



**BAZI OKSİT VE III-V YARIİLETKEN MİKRO
VE NANO YAPILARIN YÜZEY FİZİĞİ
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Serkan YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı

Nanomalzeme Bilim Dalı

Prof. Dr. Sebahattin TÜZEMEN

2020

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI OKSİT VE III-V YARIİLETKEN MİKRO VE NANO
YAPILARIN YÜZEY FİZİĞİ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Serkan YILDIZ

**NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
Nanomalzeme Bilim Dalı**

**ERZURUM
2020**

Her Hakkı Saklıdır



TEZ ONAY FORMU

**BAZI OKSİT VE III-V YARIİLETKEN MİKRO VE NANO YAPILARIN YÜZEY FİZİĞİ
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Sebahattin TÜZEMEN danışmanlığında, Serkan YILDIZ tarafından hazırlanan bu çalışma, 27/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı Nanomalzeme Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği / oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Sebahattin TÜZEMEN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Songül DUMAN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 3001./2020 tarih ve ...05.../47..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI OKSİT VE III-V YARIİLETKEN MİKRO VE NANO YAPILARIN YÜZEY FİZİĞİ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Serkan YILDIZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sebahattin TÜZEMEN

Bu tezde, katkısız ve katkılı n-WO₃, p-NiO ile n-TiO₂, n-GaAs (Te), n-InP ve SI-GaAs (Un), InP (Fe) yarıiletkenlerdeki cihaz özelliklerinin belirlenmesi ve yüzey olaylarını kontrol etmek amacıyla yüzey enerjileri ölçüldü. Ek olarak, n tipi ve p tipi yarıiletkenlerin yüzey enerjilerinin ve temas açılarının oksidasyon sonucu nasıl değiştiği gözlemlendi.

n-tipi yarıiletkenlerin (WO₃, NiO, TiO₂, GaAs) temas açıları ve yüzey enerji oksitlenme öncesi ile sonrası arasında farklı sonuçlar gösterdi.

p-tipi (InP, NiO) yarıiletkenlerde ise oksitleme öncesi ve sonrasındaki temas açıları ile yüzey enerji değerleri karşılaştırıldığında kayda değer bir değişim olmadığı görüldü.

Oksit numuneler yüzey enerjisi bakımından n tipi ve p tipine göre zıt davranış gösterdi. Bunun sebebi yüzeydeki oksijen konsantrasyonunun tipe bağlı olmasıdır. InP ve GaAs gibi III-V numunelerde yüzey enerjisi sonuçları katkı tipine ve oksidasyona çok sıkı bir şekilde bağlıdır.

Oksit ve III-V yarıiletkenlerde tavlama işlemi sonrasında numunelerin yüzey bölgesinde yapısal özellikler değişti. Bazı numunelerin tavlama öncesi hidrofobik özellik gösteriyorken tavlama sonrası hidrofilik özellik gösterdiği gözlemlendi. Yani yüzey pürüzlülüğü azalarak yüzeyin daha düzgün hale geldiği saptandı.

2020, 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: WO₃, NiO, TiO₂, Yüzey fiziği, Yüzey Enerjisi, Temas Açısı

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF SURFACE PHYSICS PROPERTIES OF SOME OXIDE AND III-V SEMICONDUCTOR MICRO AND NANOSTRUCTURES

Serkan YILDIZ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Nanoscience and Nanoengineering
Department Nanomaterials

Supervisor: Prof. Dr. Sebahattin TÜZEMEN

In this thesis, in order to determine the surface properties of the device properties in n-WO₃, p-NiO, n-TiO₂, n-GaAs (Te), n-InP and SI-GaAs (Un), InP (Fe) semiconductors and to control surface events surface energies were measured. In addition, it was observed how the surface energies and contact angles of the n-type and p-type semiconductors changed as a result of oxidation.

The contact angles of n-type semiconductors (WO₃, NiO, TiO₂, GaAs) and the surface energy showed different results between before and after oxidation. In p-type (InP, NiO) semiconductors, it was observed that there was no significant change when the contact angles before and after oxidation and the surface energy values were compared.

Oxide samples showed opposite behavior in terms of surface energy compared to n type and p type. The reason for this is that the oxygen cancer on the surface depends on the type. In III-V samples such as InP and GaAs, surface energy results are very tightly dependent on the additive type and oxidation.

After annealing in oxide and III-V semiconductors, structural properties of the samples have changed in the surface region. While some samples showed hydrophobic properties before annealing, it was observed that they showed hydrophilic properties after annealing. In other words, the surface roughness decreased and the surface became smoother.

2020, 86 pages

Keywords: W0₃, NiO, TiO₂, Surface Energy, Surface Physics, Contact Angle

TEŞEKKÜR

“Bazı Oksit ve III-V Yarıiletken Mikro ve Nano Yapıların Yüzey Fiziği Özelliklerinin İncelenmesi” konulu Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında hiçbir konuda desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Sebahattin TÜZEMEN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Görüş, öneri, bilgilerini esirgemedikleri ve her konuda yardımcı oldukları için İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu Öğretim elemanlarından Ömer ÇOBAN’a, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü Öğretim Görevlisi Mehmet Semih BİNGÖL’e teşekkür ederim.

Yüksek Lisans boyunca bana göstermiş oldukları destek ve teşviklerinden dolayı Aras EDAŞ Genel Müdürü Fikret AKBAŞ, Genel Müdür Yardımcısı Yusuf Yaşar BABUR, Sistem İşletme Koordinatörü Selman NAİR’e teşekkür ederim.

Ve çalışmalarım sırasında her türlü fedakârlığı yaparak desteklerini esirgemeyen eşime, kızıma ve çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Serkan YILDIZ

Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yarıiletkenler ve Özellikleri	1
1.2. Katkılı Yarıiletkenler.....	3
1.3. n-tipi Yarıiletkenler	4
1.4. p-tipi Yarıiletkenler	4
1.5. Açık Devre p-n Ekleme.....	5
1.6. Katkısız Yarıiletkenler	6
1.7. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri	7
1.8. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri	8
2. KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1. Oksit Nedir?	9
2.2. Metal Oksit Yarıiletkenler.....	9
2.2.1. Çinko oksit (ZnO) ve özellikleri.....	9
2.2.2. Kadmiyum oksit (CdO) ve özellikleri	11
2.2.3. Bakır Oksit (CuO) ve özellikleri	12
2.2.4. Kalay oksit (SnO ₂) ve özellikleri.....	13
2.2.5. Titanyum dioksit (TiO ₂) ve özellikleri	13
2.2.6. Nikel oksit (NiO) ve özellikleri.....	15
2.2.7. Galyum Arsenid (GaAs) ve özellikleri.....	15
2.2.8. İndiyum Fosfat (InP) ve özellikleri	16
2.3. Metal Oksit Yarıiletken Diyotlar.....	17
2.4. Metal Oksit Yarıiletken Sensörler	18
2.5. Metal Oksit Yarıiletken Fotovoltaikler	20

2.6. Metal Oksit Yarıiletken Fotodiyotlar	22
2.7. Yüzey Fiziğinin Tarihsel Gelişimi	23
2.8. Yüzey Fiziği	25
2.9. Yüzey İşlemleri	26
2.9.1. Epitaksi (çoklu katman biriktirme).....	28
2.10. Yarıiletkenlerde Yüzey Özellikleri	31
2.10.1. Metal oksit yarıiletkenlerin yüzey fiziği	31
2.11. Mikro ve Nano Yapılarda Yarıiletkenler.....	34
2.11.1. Nano yapılı fotovoltaiikler (güneş pilleri)	34
2.11.2. Fotovoltaiiklerde mikro ve nano yapılı yüzeylerin emilim etkisi	37
2.11.3. Mikro yapılı sensörler	40
2.12. İnce Film Kaplama Teknolojisi	41
2.12.1. Sol jel yöntemi.....	41
2.12.2. Sol jel kaplama yöntemleri.....	42
2.13. Yarıiletken Malzemelerin Yüzey Özelliklerinin Ölçülmesi.....	44
2.13.1. Temas açısı ve yüzey enerjisi.....	44
2.13.1.a. Giriş	44
2.13.1.b. Yüzey enerjisi.....	44
2.13.1.d. Temas açısı	46
3. MATERYAL ve METOT	50
3.1. Materyallerin Ölçüme Hazırlanması	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	52
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	71
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	88

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simge

a, b, c	: a, b, c Örgü Parametreleri
μ	: Elektronların mobilitesi
Al	: Alimünyum
c	: Işık hızı
C_{adj}	: Düzeltilmiş kapasite
CdO	: Kadmiyum oksit
D_{it}	: Arayüzey durum yoğunluğu
e	: Elektronun yükü
E	: Elektrik alan
E_c	: İletim bandı enerji seviyesi
E_F	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yasak enerji aralığı
E_v	: Valans bandı enerji seviyesi
eV	: Elektron volt
$f(E)$	: Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu
FF	: Doldurma faktörü
$g(E)$	: Elektron durum yoğunluğu
G_{adj}	: Düzeltilmiş iletkenlik
h	: Planck sabiti
$h\nu$	: Foton enerjisi
I	: Akım
I_0	: Ters besleme doyma akımı
$I_{açma}/I_{kapama}$	: Fotoiletkenlik oranı
I_F	: Doğru polarma akımı
I_{ph}	: Fotoakım
I_R	: Ters polarma akımı

I_{sc}	: Kısa devre akımı
J	: Akım yoğunluğu
k	: Dalga vektörü
k_B	: Boltzmann sabiti
m	: Eğim
m^*	: Holün etkin kütlesi
m^*	: Elektronun etkin kütlesi
SI	: Yarı İzolasyonlu
Un	: Katkılama olmayan
NiO	: Nikel oksit
p	: Boşluk konsantrasyonu
P	: Güç
R	: Direnç
RR	: Doğrultma oranı
R_s	: Seri direnç
R_{sh}	: Şönt direnci
SCLC	: Uzay yükü sınırlı akım
T	: Mutlak sıcaklık
TiO_2	: Titanyum dioksit
V	: Uygulanan voltaj
V_{bi}	: Difüzyon potansiyeli
V_{oc}	: Açık devre voltajı
ZnO	: Çinko oksit
θ	: Temas açısı
γ	: Yüzey enerjisi
ν, ω	: Frekans
ρ	: Özdirenç
σ	: Elektriksel iletkenlik
ϕ_b	: Engel yüksekliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çekirdekten uzaklıklarına göre elektron enerji seviyeleri	2
Şekil 1.2. a.Yarıiletkenlerin band yapısı b. Yarıiletkenlerde elektron ve boşluk hareketi...	3
Şekil 1.3. Bir n-tipi yarıiletkenin kristal kafesinin iki boyutlu gösterimi	4
Şekil 1.4. Bir p-tipi yarıiletkenin kristal kafesinin iki boyutlu gösterimi	5
Şekil 1.5. P-n eklemının gösterimi.....	5
Şekil 1.6. Katkısız yarıiletkenlerin farklı sıcaklıklardaki iletim ve valans bandı.	6
Şekil 1.7. T=0 K sıcaklıkta iletim bandı ile valans bandındaki elektron doluluk durumları ve bandların enerji eksenine göre konumları.....	7
Şekil 1.8. a. Fotonun enerjisinin, $h\nu$, yarıiletkenin enerjisinden büyük olmak şartıyla tek bir fotonun bir elektronu valans bandına uyarması b. Bir elektron ile bir boşluk birleşerek enerjisi $h\nu$ olan bir foton üretmesi	8
Şekil 2.1. ZnO'nun hekzagonal würtzite yapısı.....	11
Şekil 2.2. CdO'nun kübik birim hücre tipi yapısı.....	12
Şekil 2.3. CuO'nun kristal yapısı ve rengi	13
Şekil 2.4. TiO ₂ rutil ve anataz fazları için konvansiyonel hücre modelleri	14
Şekil 2.5. Oksit yarıiletkenine ait güneş pilinin şematik gösterimi	21
Şekil 2.6. Metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS/MPS) yapı	22
Şekil 2.7. Bir yarıiletken kristalinin parçalanma görüntüsü	26
Şekil 2.8. Atomik katman tabakanın yeniden yapılanmasının görüntüsü.....	27
Şekil 2.9. Absorbat ve substrat tarafından oluşturulan potansiyel.....	28
Şekil 2.10. Yüzeyin adsorbe ve ada oluşumu ile ıslatılması.....	28
Şekil 2.11. Üç epitaksiyel büyüme modunun şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.12. Bazı malzemelerin büyütme yöntemleri.....	30
Şekil 2.13. Oksit kaplı yarıiletkenin yüzey modeli.....	33
Şekil 2.14. Güneş pil yapısı	35
Şekil 2.15. Güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin şematik gösterimi	39
Şekil 2.16. Bir yüzey mikro işlenmiş poli-silikon mikro motorun optik mikrofrafı.....	41
Şekil 2.17. Sıvı damlası ve bu sıvı damlasının katı bir yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısı	47

