

AI/MA/p-Si YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN FARKLI METODLARLA İNCELENMESİ

Ali ÖZBAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2019

Ali ÖZBAY tarafından hazırlanan "Al/MA/p-Si YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN FARKLI METODLARLA İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

 Danışman: Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

 İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

 Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

 Başkan: Prof. Dr. Mustafa POLAT

 Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

 Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

 Üye: Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

 İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

 Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 01/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ali ÖZBAY 01/08/2019

Al/MA/p-Si YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN FARKLI METODLARLA İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali ÖZBAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Al/maleicanhidrit(MA)/p-Si metal-polimer-yarı iletken (MPS) diyotlar, bir organik filmin p-Si tipi bir silisyum alttabaka üzerine dönerek kaplama yöntemiyle hazırlanmıştır. Termal buharlaştırma yöntemiyle omik ve doğrultucu kontaklar oluşturulduktan sonra yapıların oda sıcaklığında ve karanlık ortamda gerilime bağlı akım, kapasitans ve iletkenlik 1MHz değerleri ölçümleri yapılmıştır. İdealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç gibi ileri I-V özelliklerinden diyot parametreleri dört farklı yöntemle analiz edilmiştir. Bu yöntemler standart I-V karakteristikleri, Cheung, Norde, Lien-So-Nicolet ve Werner yöntemleridir. Bu yöntemlerden elde edilen idealite faktörü, seri direnç ve bariyer yükseklik değerleri karşılaştırılarak tartışılmıştır. Metal/polimer/yarı iletkenlerin elektriksel özelliklerini açıklamak için MPS yapılarında kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlikgerilim (G-V) özelliklerinden yoğunluk ve seri direnç ara yüzey durumlarının araştırılması yapılmıştır. Arayüzey durum yoğunluğu D_{it} ve seri direnç R_s değerleri, C ve G ölçümlerinden hesaplanmıştır. I-V ve C-V karakteristiklerin ideal olmayan davranışleri, arayüzey durumlarından ve seri direnç değerlerinden kaynaklanır. MPS yapıların I-V, C-Vf ve G-V-f karakteristikleri, diyotun bariyer yüksekliğine, arayüzey durumlarına ve seri direnç değerleri gibi elektriksel parametrelerine güçlü bir şekilde bağlı olduğu gösterildi.

BilimKodu: 708.3.026Anahtar Kelimeler: Schottky, diyot, ideallik faktörü,Sayfa Adedi: 55Danışman: Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF Al/MA/p-Si STRUCTURES WITH DIFFERENT METHODS

(M. Sc. Thesis)

Ali ÖZBAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Al/maleic anhydride (MA)/p-Si metal-polymer-semiconductor (MPS) diodes have been prepared by spincoating of an organic film on p-Si substrate. After formation of omic and rectifier contacts by thermal evaporation technique the voltage dependent current, capacitance and conductivity measurements (1MHz) of structures have been performed at room temperature and in a dark environment. The diode parameters from the forward I-Vcharacteristics such as the ideality factor (n), barrier height (Φ_B) and series resistance have been analyzed by four different methods. These methods are standard I-V characteristics, Cheung, Norde, Lien-So-Nicolet and Werner methods. The ideality factor, series resistance and barrier height values obtained from these methods have been compared and discussed in accordance with each other. The investigation of interface states density and series resistance from capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G-V)characteristics in the MPS structures with thin interfacial insulator layer have been reported in order to explain the electrical characteristics of metal/polymer/semiconductor (MPS) with Maleic anhydride (MA) interface. The values of interface states density Ditand series resistance Rs were calculated from measurements of C and G. These values of Dit and Rs were responsible for the non-ideal behavior of I-V and C-V characteristics. The I-V, C-V-f and G-V-f characteristics confirmed that the barrier height, Dit and Rs of the diode were shown parameters that strongly dependent on the electrical parameters in the MPS structures.

ScienceCode	:	708.3.026
KeyWords	:	Schottky diode, ideality factor, I-V,C-V, barrier height
PageNumber	:	55
Supervisor	:	Assist. Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

TEŞEKKÜR

Tecrübesi ve değerli bilgisiyle tez konumu belirlememde, yaptığım bütün çalışmalarda zaman gözetmeksizin her türlü yardım ve desteğini benden esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım ve hocam sayın Prof.Dr.Sema Bilge OCAK'a, beni sonuna kadar destekleyen ve motive eden yakın zamanda kaybettiğim canım babama, hasta yatağındayken bile tezi bitirmem konusunda bana destek olan anneme, bütün eğitim-öğretimimde ve iş hayatımda maddi-manevi desteklerini her zaman hissettiren başta eşim Gamze ÖZBAY olmak üzere sevgili aileme sonsuz minnet ve teşekkürü kendime bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv	
ABSTRACT	v	
TEŞEKKÜR	vi	
İÇİNDEKİLER	vii	
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix	
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	X	
RESİMLERİN LİSTESİ	xii	
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii	
1. GİRİŞ	1	
2. KURAMSAL TEMELLER	5	
2.1. Giriş	5	
2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar	5	
2.2.1. Metal <i>n</i> -Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	6	
2.2.2. Metal <i>p</i> -Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	8	
2.3. Metal – Organik - Yarıiletken Schottky Diyotların Yapısı	9	
2.3.1. Yığılma	12	
2.3.2. Tüketim		
2.3.3. Tersinim	13	
2.4. İdeal Olmayan MPS Yapı	14	
2.5. Metal-Yarıiletken Etkileşimlerde Akım-İletim Mekanizmaları	15	
2.5.1. Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi	16	
2.6. Shcottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkileri	18	
2.7. İdeallik faktörü	20	
2.8. Engel Yüksekliği Ölçme Yöntemleri	22	

Sayfa

2.8.1. Norde yöntemi	22
2.8.2. Chang-Cheung Fonksionları	24
2.9.1. Akım-Gerilim (I-V)	26
2.9.2. Kapasite-gerilim (C-V)	26
2.10. Ara Yüzey Durumları	27
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Giriş	29
3.2. MA'nun Genel Özellikleri	29
3.3. Al/MA/p-Si Yapının Hazırlanması	30
3.3.1. Kristalin temizlemesi	30
3.3.2. Al/MA/p-Si Diyotun Hazırlanması	31
3.4. Kullanılan ÖlçmeAraçları ve Düzenekleri	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	37
4.1. Giriş	37
4.2. Düz Beslem Akım-Gerilim Karakteristikleri	37
4.3. Kapasite-Gerilim ve İletkenlik-Gerilim Karakteristikleri	42
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55

viii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	ayfa
Çizelge 2.1. Doğrultucu ve omik kontakların iş fonksiyonlarına göre oluşum şekli	6
Çizelge 3.1. MA özellikleri	29
Çizelge 4.1. Tüm diyotlar için I-V eğrilerinden farklı metotlarda elde edilen n , Φ_b ve R_s , değerleri	39
Çizelge 4.2. Al/MA/ p -Si yapının temel elektrik parametreleri ve Φ_b ve N _{ss} değerleri	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	S	ayfa
Şekil 2.1.	a) kontak öncesi b) kontak sonrası metal-n-tipi yarıiletkenin enerji-bant diyagramı	7
Şekil 2.2.	Metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontağa ait a) kontak öncesi b) kontak sonrası ve termal denge durumunda iken enerji-bant diyagramı	8
Şekil 2.3.	V≠0 olması durumunda metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontağa ait enerji bant diyagramı	9
Şekil 2.4.	Bir MPS yapısının şematik gösterimi	10
Şekil 2.5.	MPS kapasitans eşdeğer devresi	11
Şekil 2.6.	MPS yapının elektronik şematik gösterimi a) yığılma durumu b) tüketim durumu c) terslenim durumu	11
Şekil 2.7.	MPS yapılarında yığılma, tüketim ve tersinim durumlarında yüklerin dağılımı	12
Şekil 2.8.	İdeal MPS yapının enerji-bant durumu (a) yığılma (b) tüketim (c) tersinim .	13

Şekil 2.9. İdeal olmayan yapılarda görülen durumlar		
Şekil 2.10. Bir metal/n-Si eklem yapısında akım iletim mekanizmalarının şematik gösterimi	15	
Şekil 2.11. Metal yüzey ve vakum arasındaki enerji-bant diyagramı	20	
Şekil 2.12. Akım-İletim mekanizmaları için nkT/q – kT/q eğrileri [9,10,43]	21	
Şekil 3.1. Maleik anhidrit	29	
Şekil 4.1. Tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotlarında düz belsemde I-V karakteristikleri.	38	
Şekil 4.2. Tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotlarının yarı logaritmikdüz beslem lnI-V eğrileri	39	
Şekil 4.3. Al/MA/p-Si yapıların dV/dln(I)-I eğrileri	40	
Şekil 4.4. Al/MA/p-Si yapıları için F(V)-V eğrileri	41	
Şekil 4.5. Al/MA/p-Si yapıları için So ,Lien ve Nicolet metoduna göre F(V)-V grafiği	41	
Şekil 4.6. Al/MA/p-Si yapıları için Werner metodu	41	
Şekil 4.7. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHZ deki C-V eğrileri	43	

Sayfa

Şekil 4.8. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHZ deki C-V eğrileri	43
Şekil 4.9. Al/MA/p-Si yapının 1MHZ de R _s -V eğrileri	45
Şekil 4.10. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHz için Cc ⁻² -V eğrileri	46

Şekil

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. "Innovation Water Purification" marka deiyonize su sistemi	31
Resim 3.2. Beher Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo	31
Resim 3.3. Al/MA/p-Si Schottky diyotların hazırlanması için kullanılan"Edwards" marka buharlaştırma sistemi	32
Resim 3.4. (a) Omik kontak maskesi (b) Doğrultucu kontak maskesi	32
Resim 3.5. Al/MA/p-Si yapısının görünüşü	33
Resim 3.6. Al/MA/p-Si yapısından ölçüm alınışı	33
Resim 3.7. Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı	34
Resim 3.8. Agilent 4294A Empedans Analizörü	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullandığımız simgelerin ve kısaltmaların açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklamalar	
A *	Etkin Richardson sabit değeri	
Å	Angström	
Α	Alan	
Al	Alüminyum	
СНзОН	Metanol	
C	Sığa	
Dn	Elektron difüzyon sabit değeri	
Ds	Arayüzey durum yoğunluk değeri	
Dp	Deşik difüzyon sabit değeri	
Eg	Yarıiletkenin yasak enerji aralık değeri	
Ev	Değerlik (valans) bant kenar enerjisi	
Ec	İletkenlik bant kenar enerjisi	
Ef	Fermi Enerji Seviyesi	
Ea	Aktivasyon enerjisi	
E(x)	Schottky bölgesindeki elektrik alan	
Es	Yarıiletken malzemenin dielektrik geçirgenliği	
ε _i	Yalıtkan malzemenin diielektrik geçirgenliği	
03	Boşluğun dielektrik geçirgenliği	
ZnO	Çinko Oksit	
H ₂ O	Su	
Hz	Hertz (Frekans birimi)	

1. GİRİŞ

Çağımızda metal-yariiletken kontakların, geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Bu yapıların uygulama alanları olarak; Güneş pilleri [1,2], metal-yarıiletken ve alan etkili transistörler (MESFET) [3,4], laser divodlar [5,6], fotodivodlar [7,8], bipolar entegre devrelerde anahtarlama hızlarında artış sağlama, radyo dedektörleri yarıiletken dedektörler, radar dedektörleri, OP-AMP (Operational Amplifier) benzeri aktif devreelemanları ve mikrodalga devre elemanları bu yapıların uygulama alanları olarak sayılabilir. Schottky engel yüksekliği, yapıların uygun fiziksel koşullarda oluşabilen en önemli parametresidir. Engel yüksekliğin arttırılması için bilim insanlarıncagerçekleştirilen bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Metal ile yariiletken arasına oldukça ince bir yalıtkan tabaka yerleştirilme bu yöntemlerdendir. Metal ve yarıiletken arasında kalay dioksit (SnO₂) vesilisyum dioksit (SiO₂) sıklıkla kullanılan yalıtkan olan ince filmlerdir [9,10].Elektronik cihazlarda aktif bileşen olarak kullanılan organik yarıiletkenler, son zamanlarda organik iletken polimerlerin bulunması ile birlikte oldukça önem kazanmıştır. Bu malzemenin, esnek olması, maliyetinin düşük olması ve üretim sürecinin kolay olması gibi önemli özelliklerinden dolayı optoelektronik ve elektronik cihaz üretiminde geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Mikro elektronik cihaz, Schottky engel diyot ,organik ışık yayan diyot, günes pilleri v.b. üretimlerde elektriksel, optik ve dielektrik özelliklerinin yeterli olmasından dolayı kullanılan pek çok polimer bulunmaktadır. Bu malzemelerin yüksek optiksel geçirgenliğe, düşük iletkenliğe, ve yüksek dielektrik katsayısına karşı dayanıklılıkları vardır. İletken polimer malzemeler, metalle kontak haline getirildiği zaman foto-voltaik, elektrolüminesans ve doğrultucu etki gösterdiği için elektronik endüstrisinde önemli bir yere sahip olmaya başlamışlardır [11,12].

