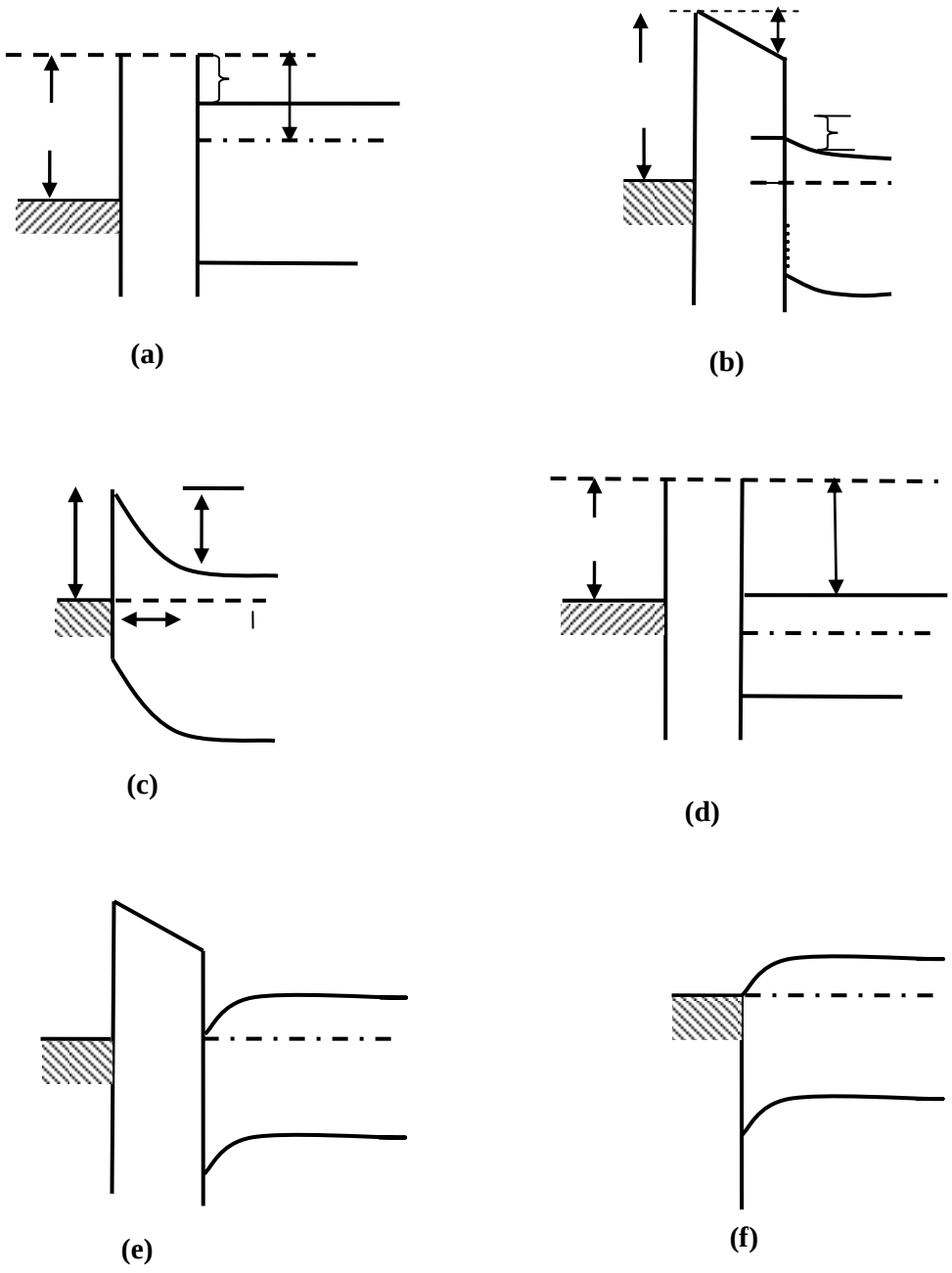
ile tanımlanmaktadır. Burada yasak enerji aralığı, ise elektron yüküdür. Denklem (3.10)'da, verilen bir metal-yarıiletken sistem için tipi ve tipi yarıiletkenler için engel yükseklikleri toplamı yasak enerji band aralığına eşittir. Şekil 3.3 (c) 'den görüldüğü gibi, potansiyel fark ( ) kontak potansiyeli ya da difüzyon potansiyeli olarak bilinir ile gösterilir.

(3.11)

ifadesi ile tanımlanır. Burada engel yüksekliği, ise tipi bir yarıiletken için Fermi potansiyelidir ve

—— — — (3.12)

ile ifade edilir. Denklem (3.12) ye göre ideal metal-n tipi yarıiletken bir Schottky kontak için engel difüzyon potansiyeli metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin iş fonksiyonu arasında farka eşittir. Aynı zamanda, iş fonksiyonu, tipi bir yarıiletken için Schottky engel yüksekliği ile Fermi potansiyeli arasındaki fark olarak tanımlanır.



Şekil 3.3: İdeal metal-n tipi yarıiletken bir kontak için enerji band diyagramı. durumu için; **(a)** kontak yapılmadan önce, **(b)** ara yüzeyinde hava ile kontak halinde, **(c)** doğrultucu kontak halinde, durumu için; **(d)** kontak yapılmadan önce, **(e)** hava ile kontak halinde, **(f)** omik kontak halinde.

Potansiyelin ve elektrik alanın uzaysal dağılımını, tüketim tabakası genişliği ve Schottky diyotun eklem sığasını bulmak için uygun sınır şartları kullanılarak uzay yük bölgesi için Poisson denklemi çözümleri göz önüne alınır. Bir Schottky diyot için tüketim tabakası bölgesinde bir boyutlu Poisson denklemi

(3.13)

olarak verilir [Ziel 1968]. Burada yarıiletkenin dielektrik sabiti ve ise boş uzayın geçirgenliğidir. aralığı için yük yoğunluğu

(3.14)

ile verilir. Burada uzay-yük bölgesindeki elektron yoğunluğudur ve tüketim bölgesinin kenarında ( ), ifadesi ile tanımlanır.

Sınır şartı için kullanılırsa tüketim bölgesi için elektrik alan ve potansiyel

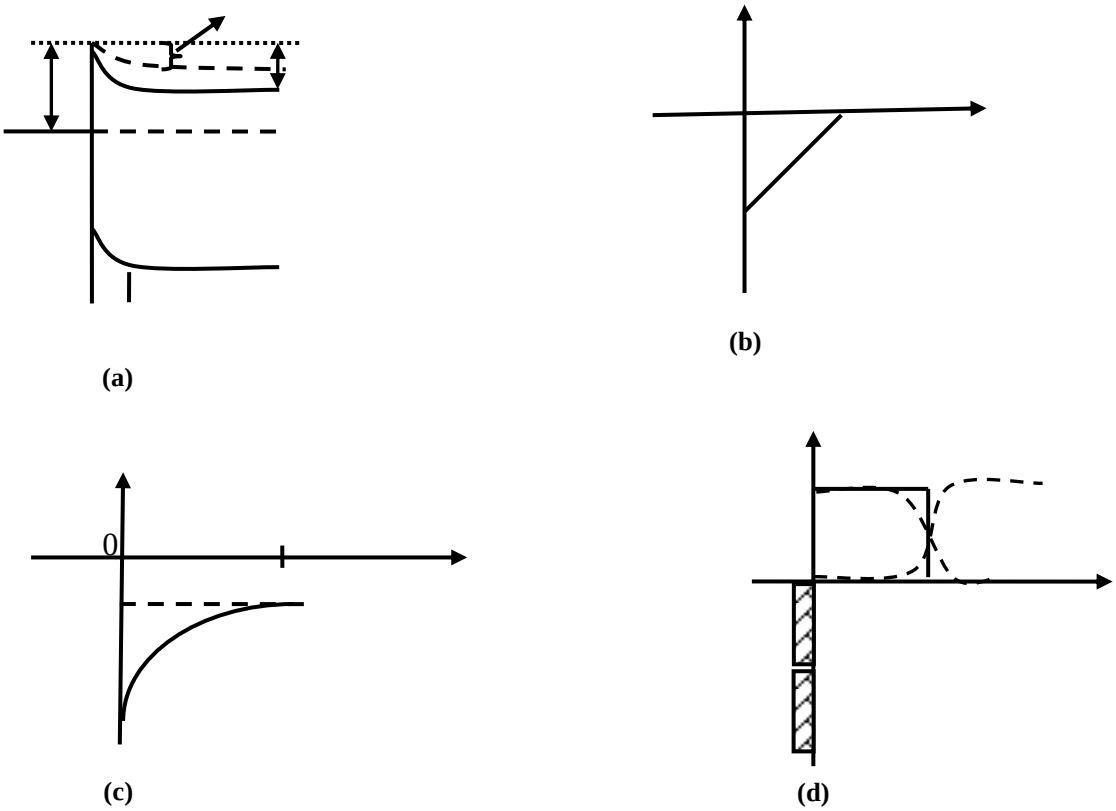
(3.15)

(3.16)

ifadeleri ile tanımlanır. Denklem (3.16) yardımıyla tüketim tabakası genişliği

(3.17)

şeklinde bulunur. Burada için kontak doğru beslem, için ters beslemdir. Denklem (3.17)'den de anlaşıldığı gibi, tüketim tabakası genişliği uygulanan potansiyel ile doğru orantılı, yarıiletkenin donor yoğunluğuyla ters orantılıdır. Aynı şekilde, tüketim tabakası genişliği doğru beslem ile azalırken ters beslem ile artmaktadır.



Şekil 3.4: Metal-n tipi bir yarıiletken Schottky engel diyotu için **(a)** enerji band diyagramı, **(b)** elektrik alan, **(c)** potansiyel dağılım, **(d)** uzay yük dağılımı.

Tüketim tabakası sığasını bulmak için, birim alan başına uzay yükü

(3.18)

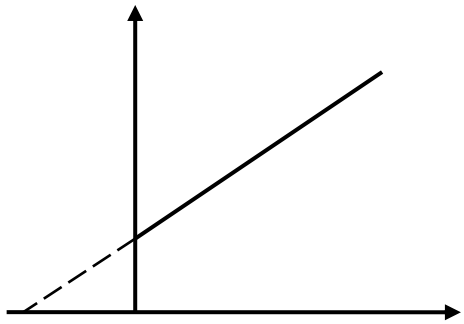
ifadesinden yararlanılır. Tüketim bölgesinde birim alan başına düşen sığa, uygulanan elektrik alanın bir fonksiyonu olup aşağıdaki şekildeki gibi verilir.

(3.19)

Şekil 3.4 (a) da ısısal dengedeki ve ileri beslem altında bir metal-n tipi yarıiletken diyotun enerji band diyagramı çizilmiştir. Tüketim bölgesinde elektrik alanın uzaysal dağılımı Şekil 3.4 (b) de gösterilmiştir ve da maksimum elektrik alan

(3.20)

ile verilir. Tüketim bölgesindeki uzay yükün ve potansiyelin uzaysal dağılımı Şekil 3.4 (c) ve (d) de gösterilmiştir. Şekil 3.4 (d) deki kesikli çizgi ile verilen eğri gerçek yük dağılımını göstermektedir ve sınır şartında serbest elektron yoğunluğu tüketim tabakasına yaklaştıkça uzaklıkla üstel olarak artar. Sürekli çizgi eğrisi ise türetilen keskin eklem yaklaşımıdır. Bu durum sadece yüzey durumları ve görüntü yük düşmesi etkisinin ihmal edildiği Schottky diyotlarda geçerlidir. Şekil 3.5 de uygulanan potansiyeline karşı tipik bir değişimi çizilmiştir. Eğer donor yoğunluğu tüketim tabakası boyunca sabit ise bu grafikte lineer bir bölge edilir ve bu bölgenin eğimi donor yoğunluğunu verir. Eğrinin ekseni kestiği nokta ise değerini verir. Burada bulunan değeri ise (3.11) ifadesinde kullanılıp değeri hesaplanır.