Şekil 2.18. Temas açısı ölçüm cihazı (Attension Theta Flex)	48
Şekil 4.1. WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	52
Şekil 4.2. Pd katkılı WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü.....	53
Şekil 4.3. NiO yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	54
Şekil 4.4. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü.....	55
Şekil 4.5. TiO ₂ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	56
Şekil 4.6. GaAs yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü	57
Şekil 4.7. Si/GaAs yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü	58
Şekil 4.8. InP yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü	59
Şekil 4.9. InP (Fe) yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü	60
Şekil 4.10. WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	61
Şekil 4.11. Pd katkılı WO ₃ yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü.....	62
Şekil 4.12. NiO yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	63
Şekil 4.13. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü.....	64
Şekil 4.14. TiO ₂ yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	65
Şekil 4.15. GaAs yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	66
Şekil 4.16. Si/GaAs yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	67
Şekil 4.17. InP (Un) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü	68
Şekil 4.18. InP (Fe) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü.....	69
Şekil 4.19. Yüzey enerjisi değişimi	74
Şekil 4.20. Temas açısı değişimi.....	76
Şekil 4.21. Numunenin yüzey düzensizliği (tavlama öncesi)	77
Şekil 4.22. Numunenin yüzey düzensizliği (tavlama sonrası)	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	53
Çizelge 4.2. WO ₃ yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	53
Çizelge 4.3. Pd katkılı WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	54
Çizelge 4.4. Pd katkılı WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	54
Çizelge 4.5. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	55
Çizelge 4.6. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	55
Çizelge 4.7. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	56
Çizelge 4.8. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	56
Çizelge 4.9. TiO ₂ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	57
Çizelge 4.10. TiO ₂ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler.....	57
Çizelge 4.11. GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	58
Çizelge 4.12. GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	58
Çizelge 4.13. Si/GaAs (Un) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	59
Çizelge 4.14. Si/GaAs III-V (Un) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	59
Çizelge 4.15. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	60
Çizelge 4.16. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	60
Çizelge 4.17. Si/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	61
Çizelge 4.18. Si/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	61
Çizelge 4.19. WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine yüzey enerjisi ölçümü	62
Çizelge 4.20. WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	62
Çizelge 4.21. Pd katkılı WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	63
Çizelge 4.22. Pd katkılı WO ₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	63

Çizelge 4.23. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	64
Çizelge 4.24. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	64
Çizelge 4.25. Pd katkılı NiO (p tipi) yüzey enerjisi ölçümü.....	65
Çizelge 4.26. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	65
Çizelge 4.27. TiO ₂ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	66
Çizelge 4.28. TiO ₂ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	66
Çizelge 4.29. GaAs (Te) n tipi yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü.....	67
Çizelge 4.30. GaAs (Te) n tipi yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler..	67
Çizelge 4.31. SI/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	68
Çizelge 4.32. SI/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	68
Çizelge 4.33. InP (Un) n-tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	69
Çizelge 4.34. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler	69
Çizelge 4.35. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü	70
Çizelge 4.36. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler .	70

1. GİRİŞ

1.1. Yarıiletkenler ve Özellikleri

Katı malzemeler elektriksel iletkenlik özelliklerine göre üçe ayrılırlar (Kittel 1996). Bunlar; 10^{-6} - 10^{-4} Ωm arasında özdirenç değerlerine sahip “metaller”, 10^{-4} - 10^{10} Ωm arasında özdirenç değerlerine sahip “yariletkenler” ve özdirençleri 10^{10} Ωm değerine eşit ya da büyük olan “yalıtkan”lardır (Gündüz 1890). Yariletken malzemelerin enerji bandlarının yapıları yalıtkan maddelere benzemesine rağmen aralarında önemli bir fark vardır. Yariletkenlerin elektronlarla tamamen dolu olan valans bandı ve boş olan iletkenlik bandı arasında kalan yasak enerji aralığı, yalıtkanlara göre daha küçüktür. Yariletkenlerin elektriksel iletkenliği sıcaklıkla değişir. Sıcaklık arttıkça iletkenliği artar, sıcaklık azaldıkça da iletkenliği azalır. Fakat mutlak sıfırda ($T=0$ K) elektriksel iletkenlik özelliği bakımından bir yalıtkan gibi davranırlar. Yariletkenlerin yasak enerji aralığı 3,8 eV’tan küçük, yalıtkanların ise 4 eV’tan büyüktür (Tygai 1991).

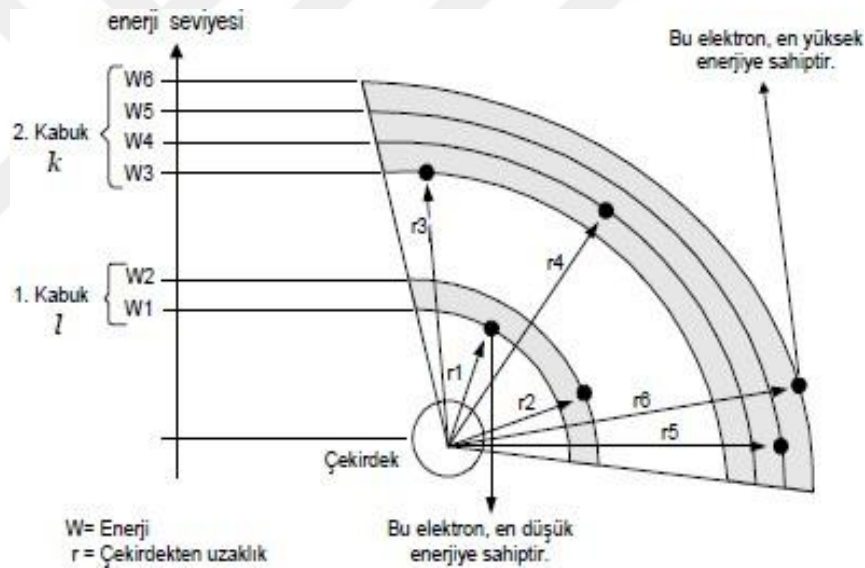
Günümüzde özellikleri en iyi bilinen ve en çok kullanılan yariletkenler IV. Grup elementleri olan Germanyum (Ge) ve Silisyum (Si) elementleridir. Yariletkenlerin diğer önemli bir bölümünü de III-V grup bileşikler olan GaAs, InSb, GaP, InAs oluşturur. Bu bileşikler periyodik tablonun üçüncü ve beşinci grup elementlerinin bileşik oluşturacak şekilde bir araya gelmesiyle oluşurlar. Bu tip elementler kübik yapıda kristallenir ve bağ yapısı çoğunlukla kovalenttir (Durlu 1996).

Yarıiletken özellik gösteren diğer bir grup ise II-VI grup bileşikler CdZnS, ZnS, ZnO, CdS, CdSe’dir (Karakaya *et al.* 2012). Bu bileşiklerin bağ kurma şekilleri iyonik veya kovalent bağ olup, kübik veya hekzagonal yapıda kristallenirler (Tygai 1991). Yariletken malzemelerin elektriksel iletkenliği geçici veya kalıcı olarak geniş bir aralıkta kontrol edilebilir. Yariletken malzemeler farklı malzemelerle katkılandırıldığında, elektriksel özellikleri önemli ölçüde değişmektedir.

Yeterli katkılama malzemesi ile yarıiletkenler neredeyse metaller kadar iletken yapılabilir. Enjekte edilen katkı malzemenin türüne bağlı olarak yarıiletkenin katkılanmış bölgesi daha fazla elektron veya boşluk içerebilir (Omar 1975).

Elektronların iletme daha çok katkı sağladığı yarıiletkenler n-tipi yarıiletken, boşlukların iletme daha çok katkı sağladığı yarıiletkenler ise p-tipi yarıiletken olarak isimlendirilir (Bandara *et al.* 2006)

Yarıiletkenlerde elektronların çekirdeğe bağlı enerji seviyelerini bulundukları kabuk belirler ve bu durum Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

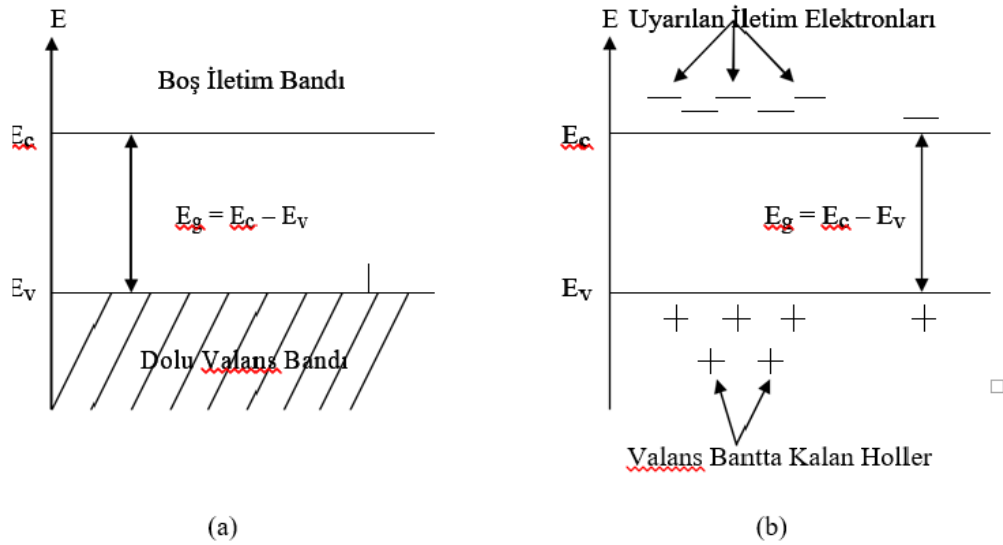


Şekil 1.1. Çekirdekten uzaklıklarına göre elektron enerji seviyeleri (Anonim 11)

Enerji bandlarının her biri farklı kuantum durumları ile alakalı olup çekirdeğe yakın olanların durumların çoğu doludur. Bu durumlara valans bandı denir. Yarıiletkenlerin ve yalıtkanların, metallerden farklı olarak valans bandı neredeyse tamamen doludur. Yarıiletkenlerdeki elektronlar valans bandından iletim bandına, band genişliğine bağlı olarak uyarılabilir. Yalıtkanlar ile yarıiletkenler arasındaki bu fark band aralığının genişliğinden kaynaklanır (Gündüz 1989). Bir yarıiletkenin sıcaklığı mutlak sıfırın üstüne çıkartıldığında elektronların bir kısmı valans bandından iletim bandına geçebilecek

enerjiye ulaşırken, iletim bandına geçen elektronlar valans bandında işgal edilmemiş elektron boşlukları bırakırlar. Hem iletim bandındaki elektronlar hem de valans bandındaki boşluklar elektriksel iletkenliğe katkıda bulunurlar (McKelvey 1966). Boşluklar tek başlarına hareket etmezler ancak komşu elektronlar bu boşlukları doldurarak geride yeni bir boşluk oluştururlar. Bu şekilde valans bandından iletim bandına doğru oluşan elektron hareketi ile elektriksel iletkenlik sağlanmış olur (Müller *et al.* 1997).

Yarıiletkenlerin bant yapısı ile elektron ve boşluk hareketlerini gösteren durum Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 (a) Yarıiletkenlerin band yapısı, **(b)** Yarıiletkenlerde elektron ve boşluk hareketi

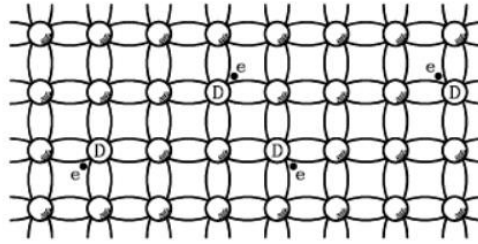
1.2. Katkılı Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, katkısız olarak oluşturulma zorluklarından ötürü yarıiletken devre elemanlarının üretilmesinde katkılı yarıiletken malzemeler kullanılmaktadır. Katkılı yarıiletkenlerin elektriksel ve optik özellikleri katkı maddesinin atomik yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Yani yarıiletken malzemenin içerisine katkı sağlanan madde kendi

enerji band yapısını değiştirerek, yarıiletken içerisinde farklı bir enerji seviyeleri oluşmasına olanak sağlar (Oral 1979).