MS, MIS, MOS ve MPS yapılar hazırlanırken doğrultucu kontak için, yarıiletkenin n-tipi ya dap-tipi olmasına bağlı olarak, uygun iş fonksiyonlu metaller kullanılır. Metal olarak çoğunluklaalüminyum (Al), gümüş (Ag), altın (Au) ve türü metaller tercih edilerek kullanılır. Yarıiletken ile metal arasında yük geçişlerinin düzeninisağlamak ve yarıiletken aygıtın performansını yükseltmek için yarıiletken vemetal arasına genellikle yaTiO₂, Si₃N₄, SnO₂, SiO₂ gibi bir yalıtkan tabaka ya da polianilin, poliindol ve polivinil alkol (PVA) türüorganik tabakalar büyütülür. Ara yüzey tabakaları seçilirken yüzeyin pasivize olması, sızıntı akımının en az olması, kontrol edilebilen akım-iletim mekanizması gerçekleştirebilecek ve doğrultucu özelliğe yaklaşacak yüksek dielektrik sabitli

malzemelerin seçilmesine dikkat edilir [13-20].Schottky kontakların, yüksek frekansta çalışabilmeleri, daha düşük seri dirence sahip olmaları, anahtarlama hızlarının yüksek olması, akım kaybının olmaması ve daha verimli olması gibi üstünlükleri, daha kullanışlı olmasını sağlamıştır. Ancak, üretilen kontakların elektronik sistemlerdeki devrelerde daha verimli ve etkin kullanılabilmesi için elde edilen yapıların elektriksel karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir.Farklı yöntemler kullanılarak I-V karakteristiği, ideallik faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri gibi parametrelerin analizi yapılmaktadır [9-15].

İletken polimerlerin bulunmasıyla elektriksel, optik ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak yarıiletken teknolojisindedevre elemanı olarak polimerler kullanılmaya başlandı. Polimerlerin, eklem özelliklerikullanılarak p-n eklemi, Schottky engelli eklem ve heteroeklem gibi değişik tipleri yapıldı [21]. İletken polimerler kolay şekil verilebilir, olması, maliyetleri ucuz ve esnek olmaları nedeniyle, Schottky diyodlarda, mikrodalga devre elemanlarında sensörlerde, hızlı anahtarlama uygulamalarında, MESFET'lerde, güneş pillerinde, plastik bataryalarda, FET'lerde, elektrolüminesans cihazlarında, ve varaktörlerde (kapasitesi uygulanan gerilimle değişen kondansatör) kullanılır. [22-28]. Polimer tabanlı dedektörler yüksek verimlilikleri, geniş spektrumlu olmaları ve yüksek hızlarından dolayı son yıllarda araştırıcıların önemli bir ölçüde ilgisini çekmiş olup, metal/organik yarıiletken eklemler, metal/inorganik yarıiletken eklemlerin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda çogu araştırmacılar tarafından, Polyacetylene, polyaniline, polypyrrole ve polythiophene gibi organik yarıiletken kullanılarak Schottky diyodunun yapılması ve karakterizasyonu çalışılmaktadır [29-36].

Metal-organik yarıiletken ekleminin elektriksel ve elektronik karakteristikleriSchottky diyotunun performansınıbelirler. Genellikle moleküler yapı içinde farklı gruplarının mevcut olması konjuge polimerlerin organik çözücüler içinde çözülebilmesine olanak sağlar. Böylece malzemelerin elektrik ve optik özelliklere sahip polimerlerle çalışma imkânı sağlanır. Organik ışık yayan diyotlarda (OLED) geniş ölçüde kullanılan yüksek moleküler ağırlıklı poli [2-metoksi-5-(2'-etil-heksiloksi)-1,4-fenilen vinil] (MEH-PPV) polimeri fotodiyotlarda da kullanılmaktadır. MEH-PPV ve fulleren türevi olan [6,6]-fenil-C61-bütrik asit metilester (PCBM)'den yapılan iki-tabakalı fotodiyotların iyi verime sahip oldukları gösterilmiştir [37,38]. Konjuge MEH-PPV polimer filmlerinin fotoakımları, özellikle fulleren molekülleriyle geliştirilir [39]. Poli (2-metoksi-5-(2'-etil-heksiloksi)-1,4-fenilen vinil (MEH-PPV) ve fulleren türevi olan [6,6]-fenil-c61-bütrik asit metilester ve fulleren türevi olan [6,6]-fenil-c61-killeriyle geliştirilir [39]. Poli (2-metoksi-5-(2'-etil-heksiloksi)-1,4-fenilen vinil (MEH-PPV) ve fulleren türevi olan [6,6]-fenil-c61-4 bütrik asit metilester

(PCBM) ile farklı fotovoltaik piller hazırlanabilmektedir. Organik fotovoltaikler, inorganik yarıiletken fotovoltaiklere göre düşük bir maliyet alternatifi olarak umut vermektedirler. [38,40]. Si alttabaka üzerine piron-B (pyronine-B)'yi ilave ederek MIS kontaklarını elde ederek ideallik faktörü (n) ve engel yüksekliği (φ_b) gibi parametreleri hesaplandı [38-41].

MPS yapıların elektriksel karakteristiklerinin davranışları MIS tipi Schottky engel diyotların davranışına benzerdir. Bu yapıların elektriksel karakteristikleri özellikle ara yüzeysel yalıtkan/polimer tabakanın oluşumuna, metal ile yarıiletken arasındaki ara yüzeysel özelliklere, seri dirence (R_s) ve Schottky engel yüksekliklerindeki homojensizliğe bağlıdır. Metal ile yarıiletken arasında bulunan yalıtkan ya da polimer tabaka ara yüzey durumlarını etkiler ve metal-yarıiletken yapıların elektriksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Polimer veya yalıtkan, ara yüzey tabakaile metal tabaka ile yarıiletken kısmın izole olmasını sağlar ve ayrıca metal plaka ile yarıiletken tabaka arasındaki yük geçişlerinindüzenlenmesini sağlar. [9-18].

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmuştur. Birinci bölüm yapılan çalışmalarında, metalyalıtkan-yarıiletken ve metal-yarıiletken Schottky diyotların önemi, çalışma prensipleri vekullanım alanları ile ilgili bilgiler verildi. İkinci bölüm yapılan çalışmalarında, Metalyarıiletken ve metal-yalıtkan-yarıiletken schottky diyot yapıları, akım-iletim mekanizmaları, kontak oluşumlarının nasıl olduğu ve ideal durumlardan sapma sebepleri incelendi. Üçüncü bölüm yapılan çalışmalarında, metal-yalıtkan-yarıiletken yapının hazırlanış aşamalarının sıralaması, MA'nın temel özelliklerinin neler olduğu, spin kaplama yöntemi ve kullanılan deney ve ölçüm sistemi hakkında detaylı bilgileraktarıldı. Dördüncü bölüm yapılan çalışmalarında, kapasitans-potansiyel fark C-V ve iletkenlik- potansiyel fark G-V ölçüm sonuçlarından temel diyot parametreleri hesaplandı. Beşinci ve son bölümde ise edinilen deneysel sonuçlar mevcutliteratür bilgileri ile karşılaştırıldı.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Giriş

Bir Metal ile yarı iletkenin kontak halinde olması ideal şartlarda sıfır dirençlebirbirine temas ettirilmesi anlamına gelir. Kontak haline getirilecek maddelerinyüzeylerinintemiz, oksitsiz, parlak ve pürüzsüz olması gerekir. Bu koşullar sağlanmadığı takdirde metalyarıiletkenkontak yapısında, metal-oksit ve oksit-yarıiletken ara yüzey durumları oluşabilir.

Metal ile yarı iletken kontak haline getirildiğinde maddeler arasındaki yük alış-verişi devam eder (Fermi enerji seviyeleri aynı seviyeye gelinceye kadar)[42]. Metalin ve yarıiletkenin işfonksiyonuna göre, doğrultucu kontak ve omik kontak (Schottky kontak) şeklindeiki kısıma ayrılır.Bir yarıiletken ile bir metal,aralarında oksit dahil başka herhangibir madde olmadan, kontak edilmesi durumunda oluşan yenisistem,metal-yarıiletken kontak olarak isimlendirilir. Schottky Engel Diyodların oluşturulması, p-n eklemininoluşturulmasından çok daha kolaydır. Schottky diyodların karakteristikleri, p-neklemdiyodların karakteristiklerine benzer. Schottky diyodlarda akım, çoğunluk taşıyıcıları iken p-n ekleminde akım, azınlık taşıyıcıları ile sağlanır [43]. Yeniden birleşme olayı Schottky Engelinde (SE) yoktur. Böylece akımda bir azalma olmayacağı ve kullanıldıkları devrelerdeyüksek verime sahip olacakları sonucu çıkar. Schottky yapılar düşük gerilim, yüksek akım doğrultucuları iken, p-n eklemler yüksek gerilim düşük akım doğrultucuları iken, p-n eklemler yüksek gerilim düşük akım doğrultucuları iken, p-n eklemler yüksek gerilim düşük akım

2.2. Metal-Yariiletken Kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklar bütün yarıiletken tabanlı devre elemanlarının temelini oluşturmaktadır. Metal-yarıiletken Schottky diyot üretiminde üst (doğrultucu) ve alt (omik) metal kontak seçimleri oldukça önem arz eder. Metal-yarıiletken kontakta iletkenliğin oluşmasını sağlayan yük taşıyıcıholler ve elektronlar bir doğrultudan diğer doğrultuya (metalden yarıiletkene ya da yarıiletkenden metaledoğru) daha kolay iletiliyorsa bu tür davranışa doğrultma denir. Diyotun tam iletime geçtiği voltaj değerinde, doğru ön-gerilim altındaki akımın I_F, ters ön-gerilim altındaki akıma I_R oranı "doğrultma oranı" olarak

bilinir ve bu oran diyotun kalitesini önemli ölçüde belirler. İdeal diyotlarda doğrultma oranı I_F/I_R yaklaşık olarak 10^8 - 10^{10} civarındadır [45].

Metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engeli oluşmadığı durum olan omik kontak da ise, taşıyıcılar metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolaylıkla geçerler. Kontağın omik ya da doğrultucu olması, yarıiletken ve metalin iş fonksiyonlarına bağlıdır. Φ_m metale ait, Φ_s yarıiletkene ait iş fonksiyonlarını göstermek kaydı ile doğrultucu ve omik kontakların oluşumu Çizelge 2.1'de aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir.

Çizelge 2.1. Doğrultucu ve omik kontakların iş fonksiyonlarına göre oluşum şekli

İş fonksiyonun durumu	Yarıiletken tipi	Kontak yapısı
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu

2.2.1. Metal n-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Schottky veya doğrultucu kontak, akımın bir doğrultudan, diğer doğrultuya göre kolay oluştuğu kontaktır. Elektronların bir yöndeki hareketi kolayca gerçekleşirken, kontak bölgesinde meydana gelen potansiyel engeli nedeni ile ters yöndeki elektron geçişleri zorlaşır. Oluşan bu durumher iki maddenin de elektronik enerji-bant diyagramı ile doğrudan ilişkilidir [31].

Metale ait iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkene ait iş fonksiyonu Φ_s , yarıiletkenin elektron ilgisi χ_s ve $\Phi_s < \Phi_m$ olarak tanımlanırsa, kontak öncesi yarıiletkene ait Fermi Enerji seviyesi metale ait Fermi Enerji seviyesinden şekil 2.1a.da görüldüğü gibi Φ_m - Φ_s kadar yukarıdadır.



Şekil 2.1. a) kontak öncesi b) kontak sonrası metal-n-tipi yarıiletkenin enerji-bant diyagramı

Kontak sonrası ise, yarıiletken yüzeyden metale elektron geçişi olurken, geride iyonize olmuş donorlar kalır. Yük alışverişinin tamamlanması sonrası iki tarafta da Fermi seviyeleri eşitlenir. Yarıiletkenin enerji seviyeleri Şekil 2.1b.'te görüldüğü gibi (Φ_m - Φ_s) kadar alçalır. Bunların sonucunda, kontakta meydana gelen dipol tabakası sebebi ile eklem üzerinde potansiyel engeli meydana gelir. Buengelin yarıiletken kısmındaki yüksekliği (Φ_m - Φ_s) ve metal tarafındaki yüksekliği ise Φ_m - χ_s kadardır.