Şekil 3.5: egrisi.

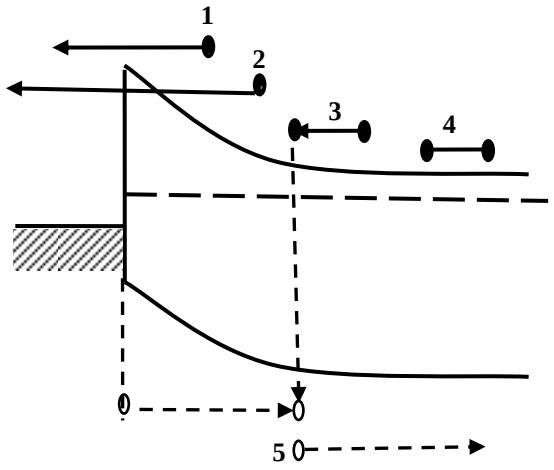
3.3. Metal-Yarıiletken Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken (MS) diyotların verimini belirlemek için akım-iletim mekanizmalarının bilinmesi önemlidir. Akım-iletim mekanizması diyot karakteristiklerini etkileyen temel faktörlerden biridir. MS diyotlarda akım iletimi çoğunluk taşıyıcılar tarafından gerçekleştirilirken p-n eklemlerde bu görevi azınlık taşıyıcıları üstlenmiştir.

MS ve MIS yapılı kontaklarda başlıca akım iletim mekanizmaları [Sharma, 1984; Rhoderick ve ark., 1988; Sze, 1981; Kutluca, 2007]:

- Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- Difüzyon Teorisi

- Termiyonik-Emisyon-Difüzyon teorisi (TED)
- Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE), Alan Emisyonu (AE), Çok Katlı Tünelleme)
- Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme
- Yüksüz bölgede yeniden birleşme
- Deşik enjeksiyonu
- etkili akım iletimi



Şekil 3.6: Doğru beslem altında 5 temel iletim süreci. (1) termiyonik emisyon, (2) tünelleme, (3) yeniden birleşme, (4) elektronların difüzyonu, (5) deşiklerin difüzyonu.

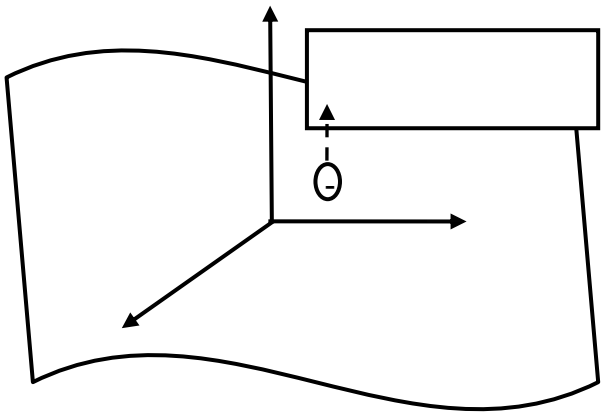
Şekil 3.6 da doğru beslem altında meydana gelen 5 temel akım iletim mekanizması gösterilmiştir. (1) ile gösterilen süreç, potansiyel engeli aşan elektronların emisyonu, (2) engel boyunca elektromekaniksel tünellemesi (yoğun katkılanmış yarıiletkenler ve çoğu omik kontak için önemli), (3) uzay-yük bölgesinde yeniden birleşme süreci (p-n eklemdeki yeniden birleşme sürecine benzer şekilde), (4) tüketim bölgesinde elektronların difüzyonu ve (5) yarıiletkende metale difüz edilen deşiklerin enjeksiyonunu ifade etmektedir [Sze ve ark., 2006].

3.3.1. Termiyonik Emisyon Teorisi

Termiyonik emisyon genellikle sıcak bir metal yüzeyden taşıyıcıların (elektronların ya da deşiklerin) salınımına karşılık gelir. Isısal enerji kazanan

taşıyıcıların potansiyeli aşarak yarıiletkenin türüne göre metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale geçmesidir [Crowell ve ark., 1966]. Metal-n tipi yapılarda bu olay elektronlar tarafından gerçekleştirilirken metal-p tipi yapılarda bu görevi deşikler üstlenmiştir. Eğer metal katotsa ve metal yüzeyden salınan bütün elektronlar bir vakum diyotun anot tarafında toplanmışsa, bundan sonra katot bir doyum noktasına ulaşır. Salınım akım yoğunluğu doyma akım yoğunluğu olarak adlandırılır ve ile gösterilir. ’in katodun sıcaklığı ve metalin iş fonksiyonu ile olan ilişkisini tanımlayan denklemler Richardson denklemleri olarak bilinir. Beethe’nin kurduğu Termiyonik Emisyon Teorisinin varsayımları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Potansiyel engelin yüksekliği enerjisinden çok büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmadığı için taşıyıcıların ortalama serbest yolu Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.
- Görüntü yüklerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine hafifçe bağlıdır [Sharma, 1984; Rhoderick ve ark., 1988; Sze, 1981; Kutluca, 2007].



Şekil 3.7: Metal bir yüzeyden elektronların termiyonik emisyonu.

Richardson denklemi Şekil 3.7 deki gibi bir şeklin metal geometrisi olduğu ele alınarak türetilir. Metaldeki serbest elektron yoğunluğu ve

, + hızları arasında

(3.21)

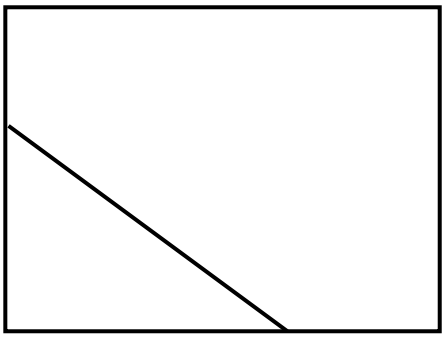
ile verilir. Burada serbest elektron kütlesi olup şeklindedir. Maxwell-Boltzman dağılımı kullanılarak, elektron dağılım fonksiyonu ,

(3.22)

şeklinde ifade edilir. yönündeki termiyonik emisyon akım yoğunluğu için, Denklem (3.21) ve (3.22) kullanılarak,

(3.23)

ifadesi elde edilir. Burada Richardson sabiti olarak adlandırılır. Bu sabit serbest uzaydaki elektronlar için değerine eşittir. Denklem (3.23), sadece kinetik enerjileri metalin iş fonksiyonundan büyük olan elektronların ekseni boyunca metal yüzeyden kurtulabileceğini göstermektedir. Yine aynı denklemden, hem Richardson sabiti hem de metalin iş fonksiyonu grafiğinin çizilmesiyle elde edilir. Şekil 3.8 de gösterildiği gibi bu grafiğin kesim noktası verirken eğimi metalin iş fonksiyonunu verir.



Şekil 3.8: ‘ye karşı grafiği.

3.3.2. Schottky Engel Yüksekliğinin Belirlenmesi

İdeal metal ve tipi yarıiletken Schottky kontaklar için engel yüksekliği ifadeleri daha önce (3.9) ve (3.10) ifadelerinde verilmişti. Bununla birlikte bu ifadeler, sadece yüzey durum yoğunluğu küçük ve görüntü yük düşmesi ihmal edildiği zaman geçerlidir. Yani, engel yüksekliğinin genel ifadesine ara yüzey durum yoğunluğunun katılması gerekmektedir. Şekil 3.9 (b) de görüldüğü gibi yüzey durum etkisi enerji seviyesi olarak verilmektedir. Bu enerji seviyesi metal-yarıiletken kontak oluşmadan önce yarıiletkendeki fermi seviyesine eşittir. Gerçekte , yüzeydeki yük nötralliklerinin sağlanması için kendisinin altındaki tüm yüzey durumlarının dolu olması gereken bir sınır seviyesidir. Cowley ve Sze görüntü yük düşmesi ve yüzey durum yoğunluğunu hesaba katarak engel yüksekliği için aşağıdaki gibi genel bir ifade türetti.

— (3.24)

Burada ———— ifadesi ile verilir. , arayüzey tabakasının dielektrik sabiti, ise bu arayüzeyin kalınlığıdır. Denklem (3.24) nin sadece birkaç angstrom ve nin düzgün olduğu kabul edilerek elde edilmiştir. ve deneysel olarak hesaplanır. Buna göre ve ifadeleri bu iki değişken cinsinden yazılırsa,

———— (3.25)

ve

——— (3.26)

bulunur. Eğer arayüzey tabakası birkaç angström değerinde ve alınırsa, (3.26) ifadesi ile verilen arayüzey durum yoğunluğu,

(3.27)

olur. Burada ve yaklaşımı altında (3.24) ifadesi

— – — (3.28)

halini alır. Eğer arayüzey durum yoğunluğu ihmal edilir ve sadece görüntü yük düşmesi dikkate alınırsa, engel yüksekliği,

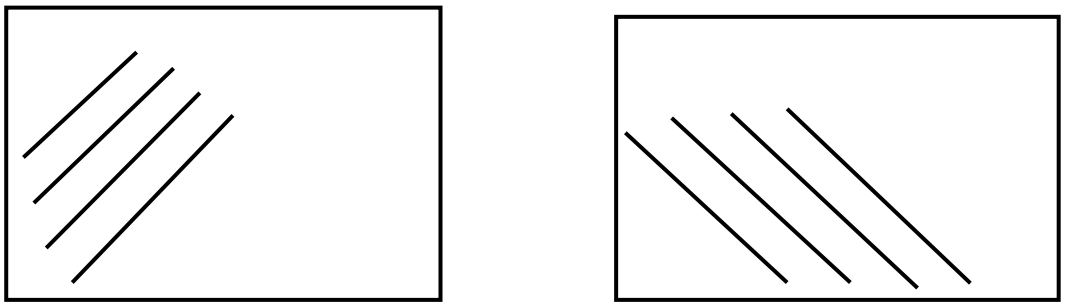
(3.29)

halini alır. Sonuç olarak, (3.9) ile verilen engel yüksekliği ifadesinde engel yüksekliği görüntü yük düşmesi değeri kadar azalmaktadır. Schottky diyotun engel yüksekliğini belirlemek için iki farklı metot kullanılır. 1. Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri, 2.Sığa-gerilim (C-V) karakteristikleri. Bu metotları kısaca açıklamaya çalışalım.

1.Akım-gerilim metodu: Schottky engel diyotu için akım yoğunluğu ifadesi

—— — (3.30)

ile verilir. Burada ön üstel çarpanı olup faktörü değeri akım iletim modeline (termiyonik emisyon, difüzyon teorisi gibi) göre değişir. nin uygulanan gerilime ve 1/T ile tipik değişimleri Şekil 3.9 (a) ve (b) de verilmiştir. Engel yüksekliği Şekil 3.9 (a) da görüldüğü gibi doyma akım yoğunluğu dan veya Şekil 3.9 (b) de görüldüğü gibi, beslem altında karşı grafiğinden elde edilir. İleri beslemdeki ye karşı grafiğinden elde edilen engel yüksekliği doğruluğunu arttırmak için diyot idealite faktörünün farklı sıcaklıklarda yaklaşık eşit olduğu bir gerilim seçmek oldukça önemlidir.