1.3. n-tipi Yarıiletkenler

Bir n-tipi yarıiletken, katkısız bir yarıiletkene arsenik, antimon veya fosfor gibi bir donör (verici) katkılanması yapılarak üretilir. Genellikle verici atomun beş değerlik elektronu vardır. Bir verici atom kristal yapıdaki bir atomun yerini aldığı anda, sadece dört değerlikli elektron çevre atomlarla paylaşılır. Beşinci değerlik elektronu, Şekil 1.3' de gösterildiği gibi serbest elektron haline gelir. Verici atomlar tarafından verilen serbest elektron sayısı, yarıiletkendeki serbest elektron ve boşluk sayısından çok daha fazladır. Bu, n-tipi yarıiletkenin iletkenliğini katkısız yarıiletkenden çok daha büyük hale getirir. Serbest elektronların sayısı boşluk sayısından çok daha fazla olduğu için, serbest elektronlar çoğunlukta taşıyıcılardır. Kısaca; yarıiletkene katkılanan maddenin atomu yarıiletkene elektron vererek iyonlaşırsa (verici-donör) buna n tipi yarıiletken adı verilir ve bu tip yarıiletkenler negatif yüke sahiptir (Arabacı 2001).

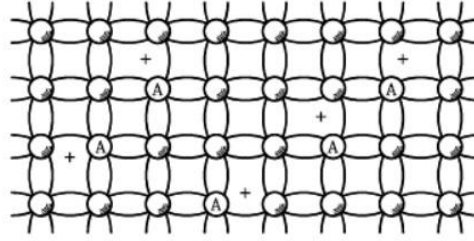


Şekil 1.3. Bir n-tipi yarıiletkenin kristal kafesinin iki boyutlu gösterimi (Arabacı 2001).

1.4. p-tipi Yarıiletkenler

p-tipi bir yarıiletken, katkısız bir yarıiletkene galyum, bor veya indiyum gibi bir alıcı atom eklenerek üretilir. Genellikle alıcı atom, üç değerlik elektronuna sahiptir. Bir alıcı atom kristal kafesdeki bir atomun yerini aldığı anda, çevreleyen atomlarla paylaşılan sadece üç değerlikli elektron vardır ve Şekil 1.4'de gösterildiği gibi bir boşluk bırakır. Alıcı atomlar

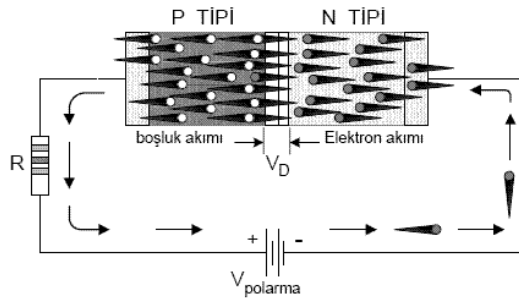
tarafından oluşturulan boşlukların sayısı, katkısız iletkendeki serbest elektronların ve boşlukların sayısından çok daha fazladır. Bu, p-tipi yarıiletkenin iletkenliğini katkısız yarıiletkenin iletkenliğinden daha büyük yapar. Boşlukların sayısı elektronların sayısından çok daha fazla olduğundan, boşluklar ana taşıyıcılardır (Arabacı 2001). Kısaca; yarıiletkene katkılanan maddenin atomu yarıiletkenden elektron alarak iyonlaşırsa (alıcı-akseptör) ve iletkenliğe katkıda bulunur ise buna da p tipi yarıiletken denir ve Şekil 1.4’de iki boyutlu gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1.4. Bir p tipi yarıiletkenin kristal kafesinin iki boyutlu gösterimi (Arabacı 2001)

1.5. Açık Devre p-n Eklemi

Bir p-n ekleminin birleşme noktası, n-tipi yarıiletken ile p-tipi yarıiletken arasında oluşan bağlantı olarak ifade edilebilir. İki bölge arasındaki geçiş, çok küçük bir mesafede meydana gelir. Bu durumu Şekil 1.5’de gösterilmiştir. Sonuç olarak, n-tipi kısmında tek yük taşıyıcıları serbest elektronlar ve p tipi taraftaki tek yük taşıyıcıları boşluklardır (Anonim 1).



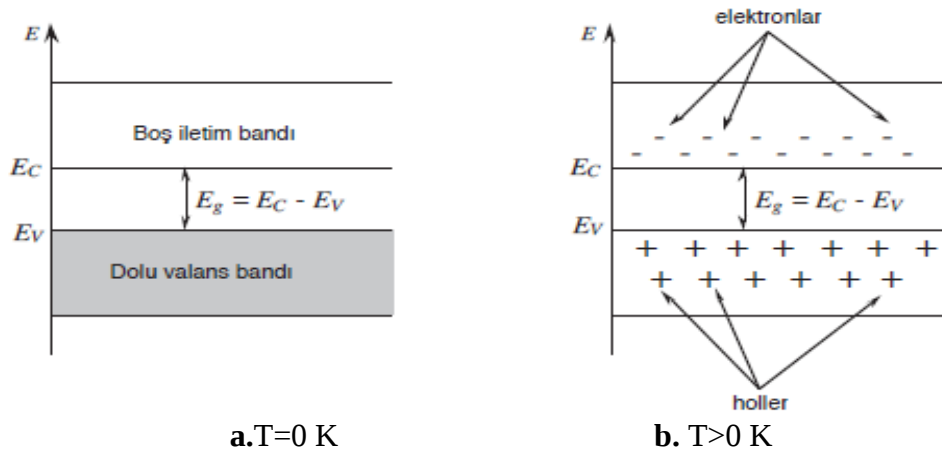
Şekil 1.5. p-n ekleminin gösterimi (Anonim 11)

1.6. Katkısız Yarıiletkenler

Katkı kusuru içermeyen yarıiletkenlere, katkısız (saf) yarıiletken denilmektedir. Böyle bir malzemenin valans bandı, mutlak sıfırda elektronlarla dolu iken iletim bandında serbest elektron bulunmamaktadır. Sıcaklık arttıkça, kırılmış valans bağların sayısı artar ve böylelikle serbest elektronlar ile boşlukların konsantrasyonu da artar (Omar 1975).

Katkısız yarıiletkenlerde iletkenlik bandındaki elektronların yoğunluğu, değerlik bandındaki boşlukların yoğunluğuna eşittir. Çünkü bir elektron termal uyarı ile valans bandında bir boşluk bırakarak iletim bandına geçer. Bu malzemelerde elektriksel veya termal enerji ile uyarılan elektronlar yasak enerji aralığını aşarak iletim bandına geçerler ve bu şekilde elektriksel iletkenlik sağlarlar (McKelvey 1966). Katkısız yarıiletkenlere örnek olarak Germanyum (Ge) ve Silisyum(Si) verilebilir.

Yarıiletken enerji band diyagramı $T=0K$ ve $T>0K$ sıcaklıklarındaki durumları Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Şekilde 1.6 (a)'da görüldüğü gibi $T=0 K$ sıcaklıkta yarıiletkende herhangi bir taşıyıcı hareketi oluşmaz. Ancak, Şekil 1.6 (b)'de sıcaklık $T>0 K$ yükseltildiğinde, yasak enerji aralığını aşacak seviyede bir enerjiyi alan elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler. Bu şekilde oluşan elektron hareketi ile elektriksel iletkenlik sağlanır (Arabacı 2001).



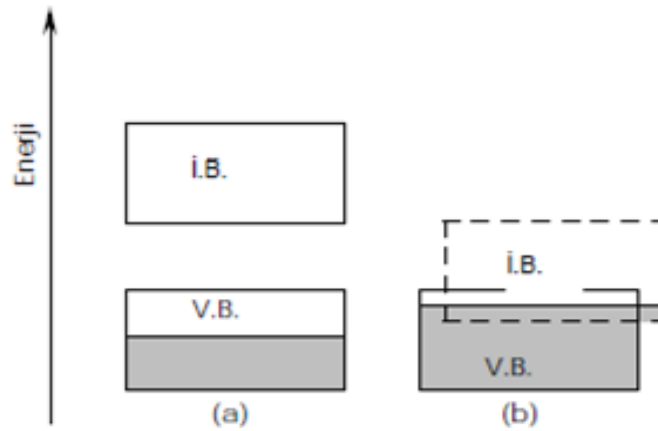
Şekil 1.6. Katkısız yarıiletkenlerin farklı sıcaklıklardaki (a. $T=0 K$) ve (b. $T>0 K$) iletim ve valans bandı

1.7. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri

Katılarda elektriksel iletkenliğin sağlanabilmesi için, elektrik yüklü parçacıkların (elektronların) hareket etmeleri ve hareket edecekleri enerji düzeyi boş olmalıdır. Yoksa elektron hareketi gerçekleşemez. Yani dolu bir banda voltaj uygulansa dahi elektron hareketi gerçekleşemez. Şekil.1.7’de gösterilen valans ve iletim bandları çeşitli konumlarda ele alınarak bu durum açıklanmaya çalışılmıştır (Arabacı 2001).

Şekil 1.7 (a)’da, valans band tamamen dolu olmadığı için elektronun hareket etmesine bir engel yoktur ve çok küçük bir potansiyel farkta dahi sıcaklık ne olursa olsun elektriksel iletkenlik sağlanmaktadır. Bu gibi katılar metalleri ifade etmekte olup elektriksel iletkenlikleri oldukça fazladır.

Şekil 1.7(b)’de ise, valans bandın tamamen dolu ve iletim bandının da tamamen boş olması beklenirken durum oldukça farklıdır. Elektronlar kendilerine ayrılan enerji düzeyinden daha düşük enerji düzeyleri varsa o kısma hareket etmesi beklenir. Yani bu yapıda iletim bandının alt kısmı ile valans bandının üst kısmı örtüşmesi sebebiyle dolu olan valans bandın üst kısmındaki elektronlar, boş olan iletim bandının alt kısımlarına doğru geçerler ve elektronların hareketi ile elektriksel iletkenlik oluşur. Ancak geçiş yapan elektron sayısının fazla olmamasından ötürü elektrik akımını iyi iletmezler.

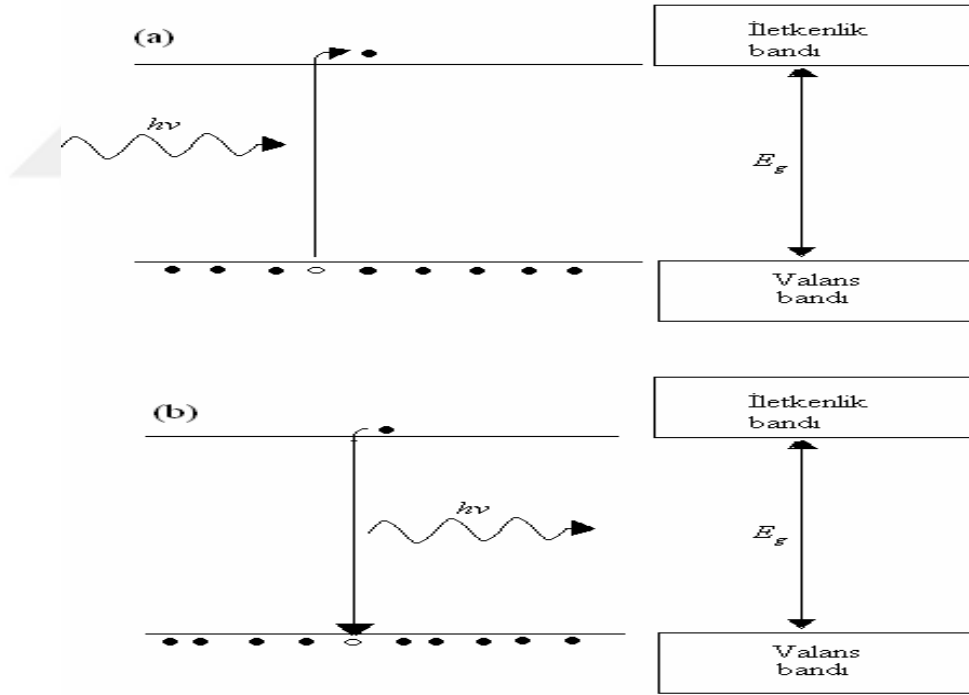


Şekil 1.7. $T=0$ K sıcaklıkta iletim bandı ile valans bandındaki elektron doluluk durumları ve bandların enerji eksenine göre konumları (Arabacı 2001)

1.8. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

Valans bandında bulunan elektronların iletim bandına geçişi termal yollarla oluşabileceği gibi optik yollarla da sağlanabilir. Şekil 1.8 (a)'da, foton enerjisi tamamen elektrona aktarılmış olup bu foton enerjisi ile elektron valans bandında bir boşluk oluşturarak iletim bandına geçtiği görülmektedir. Bu olay ile fotonun malzeme tarafından tamamen soğrulduğu açıklanmaktadır (Amer et al. 1984).