Fermiyonlardan oluşan bir sisteminde doldurulmuş en yüksek enerji seviyesini gösteren enerjiye Fermi Enerjisi adı verilir. Fermi enerjisi, n-tipi yarıiletkenlerde referans olarak iletim bandının E_c alt kenarından itibaren ölçülürken, p-tipi yarıiletkenler de ise valans bandının E_v üst kenarından itibaren ölçülür.

Bir elektronu yüzeyden koparmak için gerekli minimum enerji miktarına veya metalin tam dışında bulunan sıfır kinetik enerjiye sahip bir elektrona ait enerji seviyesine vakum seviyesi denir.

Bir elektronun Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine uyarılması veya metalden koparılıp serbest hale getirilmesi için gerekli olan minimum enerji metalin iş fonksiyonu (Φ_m) olarak tanımlanır.

Yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) denir.

Vakum seviyesi ile iletkenlik bandı kenarı arasında bulunan bir elektronun enerji farkına Elektron yakınlığı (χ) olarak ifade edilir.

2.2.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

P tipi yarı iletken doğrultucu kontak gerçekleşmeden önce metalin fermi seviyesin yarıiletkenin fermi seviyesinden Şekil 2.2a'de görüldüğü gibi Φ_s - Φ_m kadar yukarıdadır. Kontak yapıldıktan sonra ise Şekil 2.2b'deki gibi yarıiletkenin ve metal Fermi seviyeleri aynı hizaya gelene kadar metalden yarıiletkene elektron geçişi gerçekleşir. Bu yüzden yarıiletken tarafında bulunan holler, buradaki elektronlarca iyonize olurlar. Yarıiletken yüzey tabakadaki negatif yüklü iyonize olmuş bu akseptörler d kalınlıkntaki bir uzay yük tabakası içinde dağılırlar. Yarı iletken kısımdaki enerji seviyeleri (Φ_s - Φ_m) kadar yükseldiğinden, yarıiletken kısımdaki deşikler için yüzey engeli,

$$eV_{dif} = \Phi_s - \Phi_m \tag{2.1}$$

İfade edilir.

 V_{dif} difüzyon potansiyelidir. Kontakta metal kısımdaki hollere ait engel yükseklik değeri;

$$e\Phi_b = \mathcal{E}_s - \Phi_m \tag{2.2}$$

tanımlanır.



Şekil 2.2. Metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontağa ait a) kontak öncesi b) kontak sonrası ve termal denge durumunda iken enerji-bant diyagramı

Termal uyarılmalar sebebi ile oluşan yarıiletkendeki hollerin bazıları potansiyel engelini aşabilecek ve metalin içine geçebilecek kadar enerjiye ulaşırlar. Bunun sonucunda termal denge durumunda kontakta, engelden geçen eşit büyüklükte ve zıt yönde iki I_0 akımı

meydana gelir. Şekil 2.3.'da V $\neq 0$ durumu için metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontağa ait enerji bant diyagramı görülmektedir. Ancak yarıiletkene V kadar bir gerilim uygulanırsa, metalden yarıiletkene doğru akan I_0 boşluk akımı değişmez, bunun sonucunda yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tamamı eV kadar azalır, yarıiletkenden metale geçen boşluklar için engel yüksekliği de eV kadar azalır. Bunun sonucunda yarıiletkenden metale doğru oluşan akım exp $\left(\frac{kT}{eV}\right)$ çarpanı kadar düşer.

Yariiletken bölgeden metale doğru geçen akımın yönünün pozitif olarak kabul edilmesi durumunda karakteristik akım ifadesi,

$$I = I_0 \left(exp \frac{eV}{kT} - 1 \right) \tag{2.3}$$

olarak tanımlanır. I_0 doyma akımıdır.



Şekil 2.3. V≠ 0 olması durumunda metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontağa ait enerji bant diyagramı

2.3. Metal – Organik - Yarıiletken Schottky Diyotların Yapısı

Metal/yariiletken arasında bazen isteyerek, bazen de kendiliğinden yalıtkan olan bir tabakameydana gelir. Bu tür yapılarda yalıtkan tabaka polimer ise metal/polimer/yarıiletken (MPS) yapıları olarak isimlendirilir. MPS yapılar genelde Şekil 2.4'da görüldüğü üzere silisyum alt tabaka sonrası bu alt tabaka ile kontak yapmış arka omik kontak ve yalıtkan tabaka üzerinde konumlanmış bir metal kontaktan oluşur.



Şekil 2.4. Bir MPS yapısının şematik gösterimi

MPS yapılar, bir metal ve bir yarıiletken arasında yalıtkan tabaka olduğundan elektriksel özellikleri yönünden kapasitörlere benzemektedir. Yalıtkan, ara yüzey tabaka metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder ve metal yarıiletken arasındaki yük geçişini düzenler.

Metal ile yarıiletken arasında bir yalıtkan/polimer tabaka, bundan dolayı da yarıiletken ve metal arasında kapasitans C meydana gelir.Bu kapasitans MPS kapasitansı olarak isimlendirilir. MPS kapasitansına denk gelen eşdeğer elektronik devresi Şekil 2.5'de gösterilmiştir. MPS yapının toplam (eşdeğer) kapasitansı, uzay yükü kapasitansı C_{sc} ve yalıtkan tabakanın kapasitansı C_i den oluşur ve C_{sc} ve C_i kapasitanslarının seri bağlanmasının eşdeğeridir [9,10].



Şekil 2.5. MPS kapasitans eşdeğer devresi

Şekil 2.5 de görüldüğü gibi MPS eşdeğer devrenin toplam kapasitansı $C_{OX} = C_1$ ise

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_{\rm j}} + \frac{1}{C_{\rm sc}}$$
(2.4)

$$C_i = \frac{\varepsilon_i}{dox} A \tag{2.5}$$

şeklinde ifade edilir.

Bağıntıda ε_i yalıtkan tabakanın dielektrik sabitidir, *A* doğrultucu kontak alanını ifade eder ve d_{ox} ise ara yüzey tabaka kalınlığını gösterir[32,33]. İdeal olan bir MPS diyodunda Şekil 2.6'de görüldüğü gibi yığılma veya toplanma (accumulation), tersinim (inversion) ve tüketim (depletion) adını alan üç eşdeğer devre söz konusudur.



Şekil 2.6. MPS yapının elektronik şematik gösterimi a) yığılma durumu b) tüketim durumu c) terslenim durumu

2.3.1. Yığılma

p-tipi yarıiletkenli MPS yapının girişine Şekil 2.7'de gösterildiği gibi negatif bir gerilim $V_G < 0$ uygulanırsa holler yarıiletken-yalıtkan ara yüzeyine doğru çekilecektir. Bu ise yarıiletken yüzeyinde hollerin yığılmasına neden olacaktır. Değerlik bandı dolayısıyla fermi seviyesi de yukarı kayacaktır. Şekil 2.8'de görüldüğü üzere bantlarda yukarı doğru bükülmeye neden olacaktır. Böylece ara yüzeyde toplanan yükün yüzey yükü olmasından dolayı yüzey yük kapasitansı sonsuza gider ($C_{SC} \rightarrow \infty$). Dolayısıyla ölçülen kapasitansı yalıtkan tabakanın kapasitansı olur ($C \rightarrow C_{ox}$).

2.3.2. Tüketim

MPS yapının metal elektrotuna düşük değerde pozitif bir potansiyel fark uygulandığı zaman yalıtkan içinde meydana gelen elektrik alan dolayısıyla yarıiletkenin arayüzeyinde bulunan boşluklar yüzeyden uzaklaşır. Buna bağlı olarak yarıiletkenin yüzeyinde gerçekleşen boşluk yoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarında gerçekleşen boşluğun yoğunluğundan daha düşük oluşmaya başlar, bantlar aşağı yönde bükülürler. İletkenlik bandında yarıiletken yüzeye yakın bölgelerde elektronlar birikmeye başlar. Yarıiletkenin yüzeyde, uygulanan potansiyel farkladeğişen *W* genişlikte bir alanda, boşlukların azaldığı bir tüketim bölgesi oluşur.

Şekil 2.7.b de görüldüğü gibi boşlukların azaldığı bu alan tüketim bölgesi diye adlandırılır, meydana gelen bu olay da "tüketim" olayı olarak adlandırılır.



Şekil 2.7. MPS yapılarında yığılma, tüketim ve tersinim durumlarında yüklerin dağılımı

2.3.3. Tersinim

Metal elektrotuna daha yüksek birpozitif gerilim uygulandığında bantlar aşağı doğru bükülmeye devam eder. Fermi enerji seviyesine gittikçe yaklaşır. Saf durumdaki enerji seviyesi E_i, Fermi enerji seviyesinden aşağıda olur. Yarıiletken yüzeyde azınlık taşıyıcıolan elektronlar gittikçe artar. Elektronların yoğunluğu boşlukların yoğunluğundan daha fazla olur. Sonuç olarak p-tipi yarıiletken yüzey n-tipi yarıiletken davranışı gösterir. Buna yarıiletken yüzeyin tersinimi denir. Tersinim durumunda, MPS yapısının kapasitansı, elektron yoğunluğunun uygulanan gerilimin a.c. sinyalini takip edebilme yeteneği ile belirlenir. Düşük frekanslarda da elektron yoğunluğu a.c. sinyalini takip edebilir ve kapasitans artan potansiyel farkla C_i değerine yükselir. Yüksek frekanslarda ise a.c. sinyalini elektron yoğunluğu takip edemez, kapasitans C_{min} değerini alır.



Şekil 2.8. İdeal MPS yapının enerji-bant durumu (a) yığılma (b) tüketim (c) tersinim

2.4. İdeal Olmayan MPS Yapı

MPS yapısında, oksit yüklerinin ve ara yüzey tuzakların varlığından dolayı MPS yapı ideal durumdan sapar. Ara yüzey durumları ve yükler genelde şekil 2.9'daki gibi sınıflandırılabilir. Bir yarıiletkende kristal yapıda bulunan yabancı bir atom ya da bir bozunma veya fabrikasyon sırasında yapıya bulaşan çok sayıdaki organik kirlerden dolayı metal ile yarıiletken ara yüzeyi yakınlarında yasak enerji bandında lokalize olmuş çok sayıda izinli enerji seviyeleri meydana gelir ve oluşan bu yapılar diyot performansını kötü olacak şekilde etkiler. MPS fabrikasyonu sırasında yarıiletkenin yüzeyi ne kadar temizlenirse temizlensin ara yüzey tuzaklar ve oksit yükler bulunacaktır. Yarıiletken yapının sonunda kristal yüzeydeki düzensizlikler neticesinde yasak enerji bölgesinde birim yüzey başına ortaya çıkan enerjinin seviyelerinin yoğunluğu teorik olarak 10¹⁵eV⁻¹cm⁻ ²seviyelerinde olması beklenirken deneysel sonuçların bunların yaklaşık 10¹²-10¹³eV⁻¹cm⁻ ²mertebesinde olduğunu gösterdiği izlenmiştir[9,10]. Bir dış ön-gerilim altında ara yüzey tuzak seviyeleri valans veya iletkenlik bantları ile Fermi seviyesi sabitleşene kadar yukarı veya aşağı hareket ederler. Bu, MPS kapasitesinde ve ideal eğrisinde değişime sebep olur.



Şekil 2.9. İdeal olmayan yapılarda görülen durumlar

2.5. Metal-Yarıiletken Etkileşimlerde Akım-İletim Mekanizmaları

Metal/yarıiletken etkileşimlerde akım iletim mekanizmaları; difüzyon (D), Alan Emisyonu (AE), Termoiyonik Alan Emisyonu (TAE), Termoiyonik Emisyon-Difüzyon (TED), Termoiyonik Emisyon (TE), azınlık taşıyıcı enjeksiyonu, üretilme-yeniden birleşme ve çok katlı tünelleme şeklindedir. Schottky Kontaklarda akım iletimi çoğunluk taşıyıcıları tarafından gerçekleşir.

Şekil 2.10'da bir metal/n-Si eklem yapısında akım iletim mekanizmalarının şematik gösterimi görülmektedir [9,10,43].



Şekil 2.10. Bir metal/n-Si eklem yapısında akım iletim mekanizmalarının şematik gösterimi

Temelde dört farklı akım iletim mekanizması bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Engel yüksekliğini aşıp metale gelen elektronların oluşturduğu akım
- b) Elektronların (orta derecede katkılandırılmış yarıiletkenler için) engel içerisinden doğrudan kuantum-mekaniksel tünellemeleri ile oluşan akım
- c) Uzay yük bölgesi içerisindetekrar birleşmenin oluşturduğu akım
- d) Deşik enjeksiyonunun (metalden yarıiletkene) oluşturduğu akımlardır.

2.5.1. Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi

Metal/yarıiletken kontaklarda Termoiyonik Emisyon teorisi taşıyıcıların yeterli termal enerjiyi kazanarak metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale doğru geçerek oluşturdukları bir akım mekanizmasıdır [9,10,43].,Metal p-tipi yarıiletken yapılarda bu olay holler, Metal n-tipi yarıiletken yapılarda ise elektronlar tarafından gerçekleştirilir.