(a) **(b)**

Şekil 3.9 (a) Dört farklı sıcaklıkta Schottky engel diyotu için , **(b)** Doğru beslemde – eğrisi.

2. Sığa-gerilim metodu: Schottky diyotun engel yüksekliğini belirlemek için kullanılan diğer bir yöntem sığa-gerilim metodudur. Denk. (3.19) dan, düzgün katkılı bir yarıiletken için grafiğinde lineer bir bölge elde edilir ve bu bölgenin eksenin kestiği nokta difüzyon potansiyeline eşittir. C-V ölçümlerinden belirlenen difüzyon potansiyeli direk olarak engel yüksekliği ile ilişkili olup

— (3.31)

şeklinde ifade edilir. Burada

——— (3.32)

ile verilirken

— — (3.33)

ifadesi iletim bandının kenarının altındaki Fermi seviyesinin derinliğidir. Burada , , ve engel yüksekliği sığa-gerilim ölçümlerinden hesaplanabilir.

3.4. Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Cheung and Cheung, metal-yarıiletken (MS) diyotlarda doğru beslem akım-gerilim karakteristikleri yardımı ile Schottky engel diyotu parametrelerinin bulunması görüşünü ileri sürerek konuya yeni bir yaklaşım getirdi [Cheung, 1986]. Termiyonik emisyon teorisi ile verilen akım yoğunluğu ifadesi diyotun etkin alanıyla çarpılırsa, diyottan geçen toplam akım

(3. 34)

ifadesi ile verilebilir. Burada ise sondaki 1 terimi ihmal edilir. Çoğu yarıiletken diyotta ideal termiyonik emisyon davranışından sapmalar gözlenir. Bu sapmaları ifade etmek için idealite faktörü olarak isimlendirilen ve ile gösterilen boyutsuz bir parametrenin hesaplarına katılması gerekmektedir. Bu durumda akım ifadesi

(3.35)

halini alır. Burada uygulanan gerilimde üzerinden geçtiği seri dirençten dolayı bir azalma olacak ve şeklinde ifade edilecektir. Yeni potansiyel ifadesi denklem (3.35) te yerine yazılırsa

(3.36)

ifadesi bulunur. Bu ifadenin logaritması alınıp ye göre çözümü yapılırsa

(3.37)

elde edilir. Bu ifadenin de ya göre diferansiyeli alınırsa

(3.38)

eşitliği bulunur. nın ya göre grafiği çizildiğinde lineer bir bölge elde edilir. Bu lineer bölgenin eğimi seri direnci verir. Aynı doğrunun ordinat eksenini kestiği nokta ise idealite faktörünü verir [Cheung, 1986].
Diğer taraftan Cheung potansiyel engeli bulmak için

— —— (3.39)

şeklinde bir fonksiyon tanımlamıştır. (3.37) ve (3.39) eşitliklerinden

(3.40)

ifadesi bulunur. (3.40) eşitliği göz önüne alınarak çizilecek grafiğinde de bir doğru elde edilecektir. Bu doğrunun eğimi seri direnci verir. Bu direnç aynı zamanda nötral bölge direnci ve kontak bölge direncinin toplamına eşittir. Bu doğrunun eksenini kestiği nokta ise engel yüksekliğini verir.

4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılacak olan malzemelerin temizlenme aşamaları ve büyütülmeleri ele alınacaktır. Ayrıca büyütme sırasında kullanılan aygıtlar ve ölçüm alınırken kullanılan cihazlar açıklanacaktır.

4.1. GaAs Kristalinin Temizlenmesi

Bu çalışmada doğrultusunda büyütülmüş boyutlarında, yaklaşık olarak kalınlığında ve özdirencine sahip Tellür (Te) katkılı tipi GaAs (n-GaAs) kristali kullanılmıştır.

Diyot yapımında kullanılacak numunelerin yüzeyinin organik ve mekanik kirlerden iyice temizlenmiş olması, alınacak sonuçların doğruluğu ve güvenirliği açısında çok önemlidir. Numune yüzeylerinin kimyasal temizlenmesinde aşağıdaki işlemler takip edilmiştir.

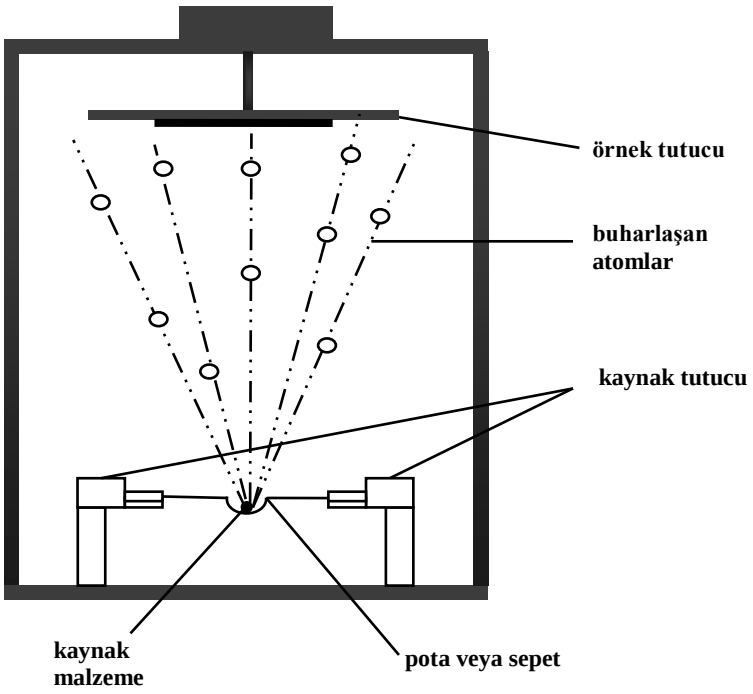
Numune yüzeylerinin kimyasal olarak temizlenme aşamaları

1. Kristali yağdan ve diğer kirlerden arındırmak için Trikloretilen *(C_2HCl_3)* ile 10 dakika ultrasonik temizleme.
2. Aseton *(CH_3COCH_3)* ile10 dakika ultrasonik temizleme.
3. Propanol *($CH_3CH(OH)CH_3$)* ile 10 dakika ultrasonik temizleme.
4. 20 hacim Sülfirikasit *(H_2SO_4)* ve 20 hacim Hidrojen peroksit *(H_2O_2)* karışımında 10 dakika ultrasonik olarak temizleme.
5. Amonyak *(NH_3)*, hidrojen peroksit *($NH_3 + H_2O_2$)* ve deiyonize su karışımında 10 dakika ultrasonik olarak temizleme.
6. 15 hacim deiyonize su ve 1 hacim %38-40'lık *HF* karışımında 2 dakika yıkama.
7. 2 hacim Nitrik asit *(HNO_3)*, 1 hacim %38-40'lık *HF* ve 1 hacim Asetik asit *(CH_3COOH)* karışımında 4 dakika tutularak kristal yüzeyi parlatma.
8. 15 hacim deiyonize su ve 1 hacim %38-40'lık *HF* karışımında 2 dakika yıkama.
9. Deiyonize su ile durulama.

Bu aşamalardan sonra temizlenen numuneler Azot gazı ile kurutulmuştur.

4.2. Omik Kontağın Oluşturulması

Yüzey temizlendikten sonra %99,999 saflıktaki İndiyum ( ) metali, termal buharlaştırma yöntemi ile n-GaAs kristali üzerine büyütülmüştür. MS kontağın oluşturulmasında Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümü İnce Film Laboratuarında bulunan ince film ünitesi kullanılmıştır. Kimyasal olarak temizlenen maskeler yardımıyla ince film ünitesi içindeki potalara kaplanmak istenen miktar kadar konulup sistem kapatılmıştır. Ünite içindeki vakumun istenilen değere düşürülmesi için bir süre beklenmiştir. basınçta buharlaştırma işlemi başlatılmıştır. Kaplanan yaklaşık olarak kalınlığındadır. Kaplanan düşük özdirençli omik kontak elde etmek için vakumda sıcaklığında yaklaşık 2 dakika ısısal işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1: Omik ve Schottky kontak için kullanılan buharlaştırma sisteminin şeması.

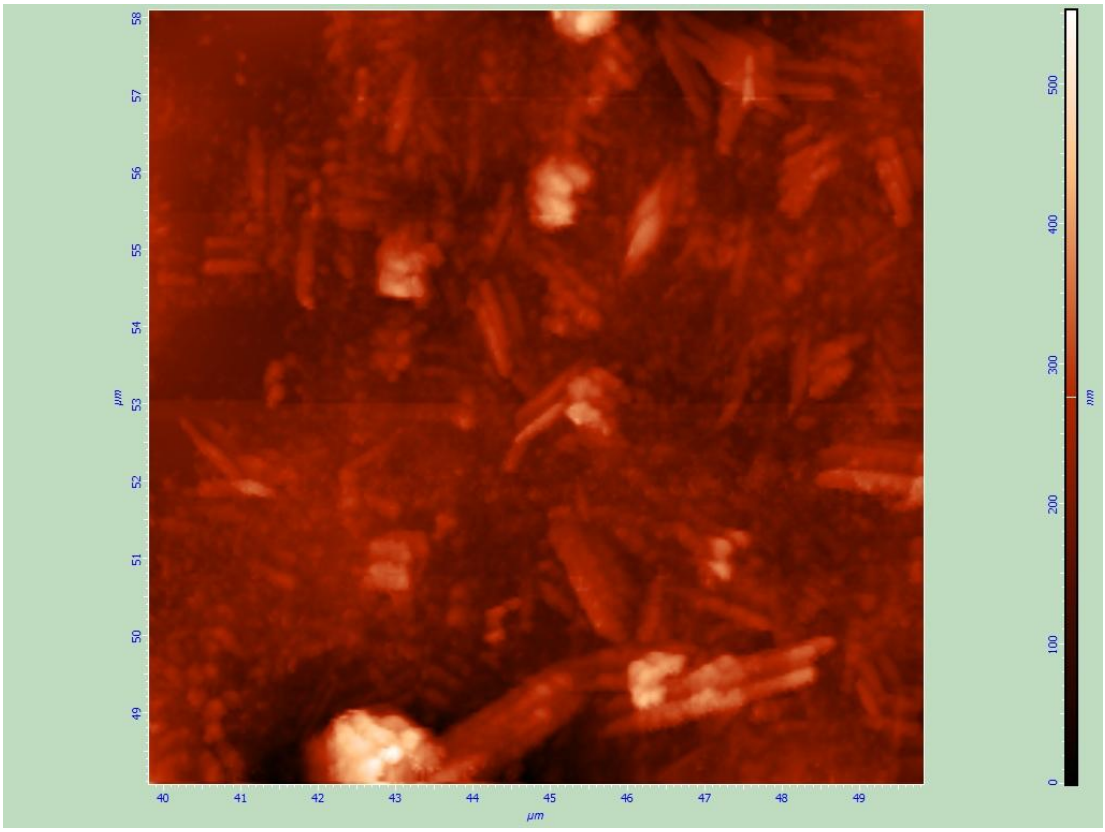
Şekil 4.1 de, kullanılan Nanovak Termal Buharlaştırma sistemi gösterilmiştir. Cihazın çalışma prensibi kısaca şöyledir: Cihazın kaynak tutucularına takılan tungsten pota veya sepetlerin içerisine yerleştirilen kaynak metal, bu pota veya sepetten geçirilen yüksek akım sayesinde oluşan yüksek sıcaklıkta buharlaşır. Buharlaşan malzeme kaynakların

üzerinde yerleştirilmiş örnek tutucuya sabitlenmiş örnek üzerinde yoğunlaşır. Kaplama kalınlığı, quartz kristal osilatörü yöntemi ile kaplama sırasında ölçülebilmektedir.