Şekil 1.8 (b)'de ise iletim bandındaki bir elektron, valans bandındaki boşluk ile birleşerek sahip olduğu enerjiyi foton emisyonu dışarı vermektedir. Bu olay ışık yayan diyotların (LED) yani yarıiletken lazerlerin altyapısını oluşturmuştur.



Şekil 1.8 (a) Fotonun enerjisi, $h\nu$, yarıiletkenin enerjisinden büyük olmak şartıyla tek bir fotonun bir elektronu valans bandına uyarması **b)** Bir elektron ile bir boşluk birleşerek enerjisi $h\nu$ olan bir foton üretmesi (Dolma 2012)

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Oksit Nedir?

Oksit, kimyasal formülünde en az bir oksijen atomu bulunduran ve bir başka element içeren kimyasal bir bileşiktir. Basit oksitler ayrıca ikili oksit olarak da bilinir ve ilave elementler içerebilirler. Kompleks bir oksit, oksijen ve en az iki diğer element içeren kimyasal bir bileşiktir. Tek tek kabuk elementleri atmosferde veya suda bulunan oksijen tarafından oksitlenmektedir. Bu nedenle, oksitler doğal olarak kararlı bileşikler olarak kabul edilebilir. Oksitler, büyük oksijen elektronegatifliği (yani, elektronları çekme ve böylece bağları oluşturma atomu eğilimi) nedeniyle hemen hemen tüm elementlerle kolayca kararlı kimyasal bağlar oluşturabilmektedir. Burada oksitler, yalıtkanlardan, yarıiletkenlerden ve metal iletkenlerden süperiletkenlere kadar olan tüm iletkenliği kapsamaktadır. Oksitler teknolojik gelişmeler için oldukça önemlidir (Wang 2003).

İlk katıhal transistörün 1948'de uygulanması, daha küçük ve daha ucuz tüketici elektronik telsizlerinin, hesap makinelerinin ve bilgisayarların önünü açmıştır. Daha sonraki yıllarda endüstri devrimi geliştikçe malzemelerin elektronik özellikleri, tüm bilim insanı ve mühendis nesiller için önemli bir araştırma konusu olmuştur. Sonuç olarak oksitler, geçmişten günümüze ve geleceğe kadar sayısız katı hal elektronik cihazına giderek daha fazla dahil edilmektedir (Tomas *et al.* 2018).

2.2. Metal Oksit Yarıiletkenler

2.2.1. Çinko oksit (ZnO) ve özellikleri

II-VI bileşik yarıiletken olan Çinko Oksit (ZnO); Nikel Oksit (NiO) gibi geniş bant yapısı özelliklerine sahiptir. Bu özelliği sebebiyle yüksek verimli UV emisyonu vermesi araştırmalarda nano-tel, nano-kemer, nano-çubuk gibi çeşitli morfolojilere sahip ZnO nano yapılar farklı tekniklerle kolay ve ucuz bir şekilde elde edilebilmesini sağlamaktadır

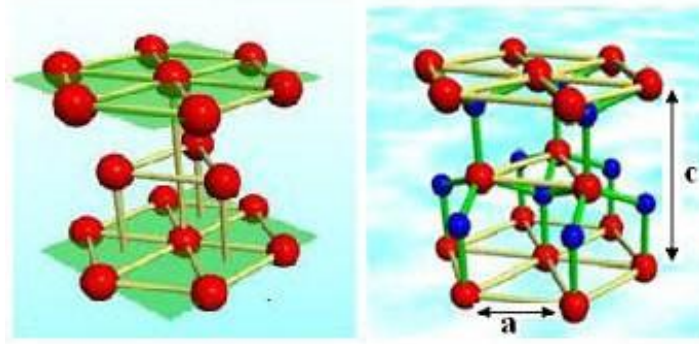
(Yakuphanoglu 2010). Ayrıca radyasyona dayanıklılığı, yüksek voltaj ve yüksek güç aygıtlarında kullanılabilir olması sebebiyle de üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır (Wang 2012).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda ZnO; yüksek iletken, geçirgenlik ve geniş bant aralığına (3,36 eV) sahip olmasından ötürü de iletken oksit metaller içerisinde en çok dikkat çeken malzemelerden birisi olmuştur (Zhao *et al.* 2002).

Bu özellikleri sayesinde ZnO; ışık emici diyotlar, gaz sensörleri, fotodedektörler gibi geniş teknolojik uygulama alanlarında kullanılan bir malzemedir. Ayrıca, ZnO ferroelektrik olmayan bir bileşik olup oldukça büyük bir elektromekanik etkiye sahiptir. Bu özelliğinden dolayı ZnO, gecikme hattı cihazları ve yüzey akustik dalga cihazları (SAW) için bir dönüştürücü olarak kullanılabilen ve iyi bilinen bir piezoelektrik malzemedir (Weibenrieder *et al.* 1997).

ZnO ince filmler; kimyasal buhar depolama, sol-jel, manyetik saçtırma gibi birçok teknik ile üretilebilmektedir (Gencyılmaz 2012). Diğer teknikler arasında kimyasal püskürtme tekniğini; kullanışlı ve ekonomik, tekrarlanabilir ve yüksek vakum gerektirmemesi gibi özellikleri sayesinde tercih edilen bir tekniktir. Bu aşamada ısıtma işlemi ile malzemedeki kusurlar azaltılarak elektriksel, optiksel ve yüzeysel özelliklerin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Isıtma işlemi süresince, özellikle malzemenin yüzey bölgesindeki yapısal özellikler değişebilir (Tuzemen *et al.* 2013).

Çinkonun doğada bol miktarda bulunması ve ucuz olması ZnO ince filmlerin maliyetini düşürmektedir. ZnO ince filmlerin görünür ışık bölgesinde saydam oluşu nedeniyle saydam iletken malzeme olarak çok büyük ilgi görmektedir (Chaabouni 2004). ZnO'nun hekzagonal yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. ZnO'nun hekzagonal würtzite yapısı (Coban 2018)

2.2.2. Kadmiyum oksit (CdO) ve özellikleri

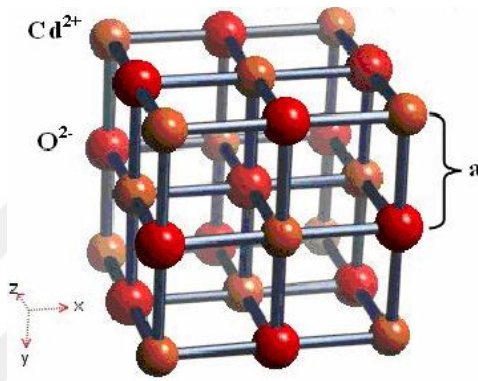
Kadmiyum (Cd); yoğunluğu $8,6 \text{ g/cm}^3$, rengi gümüş beyaz olan kimya, elektrik ve seramik gibi alanlarda kullanılan kanserojen içerikli olan ağır bir metaldir. CdO, n-tipi bir yarıiletkenidir. 2,2 – 2,8 eV bant aralığına, düşük elektrik direnci ve yüksek optik geçirgenliğine sahiptir (Akyuz 2005). Fiziksel olarak oldukça yumuşak olup hekzagonal kristal yapıya sahiptir. Şekillendirilmesinin kolay olması sebebiyle kaynak yapılma olanağı da yüksektir. Oksidi kararlıdır yani havada bile yavaş yavaş oksit oluşturabilmektedir (Zhao *et al.* 2002).

Saydam iletken oksit malzeme olan CdO, çeşitli teknolojik uygulamalardaki kullanım imkânları nedeniyle pek çok araştırmacı tarafından yoğun olarak incelenmiştir. CdO, yüksek elektriksel iletkenliğe, güneş spektrumunun görünür bölgesindeki optik geçirgenliğe ve yüksek taşıyıcı hareket özelliği olması sebebiyle güneş pilleri, akıllı pencereler, fototransistörler, ısı aynaları ve gaz sensörleri gibi geniş bir uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Zhao *et al.* 2002).

CdO ince filmlerinin sentezlenmesi ve analizi için püskürtme, kimyasal buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme, darbeli lazer biriktirme ve ardışık iyonik tabakalı adsorpsiyon ve reaksiyon (SILAR) gibi büyütme teknikleri kullanılmaktadır. Bunların içerisindeki

SILAR tekniği; diğerlerine göre basit, evre dostu, güvenilir, uygun maliyetli, düşük sıcaklık gibi avantajları sayesinde daha kullanışlıdır (Tangun 2016).

Sonuç olarak kadmiyum oksitin fiziksel-kimyasal özellikleri sadece kimyasal kompozisyonuna değil, ölçü, şekil, yüzey şekilleri ile üretim tekniğine de bağlı olup kübik şekli şekil 2.2’de gösterilmiştir.

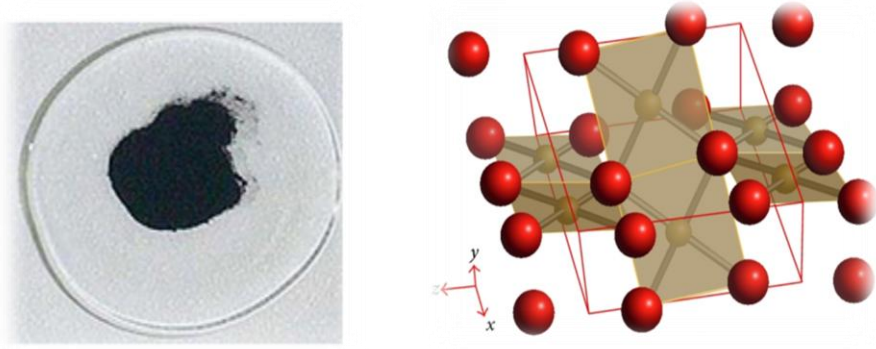


şekil 2.2. CdO’nun kübik birim hücre tipi (Coban 2018)

2.2.3. Bakır Oksit (CuO) ve zellikleri

Bakır Oksit (CuO), yarıiletken bir malzemedir. Molar kütlesi 143,09 gr, ısı genleşme katsayısı $3,5 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$, hareket kabiliyeti (μ) $70 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ olup, p tipi bir malzeme düşünülebilir. Suda veya organik çözücülerde erimez, bant aralık değerisi ise yaklaşık 1,9-2,6 eV’dir.

CuO, yarıiletken gibi özellik gösteren malzemedir. Bakır Oksitin araştırması ilk olarak 1920’li yıllara kadar uzanmakta olup yıllar geçtikçe bu malzemeye olan ilgi gittikçe artmıştır. Görünür düzeylerde yüksek emme katsayısına sahiptir, düşük maliyetle ve basit bir yöntemle hazırlanabilir (Ataya *et al.* 2008). Güneş pillerinde, manyetik cihazlarda kullanılmaktadır. Güneş hücresi için daha iyi foto iletken ve fotokimyasal özelliklere sahiptir (Akgul 2014). Genel olarak toksik değildir ve kaynak malzemeleri dünyada bol miktarda bulunur. CuO’nun kristal yapısı şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. CuO'nun kristal yapısı ve rengi (Hasan 2017)

2.2.4. Kalay oksit (SnO_2) ve özellikleri

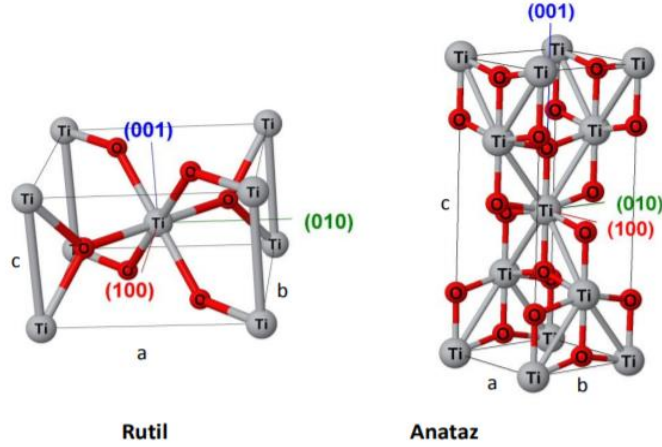
Kalay oksit (SnO_2); yüksek geçirgenliğe, mekanik ve kimyasal kararlılığa sahip n-tipi bir yarıiletkenidir. Geniş optik bant aralığı 3,6 eV olması sebebiyle yüksek iletkenlik ve optik geçirgenlik özellikleri bulunmaktadır. Bu sayede kalay oksit, birçok uygulama alanında en yaygın kullanılan yarıiletken oksitlerden biridir. Özellikle, kaplandığında çok yüksek oranda şeffaflık gösterir ve ince filmlerde kullanımı yaygındır. Ayrıca pil uygulamalarında, yanıcı olmayan gazların tayin edilmesinde de tercih edilmektedir. Bir diğer kullanım alanı ise gaz sensörlerinin yanı sıra zararlı emisyonların kontrolünün yapılmasıdır (Kose 2017).