Bu akım mekanizmasının kabul ettiği bazı varsayımlar şunlardır:

- a) Termal denge sağlanmıştır, net akımın oluşması bu dengeyi etkilemez.
- b) Taşıyıcıların ortalama serbest yolları (Engel bölgesinde taşıyıcı çarpışma olmaması için)
 Schottky bölge kalınlığına göre daha fazladır.
- c) Engel yükseklik değeri, kT enerji değerinden oldukça büyüktür.
- d) Görüntü kuvvetlerin etkisi ihmal edilmektedir.
- e) Engel görüntüsünün biçimi önemsizdir, akım engel yüksekliğine bağlı olarak değişir.

Bu hipotezlere göre yarıiletkenden metale doğru gerçekleşen akım yoğunluğu $J_{s \rightarrow m}$, potansiyel engelini aşmaya yetecek seviyede enerjili elektron yoğunluğu ve bunlara ait hız,

$$J_{y \to m} = \int_{E_F + q\Phi_B}^{\infty} eV_x \, dn \tag{2.6}$$

İle ifade edilir. Bu denklemde V_x , xy yöneliminde taşıyıcı hızı ve $E_F + q\Phi_B$ metalde termoiyonik emisyon için ihtiyaç duyulanen az enerjidir. $J_{y\to m}$ denkleminde de ifade edildiği gibi potansiyel engelini aşabilmek için gerekli ve yeterli termal enerjiye sahip elektron konsantrasyonuna ve bu elektronun hızına bağlıdır. Küçük bir enerji aralığındaki elektronun yoğunluğu dn,

$$dn = N(E)f(E)d(E) = \left[\frac{4\pi(2m)^{3/2}}{h^3}\right]\sqrt{E - E_c}exp\left[\frac{-(E - E_c + eV_n)}{kT}\right]dE$$
(2.7)

Denklemi ile ifade edilir.

Bu denklemde f(E) ve N(E) sırasıyla bu bantlardaki Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu ve durumların yoğunluğudur, $eV_n = E_c - E_f$ ve m* elektron etkin kütlesini gösterir. İletim bandında bulunan elektronların bütün enerjilerinin kinetik enerjileri olduğu düşünüldüğünde;

$$E - E_{\mathcal{C}} = \frac{1}{2}m^* v^2 \tag{2.8}$$

Yazılabilir. Bu eşitlikten d(E) ve $\sqrt{E - E_c}$ elde edilir.

$$d(E) = m^* v dv \tag{2.9}$$

$$\sqrt{E - E_c} = \nu \sqrt{\frac{m^*}{2}} \tag{2.10}$$

2.8, 2.9 ve 2.10 eşitlikleri 2.7'de yerine konursa;

$$dn = 2\left[\frac{m^3}{h}\right] exp\left[\frac{-eV_n}{kT}\right] exp\left[\frac{-m^*v^2}{2kT}\right] 4\pi v^2 d$$
(2.11)

Sonucuna ulaşılır. Bu denklem bütün yönlerde birim hacme göre hızları v - (v + dv)arasında değişen elektronların sayısını gösterir. Denklem 2.11.verileri denklem 2.6 da yerine yazılır ve gerekli işlemler yapılırsa,

$$J_{y \to m} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3}\right) T^2 exp\left(\frac{-eV_n}{kT}\right) exp\left(\frac{-m^* v_{0x}^2}{2kT}\right)$$
(2.12)

Sonucuna ulaşılır. Burada v_{0x} , x doğrultusunda engeli aşmak için gereken eşik hız değeridir ve

$$1/2 \quad m^* v_{0x}^2 = e(V_d - V) \tag{2.13}$$

olur. 2.14. eşitliği 2.13'da yerine konulursa,

$$J_{y \to m} = A^* T^2 exp\left(\frac{-e\Phi_B}{kT}\right) exp\left(\frac{eV}{kT}\right)$$
(2.14)

elde edilir. Buradaki A* Richardson sabiti;

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \tag{2.15}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Metal yarıiletken doğru belsem durumundayken, engel yüksekliği azalır ve buna bağlı olarak akım yoğunluğu uygulanan potansiyel farkla exponansiyonel olarak artar. Metalden yarıiletkene akan elektronlar için engel yüksekliği uygulanan potansiyel farkla değişmediği için, akım uygulanan potansiyel farktan bağımsızdır. Bunun sonucunda Termal denge olması durumunda, metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale doğru oluşan akım yoğunlukları birbirine eşit olur ve toplam akım yoğunluğu; $Jn=Jy\rightarrow m+Jm\rightarrow y$ olacak şekildeiki akım yoğunluğunun toplamı olarak hesaplanır. Burada metalden yarıiletkene toplam akım yoğunluğu,

$$J_{y \to m} = -A^* T^2 exp\left(\frac{-e\Phi_B}{kT}\right)$$
(2.16)

olur .Toplam akım yoğunluğu ise;

$$J_n = A^* T^2 exp\left(\frac{-e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \left[exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1\right]$$
(2.17)

Sonucu çıkar. Buradaki J_0 değeri sızıntı akımı olarak bilinen doyma akım yoğunluğudur.

$$J_0 = A^* T^2 exp\left(\frac{-e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \tag{2.18}$$

Şeklinde sonuçlanır. Buna bağlı olarak doyma akım yoğunluğu,

$$J_n = J_0 \left[exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right]$$
(2.19)

şeklinde yazılır.

2.6. Shcottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkileri

Yariiletken ve metal kontak olduğunda, yariiletken-metal ara yüzeyinde bir potansiyel engeli meydana gelir. Elektrik alan uygulandığında oluşan potansiyel engelinin, hayali

kuvvet indüklemesiyle oluşan $q\Delta_{\Phi}$ alçalması schottky engel alçalması olarak ifade edilir [49]. Metalden belirli bir uzaklıkta bulunan bir elektron metal içerisinde pozitif bir görüntü yükü oluşturacaktır. Oluşan bu iki yük bir elektrik alanı ve çekim kuvveti meydana getirecektir. Bu kuvvet görüntü kuvveti olarak adlandırılır ve

$$F_x = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0(2x)^2} = \frac{e^2}{16\pi\varepsilon_0 x^2}$$
(2.20)

şeklinde ifade edilir. Burada ε_0 boş uzay dielektrik sabitini gösterir. Elektron negatif bir potansiyel enerjiye sahiptir. Bu potansiyel enerji engel yüksekliğine ilave edilir. Bir dış E elektrik alanı uygulandığı zaman toplam potansiyel enerji (PE), uzaklığa bağlı bir fonksiyon olarak

$$PE = \frac{e^2}{16\pi\varepsilon_0 x} + eE_x \tag{2.21}$$

tanımlanır.

Schottky engel düşmesi Δ_{Φ} ve bu düşmenin meydana geldiği uzaklık $\frac{x_m dPE(x)}{dx} = 0$ şartında;

$$x_m = \sqrt{\frac{e^2}{16\pi\varepsilon_0 E}} \tag{2.22}$$

$$\Delta_{\Phi} = \frac{eE}{4\pi\varepsilon_0} = 2Ex_m \tag{2.23}$$

olur. Schottky engel düşmesi Elektrik alanın yüksek olduğu bölgelerde oldukça azalır ve bunun sonucunda akım iletim mekanizmaları değişir.



Şekil 2.11. Metal yüzey ve vakum arasındaki enerji-bant diyagramı

Elektrik alan, arayüzeydeki maximum bir alanda (E_{max}), boşluğun dielektrik sabiti ε_0 ise yarıiletkenin dielektrik sabiti ε_s metal yarıiletken kontaklar için yer değiştirirse,

$$\Delta_{\Phi} = \sqrt{\frac{eE_{\max}}{4\pi\varepsilon_s}} \tag{2.24}$$

Denklemine ulaşılır. Bu denklemde ε_s değeri yarıiletekenin durgun dielektrik sabiti ile aynı değildir. Emisyon süreci boyunca elektronun metal/yarıiletken arayüzeyindeki maximum engeli geçiş zamanın dielektrik gevşeme zamanından daha az sürmesi halinde yarıiletkenin ortası yeterli kutuplanma süresine sahip olmaz ve buna bağlı olarak durgun permitiviteden daha küçük bir permitivite beklenir. Si için durgun permitivite değerleri literatürdeki permitivite değerleri ile birbirine eşittir.

2.7. İdeallik faktörü

Malzemenin yapım aşamalarında çeşitli nedenlerden dolayı ideal olan durumdan sapmalar meydana gelmektedir. 'ideallik faktörü' ideal olan yapıdan ne kadar sapıldığını belirlemek için tanımlanmış olan parametredir. Bu parametre arayüzey durumlarının yoğunluğuna (N_{ss}) ve kalınlığına bağlı olup [9,10,43],

$$n = 1 + \frac{\left(\frac{d_{0x}}{\varepsilon_i}\right)\left(\frac{\varepsilon_s}{W_D + qN_y}\right)}{1 + \left(\frac{d_{0x}}{\varepsilon_i}\right)qN_m}$$
(2.25)

şeklinde ifade edilir. Yarıiletken ile dengede olan durumların yoğunluğu Ny, metal ile

dengede olan arayüzey durumlarının yoğunluğu N_m ile göstermektedir. ε_s yarıiletkenin, ε_i oksit tabakasının geçirgenlikleri, W_D tüketme bölgesinin genişliği, *d* ise arayüzey tabakasının kalınlığıdır. Arayüzey durumlarının yoğunluğu küçük ise denklem 2.25 ifadesi

$$n = 1 + \frac{d_{ox}\varepsilon_s}{W_D\varepsilon_i} \tag{2.26}$$

tanımlanır. Arayüzey durumları metal ile dengede ise denklem 2.25 ifadesi

$$n = 1 + \frac{d_{ox}\varepsilon_s}{W_D(\varepsilon_{i+} d_{ox}qN_m)}$$
(2.27)

ifade edilir. Bu iki durumda, arayüzey durumlarının ve oksit tabakanın ideallik faktörüne katkısı azdır ve buna bağlı olarak metal/yarıiletken yapı ideal davranır. Eğer arayüzey durumları yarıiletken ile dengede ise denklem 2.27 ifadesi,

$$n = 1 + \left(\frac{d_{ox}}{\varepsilon_i}\right) \frac{\varepsilon_s}{W_D(W_{D+} q N_y)}$$
(2.28)

olur. İdeallik faktörü, arayüzey tabakasının kalınlığı ve arayüzey durumları ile doğru orantılı olarak değişmektedir [9,10,43]. Şekil 2.12 de görüldüğü gibiideallik faktörü sıcaklığın bir fonsiyonu olarak çizildiğinde bir eklem için farklı akım mekanizmaları tanımlanabilir. Yapıda termoiyonik emisyon mekanizması etkin olduğu zaman 1 (n=1 için), 2 (n>1 için) ve 3 (T₀ etkili) numaralı eğriler elde edilir. Şekil 2.12'de görülen 4 numaralı eğri termoiyonik alan emisyonunu, 5 numaralı eğri ise alan emisyonunu tanımlar.



Şekil 2.12. Akım-İletim mekanizmaları için nkT/q – kT/q eğrileri [9,10,43]

2.8. Engel Yüksekliği Ölçme Yöntemleri

2.8.1. Norde yöntemi

Norde [46] yöntemi n=1 (ideallik faktörünün 1) olması durumu için seri direnç değerini ve engel yüksekliği değerini orijinal bir F(V) fonksiyonu yardımı ile elde etmeyi amaçlar. Bu parametreleri elde etmek için fonksiyonun minimum noktasından faydalanılır. Bu yöntem, engel yüksekliği ve seri direnç parametrelerinde sıcaklık değişimi olmadığı durumlarda uygulandığından, sadece tek bir sıcaklıktaki I-V eğrisini kullanmak yeterlidir. TE Teorisinden bulunan akım yoğunluğu ifadesi diyotun etkin alanıyla çarpıldığında toplam I akımı (qV>>3kT);

$$I = AA^*T^2 exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \left[exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$
(2.29)

olur. Schottky diyoduna uygulanan V potansiyel farkının bir kısmı da seri direncin üzerine uygulanacağından dolayı Eş. 2.27 ifadesi şeklini alır. Burada (V-IR) terimi diyot üzerine düşen gerilimdir. Yüksek seri dirençli numunelerde I-V eğrisinin lineer bölgesi sınırlanır ve eğrinin değerlendirilmesi daha karışık bir hal alır. Bu durumda Norde [46], seri direnç hesaplamaları için;

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} Ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right)$$
(2.30)

şeklinde bir ifade tanımlamıştır. Eş. 2.28 ifadesinin her iki tarafının ln'i alınıp Eş. 2.29 ifadesinde yerine konursa,

$$F(V) = \left(\frac{n-2}{2n}\right)V + \frac{IR}{n} + \Phi_B \tag{2.31}$$

ifadesi elde edilir.