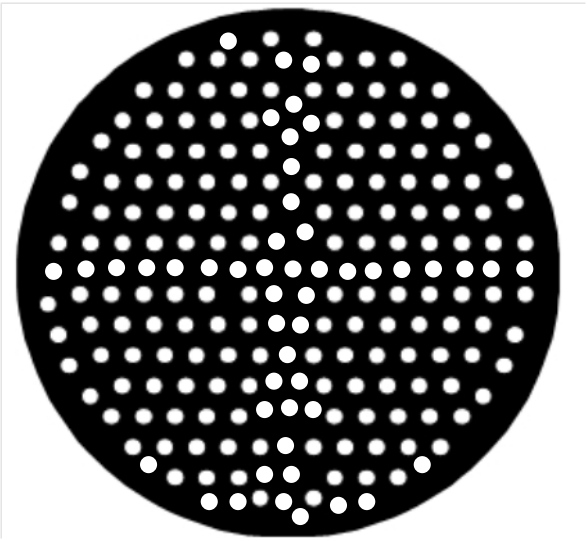
4.3. Organik Filmin Hazırlanması ve Schottky Kontağın Yapılması

Omik kontak yapılmış olan numune drop casting kaplama metodu ile organik perylene-monoimide (PMI) kaplanmıştır. Kaplanan organik filminin yüzey özelliklerini incelemek için 2 boyutlu AFM (Atomic Field Microscopy) görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler Şekil 4.2 de verilmiştir. Şekilden, kaplanan PMI organiğinin homojen olduğu görülmektedir. Yüzeyde kir atomlarının veya kusurların olmadığı görülmektedir.

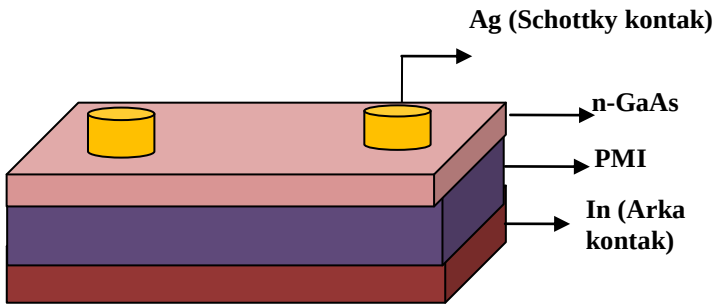
PMI kaplanmış numuneler Şekil 4.3 de gösterilen bir maske yardımıyla termal buharlaştırma metodu ile %99,99 saflıktaki gümüş (Ag) metali ile kaplanmıştır. Burada kullanılan maske üzerinde çaplı delikler vardır. metali basınça, yine yukarıda anlatılan teknikle kalınlığında kaplanmış ve doğrultucu kontak işlemi sonlanmıştır. Bu son işlemle birlikte Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu elde edilmiştir. Schottky diyotun aygıt yapısı Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Ag/PMI/n-GaAs diyotunun 2 boyutlu AFM görüntüsü.



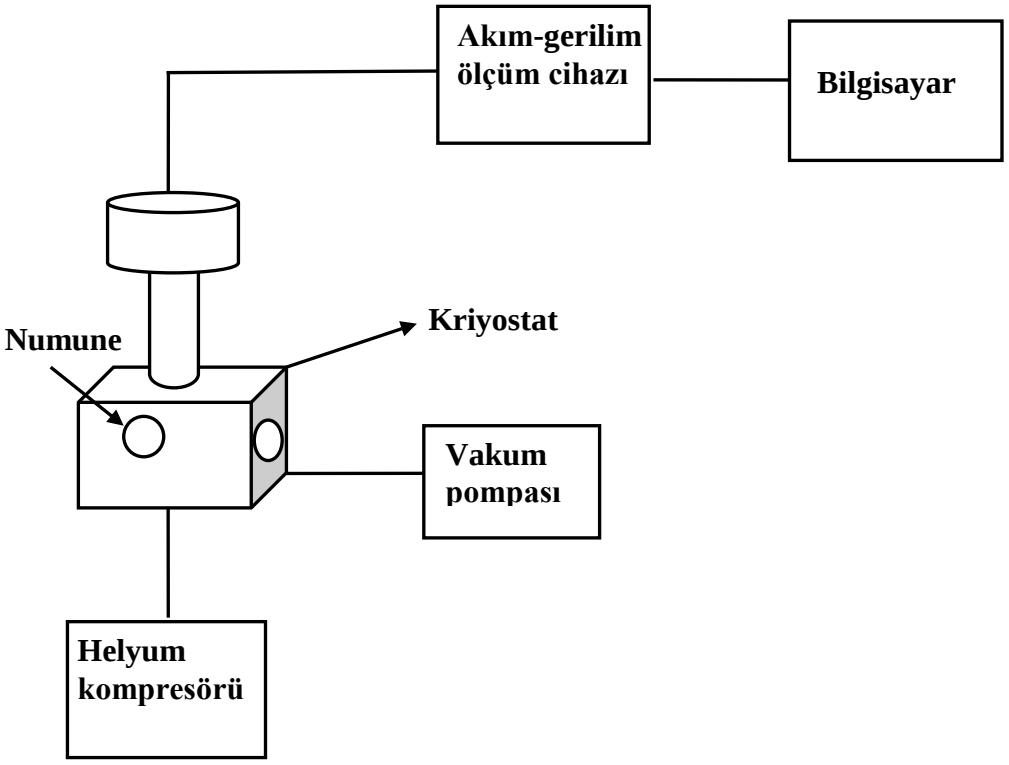
Şekil 4.3: Doğrultucu kontak için kullanılan maske



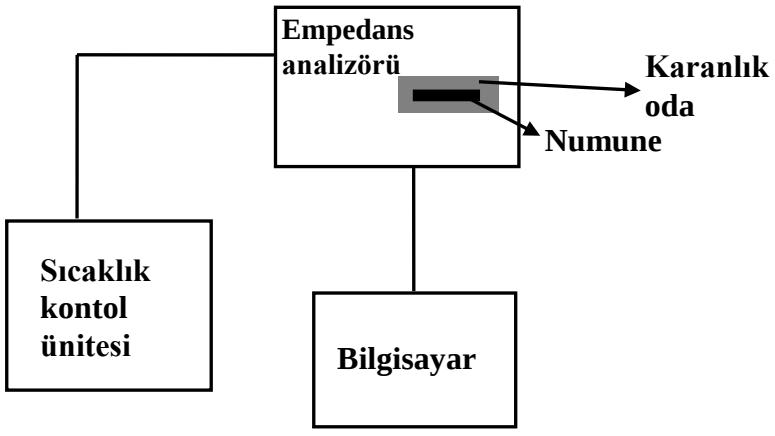
Şekil 4.4: Organik metal-yarıiletken Schottky diyot şeması.

4.4. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

Ag/PMI/n-GaAs diyotları ölçüm için hazır duruma getirildikten sonra ölçümler alınmaya başlanmıştır. Akım-gerilim ölçümleri ARS kapalı devre Cryostat Model DE202 AI model kriyostat yardımıyla Keithley 2410 SourceMeter cihazı ile geniş bir sıcaklık aralığında (75-350 K) alınmıştır. Sıcaklık kontrolü için Lake Share 331 model sıcaklık kontrolörü kullanılmıştır. Sığa-gerilim ölçümleri ise oda sıcaklığında frekansında HP 4192A LF modelindeki cihaz ile alınmıştır. Kullanılan kriyostatta 30-360 K sıcaklık aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 4.5 ve 4.6 da kullanılan ölçüm düzeneklerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.5: Akım-gerilim ölçümleri için kullanılan düzenek.



Şekil 4.6: Sığa-gerilim ölçümleri için kullanılan deneysel düzeneğin şeması.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde materyal ve metot kısmında anlatılan tekniklerle temizlenen ve oluşturulan Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotlarının sıcaklığa bağlı akım-gerilim ( ) karakteristikleri ve oda sıcaklığında belli bir frekans değerinde ölçülen sığa-gerilim ( ) karakteristikleri ölçülüp alınan veriler değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler sonucunda diyota ait bazı parametrelere ulaşılacaktır. Bu parametrelerin sıcaklıkla değişimi yorumlanacaktır.

5.1. Akım-Gerilim Ölçümleri

Bir metal-yarıiletken kontağın elektriksel özelliklerini belirlemek için en çok kullanılan metotlardan biri de akım-gerilim karakteristiklerini belirlemektir. Hazırlanan Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotunun elektriksel özellikleri termiyonik emisyon modeline göre incelendi. Modele göre bir diyotun akım ifadesi

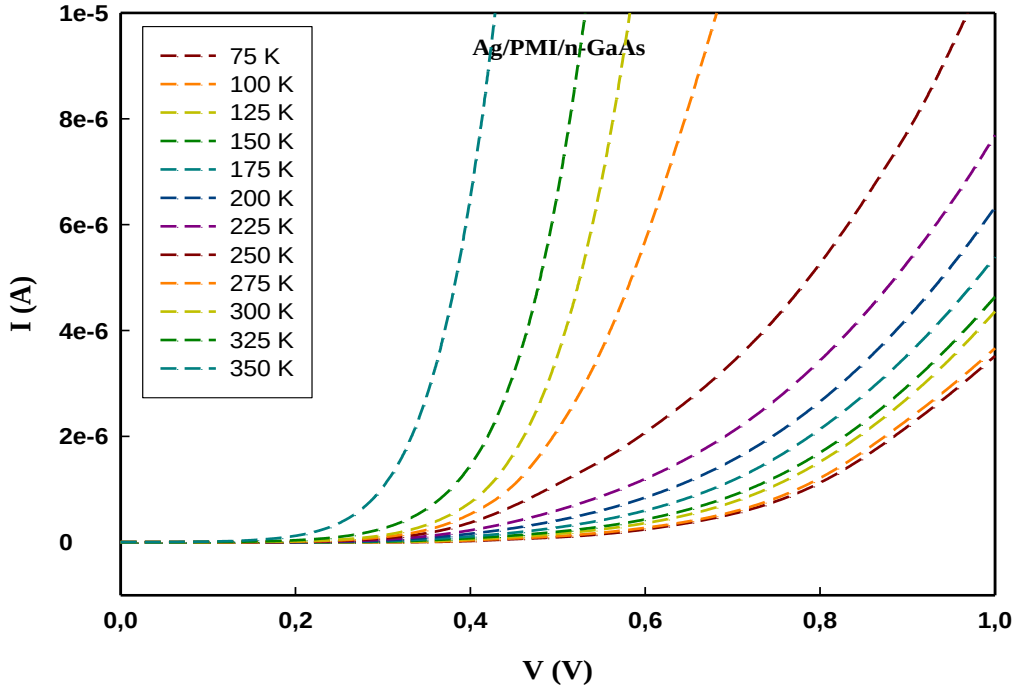
— — (5.1)