Nano boyutlarda sentezlenen SnO_2 filmlerinde birçok alanda bu avantaj sağlamaktadır. Örneğin; nanoyapılı elektrot malzemeleri, yüksek güce sahip, yüksek kapasiteli ve yüksek emniyet gerektiren şarj edilebilen lityum pillerle ilgili araştırmaların merkezinde yer almaktadır. Ayrıca yüksek kapasite ve yüksek hız kabiliyeti sağlayarak aşırı potansiyeli azaltarak elektrot yüzeyinde daha hızlı reaksiyon kinetiğine izin vermektedir.

2.2.5. Titanyum dioksit (TiO_2) ve özellikleri

Titanyum dioksit kristalleri doğada üç genel fazda bulunur. Rutil (tetragonal), anataz (cisim merkezli tetragonal) ve brukit (ortorombik) fazlarıdır. Bu yapılar arasındaki rutil

fazı diğer fazlara göre doğada daha bol miktarda bulunmaktadır. Elde edilmesi kolaydır ve ısısal olarak diğerlerine göre daha belirgin ve sabittir (Celik 2012).



Şekil 2.4. TiO_2 rutil ve anataz fazları için konvansiyonel hücre modelleri (Celik 2012)

Titanyanın üzerinde en çok araştırılma yapılmış iki fazı rutil ve anataz olup yapısı Şekil 2.4’de gösterilmiştir. a, b, c örgü parametreleri ve temel kristal yönleri ile birlikte gösterilmektedir.

Rutil ve anataz fazlarının balk yapılarında, titanyum atomu altı oksijen atomu ile uyumludur. Her bir oksijen atomu da üç titanyum atomuyla ilişkilidir. Bu bağlar malzemenin sınırlarında yada yüzey kesitlerinin oluşumunda kırılmalara uğrarlar.

Gelişen yenilenebilir enerji sektöründeki fotokatalitik süreçlerde en ideal metal oksit TiO_2 ’dir (titanya). Bunun en önemli sebepleri güçlü oksidasyonu ve yük transferi özelliklerinin olmasıdır. Ayrıca toksisitesinin olmaması ve korozyona karşı dayanıklılığı da oldukça etkilidir. Titanya, sudan hidrojenin ayrılması, boya ile duyarlılaştırılmış güneş hücreleri (DSSC), görünür bölge ışığı altında kirleticilerin parçalanması ve hidrokarbon yakıtların üretimi gibi önemli alanlar da oldukça heyecan uyandırmaktadır (Celik 2012).

Optiksel absorpsiyon sınırını görünür bölgeye genişletebilmek ve foto cevabını geliştirmek için titanyanın elektronik özelliklerini modifiye edebilmek adına önemli derecede araştırma yapılmaktadır. Bu amaçla etkili bir yöntem olan TiO_2 'nin kristal atomlarının katyon ve/veya anyonlar ile katılanması (doping) ile gibi çalışmalar yapılmaktadır.

2.2.6. Nikel oksit (NiO) ve özellikleri

Nikel oksit (NiO) yarıiletkeninin bant aralığı 3,2 - 4 eV arasında değişmektedir. NiO yarıiletkeninde aralık içi durumlara yol açabilecek büyüme sırasında ortaya oksijen eksikliği çıkabilir. Bu oksijen eksikliğinin, malzemelerin elektriksel, optik ve yapısal kalitesi üzerinde büyük etkileri vardır. DC veya RF püskürtmeli ince filmler üzerindeki oksijenin oksijen kısmi basıncının artırılmasının, tane büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü ve elektriksel direncin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca optik özellikler üzerinde de bazı olumlu etkileri olduğu görülmektedir. NiO, doğal olarak şeffaf oksit bazlı cihaz uygulamalarında kullanılan p-tipi geniş bant aralıklı yarıiletken bir materyal olarak karşımıza çıkmaktadır (Koutoulaki *et al.* 2010).

NiO, yüksek kimyasal stabilitesi, elektro katalizörü ve süper kapasitans özellikleri sebebiyle güneş pilleri, elektrokromik cihazlar, elektrokimyasal depolama cihazları, foto elektroliz gibi alanlarda kullanılan malzemelerden biri haline gelmiştir. Ayrıca, yüzey morfolojisi sayesinde gaz sensörleri gibi malzeme uygulama alanına yeni bir bakış açısı kazandıran NiO ince filmler üretilmesini de mümkün kılınmaktadır.

2.2.7. Galyum Arsenid (GaAs) ve özellikleri

Galyum Arsenid (GaAs), oldukça yüksek (1238°C) erime noktasına sahip grup III-V bileşiklerinin bir bileşiğidir. 600°C' nin altında, havada stabil olan ve oksitleyici olmayan asitlerden etkilenmemektedir.

Yarıiletken malzemeler olarak, basit maddelerden bileşiklere, inorganik malzemelerden organik materyallere ve tek kristallerden amorf malzemelere kadar çok çeşitli yarıiletken malzemeler bulunmaktadır. Malzemenin kimyasal bileşimi ve yapısına göre, yarıiletkenler Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi elementer yarıiletkenlere ayrılabilir. Germanyum ve Silisyum, bant aralığı ve elektron hareketliliği ile oldukça önemli bir bileşik yarıiletken malzemedir (Pankove 1971).

Yüksek sıcaklık ve frekansta çalışabilen Si ve Ge mükemmel özellikleri ile daha büyük bir bant aralığı ve elektron hareketliliğine sahiptir ve mikrodalga gövdesi efekt cihazları, yüksek verimli kızılötesi ışık yayan diyotlar ve yarıiletken lazerler üretmek için uygundur.

Sonuç olarak; GaAs umut verici bir yarıiletken malzemedir. Büyük ölçekli entegre devrelerin üretim teknolojisinin geliştirilmesiyle birlikte yarıiletken kimyasının araştırma alanları ve nesneleri genişlemeye devam edecektir.

2.2.8. İndiyum Fosfat (InP) ve özellikleri

İndiyum fosfat (InP); kristal yapısında oluşan III–V grubu ikili bileşik yarıiletkenlerden olan önemli bir maddedir. Yani periyodik tablonun III. sütununda bulunan indiyum atomu ile V. sütununda bulunan fosfat atomunun bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Yarıiletken bileşiklerin tarihsel gelişiminde oldukça önemli bir yere sahiptir (Bachmann 2010).

Periyodik tablonun III. grup ve V. grup elementlerinin birleştirilerek ilk kimyasal sentezlenmesi 1910 yılında Thieland Koelsch tarafından gerçekleştirilmiştir. InP, yarıiletken olarak ilk kez 1952 yılında önerilmiş ve ilk deneysel sonuçlar 1953'te kaydedilmiştir. Sonraki yıllar içerisinde ise GaAs yarıiletkeniyle benzer özellikte olması ve GaAs'ın hazırlanmasının kolaylığından ötürü InP geri planda kalmıştır. Bu durum malzemelerdeki Gunn etkisi (Gunn effect) özelliğiyle tekrar cazip hale gelmiştir (Bachmann 2010). InP aynı zamanda 60–100 GHz aralığında transfer edilen elektron aygıtları ölçüm yapma işlemi için tercih edilen bir malzeme haline gelmiş ve ağırlıklı

olarak elektronikte kullanılmak üzere geliştirilmeye çalışılmıştır. Yüksek hız uygulamalarında ve fotodedektörlerde kullanılan In/GaAs ve In/GaP yarıiletkenleri için altlık olarak da yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Ho 1992).

2.3. Metal Oksit Yarıiletken Diyotlar

Organik yarıiletken malzemelere dayanan organik ışık yayan diyotlardaki (OLED'ler) araştırmalar büyük ilgi görmeye devam etmektedir. Bu durum, cihazların katı hal aydınlatmasında hafif esnek ekran teknolojilerindeki ve son zamanlarda nano ölçekli ışık kaynaklarındaki uygulamalarından kaynaklanmaktadır (You *et al.* 2007).

OLED'lerin başlıca önemli özellikleri şu şekildedir;

- İyileştirilmiş çevresel stabilite sergilemek,
- Cihaz yapısının / bileşenlerinin nanometre uzunluk ölçeğinde düzenlemek,
- Parlaklık ve şarj taşıyıcı taşınım işlemlerinin ayrı ayrı izole edilmesine olanak sağlamak.

Bu özellikler sayesinde cihaz tasarımında daha fazla esneklik sağladığı için özellikle tercih edilmektedir.

Bununla birlikte, bu tür cihazların performansı mikrometre uzunluk skalasındaki tek tek moleküler bileşenlerin düzenlemesine bağlıdır. Bu kontrol seviyesi, işlevsel olarak farklı bileşenlerin ayrıntılı çok katmanlı mimariler içinde doğru bir şekilde konumlandırılması sayesinde OLED'lerde gerçekleştirilebilir. Böylece cihaz yapısı ve performansı optimize edilmektedir.

OLED için nanometre uzunluk ölçeğinde malzemelerin ve arayüz yapısının kontrolünü sağlayan üretim metodolojileri bulunmaktadır. Hem elektron enjekte eden bir katot hem de fonksiyonel organik tabakaların montajı için nano yapılı metal oksit film kullanımı

sağlanarak elde edilen araştırmalar mevcuttur. Bazı araştırmalarda bu durumun çok yönlülüğünü göstermek için, nano yapıli bir elektron taşıyan materyal (ETM) ve bir boşluk taşıyan materyal (HTM) arasına bir ışık yayan tek tabakanın sıkıştırıldığı üç bileşenli çok katmanlı bir LED üretilmiştir (Jong 2000).

Farklı ışık yayan ve yük taşıma katmanlarının kullanılması, malzeme seçimi ve enerji seviyesi eşleştirmesi üzerinde daha fazla esneklik sağlamaktadır. Bu duruma örnek olarak ışık yayan katmanın seçilmesine izin verecek, yüksek fotoyayma verimi taşıyan yük taşıyıcı hareketlerin seçilmesi oldukça önemlidir.

Organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler), elektronik ekranlar ve aydınlatma için yeni nesil bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Optimize edilmiş cihaz performanslarının yanı sıra, OLED teknolojisinin özellikle aydınlatma uygulamalarında geniş çapta uygulanabilirliğini sağlamak için üretim maliyeti en aza indirilmelidir (Bolin 2007). Bu bakımdan, havaya dayanıklı yük enjeksiyonlu arayüzleri kullanan cihazlardan üretilmesi oldukça önemlidir. Bu tür arayüzler reaktif metaller veya havaya duyarlı şarj enjeksiyon katmanları içermemelidir. Bu durumun sağlanması için son zamanlarda OLED mimarisinde farklı özellik ve işlevlerde metal oksitler kullanılmıştır.

2.4. Metal Oksit Yarıiletken Sensörler

Çevredeki bir uyarıcıdan gelen fiziksel ve kimyasal uyarıları hassas bir şekilde algılayıp ölçülebilen niceliklere ve genellikle elektriksel sinyallere çeviren elektronik devre elemanlarına ‘sensör’ adı verilir. Sensör ya da algılayıcı olarak da ifade edilir ve genel olarak otomatik kontrol sistemlerinin duyu organlarına verilen addır. İnsanların çevrelerinde olup bitenleri duyu organlarıyla algılamasına benzer biçimde, makineler de sıcaklık, basınç, hız ve benzeri değerleri algılayıcıları vasıtasıyla algırlar.

Sensörlerin geliştirilmesi ve üretimi konusunda araştırmalar yapılarak bu konu üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaları yeni teknolojiler ile birleştirildiğinde istediğimiz özelliklerde yeni sensörlerin üretilmesine olanak sağlamış oluruz. Sensörler; fizik, kimya,

biyoloji, mühendislik, tıp gibi önemli bilim dallarında kullanım sağlanarak maddelerin bazı özellikleri ve elektronik gibi tekniklerin birleşimiyle geliştirilmiş bir cihazdır. Kullanım amaçlarına göre çeşitleri başlıca; biyosensör, gaz sensörü, nem sensörü, basınç sensörü, titreşim sensörü, sıcaklık sensörü, hız sensörü, manyetik alan sensörü olarak sıralanabilir. Farklı dönüştürücüler kullanıldığında ise, piezoelektrik özellik gösteren kuartz kristalinin kullanıldığı QCM sensörler en önemli sensör çeşitlerinin başında gelmektedir (Inoue 1995).