Fakat seri direnç sıfırdan farklı ise F(V) fonksiyonu bir minimumdan geçer ve

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} Ln\left(\frac{V}{AA^*T^2R}\right)$$
(2.32)

şeklini alır. Eş. 2.27 ifadesinin V'ye göre türevi alınıp Eş. 2.31 ifadesinde yerine konursa,

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V} = \frac{n - 2 + \beta IR}{2(n + \beta IR)}$$
(2.33)

elde edilir. Burada $\beta = \frac{kT}{q}$ dur. $\frac{\partial F(V)}{\partial V} = 0$ olması durumunda,

$$n + 2\beta IR = 0 \tag{2.34}$$

elde edilir. Buradan seri direnç ve engel yüksekliği,

$$R_s = \frac{(2-n)kT}{Iq} \tag{2.35}$$

$$\Phi_B = F(V)_{min} + \left(\frac{2-n}{2n}\right)\frac{V_0}{2} - \frac{kT}{q}$$
(2.36)

olur. Burada V_0 , F(V) fonksiyonunun minimumdaki değerine karşılık gelmektedir. 1986'da Bohlin [51] ideallik faktör değerinin 1'den büyük bir değerde olması durumunda Norde fonksiyonunu yeniden düzenledi. F(V) fonksiyonun ilk terimi olan V/2 ifadesi yerine V/ γ terimini kullanmıştır. Burada γ , ideallik faktöründen küçük olmamak üzere (1<n< γ) ilk büyük tam sayıdır. Böylece ideallik faktörü büyük olan diyotlar için I-V ölçüm sonuçlarından elde edilen Rs, Φ_B ve n'in daha doğru olarak belirlenmesini mümkün kılar. Buna göre modifiye edilmiş yeni Norde fonksiyonu,

$$F(V,\gamma) = FR(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} Ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right)$$
(2.37)

Eş. 2.28 ifadesinin iki tarafının ln'i alınıp Eş. 2.36 ifadesinde yerine yazılırsa,

$$F(V,\gamma) = F_R(V) = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{n}\right)V + \phi_{Bn} + \frac{IR}{n}$$
(2.38)

elde edilir. Seri direnç sıfır ise F(V)-V eğrisi eğimi $\left(n - \frac{\gamma}{\gamma}\right)$ olan bir doğru olur. Seri direnç sıfırdan farklıysa ve Eş. 2.36 denklemindeki akım ifadesinin açık şekli yazılırsa,

$$F(V,\gamma) = F_R(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} Ln\left(\frac{V}{RAA^*T^2}\right)$$
(2.39)

Elde edilir. Eş. 2.37 ifadesinin V'ye göre türevi alınıp gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$\phi_B = F(V_0, \gamma) - (\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{n})V_0 - \frac{(\gamma - n)}{(\beta n)}$$
(2.40)

$$R_s = \frac{(\gamma - n)}{(\beta I_0)} \tag{2.41}$$

elde edilir.

Daha sonra Yasamura ile Sato, Norde tarafından gerçekleştirilen yöntemi daha da geliştirerek ideallik faktör değerinin 1'den çok daha büyük olduğu (1 < n < 2) durumlarda bile n, R_s ve Φ_b değerlerlerinin hesabının yapılabileceğini ispatladılar (1985). Φ_b ve R_s n'nin sıcaklıkla değiştiği zamanlarda da bu yöntem uygulanabilir. Bunun için minimum iki farklı sıcaklığa ait I-V eğrisi gerekir. Benzer bir yöntemde McLean tarafından ortaya konmuştur. (1986). Bohlin de, ideallik faktör değerinin $1 < n < \delta$ olması durumunda (1'den çok büyük) Schottky engel diyodunun I-V ölçümünlerinden elde edilen n, R_s , ve Φ_b 'nin belirlenmesine ihtimal veren Norde fonksiyonun ele almış ve aşağıdaki fonksiyonu ifade etmiştir (Bohlin 1986).

$$G_{\gamma}(V,I) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I}{A^* A T^2} \right)$$
(2.42)

Bu metoda ise Lien-So-Nicolette metodu denir.

2.8.2. Chang-Cheung Fonksionları

Seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği gibi diyoda ait parametrelerin bulunması için kullanılabilecek bazı yöntemler vardır. Bunlardan biri de Cheung tarafından geliştirilen Cheung fonksiyonlarıdır [34]. Uygulanan potansiyel farkının tümü diyot üzerineuygulanmadığı için, ideal durumlardan sapmalar olur. Buna bağlı olarak Bağıntı 2.29 ile verilen denkleme seri direç etkisini de eklersek akım ifadesi,

$$I = Ioexp(q(V - IRs)/nkT$$
(2.43)

şeklinde verilir. Burada IR_s değeri uygulanan potansiyel farkın seri direnç üzerine etki eden kısmıdır. Denklem 2.43'ün logaritması alınarak düzeltmeler yapılırsa,

$$V = \left(\frac{nkT}{q}\right) ln\left(\frac{l}{AA^*T^2}\right) + n\Phi_b + IR_S(2.44)$$

Sonucuna ulaşılır. Bağıntı 2.44'ün lnI'ya bağlı türevi alınırsa,

$$\left(\frac{dV}{dln(I)}\right) = n\frac{kT}{q} + IR_S \quad (2.45)$$

Sonucuna ulaşılır. Potansiyel engel yüksekliği sonucuna ulaşmak için

$$H(I) = V - n\frac{kT}{q}ln\left(\frac{I_0}{AA^*T^2}\right)$$
(2.46)

Denklemi ile bir H(I) fonksiyonu ifade edilebilir. Denklem 2.44 ve 2.45 kullanılarak

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \tag{2.47}$$

Denklem 2.47'den H(I)-I'grafiğinin çizgisel bir doğru verdiği görülür. Bu doğrunun eğimi alınırsa seri direnç değeri, düşey ekseni kestiği noktayı kullanırsak ta Bağıntı 2.45'de ifade edilen ideallik faktörü bilgisi yerine yazıldığında engel potansiyel değeri hesaplanabilir.

Bununla birlikte seri direnç değeri, *C-V* ölçüm sonuçlarından da hesaplanabilir [35]. Bu yöntemde seri direnç değeri, kuvvetli yığılma bölgesinde edinilen iletkenlik ve kapasite(1/R) değerlerinden

$$R_{S} = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^{2} + (wC_{ma})^{2}}$$
(2.48)

denklemiyle hesaplanabilir. Burada G_{ma} ve C_{ma} kuvvetli yığılma bölgesinde bulunan iletkenlik ve kapasite değerleridir.

2.9.1. Akım-Gerilim (I-V)

Schottky diyotlarda düz beslemin çok büyük olmadığı durumlarda, akım-iletim bilgileri termoiyonik emisyon (TE) kuramına uyar. Bu kurama göre, akım-gerilim ilişkisi,

$$I = I_0 \left[exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$
(2.49)

Denklemi ile ifade edilir. Burada;

$$I_0 = A A^{**} T^2 exp\left[\frac{-q(\Phi_{b0} - \Delta \Phi_b)}{kT}\right]$$
(2.50)

Denklemiyle verilen değer doyma akımıdır. $\Phi_{b0} - \Delta \Phi_b$ etkin engel yüksekliğini verir ve Φ_e ile gösterilir. A ve A^{**} ; engeli geçen elektronlara ait kuantum mekanik yansımaları, metal yüzeyi ile engel tepesi arasındaki elektronların fonon saçılması dikkate alınarak düzenlenmiş etkin Richardson sabit değeri ve kontak alanıdır. Pratikte üretilen diyotlar için *I-V* belirtkeni bağıntı 2.27'deki ideal durumdan belirgin oranlarda ve dikkate değer sapmalar gösterebilir ve bu durumda akım ifadesi,

$$I = I_0 exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[1 - exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right]$$
(2.51)

Seklinde ifade edilir. Burada *n*sıcaklığa ve gerilime bağlı değişen ve değeri 1'den büyük olan ideallik faktör değeridir. İdeallik faktörünün 1'den büyük olması birçok sebebe bağlıdır. Bunlardan Φ_{b0} ve $\Delta \Phi_b$ 'nin potansiyel farka bağlı olması en çok karşılaşılanıdır. Denklem 2.28, V>3kT/q için için

$$I = I_0 exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$$
(2.52)

Denklemi ifade edilebilir.

2.9.2. Kapasite-gerilim (C-V)

Ters belsem durumunda kapasiteyi veren ifade,

$$C = A \left(\frac{qN_a\varepsilon_s}{2}\right)^{1/2} \left(\Phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q}\right)^{-1/2}$$
(2.53)

ilegösterilir. Burada V_p ve V_R sırasıyla ve Fermi seviyesi ile yarıiletkenin değerlik bandı arasındaki fark ve ters beslem gerilimidir. Bu ifade C^{-2} için hesaplanır ve yerine konursa

$$C^{-2} = \left(\frac{2}{eN_a\varepsilon_s}\right) \left(\Phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q}\right)$$
(2.54)

Sonucuna ulaşılır. Bir ara yüzey tabaka mevcut değilse (Φ_b, V_R 'den bağımsız) $C^{-2}-V_R$ grafiği incelenirse sonucun, bir doğru olduğu görülür. Doğrunun yatay ekseni kestiği nokta ile $\Phi_b - V_p - kT/q$ bulunur. Bunun sonucunda da engel yüksekliği,

$$\Phi_b = V_0 + V_P - \frac{kT}{q} \tag{2.55}$$

olarak bulunur.

2.10. Ara Yüzey Durumları

Bir metal/yalıtkan/yarıiletken yapısı için yüzey tuzakların ve ara oksit yüklerinin varlığı, bu diyot yapısının ölçülebilen ideal elektriksel parametrelerini etkiler (Brews ve Nicolian 1982). Yüzey durumları (*Nss*) hızlı ve yavaş olmak üzere ikiye ayrılır. Hızlı yüzey durumlarında, yalıtkan/yarıiletken ara yüzey yakınında konumlanır ve yarıiletkenin yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjilere sahiptir. Buna bağlı olarak bant bükülmesi, diğer bir ifadeyle yüzey geriliminin değişmesi sonucunda yüzey durumları da yukarı ve aşağı hareket eder, bunun sonucunda da iletkenlik bandı ve değerlik bandı ile ani yük alışverişi gerçekleşir. Yalıtkanın metal tarafında ve yüzeyde yavaş yüzey durumları bulunur vebunlar, ısıyla uyarılan, elektrik alan içerisindeki hareketli iyonlar ve oksit yapısında bulunan hareketsiz yükler tarafından meydana gelir. Bunlar MIS yapısının kapasitesini etkilemez.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Al/MA/*p*-Si, MPS yapısı hakkında genel bilgiler, schottky diyotlarının yapımında kullanılacak malzemeler, numunelerin temizlenmesi, üretimi ve hazır hale getirilmesi anlatılacaktır. Laboratuar ortamında yapılan deney çalışmalarında elde edilen I-V ve C-V ölçümlerinin analizi de belirtilmektedir. Diyotlar ve yarıiletken malzemenin elektriksel olarak incelenmesinde kullanılan yöntemler ile hesaplarda kullanılan parametreler de bu bölümde yer almaktadır.

3.2. MA'nun Genel Özellikleri

Maleik anhidrit (MA), ticari önemi olan bir kimyasal olarak, polimerik malzemeleri hazırlamada kullanılan büyük monomer ailesinin eşsiz bir yerinde bulunur. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi Maleik anhidrite eşsiz özellikler veren çift bağ ve anhidrit kısmının yanında zincir büyümesi ve basamaklı polimerleşmenin her ikisinde de kullanılabilen bir monomer olma özelliğini aynı anda taşır (Culbertson, 1987).



Şekil 3.1. Maleik anhidrit

ÖZELLİKLER		
Moleküler Formülü	C ₄ H ₂ O ₃	
Yoğunluk	$1.48g/cm^3$	
Erime Noktası	52.6°C	
Kaynama Noktası	202°C	

3.3. Al/MA/p-Si Yapının Hazırlanması

Al/MA/p-Si Schottky diyotların oluşturulması için 10 Ωcm özdirencine ve 280 µm kalınlığına sahip, yüzeyi parlatılmış p-tipi Si alttaşlar kullanılmıştır. Alttaşlar elmas kesici yardımıyla dört eşit parçaya bölünmüştür.

3.3.1. Kristalin temizlemesi

Temizleme işlem basamakları:

- 1. Trikloretilende ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2. Asetonda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3. Metanolda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 4. Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 5. H₂SO₄: H₂O₂: H₂O (3:1:1) solüsyonunda 60 saniye bekletildi.
- 6. Deiyonize su ile iyice yıkandı.(Resim 3.1)
- 7. HF % 49: H₂O (1:1) solüsyonunda 60 saniye bekletildi.
- 8. Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 9. Azot gazı (N₂) ile kurutuldu.