şeklinde verilmektedir. Burada

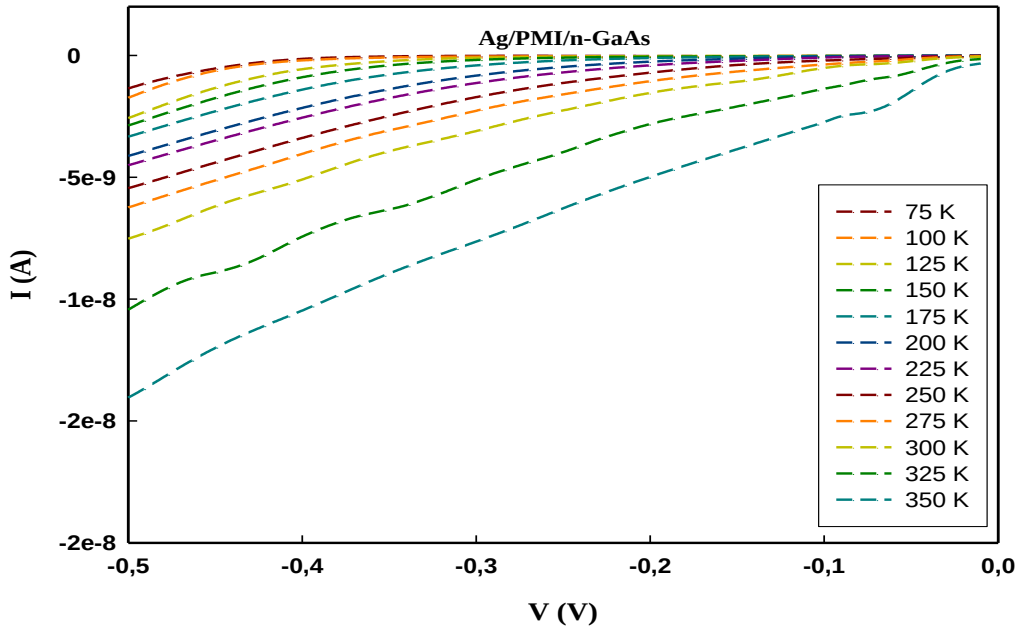
— (5.2)

ile verilen ifade doyma (saturasyon) akımıdır. Burada diyot alanı, Richardson sabiti, Kelvin cinsinden sıcaklık, elektron yükü, sıfır beslemdeki engel yüksekliği, idealite faktörü ve Boltzman sabitidir. Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için Denklem 5.1 yardımıyla elde edilen aralığındaki yarı logaritmik doğru ve ters beslem grafiği Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1(a)'da doğru beslem grafiğinde artan sıcaklıkla akımın üstel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda bu artışın daha az, yaklaşık oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda ise artışın daha keskin olduğu görülmektedir. Grafikte özellikle düşük sıcaklıklarda eğrilerin farklı eğimlere sahip iki bölge şeklinde olduğu görülmektedir. Birinci bölgede

eğim sıfıra yakınken sıcaklık artışıyla eğim de artmaktadır. Hesaplamalarda eğim doğrunun lineer olduğu ikinci bölgede alınmıştır. Ters beslem grafiğinde ise doğru beslemin tersine bir yönelim söz konusudur. Artan sıcaklıkla akımın azaldığı görülmektedir. Bu durum her iki grafikte de diyotun iyi bir doğrultucu özelliğine sahip olduğunu gösterir.



Şekil 5.1 (a): Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotunun doğru beslem altında farklı sıcaklıklar için elde edilen grafiği.



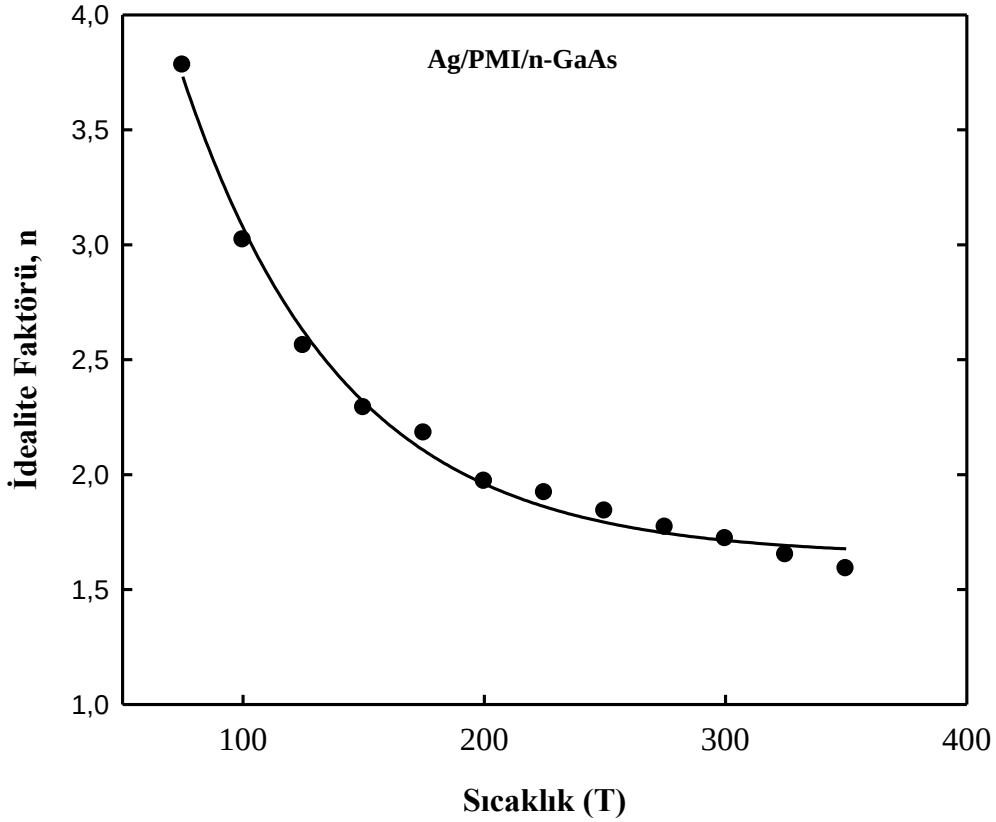
Şekil 5.1 (b): Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotunun ters beslem altında farklı sıcaklıklar için elde edilen grafiği.

Elde edilen grafiğinin lineer bölgesinin eğiminden bulunur ve

— — (5.3)

ifadesi yardımıyla idealite faktörü belirlenebilir. İdealite faktörü, doğru beslem akım-gerilim karakteristikleri kullanılarak hesaplanan ve diyotun ideallikten saptığını gösteren boyutsuz bir parametredir. İdeal bir diyot için dir fakat gerçek diyot yapıları için daha büyük değerler almaktadır.

Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için aralığındaki belli sıcaklık değerleri için elde edilen doğru beslem grafiğinin lineer kısımları fit edilerek elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından ve doyma akımı değerleri elde edildi. Bulunan değerler (5.3) ifadesinde yerine yazılıp her bir sıcaklık için değeri bulunmuştur. Grafiklerden bulunan değerleri Çizelge 5.1 de verilmiştir ve değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği Şekil 5.2 de verilmiştir.

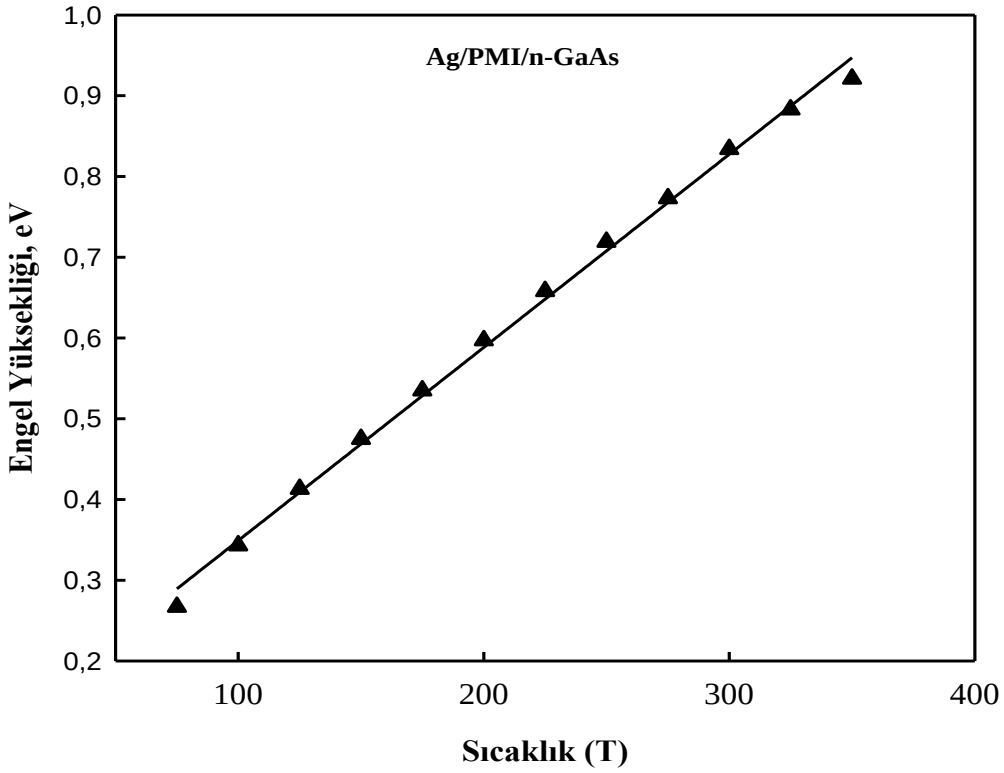


Şekil 5.2: Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için idealite faktörünün sıcaklıkla değişimi.

(5.2) eşitliğinin her iki tarafının logaritması alınıp ’a göre çözülürse denklem (5.4) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

— —— (5.4)

Bu denklem yardımıyla her bir sıcaklık değeri için elde edilen engel yüksekliği değerleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.3: Ag/PMI/n-GaAs diyotunun engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişimi.

Şekil 5.2 ve 5.3 de doğru beslem akım-gerilim karakteristiklerinden farklı sıcaklık değerleri (75-350 K) için Ag/PMI/n-Si Schottky diyotu için elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliği değişimi çizilmiştir. İdealite faktörünün sıcaklık arttıkça üstel olarak azaldığı, engel yüksekliğinin ise sıcaklıkla yaklaşık lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir. İdealite faktörünün 1'den büyük değerler çıkması pratikte ideal diyot elde edilmesinin zor olduğu anlamına gelmektedir. İdealite faktöründeki bu artış organik film kalınlığındaki homojensizlikler, arayüzey durumları ve ara yüzey yüklerinin düzgün olmayan dağılımları ile açıklanabilir [Güllü ve ark.,2008]. Ayrıca görüntü yük düşmesi ve üretim-yeniden birleşme süreçleri de idealite faktörünün büyük çıkmasını açıklayan sebepler arasında yer almaktadır [Tung ve ark., 1992; Crowell ve ark., 1969; Card ve ark., 1971]. İdealite faktörünün normalden büyük çıkması akım

taşıma özelliklerinin sadece termiyonik emisyon modeli ile açıklanamayacağını ifade eder. Bu durumda ara yüzeyde ikincil bir mekanizmanın varlığından söz edilebilir. Organik-inorganik ara yüzeyin keskin aktif olmayan yapıda oluşmasına rağmen metal ile yarıiletken arasındaki organik tabakanın ara yüzey durumlarında önemli bir modifikasyona sebep olduğu görünmektedir. Bu yüzden engel yüksekliğindeki değişim organik tabaka pasivasyonu yoluyla ara yüzey dipolü ile açıklanabilir [Zahn ve ark., 2003; Bolognesi ve ark., 2003].