QCM sensörleri, kuartz kristalin yüzeyine algılanacak maddenin adsorbe veya desorbe olması sonucu meydana gelen kütle değişimi ile kristalin rezonans frekansının değişmesi prensibine göre çalışır. Bu özelliği sayesinde seçici olarak istenilen maddenin algılanmasında kullanılması sağlanır. Ayrıca önemli avantajları ise; düşük cevap verme süresi, yüksek hassasiyet, tekrarlanabilirlik, düşük maliyet, tasarım ve kullanım kolaylığı ve algılayıcı yüzey/çevirici bütünlüğünün sağlanabilmesi olarak sıralanabilir.

Bir diğer önemli sensör çeşiti ise nem sensörüdür. Bu sensörler ile ortam neminin ölçülmesi ve kontrol edilmesi, insan yaşamı, endüstriyel üretim, tarımsal faaliyetler, depolama, tıbbi uygulamalar, kütüphane ve müzeler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple ucuz, güvenilir, ortam sıcaklıklarında faaliyet gösteren, kararlı ve duyarlı nem sensörlerinin üretilmesi çok önemlidir.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında, sensör sistemlerinde ideal özelliklerin oluşmasını sağlayan en önemli husus algılayıcı sensör maddesi olup çalışmaların büyük bir kısmı bu konu üzerine yapılmaktadır. Sensörlerin performansını etkileyen en önemli durum ise kaplama yapılan malzemesinin kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleridir. Gelişen yarıiletken teknoloji ile sensörlerde istediğimiz önemli özelliklerin elde edilmesi hedeflendiğinden son dönemlerde metal oksit yarıiletken malzemelerin algılayıcı sensör maddesi olarak kullanımı üzerine çalışmalar ciddi derecede artmıştır. ZnO, CdO, SnO₂, TiO₂, CuO, WO₃ gibi yarıiletken metal oksitler sensör uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu maddelerin kullanım avantajları; hassasiyetlerinin yüksek olması, kötü şartlar altında çalışabilmeleri, güvenilirlikleri ve uzun süre

kullanılabilirlikleri gibi sıralanabilir. Yarıiletken metal oksitlere az miktarda olsa Zn, Sn, Cu, Au gibi metaller ilave edilmekte ve iletkenlikleri değiştirilmektedir (Inoue 1995).

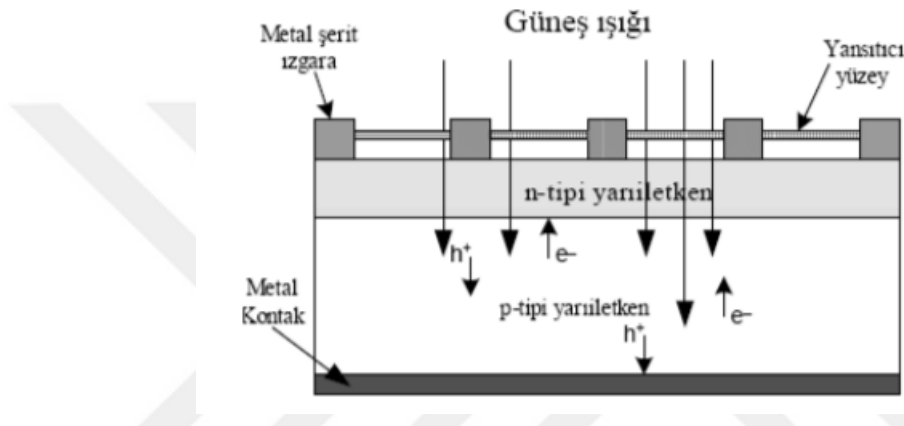
Yapılan çalışmalarda, ZnO metal oksit malzemelerin en fazla kullanılan malzemedir. Diğer metal oksitlerden daha fazla kullanılmasını sağlayan özellikleri ise; üstün elektriksel ve optik özellikleri, yüksek ısısal, kimyasal ve mekanik kararlılıkları, mükemmel piezoelektrik özellikleri, doğada oldukça fazla bulunması sebebiyle çok düşük maliyetli bir malzeme olması gibi. Katkısız ve farklı metallerin enjekte edilmesi ile üretilen katkılı ZnO malzemeler birçok sensor araştırmalarında sıkça kullanılmaktadır. Özellikle H_2 , CO, H_2O , Cl_2 , CH_4 gibi gazların algılanmasında gaz sensörü olarak oldukça fazla araştırmada kullanımı bulunmaktadır (Alexy 2003).

Diğer bir sensor çeşiti de gaz sensörleridir. Poli kristalli metal oksit yarıiletkenlerinden (ZnO , CuO , SnO_2) yapılır. Algılama özelliği, gaz adsorbat için oluşan elektrostatik kaplamanın meydana gelmesine neden olan yük aktarımına dayanmaktadır. SnO gibi bir gaz sensörü olarak çeşitli tipte yarıiletken malzemeler kullanılmıştır. Yarıiletken metal oksit tozların ile yüksek sıcaklıkta oluşan gaz sensörünü hazırlamak için iki sensor hazırlama tekniği bulunmaktadır (Püskürtme yöntemi veya termal buharlaşma). Oksijen moleküllerine dayalı CuO gaz sensörü, belirli bir hava sıcaklığında CuO yüzeyine emilir ve negatif yük iyonu ortaya çıkararak sensor algılama olayı gerçekleşmektedir (Alexy 2003).

2.5. Metal Oksit Yarıiletken Fotovoltaikler

Fotovoltaik alanındaki oksitlerin (fotonları kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüren bir cihaz) kullanımı oldukça önemlidir. Oksitler, güneş pillerinde izolator, yarıiletken ve genellikle iletken olarak kullanılırlar. Daha düşük maliyetli ve daha büyük cihaz kararlılığı sağlarlar. Birkaç fotovoltaik teknoloji olmasına rağmen, temel güneş pili yapısı, ışığı elektrik enerjisi dönüşüm verimliliğinde en üst seviyeye çıkarmak bu teknolojide en önemli amaçlardandır.

Bu alanda kullanımı oldukça yaygın olan CuO, güneş hücresi uygulaması için gelecek vaat eden bir metal oksit yarıiletkendir (Minami 2016). Çünkü iyi bir bant aralığı değerine, toksisitesi olmayan, çok kolay üretilmiş mükemmel özelliği bulunmaktadır. Ayrıca düşük veya yüksek güneş emiciliği için düzenlenebilir olması güneş hücreleri uygulamalarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Örnek bir oksit yarıiletkenine ait gösterim Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Oksit yarıiletkene ait güneş pilinin (solar hücrenin) şematik gösterimi (Erkul 2010).

Yarıiletken oksitler fotovoltaiik teknolojilerinde uzun yıllardır uygulanmaktadır. En önemli avantajları ise çok yönlülüğü, basit, düşük maliyetli ve kolayca ölçeklenebilir olmasıdır. Yeni nesil fotovoltaiiklerde (NGPV'ler) oksitlere eşsiz bir olanak sağlar.

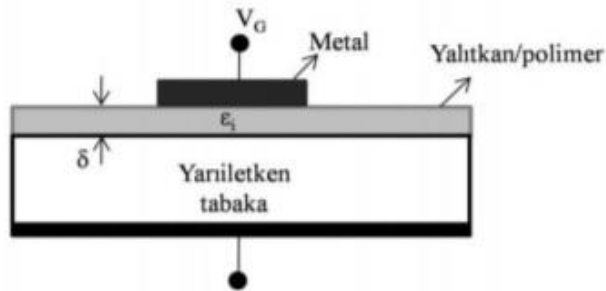
Bazı (katkılı ve katlanmamış) yarıiletken oksitler, NGPV'lerin sanayileşmesi ve ticarileşmesi için önemli bir adımdır. Organik fotovoltaiikler (OPV) ve halojenür perovskite güneş hücreleri (HPSC'ler) gibi en son teknolojiye sahip PV'lere ömür boyu stabilite sağlamıştır. Ancak yarıiletken oksitler, daha karmaşık formlarında, aynı zamanda, en klasik malzemelerle birlikte toplu olarak yeni ve yenilikçi özellikler sunabilen manyetizma, ferroelektriklik gibi özellikler sağlayabilir (Jose *et al.* 2009).

Katalitik aktiviteleri ve yarıiletken özellikleri sebebiyle, fotovoltaiik dönüşüm için elverişli olan oksit sınıfı, geçiş metali oksittir (TMO'lar). TMO'lar, uygulamada,

periyodik tablodaki III-XII gruptaki elementler olarak kabul edilebilmekte olup kısmen doldurulmuş alt kabuklara sahip bir metale bağlı oksijen atomlarından oluşan bileşikler olarak düşünülebilir. TMO'da, iletken bant d banddır ve değerlik band p banddır. Birçok TMO için, genel olarak temel bant teorisinde ihmal edilen çeşitli etkileşimler, bant genişliğinden daha büyük hale geldiği durumlarda serbest elektronların yarıiletken bant resmi (elektron-fonon etkileşimleri ve güçlü elektronelektron etkileşimleri) başarısız olur (Kudryashov *et al.* 2018).

2.6. Metal Oksit Yarıiletken Fotodiyotlar

Metal/yarıiletken kontak arasında yalıtkan bir tabaka oksit gibi kendiliğinden oluşabilir veya polimer malzeme depolanarak elde edilebilir. Bu yapılara, metal yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS/MPS) denilmektedir (Senel 2009). MIS/MPS yapılar, yarıiletken alt tabaka bu alt tabakaya kontak yapılmış arka omik kontak ve yalıtkan/polimer tabakası üzerinde yer alan metal kontakta oluşur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS/MPS) yapı (Senel *et al.* 2009).

Kalınlığı δ olan yalıtkan/polimer tabakanın var olması metal ile yarıiletken malzemeleri birbirinden ayırır ve metal-yarıiletken arasındaki yük geçişini düzenlemektedir. MS diyotlar arayüzey tabaka ile seri dirence sahip ise yapı üzerine uygulanan voltaj (V_G); seri direnç, arayüzey tabakası ve diyot tarafından paylaşılmaktadır (Lapa 2018).

2.7. Yüzey Fiziğinin Tarihsel Gelişimi

Maddelerin yüzey fiziğinin anlaşılması için yapılan ilk basit gözlem şu şekildedir. Bir araştırmada bir büyük bir gölet içerisine bir ham petrol ilave edilerek yüzeye hızlı bir şekilde yayıldığı görüldü. Yağ, birkaç metre karelik bir alana yayıldı yavaş yavaş boyu uzadı ve gözetleme camı gibi pürüzsüz hale geldiği gözlemlendi (Zangwill 1988).

Yoğunlaşan madde yüzeyleriyle açıkça ilişkilendirilen fiziksel olaylar, antik çağlardan beri incelenmiştir. Bu alandaki belki de en eski yazılı tecrübe kaydı, Hammurabi zamanından kalma Babil çivi yazısı ile ortaya çıkmaktadır (Zangwill 1988). Daha sonraki yıllarda, birçok gözlemci dalgalı denize yağ dökerek dalgaların durgunlaşabileceği görüşü öne çıkmıştır. Özellikle, Pliny'nin hesabı Benjamin Franklin'in İngiltere'ye yaptığı sık ziyaretlerinde kontrollü deneylere başlanarak bu durumu desteklemektedir. Franklin'in çalıştığı cihaz, yağın depolanması için içi boş bir üst mafsallı bir bambu kamışından oluşuyordu. Dikkat çekici bir şekilde Franklin, film kalınlığının sadece bir nanometre olduğunu gösteren basit bir hesaplama yapıştır.

19. Yüzyılda gelişen modern bilimsel analiz yöntemlerinin kurulması, yüzey biliminin geleceği açısından üç sonuç ortaya çıkarılmıştır. İlk olarak, 1833'te Michael Faraday, on yıl önce Dobereiner tarafından gözlemlenen gizemli bir malzemeye dikkat çekmiştir. Ayrıca platinin varlığı, hidrojen ve oksijenin reaksiyonlarını nominal yanma sıcaklığının çok altına düşürmüştür (Zangwill 1988). Karakteristik olarak, katalitik bir eylem teorisi (1836'da Berzelius tarafından yazılmış bir terim) önermesini sağlayan bir dizi deney tasarlanmıştır. 1874 yılında Nobel ödüllü Karl Ferdinand Braun tarafından ikinci bir kritik keşif yapılmıştır (Zangwill 1988). Braun, metalik sülfürlerin elektriksel ölçümleri sırasında, akımın iletilmesinde Cu ve FeS malzemeleri üzerinden Ohm yasasından sapmaların olduğunu fark etti. Sadece birkaç yıl sonra, beklenmeyen asimetrik direncin nedeninin arayüzde ince bir yüzey tabakasında kalması gerektiği belirtilmiştir.