Organik kirleri ve kristalin yüzeyindeki ağır metal kirlilikleri temizlemek için 5. ve 7. basamaklar kullanıldı. Önce ultrasonik banyo işlemi yapıldı. Kristal üzerinde bulunan organik, ağır metal kirleri temizlemek ve yüzeyde bulunan pürüzleri bertaraf etmek amacıyla Resim 3.2 de gösterilen Beher Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo kullanıldı.

30



Resim 3.1. "Innovation Water Purification" marka deiyonize su sistemi



Resim 3.2. Beher Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo

3.3.2. Al/MA/p-Si Diyotun Hazırlanması

Kimyasal temizlik işleminden hemen sonra, hızlı bir şeklide p-Si kristali buharlaştırma sistemine (Resim 3.3) konulmuştur. 3.3.1. bölümünde p-Si kristalin temizlenmesinde anlatılan ilk üç aşama, omik ve doğrultucu kontakları hazırlamak için kullanılan bütün parçaların ve metallarin temizliğinde kullanılmıştır.



Resim 3.3. Al/MA/p-Si Schottky diyotların hazırlanması için kullanılan"Edwards" marka buharlaştırma sistemi

Omik kontağın oluşturulması için ilk olarak bakır bir levha kullanılarak resim 3.4'te gösterilen mekanik maskeler hazırlandı.



Resim 3.4. (a) Omik kontak maskesi (b) Doğrultucu kontak maskesi

Omik kontağı gerçekleştirmek için kimyasal yöntemlerle temizlenen yarıiletken, maske üzerine yerleştirildi. Bu işlem mat yüzey aşağıda kalacak şekilde gerçekleşti. Omik kontaklar için $\approx 2x10^{-6}$ Torr basınç altında, 500°C ısıtılmış buharlaştırma vakum sisteminde, üzerinden akımın geçmesi sağlanan tungsten flaman sayesinde oldukça saf Alüminyum (~ 99.99%) buharlaştırıldı ve Silisyum yaprağın arka yüzeyinde ~ 640A⁰ nm kalınlığında bir Alüminyum tabakanın oluşması sağlandı. Daha sonra, wafer 500°C'de tavlandı. Wafer in arka yüzeyi ~ 800A⁰ Alüminyum ile kaplandı.

MA ve Dimetilformamit (DMF) 2:1 molar oranında oranında seyreltildi ve bir saat karıştırıldı, Seyreltilen MA, spin kaplama cihazı ile Si alttaşın ön yüzeyine 5000 rpm devirde 45 saniye süreyle film döndürülerek kaplandı. Yaklaşık olarak 1 ml Çözelti kaplama için kullanıldı.

Üzeri MA kaplı yüzey, üzerinde pek çok sayıda 0,65 mm yarıçaplı delikler açılmış olan bakırdan yapılmış bir maske üzerine, parlak yüzeyi aşağıda kalacak biçimde yerleştirildi. Flaman üzerine konulan Alüminyum metal parçası $\approx 2x10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (1,3 mm çaplı) şeklinde ve ≈ 800 nm kalınlığında alüminyum kaplanması sağlandı.



Resim 3.5. Al/MA/p-Si yapısının görünüşü



Resim 3.6. Al/MA/p-Si yapısından ölçüm alınışı

3.4. Kullanılan ÖlçmeAraçları ve Düzenekleri

Elektriksel karakteristikler için gerekli ölçümlerin tamamı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na (TAEK) bağlı olan Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Laboratuarında gerçekleştirildi. Oda sıcaklığında normal şartlarda akımpotansiyel fark ölçümleri için Keithley 2400 Source Meter cihazı, kapasitans-gerilim C-V ölçümünde ve iletkenlik-gerilim G-V ölçümünde Şekil 3.8'de görülen Agilent 4294A Empedans Analizörü kullanıldı. Ölçümler IEEE-488 ac/dc çeviren kart kullanılarak alındı.

Al/MA/*p*-SiSchottky diyotun, oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümleri için Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı (Resim 3.7), kapasite-gerilim ve iletkenlik gerilim ölçümleri için ise HP Agilent 4294A Precision Impedance Analyzer cihazı kullanıldı (Resim 3.8).



Resim 3.7. Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı



Resim 3.8. Agilent 4294A Empedans Analizörü

Resim 3.8 de görülen Agilent 4294A Empedans Analizörünün frekans sınırları 40 Hz-110 MHz olup, yüksek frekanslarda ölçüm yapmaya olanak sağlamaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, aynı şartlar altında üretilen özdeş Al/MA/p-Si diyotlardan 3 tanesinin akımgerilim (I-V), kapasite–potansiyel fark (C-V), iletkenlik-potansiyel fark (G-V) eğrileri yardımıyla; idealite faktörü (*n*), doyma akımı (*I*₀), engel yüksekliği (Φ_b), difüzyon potansiyeli (*V*_d), Fermi enerjisi (*E*_F), tüketim tabakası genişliği (*W*_D), yüzey durumları (*N*_{ss}), Schottky alçalması ($\Delta \Phi_b$), maksimum elektrik alan (*E*_m) gibi diyot parametreleri elde edilmiştir. Elektriksel parametreleri değişik metodlar kullanılarak diyot parametreleri hesaplanmıştır.

4.2. Düz Beslem Akım-Gerilim Karakteristikleri

Al/MA/p-Si yapılar, I-V, C-V ve G-V karakteristikleri, dolayısıyla temel elektriksel parametreler, yalıtkan arayüzey tabakası, seri direnç ve arayüzey durumlarından büyük ölçüde etkilenirler. Ayrıca akım-iletim mekanizması yüzey hazırlama işlemleri, metalden/yarıiletken arasında meydana gelen potansiyel engel yüksekliği, sıcaklık, gerilim gibi birçok parametreye de bağlı olabilir [20,21].

Şekil 4.1 ve 4.2'de 3 adet Al/MA/p-Si Schottky diyota ait sırasıyla düz ve ters beslem akım-gerilim (I-V) ve ln(I)-V karakteristikleri verilmiştir. Ölçümler -4 V ve 4 V arasında alınmıştır. Termiyonik emisyon teorisine göre, akım ve gerilim arasındaki bağıntı [9,10,37,38],

$$I = I_0 exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \tag{4.1}$$

ile verilir. Burada q elektron yükünü, V diyot gerilimini, k Boltzman sabitini, n ideallik faktörüve T Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir. I_o çoğunluk taşıyıcıları için ters doyum akımı olup,

$$Io = AA^*T^2 exp(-q\emptyset b/nkT)$$
(4.2)

ile ifade edilir. Burada A^* , A ve Φ_b sırasıyla Richardson sabiti, diyot alanı, Schottky engel yüksekliğidir. İdeallik faktörünün değeri 1'den büyüktür. Yapıların ideallik faktörleri yarı logaritmik *I-V* eğrisinin eğiminden

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d(\ln l)} \right) \tag{4.3}$$

şeklindedir.



Şekil 4.1. Tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotlarında düz belsemde I-V karakteristikleri

Şekil 4.2'de lineer eğrinin akım eksenini kestiği noktadan I_o doyma akımının değeri elde edilmiştir. Denklem4.2 ve denklem 4.3 ifadeleri kullanılarak Φ_b ve *n* değerleri elde edilmiştir. Kristal yüzeyindeki diyotların oluşturduğu homojensizlikler nedeniyle engel yükseklikleri farklı değerler almaktadır.

Şekil 4.4'da tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotların F(V)-V eğrileri görülmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde her diyota ait F(V) fonksiyonu bir minimumdan geçmektedir. Eğrilerin minimum noktaları kullanılarak Eş. 2.39 ve Eş. 2.40 denklemlerinden n, Φ_b ve Rs değerleri belirlenmiştir. Bütün yöntemlerle elde edilen veriler çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

Norde yönteminden sağlanan veriler ile Cheung yöntemiyle [52] elde edilen verileri kıyasladığımızda uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

	Diyot1			Diyot2			Diyot3		
YÖNTEM	n	Φ_b	R_s	п	Φ_b	R_s	п	Φ_b	R_s
Standard	1.89	0.753	-	1.39	0.781	-	1.52	0.772	-
Cheung	1.94	0.835	30.2	1.98	0.818	27.2	2.02	0.832	62.0
Norde	-	0.965	115.5	-	0.955	169.0	-	0.942	472.4
Lion-So-Nicholette	1.57	-	37.0	1.88	-	32.3	2.33	-	86.3
Werner	1.84	-	15.4	1.70	-	16.2	1.81	-	21.3

Çizelge 4.1. Tüm diyotlar için I-V eğrilerinden farklı metotlarda elde edilen n, Φ_b ve R_s , değerleri.

Kristal yüzeyindeki diyotların oluşturduğu homojensizlikler nedeniyle engel yükseklikleri farklı değerler almaktadır.



Şekil 4.2. Tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotlarının yarı logaritmikdüz beslem InI-V eğrileri

Yapıların seri dirençleri sıfırdan farklı olduğu için $\ln I-V$ eğrilerinin yüksek gerilim değerlerinde büküldüğü görülmektedir. (Şekil 4.2). Bu bölge seri direncin (R_s) etkin olduğu

bölgeye karşılık gelir. R_s değerleri 3 diyot için hesaplanmış, yöntem olarak da Cheung metodu kullanılmıştır.

Şekil 4.3de 3 diyot için dV/d(lnI)-Ive H(I)-I eğrileri verilmiştir. Çizilen eğrilerin düşey ekseni kestiği noktadan ideallik faktörleri (n), doğruların eğiminden ise seri direnç (R_s) değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Al/MA/p-Si yapıların dV/dln(I)-I eğrileri

Norde [50] yöntemine göre diyotların seri direnç değerleri F(V)-V eğrilerinden, elde edilmiştir. Eş. 2.48 ifadesinde bulunan keyfi sabit değeri, her bir diyot için o diyotun ideallik faktöründen büyük ve ilk tam sayı olacak şekilde alındı. Şekil 4.4'da tüm Al/MA/p-Si Schottky diyotların F(V)-V eğrileri görülmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde her diyota ait F(V) fonksiyonu bir minimumdan geçmektedir.



Şekil 4.4. Al/MA/p-Si yapıları için F(V)-V eğrileri



Şekil 4.5. Al/MA/p-Si yapıları için So ,Lien ve Nicolet metoduna göre F(V)-V grafiği



Şekil 4.6. Al/MA/p-Si yapıları için Werner metodu

Norde fonksiyonundan elde edilen seri direncin değeri, diğer fonksiyonlardan elde edilen değerden daha yüksektir. Cheung fonksiyonları sadece düz beslemde lnI-V karakteristiklerindeki yüksek voltaj kesitindeki doğrusal olmayan bölgeye uygulanırken, Norde fonksiyonları, lnI-V karakteristiklerindeki tüm doğru beslemeli bölgeye uygulanır.

Çizelge 4.2'de tüm diyotlar için Cheng yöntemi kullanılarak elde edilen I_o , Φ_b ve *n* değerleri verilmiştir.

4.3. Kapasite-Gerilim ve İletkenlik-Gerilim Karakteristikleri

Hazırlanan Al/MA/p-Si Shcottky diyot yapısının elektriksel özelliklerini incelemek için iletkenlik-gerilim *G-V* vekapasitans-gerilim *C-V* ölçümleri araştırıldı. G-V ve C-V ölçümleri oda sıcaklığında Agilent 4294A Empedans Analizörü (40-110 MHz) ve bir IEE-488 çevirici kart kullanılarak bilgisayar yardımı ile kontrol edildi. Doğru gerilim ve ters ön gerilim altında -4V' dan +4V' a kadar 0,1 V adım aralıklarla 1MHz frekansında ölçümler elde edildi. Bunun sonucunda, kuvvetli tersinim bölgesinden kuvvetli yığılım bölgesine kadar *G-V* ve *C-V* eğrileri elde edildi ve incelendi. Deneysel *G-V* ve *C-V* ölçüm sonuçları kullanılarak, yapının bazı temel elektriksel parametreleri frekansın 1MHZ değeri için hesabı yapıldı. Elektriksel özelliklerden, fermi seviyesi, engel yüksekliği, kesme potansiyeli, seri direnç, tüketim bölgesi genişliğive arayüzey durumları gibi temel parametreler araştırıldı.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de görüldüğü üzere, Metal-yalıtkan-yarıiletken yapının yığılma, tüketim, tersinim karakteristiklerine sahiptir. Kapasitans değeri kuvvetli yığılımdan kuvvetli tersinim bölgesine doğru gittikçe azalmakta ve tükenim ile yığılım bölgesinde kapasitansın değeri artan frekans değerine karşı azalmaktadır [9,35].Aynı şekilde, *G-V* eğrileri çizilirse bu eğrilerinde artan frekansla azaldığı görülebilir. Düşük frekanslardaki iletkenlik-voltaj eğrileri daha uzun zaman sabitine sahip olduklarından arayüzey durumlarını takip edebilmekte ve yüksek frekanslarda ise zaman sabiti küçük olduğundan takip edememektedir. Arayüzey durumlarının etkisinin hemen hemen hiç olmadığı, yüksek frekans *C-V* eğrilerinin, kuvvetli yığılım bölgesindeki maksimum değerlerine karşılık gelen kapasitans değeri *C_i*, yalıtkan tabakasının kapasitansıdır [39].