Ag/PMI/n-GaAs diyotunun oda sıcaklığında idealite faktörü 1.72 ve engel yüksekliği 0.834 eV olarak hesaplanmıştır. Daha önce yaptığımız bir çalışmada Au/PMI/n-Si Schottky kontağın sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu yapılmış, yapılan değerlendirmelerde oda sıcaklığında idealite faktörü ve engel yüksekliği sırasıyla 5.08, 0.675 eV olarak bulunmuştu [Yüksel ve ark., 2011]. Her iki çalışmada da aynı organik ara yüzey kullanılmasına rağmen farklı değerler elde edilmesi kontaklar için kullanılan alt tabaka ve omik kontak malzemesinin farklılığına bağlı olması muhtemeldir. Buna göre idealite faktörü açısından bakıldığında Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotunun ideal diyot davranışına daha yakın olduğu söylenebilir [Şimşir ve ark., 2012].

Çizelge 5.1: Ag/PMI/n-GaAs Schottky engel diyotu için farklı metotlarla elde edilen diyot parametreleri.

T (K)	I-V		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
	n	ϕ_{B0} (eV)	n	R_s (kΩ)	ϕ_B (eV)	R_s (kΩ)
75	3.78	0.267	3.79	56.051	0.266	55.985
100	3.02	0.343	3.05	47.530	0.340	47.567
125	2.56	0.413	2.55	41.232	0.412	41.214
150	2.29	0.475	2.29	31.693	0.474	31.677
175	2.18	0.535	2.18	28.420	0.533	28.425
200	1.97	0.597	1.96	23.425	0.597	23.431
225	1.92	0.658	1.91	18.304	0.658	18.309
250	1.84	0.719	1.84	11.235	0.718	11.236
275	1.77	0.773	1.77	6.069	0.777	6.062
300	1.72	0.834	1.72	3.859	0.834	3.861
325	1.65	0.883	1.65	2.154	0.883	2.150
350	1.59	0.921	1.59	0.737	0.918	0.735

5.2. Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Akım-Gerilim Karakteristikleri

Termiyonik emisyon modeli teorisinin kullanılması sadece diyotun karakteristiğinin lineer bölgesinde kullanılır. Bu bölge şeklinde yüksek seri direnç ile sınırlıdır. Bu bölge ve nin güvenilir değerlerini hesaplamak için çok dardır. Düşük gerilim bölgesinde yeniden birleşme süreçlerinin katkısı, yüksek gerilim bölgesinde ise seri direncin büyük olması halinde diyotun üzerine düşmesi gereken gerilimin çoğunluğu seri direnç üzerine düşeceğinden lineerlik bozulur. Bu nedenle termiyonik emisyon modelinin tek başına kullanılması yetersiz kalacaktır [Kutluca H., 2007]. Cheung tarafından önerilen modelde seri direnç katkısı da göz önüne alınarak akım ifadesi (5.5) eşitliği ile verilmiştir [Cheung and Cheung, 1986].

(5.5)

Burada yine önceden ifade edildiği gibi değişimi

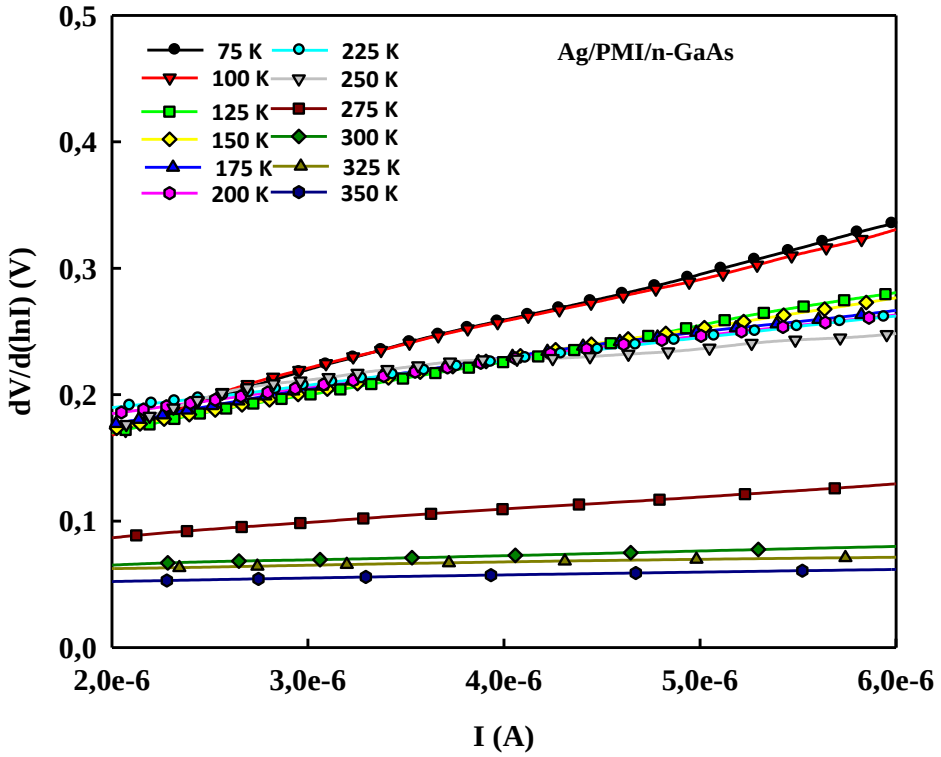
(5.6)

şeklinde tanımlanır. 'yi tanımlamak için

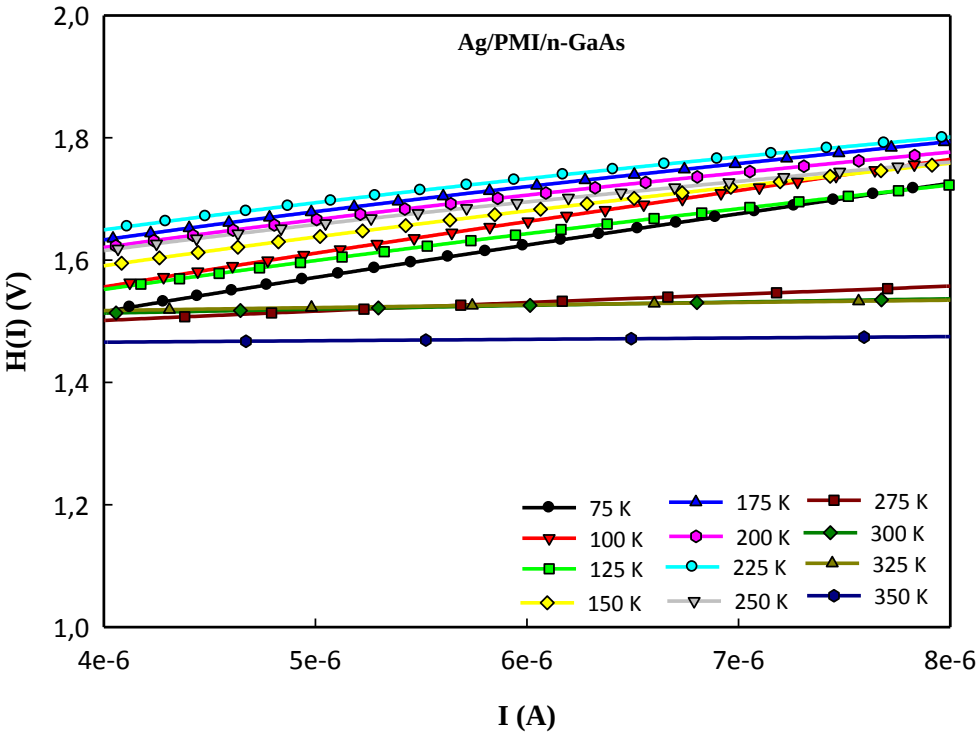
(5.7)

şeklinde bir fonksiyondan yararlanılır. (5.6) ifadesine göre çizilecek olan grafiğinde lineer bölgenin eğimi diyotun seri direncini verirken, aynı grafiğin koordinat eksenini kesim noktası ise idealite faktörünü verir. Şekil 5.4'de Ag/PMI/n-GaAs Schottky engel diyotu için eğrisi verilmiştir. Ag/PMI/n-GaAs diyotu için Şekil 5.5'de verilen eğrinin eğimi seri direnci, eğrinin eksenini kesim noktası ise engel yüksekliğini verir. Çizelge 5.1'de ve eğrilerinden her bir sıcaklık için elde edilen diyot parametreleri listelenmiştir.

Şekil 5.4 ve 5.5'da görüldüğü gibi eğriler her bir sıcaklık değeri için iyi bir lineerlik göstermektedir. Şekil 5.4 de sıcaklık arttıkça karşılık gelen akım değeri azalmaktadır. Oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda bu artış değerinin biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.5 de aynı eğilim gözlenmekte, sıcaklıkla akım değeri azalmaktadır.



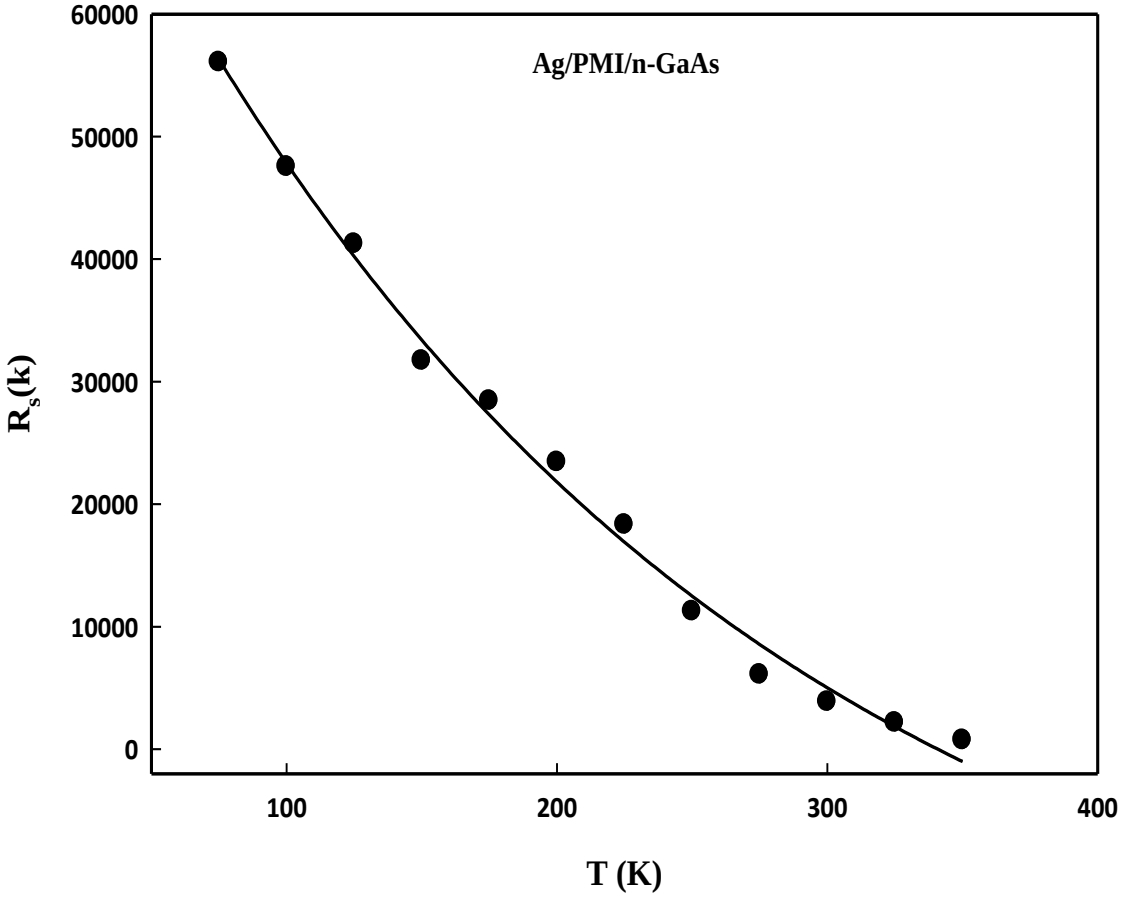
Şekil 5.4: 75-350 K sıcaklık aralığında Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için grafiği.