19. Yüzyıl biliminin en önemli başarılarından biri olarak kabul edilen çalışmalarda, termodinamik ve istatistiksel mekaniğin matematiksel temellerini oluşturmaktadır (Rice

1936). Bu çalışmaların parçası olan Gibbs, yüzey fazlarının termodinamiğini tamamen açıklamıştır. Bu araştırmaların sağladığı katkılara karşın yüzyılın başlarında yüzey biliminin kayda değer bir araştırma konusunun oluşmasını ait çalışmalar Irving Langmuir tarafından gerçekleştirilmiştir (Zangwill 1988). Langmuir, sıcak bir platin tel tarafından üretilen çeşitli gazların ayrışmasını içeren bir araştırmasını tamamlamıştır. Ayrıca Langmuir'in çok sıcak metal yüzeylerin yakınında çok düşük basınçlarda bulunan gazlara olan ilgisi sebebiyle azot dolu tungsten akkor lamba icadını gerçekleştirmiştir. Son olarak 1932'de İsveç Bilim Akademisi, "yüzey kimyası alanındaki olağanüstü keşifler ve icatlar" için Nobel ödülü ile Langmuir'i ödüllendirmiştir.

20. Yüzyılın başlarında verilen diğer iki Nobel ödülü de yüzey biliminin ve özellikle yüzey fiziğinin gelişimi açısından direk bir etkiye sahip olmuştur 1921'de ödülü, Einstein'a fotoelektrik etkiyi açıklamasından dolayı verilmiştir. Clinton Davisson ile Lester Germer 1937'de ödülünü kuantum mekanik parçacıkların dalga yapısını doğrulayan elektron kırınım çalışması ödülünü almışlardır. Her ne kadar Davisson ve Germer kristallerinin yüzey katmanını araştırdıklarının farkında olsalar da, fotoemisyon spektroskopisi ve düşük enerjili elektron kırınımı, yüzey elektronığı ve geometrik yapıları gibi özelliklerinde araştırılmasında öncü olmuşlardır (Zangwill 1988).

1930'lar, yüzey fiziğinin temelleri üzerine gelecekteki çalışmalar için araştırmalar yapılan bir dönem olduğu söylenebilir. Bir kristal yüzeyde lokalize olan elektron durumlarının varlığı ve özellikleri, Tamm (1932), Maue (1935), Goodwin (1939) ve Shockley (1939) tarafından araştırılmıştır. Serbest metalik yüzeyin temel teorisi ise Bardeen (1936) tarafından açıklanmıştır. Yani yarıiletken yüzeylerin temel çalışmalarının temel amacı arayüze çalışmalar üzerine yoğunlaştığı görülmüştür.

Yüzey fiziğinin asıl ortaya çıkışı, 1960'lı yılların sonlarında, çeşitli olayların tesadüfünün bir sonucu olarak ortaya çıktı. Bunlardan ilki, özellikle elektron spektroskopisinin ve Auger spektroskopisinin, bir yüzeyinde bulunan kimyasal türlerin bir mono katmanın detaylı bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamasıdır. İkincisi, ultra yüksek vakum odalarının ticari olarak geliştirilmesine olanak sağlayarak bir numunenin önemli bir süre

boyunca temiz tutulmasını sağladı. Bunların sonucu olarak ise iyi tanımlanmış katı yüzeylerde kontrollü deneyler yapılabilmesi ve teorik olayların deneysel sonuçlarının karşılaştırılması hakkında karşılaştırmaların yapılmasına olanak sağlamıştır. Nitekim yüksek hızlı dijital bilgisayarların geliştirilmesi ve kullanılabilirliği gibi alanlardaki çalışmaların yaygınlaşmasını sağlamıştır (Zangwill 1988).

2.8. Yüzey Fiziği

Teknolojik gelişmelerin büyük bir çoğunluğu, yüzeylerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayanmaktadır. Katalitik reaksiyonlar ve yarıiletken (SC) yapılar bunun en büyük göstergesidir. Bu konudaki açıklanması gereken bazı hususlar bulunmaktadır;

- Model katalizörlerin temel yüzey işlemlerini atom ölçeğinde ve kimyasal reaksiyon sırasında tanımlayıp tanımlayamayacağımızdır.
- Yarıiletken teknolojisinin temellerini mikroskobik ölçekte anlayabilir miyiz?
- Bütün bu meselelerde, amacımız maddenin mikroskobik özellikleri ile onun makroskobik davranışı arasındaki bağlantıya dair bir içgörüdür. Bu hedefe ulaşmamıza yardımcı olacak ilgili kavramlar nelerdir?

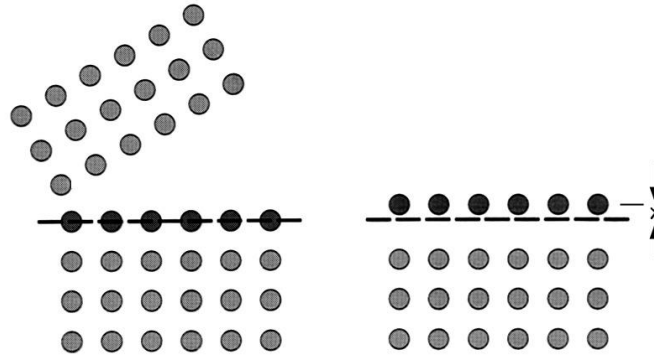
Bir katının son birkaç atomik katmanı, çevresiyle arayüzü oluşturur. Bu arabirimde yarıiletken 2 boyutlu (2DIM) aşamada gerçekleşen çok sayıda atomik ve moleküler işlem vardır. Bu süreçler günümüz teknolojisinin temelidir. Örneğin, yarıiletken (SC) cihazlarının üretiminde ayrıntılı bilgi olmadan, bilgi ve telekomünikasyon teknolojisinde ilerleme kaydedilmemiştir. SC kuantum noktaları ve karbon nanotüpler gibi olağanüstü fonksiyonel özelliklere sahip nanoyapılı malzemelere de erişim mevcuttur. Bu yapısal özelliklerin elektronik özellikleri nasıl kontrol ettiği konusunda artan bir anlayışa sahibiz. Yıllar boyunca kristal büyümesini öğrendik ve ustalaştık. Gerçek bir devrim epitaksi icat edildi. Neredeyse herhangi bir malzemenin istenildiği şekilde imal edilmesini sağlar ve aksi halde 3DIM faz diyagramına göre mevcut olmayan herhangi bir alaşımın 2DIM'de oluşturulmasını mümkün kılar (Haneman 1960).

Kimyasal reaksiyonların çoğu yüzeyde meydana gelir ve heterojen kataliz bir yüzey reaksiyonudur, katalitik madde reaksiyonda yer almaz. Ni-Fe-Cr alaşımı, oksidasyon ve korozyona dayanıklılığı nedeniyle paslanmaz çelik olarak adlandırılmaktadır. Aslında, adsorpsiyonla indüklenen ayrılma nedeniyle, Cr yüzeye yayılır ve ince bir oksit tabakası oluşturan oksijene bağlanır. Alaşımın yüzeyindeki kromyum oksit kapağı bir koruma görevi görür ve daha fazla oksidasyonu önler. Benzer yüzey pasivasyon işlemleri, GaAs'ların yüzeyindeki bir Gd_2O_3 atom tabakası gibi SC cihazlarında başarıyla kullanılır (Bimberg 1999).

Yüzeye yabancı maddelerin iç difüzyonu ayrılmaya neden olur. Sürtünme nedeniyle çok fazla enerji kaybediyoruz, ancak sürtünme olmadan yürüyemeyiz. Sürtünme bilgisi bu yüzey etkisiyle ilgilidir

2.9. Yüzey İşlemleri

Genel bir yüzeyde, kütle için bilinmeyen fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar yapılabilir.

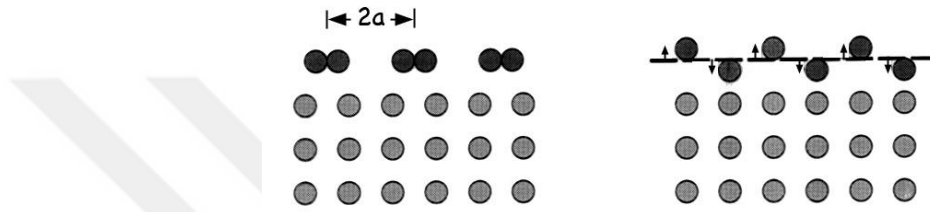


Şekil 2.7. Bir yarıiletken kristalinin parçalanma görüntüsü, (Kristal parçalandığında üst atomik tabaka, sağ taraftaki panelde görüldüğü gibi, her iki yönde x ile gevşeyebilir (Erbudak 2012))

Bir kristalografik yöne dik bir yarıiletkeni parçalayabilir ve en az miktarda bağın kırıldığı bir yüzey ortaya çıkarabilir. Bölünme sonucu hiçbir şarj ayrımı gerçekleşmez. Böylece yüzey atomları azaltılmış bir koordinasyona sahip olur ve toplam enerjiyi azaltmak için

bu değişime tepki verebilir. Üst atomik tabakanın yüzeyine normal kayma, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi gevşeme olarak adlandırılır (Erbudak 2012).

Atom yüzeyini kısaltmak için yüzeye yanal olarak kaydırılırsa, yüzeyin atom simetrisi değişecek ve periyodiklik iki katına çıkacaktır (Şekil 2.7 (sol). Bu yeniden yapılanma için basit bir örnektir. Bükülme ise Şekil 2.8'de (sağda) gösterilmektedir.

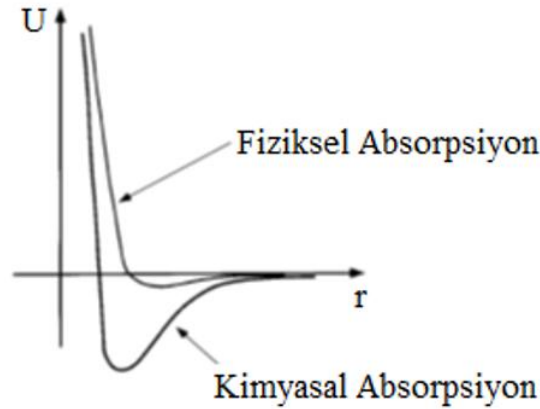


Şekil 2.8. Üst atomik katman yeniden yapılanma (solda) veya burkulma (sağda) gösterebilir (Erbudak 2012)

Genel bir yüzeyde kimyasal değişiklikler de görülebilir. Yabancı atomlar yüzeye yaklaşabilir ve yapışabilir. Yabancı atom, adsorbat ve yüzey, substrat arasında gösterilen potansiyeli göz önünde bulundurulur (Erbudak 2012).

Fiziki emilim durumunda, yüzeyler üzerinde soygaz adsorpsiyonunda olduğu gibi adsorbat ve substrat arasında zayıf bir bağlanma veya soy metallerin yüzeylerinde gazların adsorpsiyonunda olduğu gibi zayıf bir bağlanma vardır. Yavaş yavaş ısıtma ile yabancı atomlar desorbe edilecektir.

Fiziksel ve kimyasal absorpsiyon potansiyellerini gösteren grafik Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

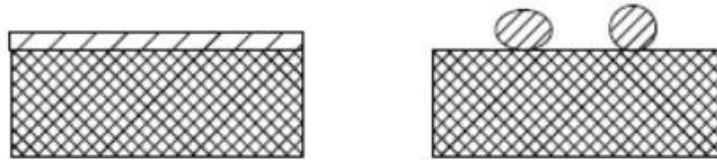


Şekil 2.9. Adsorbat ve substrat tarafından oluşturulan fiziksel ve kimyasal potansiyel

Kimyasal olarak, substrat ve adsorbat arasında bir elektron transferi bulunurken, fiziksel olarak ise bazı van-der-Waals kuvvetleri oluşmuştur. Kimyasal emilim ilerlerse, kimyasal bileşim ve atomik yapı ile kütleden farklılaşan yeni bir bileşik yani oksit oluşabilir. Ayrıca yüzey ayrımı da benzer bir duruma neden olur. Bu nedenle, kimyasal bileşimi, atom geometrisi ve elektronik özellikleri için yüzeyi çizikten tamamen karakterize edilmesi gerekir.