Şekil 4.7. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHZ deki C-V eğrileri



Şekil 4.8. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHZ deki C-V eğrileri

C-V grafikleri incelendiğinde tükenim bölgesinde yapılan incelemede grafiğin bir pik verdiği görülür. C-V grafiğinde meydana gelen bu pik değerler, MA ile Si arasında ve yasak enerji aralığında yerleşmiş arayüzey durumlarının N_{ss} varlığına ve yapının seri direncine bağlı olarak ifade edilir. Yüksek frekans C-V eğrisinin sahip olduğu $1/\omega$ yaşam süresi, taşıyıcının yaşam süresi τ civarında ya da daha küçükse arayüzey durumlarındaki taşıyıcı a.c. sinyalini takip edemez. Bu nedenle yeteri kadar yüksek frekans (~1MHz) bölgesinde arayüzey durumlarından dolayı kapasitansa gelen bir katkı yoktur ya da ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Böylece kapasitansa, yüksek frekanslarda olduğu gibi arayüzey durumlarından dolayı bir katkı gelmez ve eğriler ideal duruma yaklaşırlar. Bu durum, arayüzey durumlarının yüksek frekanslarda a.c. sinyali takip edememesi olarak belirtilir. Seri direnç oluşumu, beş farklı sebepten oluşabilir;

i) Ölçüm için doğrultucu kontaktan alınan tel

ii) gövdeyle arka kontak arasında konumlanmış parçacık veya lekeli bir film tabakası,

iii) silisyum kristaliyle etkileşen arka (omik) kontak,

iv) doğrultucu kontak altında bulunan silisyum içerisinde düzgün olmayan katkı dağılımı v) doğrultucu kontak altındaki silisyum yüzeyi kıyısında bulunan arka kontak ve tüketme tabakası arasındaki gövde direnci. Bu son derecede düzensiz olan katkı profili oldukça yüksek özdirençli bölge meydana getirir, bu da taşıyıcı yoğunluğunu oluşturur. Seri direnç, ara yüzey özellikleri hesabında ciddi yanlışlıklara sebep olur. Bu hataların en aza indirilmesi amacı ile, seri direnç etkisi azaltılmalıdır [40].

Al/MA/p-Si yapısının elektriksel karakteristiklerine etki eden seri direnç (R_s) etkisini ortadan kaldırmak için admittans tekniği kullanılarak [9,10,37],

$$R_{S} = \frac{G_{m,acc}}{G_{m,acc}^{2} + w^{2} C_{m,acc}^{2}}$$
(4.4)

ifadesi yardımıyla seri direnç değerleri hesaplanmıştır. Burada $C_{m,acc}$ ve $G_{m,acc}$ yığılma bölgesindeki ölçülmüş kapasite ve iletkenlik değerleridir. Şekil 4.7 ve şekil. 4.8 1 MHz için kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.9 Seri direnç-gerilim grafiği 1MHz için göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi grafik bir pik vermektedir. R_s'de oluşan bu şekildeki davranış, frekans etkisiyle Al/MA ara yüzeyinde ve yasak enerji aralığında yerleşmiş olan arayüzey durumlarının yeniden yapılanıp düzenlenmesine neden olabilir. Ayrıca, voltaja bağlı R_s'nin profili N_{ss} ' in yasak enerji aralığında özel bir dağılıma neden olur [9].



Şekil 4.9. Al/MA/p-Si yapının 1MHZ de Rs -V eğrileri

 R_s etkisinin çok önemli olduğu ve mutlaka bu R_s değerinin etkisi dikkate alınarak ölçülen C-V ve G-Veğrilerinin düzeltilmesini gerektirir. Bu yapılmadığı takdirde elde edilen parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliği tartışılır. Düzeltilmiş iletkenlik-voltaj eğrilerindeki pik Si-MA ara yüzeyinde bulunan arayüzey durumlarına N_{ss} şeklinde ifade edilir. Bu arayüzey durumların mevcut olduğu bölgelerde, büyüklükleri ve yoğunlukları mertebesinde G_c-V eğrileri bir pikten geçer.

Yüzey durumları yalıtkan ve yarıiletken arayüzeyi yakınlarında yer alır, yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjiye sahip olur. Bunun sonucunda, bant bükülmesi yani yüzey geriliminin değişmesiyle, yüzey durumları, bükülmeyen Fermi enerji seviyesine göre aşağı yukarı hareket edeceği için iletkenlik ve değerlik bandıyla ani bir yük alışverişi gerçekleştirir. Bundan dolayı bu yüzey durumları yüzey yeniden birleşme merkezleri olarak tanımlanır. Ara yüzey tuzak bir verici olarak düşünülürse, o arayüzey durumu nötr durumdadır ya da bir elektronunu vererek pozitif yüklü duruma gelebilir. Ara yüzey tuzak bir alıcıysa nötr durumdadır, elektronalarak negatif değer alabilir.

C-V ölçümlerinden tek frekans yaklaşımı kullanılarak arayüzey durumlarını tayin etmek mümkündür. Bu, hızlı ve güvenilir arayüzey durumları tayin etmede kullanılan Hill-Coleman metodudur [41]. Bu metodda,

$$N_{SS} = \frac{2}{qA} \left[\frac{\left(\frac{G_{c,max}}{w}\right)}{\left(\frac{G_{c,max}}{w.c_{0X}}\right)^2 + \left(1 - \frac{C_C}{c_{0X}}\right)^2} \right]$$
(4.5)

ifadesi kullanılır. Burada q, elektrik yükü, w, açısal frekans, A, diyot alanı, C_{ox} biriktirme bölgesindeki oksit tabakası kapasitesi (geometrik kapasite), G_{cmax} ve C_c, G-V ve C-V ölçümlerindeki maksimum iletkenlik ve kapasite değerleridir. Bu metot kullanılarak hesaplanmış arayüzey durum yoğunlukları (N_{ss}), Çizelge 4.2 1MHz değerinde iki diyot için hesaplanan değerleri göstermektedir. Elde edilen sonuçlar literatüre uygundur. Ayrıca arayüzey durum yoğunluklarının eV⁻¹cm⁻² başına 10¹³-10¹¹ mertebesindedir [37,42,43]. Bu nedenle hazırlanan yapıların bir yarı iletken devresi için oldukça uygun olduğu söylenebilir. Şekil 4.10 1MHz için C^{-2} -V grafiği lineer bir davranış göstermektedir



Şekil 4.10. Al/MA/p-Si yapılarının 1MHz için Cc⁻²-V eğrileri

Bu lineer bölgede; ara yüzey tabakalı Schottky engel diyotları için C^{-2} ile V arasında,

$$c^{-2} = \frac{2}{(q\varepsilon_S\varepsilon_0 A^2 N_A)(V_{bi} + V_R)}$$
(4.6)

şeklinde verilir. Burada A doğrultucu kontak alanıdır, ε_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. N_A verici katkı atomlarının yoğunluğu, V_R uygulanan ters ön-gerilimi ve V_{bi} ise C_c^{-2} -V eğrisinin voltaj eksenine extrapole edilmesiyle elde edilen kurulma (bult-in) voltajıdır.

Yapıların tüketme tabakasının genişliği

$$W_D = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S \varepsilon_0 V_d}{q N_d}} \tag{4.7}$$

ifadesinden hesaplanır. Fermi seviyesi

$$\Phi_F = kT/qln(N_\nu/N_A) \tag{4.8}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada N_c iletim bandında, etkin durum yoğunluğunu gösterir ve sıcaklığa bağlılığı;

$$N_V = 4.82.\,10^{15} T^{\frac{3}{2}} (\frac{m_e}{m_0})^{\frac{3}{2}} (4.9)$$

şeklindedir.

Yapılarda oluşan maksimumelektrik alanım (E_m) ve Schottky engel alçalması ($\Delta \Phi_B$) sırasıyla

$$E_m = \sqrt{\frac{2qV_{bi}N_A}{\varepsilon_s\varepsilon_0}} \tag{4.10}$$

$$\Delta \Phi_B = \sqrt{\frac{q E_m}{4\pi \mathcal{E}_s \mathcal{E}_0}} \tag{4.11}$$

şeklindedir.

Schottky engel alçalması D1 ve D2 diyotları için 0.0198 ve 0.023 olarak hesaplandı.

Diyot V_{bi}(V) $N_A(cm^{-3})$. 10¹⁵ E_F(eV) W_d(cm)10⁻⁵ $E_{s}.10^{4}$ N_{ss}(eV⁻¹cm⁻²).10¹³ $\phi_b \,({
m eV})$ D1 0.96 3.51 0.199 1.18 5.990 3.22 1.560 D2 0.95 7.09 0.182 1.17 4.242 4.60 1.317

Çizelge 4.2. Al/MA/p-Si yapının temel elektrik parametreleri ve Φ_b ve N_{ss} değerleri

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Al/MA/p-Si organik Shottky diyotlar üretildi. Üretilen Al/MA/p-Si Metal yalıtkan-yarıiletken yapının akım-gerilim, iletkenlik-voltaj (G-V) ve kapasitansvoltaj (C-V) ölçümleri 1MHz frekans aralıklarında ve normal koşullarda, oda sıcaklığında (300 K) ve karanlıkta alınmıştır. Örnek numuneler hazırlanırken pratikte hiçbir zaman seri direnci sıfır yapmak mümkün değildir. Ayrıca, gerek doğal olarak gerekse yapay olarak oluşturulan yalıtkan tabaka her zaman homojen yapılamayabilir ve dolayısıyla yalıtkan tabaka kalınlığı bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir. Bu homojensizlikleri kaldırmak, ara yüzey durum yoğunluklarını ve seri direnci azaltmak için yarıiletken kristallerin son derece temiz bir ortamda hazırlanması, kontakların yüksek vakum ortamında oluşturulması ve numunenin alanının küçük tutulmasının önem arz etmektedir. Schottky diyotlar aynı şartlarda hazırlanmış olsa bile hesaplanan her bir parametrenin diyottan diyota farklı değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Schottky kontaklarda oluşan engelin homojen olmayışı ile açıklanmıştır. Deneysel C-V ve G-V ölçüm sonuçları kullanılarak yapının elektriksel özellikleri incelendi. Deneysel olarak elde edilen G-V ve C-V eğrileri kuvvetli tersinim bölgesinden itibaren alınarak kuvvetli yığılım bölgesine kadar kaydedildi. Deneysel olarak elde edilen G-V ve C-V ölçme sonuçları kullanılarak yapının temel bazı elektrik parametreleri hesaplandı.

Al/MA/p-Si yapılarının elektriksel özellikleri, normal koşullarda ve oda sıcaklığında (300 K), I-V ölçüleri kullanılarak araştırıldı. I-V eğrilerinin ters beslem bölgesinde bir doyuma sahip ve düz beslem bölgesinde ise ideallikten sapmalar olduğu tespit edilmiştir. Düz beslem bölgesinde açıkça üç bölge gözlemlenmiştir. Birinci bölge, yeniden birleşme adı verilen ve eksenden birkaç kT/q kadar uzaklığa kadar uzan kısımdır. İkinci bölge termoiyonik emisyon akımının geçerli ve lineer olduğu kısımdır. Üçüncü bölge ise seri direncin etkisini göstererek eğriyi aşağı doğru büktüğü kısımdır. *I-V* verileri Norde, Lien-So-Nicolet, standart ve Cheng metodları kullanılarak analiz edilmiştir. Bu verilerden diyot parametreleri olan ideallik faktörü, engel yüksekliği ile seri direnç değerleri hesaplanmıştır. İdeallik faktörü değerlerinin 1'den büyük çıkması arayüzey tabakasının ve arayüzey durumlarının ve engel homojensizliğinin varlığından kaynaklanmaktadır. Metal ile yarıiletken arasında yeterince büyük bir oksit tabakası düşünüldügünde engel yüksekliği değerleri ilteratürde bu yapılar için hesaplanan değerleri ile uyumludur.