Şekil 5.5: Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu farklı sıcaklık değerleri için grafiği.

Cheung and Cheung fonksiyonları bazı diyot parametrelerinin hesaplanması için alternatif bir yöntem sunar. Çizelge de Cheung metoduyla —— grafiğinin kesim noktasından elde edilen idealite faktörü ve grafiğinin kesim noktasında elde edilen engel yüksekliği değerleri akım-gerilim karakteristiklerinden hesaplanan değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Farklı metotlarla bulunan değerlerin iyi bir uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığına bakacak olursak ölçümlerinden hesaplanan idealite faktörü ile Cheung fonksiyonları yardımıyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin 1.72 olduğu görülmektedir. Değerlerin yaklaşık aynı çıkması ölçümlerdeki hassasiyeti göstermektedir. Yine den hesaplanan engel yüksekliği ile Cheung fonksiyonlarından hesaplanan değer eşittir.

Şekil 5.6 da Cheung fonksiyonları yardımıyla —— ve grafiklerinin eğiminden hesaplanan seri direncin sıcaklıkla değişimi verilmektedir. Farklı metotlarla hesaplanan değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgede hem grafiğinden hem de grafiğinden elde edilen seri direnç değerlerinin uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.6'dan da görüldüğü gibi seri direnç artan sıcaklıkla üstel olarak azalmaktadır. Seri dirençteki bu düşüş idealite faktörünün sıcaklıkla düşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu değişim serbest taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklıkla artış ya da azalışının bir sonucudur (Chand ve Kumar 1996).



Şekil 5.6: Ag/PMI/n-GaAs engel diyotu için seri direncin sıcaklıkla değişimi.

Ayrıca iletim bandındaki taşıyıcı sayısının artması ya da azalması seri direnci değiştirecektir [Soylu M., 2007].

5.3. Sığa-Gerilim Karakteristikleri

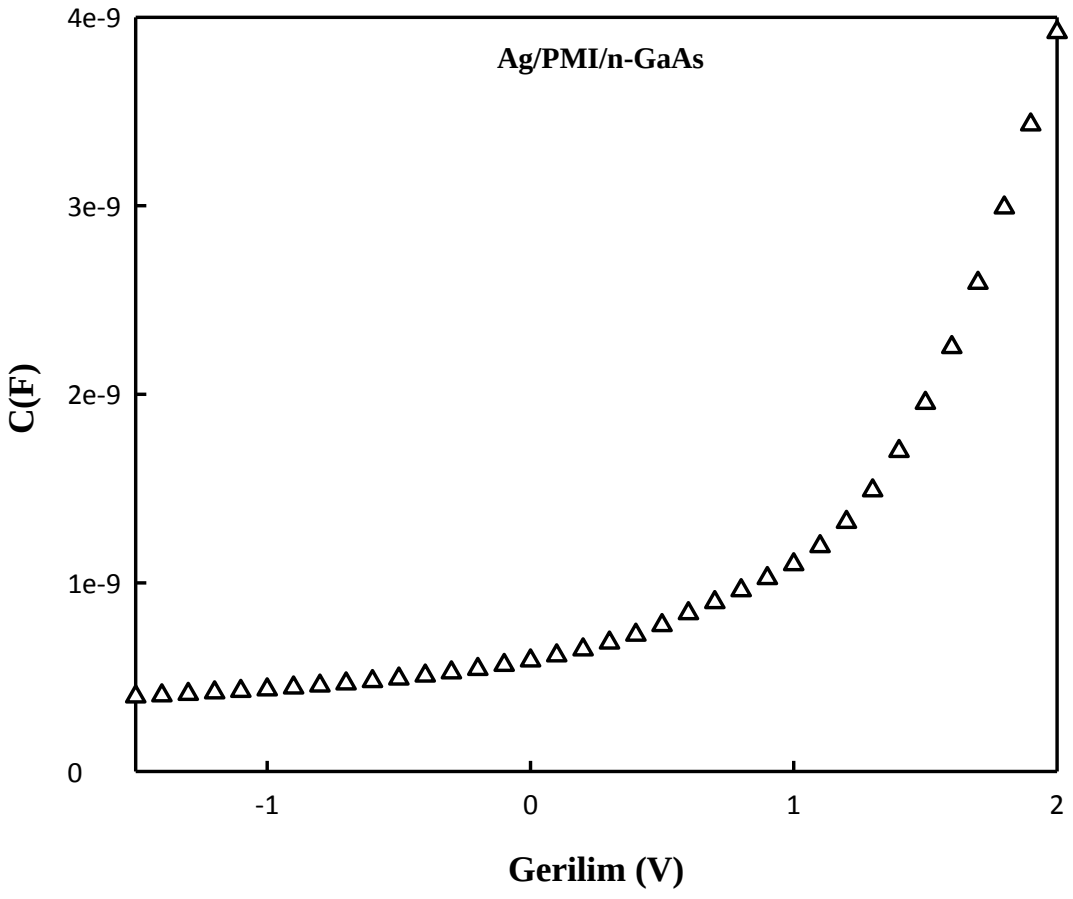
Schottky engel diyotta ara yüzey durumlarını belirlemek için sığa-gerilim karakteristikleri önemli yere sahiptir. Sığa ters beslem ölçümlerinden engel yüksekliği, taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon ya da built-in potansiyeli ve fermi seviyesi gibi diyota ait birçok parametre elde edilebilir.

MS diyotlar için tüketim tabakası sığası

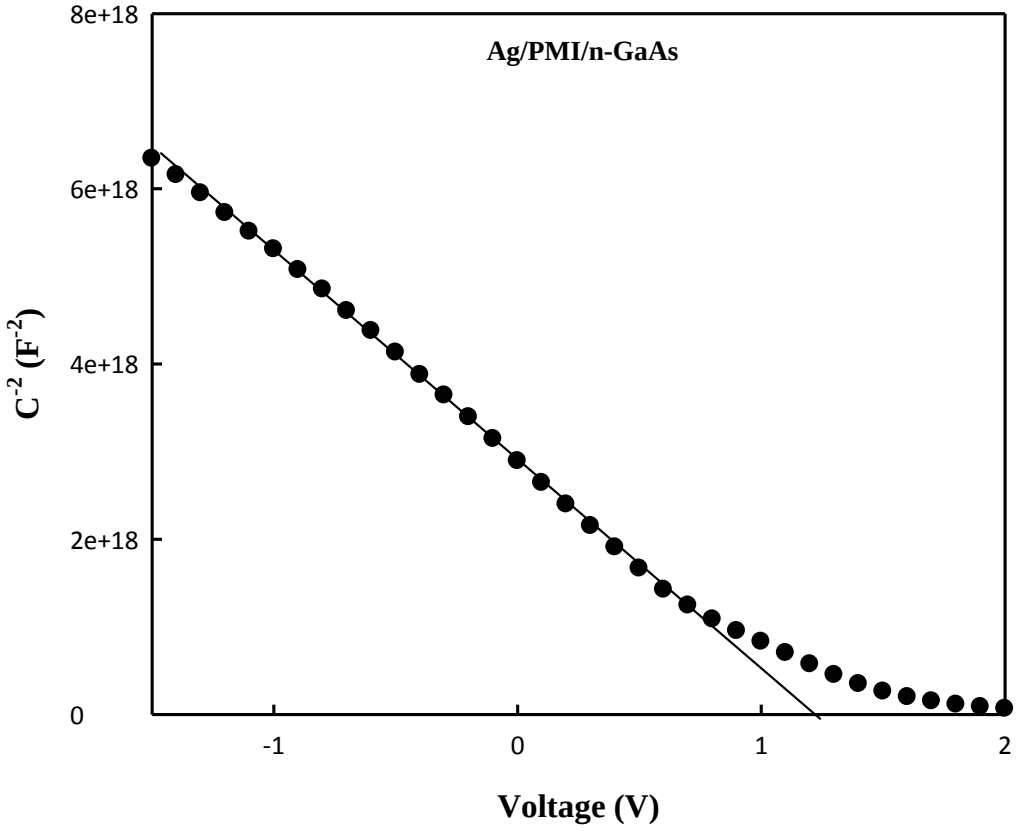
— ———— (5.8)

ifadesi ile verilmektedir. Burada sıfır beslemdeki built-in potansiyelidir ve grafiğinin lineer kısmının ekstrapole edilmesiyle elde edilir. yarıiletken için dielektrik sabiti olup GaAs için değerindedir.

Ag/PMI/n-GaAs Schottky engel diyotu ölçümleri oda sıcaklığında frekans aralığında alınmıştır. Numune için ve grafikleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de verilmiştir. Şekil 5.7 de görüldüğü gibi sığa değeri düşük gerilim değerlerinde gerilimin artmasıyla yavaşça artmaktadır ancak yüksek gerilim değerlerinde keskin bir artış gözlenmiştir. Yüksek frekanslardaki sığa değeri sadece uzay yük sığası olarak tanımlanırken düşük frekanslardaki sığa değeri uzay yük sığası ve arayüzey sığasının toplamı olarak tanımlanmaktadır [Yakuphanoğlu ve ark., 2010]. Bu çalışmada sığa ölçümleri 1 MHz gibi büyük bir frekans değerinde alınmıştır. Yüksek frekanslarda hesaplanan parametreler ideal duruma daha yakın çıkmaktadır.



Şekil 5.7: Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için C-V grafiği.



Şekil 5.8: Ag/PMI/n-GaAs diyotunun grafiği.

Sığa-gerilim ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği

(5.9)

ifadesi ile verilmektedir. Burada yarıiletkenin nötral bölgesinde iletim bandının en alt noktası ile Fermi enerjisi arasındaki potansiyel farktır ve

— (5.10)

şeklinde verilir. Eşitlikteki n-GaAs'ın iletim bandındaki durum yoğunluğu olup dır [Aydın ve ark., 2011].

(5.9) ifadesi ideal davranış gösteren diyotlar için doğru ideal olmayan diyotlar için idealite değerinin 1'den büyük olması nedeniyle hatalıdır. (5.9) ifadesi katkısına göre yeniden düzenlenirse

(5.11)

ifadesi elde edilir. Burada şeklindedir.

Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için 1MHz frekansında ve oda sıcaklığında elde edilen değeri ve engel yüksekliği olarak bulundu. Engel yüksekliği akım-gerilim karakteristiklerinden bulunan değerle karşılaştırılacak olursa sığa-gerilim karakteristiklerinden bulunan değerin literatüre uygun olarak daha büyük olduğu görülmektedir. Engel yüksekliğindeki bu artış ara yüzeydeki homojensizliklerle ara yüzeydeki yüklerin dağılımıyla ilgili olduğu şeklinde yorumlandı. Güllü ve ark. Al/NF/n-Si diyotu ile yaptıkları bir çalışmada de alınan sığa-gerilim karakteristiklerinden engel yüksekliğini ve akım-gerilim karakteristiklerinden engel yüksekliğini olarak hesaplamışlar. C-V ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği ile I-V den hesaplanan değerden büyük olmasını ara yüzeydeki düzensizliklerle açıklandı. Ayrıca donor veya akseptör yoğunluğunun bu tip organik Schottky diyotlarda aralığında değerler aldığı bilinmektedir. Buna göre Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için bulunan donor yoğunluğu literatüre uygun çıkmıştır. Sığa-gerilim karakteristiklerinden elde edilen diyota ait birçok parametre Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Ag/PMI/n-GaAs engel diyotu için C-V karakteristiklerinden elde edilen diyota ait bazı parametreler

	—	(eV)			
	0.15	0.24	0.01	1.37	

tüketim tabakası genişliği iyonize donor yoğunluğundan ve built-in potansiyelinden hesaplanabilir.

—

(5.12)

Burada uygulanan potansiyel olup ters beslem durumunda negatif doğru beslem durumunda pozitif işaretini almaktadır. Sıfır beslemdeki Schotkky ara yüzeyi için maksimum alan (5.12) ifadesinden

— (5.13)

ifadesinden türetilmektedir [Nahhas ve ark., 2005].

Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotu için sığa-gerilim karakteristiklerinden ve frekansında hesaplanan tüketim tabakası genişliği olarak tayin edilmiştir. Oda sıcaklığındaki numune için değeri ise değerinde bulunmuştur.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada hazırlanan organik Schottky diyotların akım-gerilim ve sığa-gerilim karakteristikleri incelendi. Bu incelemelerden idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç, donor yoğunluğu gibi diyota ait birçok parametre hesaplandı.

Akım-gerilim karakteristikleri geniş bir sıcaklık aralığında alınıp sıcaklık değişim yorumlanmıştır. Burada göze çarpan husus Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotunun artan her sıcaklık aralığında iyi bir doğrultucu özelliği gösterdiğidir. Artan sıcaklıkla akımın üstel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Fakat bu çalışmada 50 K den daha düşük sıcaklıklara inilememiştir. Diyotun daha düşük sıcaklıklarda farklı bir yönelim gösterdiği tahmin edilmektedir. Araştırmacılar düşük sıcaklıklarda Ag/PMI/n-GaAs Schottky diyotun akım-gerilim karakteristiklerini inceleyip diyotun bu farklı davranışını yorumlayabilirler. Ayrıca akım-gerilim karakteristiklerinden hesaplanan idealite faktörü değerleri sıcaklık artışıyla 1'e yaklaşmakta olup yaklaşık ideal diyot davranışı göstermektedir. Diyot 350 K sıcaklığında ideal diyot davranışına en uygun durumdadır. Hem akım- gerilim ölçümlerinden hem de Cheung- Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü, engel yüksekliği değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu durum yapılan ölçüm ve hesaplamaların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Yine Cheung fonksiyonlarında hesaplanan seri direncin sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum idealite faktörünün sıcaklıkla azalmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Hazırlanan diyotun ara yüzey durumlarını incelemek için sığa-gerilim karakterizasyonu yapılmıştır. Sığa değerinin düşük gerilim değerlerinde gerilimle daha yavaş artarken yüksek gerilim değerlerinde bu artış daha keskin olmaktadır. C-V ölçümlerinden engel yüksekliği, taşıyıcı yoğunluğu gibi diyota ait birçok parametre hesaplanmıştır. Taşıyıcı yoğunluğu ara yüzey malzemesi olarak organik kullanımına bağlı olarak istenilen aralıkta hesaplandığı görülmektedir.

Sonuç olarak perylene organiği ile modifiye edilmiş diyotun elektriksel karakterisazyonu yapılmış diyot parametreleri elde edilmiştir. Bu ölçümlerden diyotun ideal davranış sergilediği görülmektedir.

KAYNAKLAR

Asir S., Demir A.S., Icil H., 2010, The synthesis of novel, unsymmetrically substituted, chiral naphthalene and perylene diimides: Photophysical, electrochemical, chiroptical and intramolecular charge transfer properties, *Dyes and Pigments*, 84 1-13.

Aydın M. E., Soylu M., Yakuphanoğlu F., Farooq W. A., 2011, Controlling of electronic parameters of GaAs Schottky diode by poly(3,4-ethylenedioxithiophene)-block-poly(ethylene glycol) organic interlayer, *Microelectronic Engineering*, 88 867-871.

Aydoğan Ş., İncekara Ü., Deniz A. R., Türüt A., 2010, Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Indigotindisulfonate Sodium (IS), *Solid State Communications*, 150 (33-34) 1592-1596.

Aydoğan Ş., İncekara Ü., Deniz A.R., Türüt A., 2010, Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Orcein, *Microelectronic Engineering*, 87 2525-30.

Aydoğan Ş., İncekara Ü., Türüt A, 2010, Determination of contact parameters of Au/Carmine/n-Si Schottky device, *Thin Solid Films*, 518 7156-7160.

Brütting, W., 2005, Physics of organic semiconductors, *Wiley-Vch-Verlag*, Weinheim.

Chand S., Kumar J., On the existence of a distribution of barrier heights in Pd_2Si/Si Schottky diodes, 1996, *Journal Applied. Physics*, 80 288-292.

Cheung, S. K. and Cheung, N. W., 1986, Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, *Applied Physics Letters*, 49(2) 85-87.

El-Nahass M. M., Zeyada H. M., Aziz M. S., El-Ghamaz N. A.,2005, Carrier transport mechanisms and photovoltaic properties of Au/p-ZnPc/p-Si solar cell, *Solid-State Electronics*, 49 1314-1319.

Gupta R. K., Singh R. A., 2005, Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organics semiconductor, *Composites and Science and Technology* 65 677-681.

Gupta R. K., Singh R. A., 2004, Schottky diode based on composite organic semiconductors, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 7 83-87.

Güllü Ö., Asubay S., Aydoğan Ş., Türüt A., 2010, Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device, *Physica E* 42 1411-1416.

Ishii H., Sugiyama K., Ito E., and Seki K., 1999, Energy level alignment and interfacial electronic structures at organic/metal and organic/organic interfaces, *Advanced Material*, 11 605-625.

Kuş M., 2006, Sıvı özellikli Perilendimidlerin sentezi ve organik fotosensörlerin fotofiziksel

fotokimyasal parametrelerinin incelenmesi, Doktora tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 5-10.

Kutluca H., 2007, Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Okur S., Yakuphanoğlu F., Özsöz M., Kadayıfçılar P. K., 2009, Electrical and interface properties of Au/DNA/n-Si organic-on-inorganic structures, *Microelectronic Engineering* 86 (11) 2305-2311.

Rhoderick, E.H., 1988, *Metal–Semiconductor Contacts*, Oxford University Press, Oxford.

Rockett, A., 2008, The materials science of semiconductors, *Springer-Verlag*, New York – U.S.A.

Schwoerer M., Wolf H. C., 2007, Organic molecular solids, *Wiley-VCH, Weinheim*.

Sharma, B. L., 1987, Metal-semiconductor shottky barrier junction and their application, plenum, *New York*, 27-29.

So, F., 2010, Organic electronics materials, processing, devices and applications, *CRC Press*, U.S.A.

Soylu M., 2007, Au/n-InP ve Au/Pyronine-B/n-InP Schottky yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu, Doktora tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

Sze S.M. and Ng K.K., 2006, *Semiconductor devices*, 3rd edn., Wiley, New York.

Sze, S.M., 1981, *Physics of Semiconductor Devices*, Wiley, New York 134-153.

Şimşir N., Şafak H., Yüksel Ö. F., Kuş M., 2012, Investigation of currentevoltage and capacitanceevoltage characteristics of Ag/perylene-monoimide/n-GaAs Schottky diode, *Current Applied Physics*,

Tomizaki K., Thamyongkit P., Loewe R. S., Lindsey J. S., 2003, Practical synthesis of perylene-monoimide building blocks that possess features appropriate for use in porphyrin-based light-harvesting arrays, *Tetrahedron*, 59 1191–1207.

Vural Ö., Şafak Y., Altındal Ş., Türüt A.,2010, Current–voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs structures in the wide temperature range, *Current Applied Physics* 10 761-765.

Vural Ö., Yıldırım N., Altındal Ş., Türüt A., 2007, Current–voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs and Cu/Rhodamine-101/n-GaAs rectifier contacts, *Synthetic Metals*, 157 679-683.

Wöll C., *Physical and chemical aspects of organic electronics*, Wiley-VCH, Gremany, 2009.

Yahia I. S., Farag A. A., Yakuphanoğlu F., Farooq W. A., 2011, Temperature dependence of electronic parameters of organic Schottky diode based on fluorescein sodium salt, *Synthetic Metals*, 161 881-887.

Yakuphanoğlu F., Okur S., 2010, Analysis of electronic parameters and interface states of boron dispersed triethenolemine/p-Si structure by AFM, I-V, C-V-f and G/w-V-f techniques, *Mikroelectronic Engineering*, 87 (1) 30-34.

Yang L., Shi M. Wang M., Chen H., 2008, Synthesis, electrochemical, and spectroscopic properties of soluble perylene monoimide diesters, *Tetrahedron*, 64 5404–5409.

Yüksel Ö. F., Kuş M., Şimşir N., Şafak H., Şahin M., Yenel E., A detailed analysis of current-voltage characteristics of Au/perylene-monoimide/n-Si Schottky barrier diodes over a wide temperature range, Journal of Applied Physics, 110 024507.

Ziel, A.V., 1968, Prentice Hall Inc. New Jersey, *Solid State Physical Electron*, 7 136-144 .

Zafer, C., 2006, Organik boya esaslı nanokristal yapılı ince film güneş pili üretimi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Narin Şimşir
Uyruğu	**:**	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Cihanbeyli-1986
Telefon	**:**	5065612697
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	narinsimsir_86@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Cihanbeyli Anadolu Lisesi	2004
Üniversite	:	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2009
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	2012
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. Yüksel Ö. F., Kuş M., Şimşir N., Şafak H., Şahin M., Yenel E., A detailed analysis of current-voltage characteristics of Au/perylene-monoimide/n-Si Schottky barrier diodes over a wide temperature range, *Journal of Applied Physics*, 110 024507.

2. Şimşir N., Şafak H., Yüksel Ö. F., Kuş M., 2012, Investigation of currentevoltage and capacitanceevoltage characteristics of Ag/perylene-monoimide/n-GaAs Schottky diode, *Current Applied Physics*, 12 1510-1524. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)