Norde fonksiyonundan elde edilen bariyer yüksekliği ve seri direnç değerleri, özellikle ideal olmayan doğrultucu yapılar için diğer yöntemlerle elde edilen değerlerden yüksektir. Ayrıca, diğer yöntemlerden elde edilen bariyer yüksekliği ve seri direnç değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Lion-So-Nicholette ve Cheung yöntemlerinden elde edilen seri direnç parametreleri uyumlu iken, Werner metodundan elde edilen direnç parametreleri diğerlerinden daha küçüktür. Werner metodunu kullanılması hem kolay hem de rekombinasyon akımının katkılarını sağlayan hassas bir yöntemdir. Yalıtkan tabakanın bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve diyotun seri direncinin değerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Diyotların elektriksel karakteristikleri *C-V* ve *G-V* ölçümleri alınarak 1MHz de incelendi. Diyotun performansını etkileyen önemli parametrelerin başında seri direnç ve ara yüzey durum yoğunlukları gelmektedir. Seri direnç ve ara yüzey durumları hem frekansa hem de voltaja kuvvetlice bağlıdır. Bu davranışlar, yük tuzaklarının Si yasak enerji band aralığındaki yarıiletken/yalıtkan ara yüzeyinde yerleşmiş ara yüzey tuzaklarından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, yarıiletken ile dengede olan N_{ss} , a.c. sinyalini düşük frekans değerlerinde daha kolaylıkla takip edebilmeyi sağlayabilir ve mevcut kapasitans değerine ilave bir katkı getirebilir. Bu sebeple yüksek frekanslarda R_s etkisi azalır. Ara yüzey durumlarının yoğunluğu, Metal-yalıtkan-yarıiletken yapıların elektriksel karakteristiklerini önemli ölçüde etkilenmektedir.

Yarıiletken ile dengede olan N_{ss}, a.c. sinyalini düşük frekans değerlerinde daha kolay takip edebilmeyi sağlayabilir ve mevcut kapasitans değerine ilave bir katkı getirebilir. Bu sebeple yüksek frekanslarda R_s etkisi azalır. Ara yüzey durumlarının yoğunluğu, Metalyalıtkan-yarıiletken yapıların elektriksel karakteristiklerini önemli ölçüde etkilenmektedir.

Bu çalısmada hazırlanan Al/MA/p-Si yapılar için elde edilen tüm deneysel ölçümler ve hesaplamalar göstermistir ki bu ve benzeri kontak yapısına sahip yapılar için arayüzey durumlarının, seri direnç ve yalıtkan tabakanın *I-V*, *C-V* ve *G-V* ölçümleri üzerine etkisi azımsanamayacak kadar büyüktür. Bu nedenle yapının elektriksel karakteristiklerinin analizinde bu parametrelerin mutlaka dikkate alınması sonuçların doğruluğu ve güvenirliği açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- 1. Yamagishi, H. (1986). Schottky Contacts on n-InP Surface Treated by Plasma-Induced Oxygen Radicals. *Jpn. Journal Applied Physics* 25 (11) 1691-1696.
- 2. Keavney, C. J. and Spitzer, M. B. (1988). Indium phosphide solar cells made by ion implantation. *Applied Physics Lett.* 52, 1439.
- 3. Barrera, J. S. and Archer, R. J., (1975). InP Schottky-gate field effect transistors, *IEEE Trans. Election Devices* ED-22, 1023-1031.
- 4. Kim, S. J., Jeong J., Vella-Coleiro GP, Smith P. R. (1990). Fully ion-implanted InP JFET with buried p-layer. IEEE Trans. Electron Device Lett. EDL. 11: 57.
- 5. Dutta, N. K., Wessel, T., Cella, T. and Brown R. L. (1985). Continuously Tunable distributed Feedback Laser Diode. *Applied Physics Lett.*, 47, 981.
- 6. Liau, Z. L. and Walpole, J. N. (1987). Large monolithic two-dimensional arrays of GaInAsP/InP surface emitting lasers. *Applied Physics Lett.*, 50, 528.
- 7. Miura, S., Kuwatsuka, H., Mikawa, T. and Wada, O. (1986). *Applied Physics Lett.*, 49, 1522.
- 8. Gershoni, D., Temkin, H. and Panish, M. B. (1988). Strained-layer Ga1-xInxAs/InP avalanche photodedectors. *Applied Physics Lett.*, 53, 1294.
- 9. Sze, S. M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices* (Second edition). New York: John Wiley & Sons, 362-390.
- 10. Rhoderick, E. H., Williams, R. H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts* (Second edition). Oxford:Clarendon Press.
- 11. Altındal, S., Sari, B., Unal, H.I., Yavas, N., (2009). Electrical Characteristics of Al/Polyindole Schottky Barrier Diodes. I. Temperature Dependence. *Journal Applied Polymer Sci.*, 113, 2955-2961.
- 12. Güllü, O., Türüt, A., (2009). Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structure. *Journal Applied Physics*, 106, 103717.
- 13. Dökme, İ., Altındal, Ş., Tunç, T., Uslu, I., (2009). Temperature dependent electrical and Dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes. *Microelectron. Reliability*, 50, 39-44.
- 14. Güllü, O., Türüt, A., (2009). Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structure. *Journal Applied Physics*, 106, 103717.
- 15. Acar, S., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., Selçuk, A.B., and Kasap, M. (2004). Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Ag/p-Si (100) Schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, 233, 373-381.

- Birkan Selçuk, A., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, S and Bilge Ocak, S.(2007). Analysis of frequency-dependent series resistance and interface states of In/SiO₂/p-Si (MIS) structures. *Physica B: Condensed Matter*, 400, 149-154.
- 17. Birkan Selçuk, A., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, S and Bilge Ocak, S.(2007). Effect of oxide thickness on the capacitance and conductance characteristics of MOS structures. *Physica B: Condensed Matter*, 400, 168-174.
- 18. FarukYuksel O.,Bilge Ocak, S.and Birkan Selçuk, A. (2008). High frequency characteristics of tin oxide thin films on Si. *Vacuum*, *82*, 1183-1186.
- FarukYuksel O.,Bilge Ocak, S.and Birkan Selçuk, A. (2008).Investigation of diode parameters using I-V and C- V characteristics of In/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes" Physica B: Condensed Matter, 403, 2690-2697.
- 20. Selçuk, A.B.,Bilge Ocak, S., Karadeniz, S. (2012). Gaussian Distribution on Electrical characteristics of Al/SiO₂/p-Si Structures. *American Journal of Materials Science*, 2(4): 125-130.
- 21. Bilge Ocak, S., Selçuk A.B., Aras G., Orhan E. (2015). Electrical Analysis of Al/ZnO/p-Si, Al/PMMA/p-Si and Al/PMMA/ZnO/p-Si Structures: Comparison Study. *Material Science and semiconductor processing*, 38, 249-256.
- 22. Tang, C.W. and VanSlyke, S.A., (1987). Organic electroluminescent diodes. *Applied Physics Lett.*, 51(12), 913 915.
- Burrows, P.E., Shen, Z., Bulovic, V., Mc Carty, D.M., Forrest, S. R., Cronin, J. A., and Thompson, M. E., (1996). Relationship between electroluminescence and current transport in organic heterojunction light-emitting devices. *Journal Applied Physics*, 79, 7991 – 8006.
- 24. Kudo, K., Yamashina, M., Moriizumi, T., (1984). Field- effect measurement of organic dye films. *Jpn. Journal Applied Physics*, 23(1), 130 130.
- 25. Saxena, V., Prakash, R. (2000). Effect of steric hinderance on junction properties of poly (3-alkylthiophene)s based Schottky diodes. *Polymer Bulletin* 45, 267-274.
- 26. Stubinger, T., Brutting, W., (2001). Exciton diffusion and optical interference in organic donor-acceptor photovoltaic cells. *Journal Applied Physics* 90 (7), 3632–3641.
- 27. Morimune, T., Kajii, H., Ohmori, Y., (2005). Semitransparent organic photodedectors utilizing sputter- deposited indium tin oxide for top contact electrode. *Jpn. Journal Applied Physics*, 44, 2815–2817.
- 28. Uchida, S., Xue, J., Rand, B.P., Forrest, S.R., (2004). Organic small molecule solar cells with a homogeneously mixed copper phthalocyanine: C60 active layer. *Applied Physics Lett.*, 84 (21), 4218 4220.
- 29. Kajii, H., Tsukagawa, T., Taneda, T., Ohmori, Y., (2002). Blue organic light-emitting diode as the electro-optical conversion device for high-speed switching applications. *Journal Physics. D: Applied Physics*, 35, 1334–1337.

- 30. Misra, S.C.K., Ram, M.K., Pandey, S.S., Malhotra, B.D., Chandra, S., (1992). Vacuum-deposited Metal/Polyaniline schottky device. *Applied Physics, Lett.* 61 (10)1219–1221.
- 31. Singh, R., Narula, A.K., (1997). Junction properties of aluminum/polypyrrole polypyrrole derivatives) schottky diodes. *Applied Physics Lett.*, 71, 2845–2847.
- 32. Zhang, F.L., Johansson, M., Andersson, M.R., Hummelen, J.C. and Inganas, O., (2003). Polymer solar cells based on MEH-PPV and PCBM. *Synthetic metals*, 137, 1401-1402.
- 33. Aydogan, S., Saglam, M., Turut, A., (2005). The effects of the temperature on the some parameters obtained from current–voltage and capacitance–voltage characteristics of polypyrrole/n-Si structure. *Polymer* 46 (2) 563–568.
- 34. Singh, A.K., Prakash, R A., Dwivedi, D.D., Chakrabarti, P., (2008). Electronic Properties and Junction behaviour of Polyanthranilic Acid/Metal Contacts. *IEEE Elect. Dev. Lett.*, 29, 571-574.
- 35. Deng, X. Y., Zheng, L. P., Yu, G. and Cao, Y., (2003). Polymer heterojunction photodiodes with MEHPPV doped with organic acceptors. *Synthetic Metals*, 135 136, 823 824.
- 36. Frederik, C.K., Jon, E.C., Nicolaj, C.B., Andersen, M., Mathilde, R.L., Mark, A.H. and Soren, H., (2005). Lifetimes of organic photovoltaics: photochemistry, atmosphere effects and barrier layers in ITO-MEHPPV:PCBM-aluminium devices. *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 86, 499-516.
- 37. Çakar, M., Onganer, Y. and Türüt, A., (2002). The nonpolymeric organic compound pyronine-B)/p-type silicon/Sn contact barrier devices. *Synthetic Metals.*, 126, 213-218.
- 38. Çakar, M., Yıldırım, N., Doğan, H., and Türüt, A., (2007). The conductance and capacitance-frequency characteristics of Au/pyronine-B/p-type Si/Al contacts. *Applied Surface Science*, 253, 3464–3468.
- 39. Inganas, O., Roman, L. S., Zhang, F., Johansson, D.M., Andersson, M.R. and Hummelen, J.C., (2001). Recent progress in thin film organic photodiodes. *Synthetic Metals*, 121, 1525-1528.
- 40. Gupta, R.K., Singh, R.A., (2004). Thermochemical and microsctructural studies on binary organic eutectics and complexes. *Journal of Crystal Growth*, 267, 340-347.
- 41. Grant, P.M., Tani, T., Gill, W.D., Krounbi, M. T., Clarke, C., (1981). Properties of Metal/Polyacetylene Schottky Barriers. *Journal Applied Physics*., 2, 869–872.
- 42. Ziel, A. (1968). Solid-state physical electronics. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 7: 136-144.
- 43. Neamen, D.A., (1997). Semiconductor Physics and Devices 2nd ed. Mc Graw-Hill, 420-450, 517-523 p, New York, USA.

44. Mönch, W. (1995). *Semiconductor Surfaces and Interfaces*, Springer Series on Surfaces Science, 26 (Springert, Berlin), 2nd. edn.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı	: ÖZBAY,Ali
Uyruğu	: T.C.
Doğumtarihiveyeri	: 06.04.1970 , Gemerek
Medenihali	: Evli
Telefon	: 0(505)6541907
e-mail	: aliozbay1907@gmail.com



Eğitim

Derece	EğitimBirimi	Mezuniyet tarihi
Yükseklisans	GaziÜniversitesi/İleri Teknolojiler ABD	Devam Ediyor
Lisans	O.D.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bl. Bölü.	1993
Lise	Mersin Gazi Lisesi	1987

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1994	MEB Fizik Öğretmeni	İşletme
1993	ODTU	Araştırma Geliştirme

Yaban Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

 S. Bilge Ocak, A.B. Selçuk, S.B. Bayram, A. Ozbay (2015). Frequency dependent dielectric properties of Al/ maleic anhydride (MA) /p-Si structures. *Journal of optoelectronics and Advanced Materials*, 17,1747-1755

Hobiler

Müzik, Bağlama ve flüt çalmak, Halk Oyunları Üyeliği, Doğa Yürüyüşü, İzcilik, Satranç, Yüzme, Para Kolleksiyonu, Pul Kolleksiyonu



GAZİ GELECEKTİR...