2.9.1. Epitaksi (çoklu katman biriktirme)

3 boyutlu (3DIM) yapıların termodinamiği, faz diyagramlarına göre yönetilir. Bu sınırlama 2DIM sistemleri için geçerli değildir ve bu nedenle yüzeyde özel özelliklere sahip birçok farklı malzeme üretilebilir. Bu büyüme yöntemine epitaksi denir ve adsorbat ve ada oluşumunu gösteren durum Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Yüzeyin adsorbe ve ada oluşumu ile ıslatılması (Müller *et al.* 2004)

Şekil 2.10'da (sol) bir mono atomik adsorbat tabakasını şematik olarak göstermektedir. Epitaksi 1'de, yüzey üzerinde yoğunlaşan bir gaz, örneğin metal buharına maruz bırakılır.

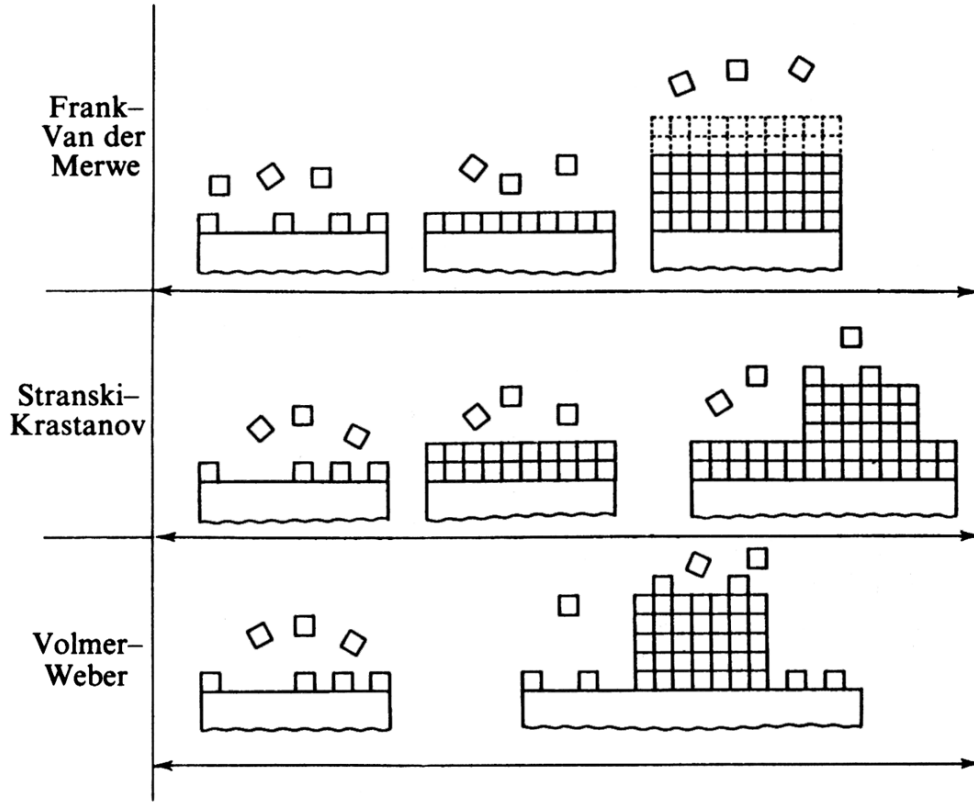
Bu şekilde, yüzey arayüz adı verilen iki katı arasında bir temas noktası haline gelir. Epitaksideki temel soru, yüzeyde adsorbe edilen gaz atomlarının yüzeyi ıslatıp ıslatmayacağıdır. Bu durum $T = 0$ 'da adsorbat ve yüzey atomları arasındaki kuvvetli kuvvetlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, adsorbat-adsorbat etkileşimi, adsorbat-yüzey etkileşimlerinden daha güçlü ise, kümeler olarak adlandırılan yüzey üzerinde bir ada oluşmaktadır. Bu nedenle, bir gazın belirli bir yüzey üzerindeki ıslatma özellikleri, epitaksiyel büyüme için gerekli şartlardır (Sze *et al.* 1981).

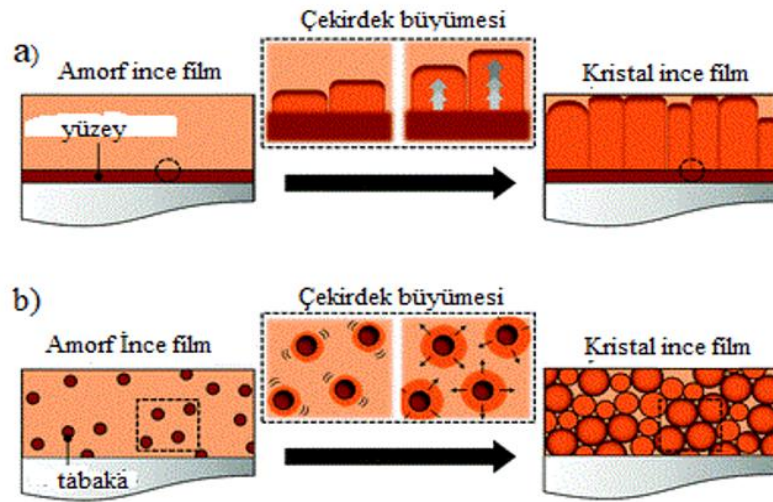
Epitaksiyel büyüme temel olarak, Şekil 2.11'de gösterilen üç modda sınıflandırılabilir. En basit durumda, büyümenin bir sonraki peş peşe bir katman olan ve istenen bazı film kalınlığına kadar bir 2DIM tarzında ilerlediği varsayılabılır. Bu duruma katman katman büyümesi denir. Bu duruma diğer ismiyle de Frank-Van der Merwe (FV) büyümesi olarak da bilinmektedir (Müller 2004).

Biriktirilen malzemenin, bir aşamada polikristal bir tabaka oluşturabilen kümeler halinde pıhtılaştığı tespit edilmiştir. Bu duruma ise Volmer-Weber türü büyüme denir. Yani 3 boyutlu (3DIM) kristalitleri çökeltme üzerine oluşur ve biriktirmenin ilk aşamalarında bir miktar yüzey alanı açık kalır (Ricote *et al.* 2018).

3DIM kümelenmeleri oluşmaya başlamadan önce FV tarzında birkaç katman büyümesi durumuna da Stranski-Krastanov büyümesi diye isimlendirilmektedir. Yukarıda belirtilen büyüme yöntemlerine ilişkin olarak Şekil 2.12'de örnek malzemelerin (metal oksitlerin) büyüme metodları bulunmaktadır.



Şekil 2.11. Üç epitaksiyel büyüme modunun şematik gösterimi (Müller *et al.* 2004).



Şekil 2.12. Bazı malzemelerin büyüme metodları. (Ricote *et al.* 2018) (Metal oksit ince filmler çekirdeklenme ve büyüme olaylarının şematik gösterimleri a)Substrat üzerinde büyütülmüş bir tohumlama tabakası, b)Substrat üzerinde içine nanosheed eklenmesi ile büyütülmüş bir tohumlama tabakası)

2.10. Yarıiletkenlerde Yüzey Özellikleri

Tek kristallerin yüzey atomu geometrisini doğru bir şekilde tanımlanması oldukça zordur ve birim hücrenin atom geometrisi hakkında güvenilir bilgi sağlayamamaktadır. Yüzey atomu geometrileri ile yüzey kimyası, gaz-katı ve katı-katı etkileşimler arasındaki ilişkiyi anlamak özellikle yarıiletkenler için oldukça önemlidir. Bu geometriler ayrıca yüzeylerde yeni lokalize elektronik durumların oluşumu ve oluşan herhangi bir birleşme yerinin özelliklerini hakkında bilgi vermektedir (Sterr et al. 2014). Modern yapı belirleme teknikleri, tamamen kesin olarak bilinmeyen kristal potansiyelleri ve atomik etkileşimlere dayanan, karmaşık elektron saçılma modellerini, içermektedir. Bununla birlikte, son yıllarda önemli bir ilerleme kaydedilmiş olup bazı yüzeyler için elde edilen sonuçların bağımsız tekniklerden elde edilmesi, sonuçlara olan güvenirliği artırmıştır. Bunun sonucunda, Elastik Düşük Enerji Elektron Kırınımı (ELEED) ortaya çıktığı görülmüştür. Bu buluş ile III-V ve II-VI bileşik yarıiletkenlerin kutupsal olmayan yüzlerinin tek ve çok katmanlı gevşemeleri gibi kompleks yapıların ve bu aynı yüzeylerde oluşturulan üst katmanların kantitatif yapısının belirlenmesi mümkün olmuştur.

Modern elektronik alanındaki bazı III-V (Sibirev et al. 2010) ve I-VI bileşik yarıiletkenlerin teknolojik öneminin artması Si ile birlikte çok sayıda yüzey atomu yapısı üzerinde çalışmaların yapılmasını sağlamıştır. Yarıiletken yüzeylerle ilgili ayrıntılı yapısal bilgilerin değeri oldukça önemlidir çünkü bu yapılar katının birkaç önemli özelliği hakkında bilgi verir (Kooi 1967). Yüzey atom geometrileri ise yüzeydeki atomlar arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan kimyanın ve enerjinin sonucunu oluşturmaktadır. Yüzey atomik geometrilerin spesifikasyonu, yüzey elektronik yapısının (örneğin, yüzey durumları, durumların yoğunluğu) ve taşıma özelliklerinin ciddi teorik incelemelerde önemli bir bilgi vermesine katkı sağlar.

2.10.1. Metal oksit yarıiletkenlerin yüzey fiziki

Metal-yarıiletken arayüzlerin detaylı çalışmalarının ortaya çıkmasıyla güvenilir yapısal verilerin önemi artmıştır (Rajan 2009). Yüzey durumlarının yani özelliklerinin varlığı

1970'li yıllarda GaAs'ların (110) temel boşluğundaki varlığını çevreleyen tartışmalar ile ortaya çıkmıştır (Zangwill 1988).

Bu dönemlerde çok az sayıda yarıiletkenlerin, yüzeylerinin atomik yapıları kantitatif olarak belirlenmesine rağmen, temel ve birçok bileşik yarıiletkenlerin, yüzey atomu geometrileri belirlenmektedir. (MOS_2 (0001), NbSe_2 (0001), TiS_2 (0001), Na_2O (111) MgO (100), NiO (100), CaO (100, vb.).

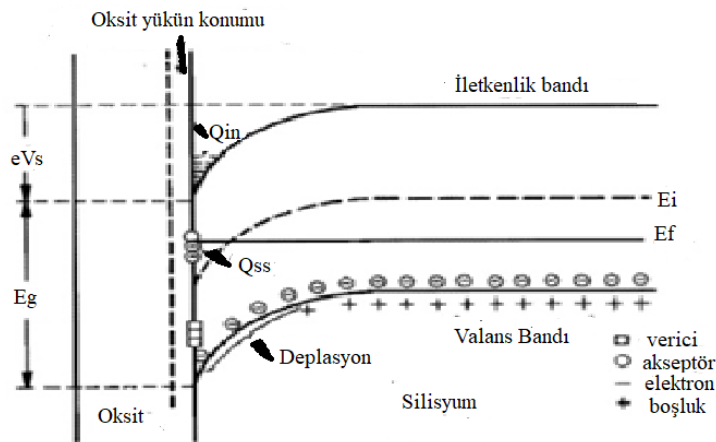
Yarıiletken yüzey yapıları iki geniş kategoriye ayrılabilir. Bunlardan ilki; iki boyutlu birim hücrenin boyutunu ve şeklini koruyan yapılardan oluşur ve (1×1) yapılar olarak adlandırılır. Gevşeme olarak adlandırılan atomik yer değiştirmeler, wurtzit kafesinde kristalleşen bileşik yarıiletkenlerin ayrılma düzlemlerinde gözlenir. Yüzey hazırlama teknolojisindeki farklılıklar karşısında olağanüstü bir stabilite gösterirler. Bu bölünme yüzeyleri, güvenilir kantitatif sonuçların elde edildiği yarıiletken yüzlerdir. Yüzey birim hücrelerinde az sayıda atom bulunur ve böylece tam çoklu saçılma ELEED hesaplamaları yoluyla analizleri yönetilebilirdir (Zangwill 1988).

İkinci yarıiletken yüzey yapıları kategorisi, birim hücrenin şeklini ve boyutunu değiştiren yer değiştirmeleri ifade eder. Yeniden yapılanma olarak adlandırılan bu bozulmalar, bazı bileşiklerin kutupsal yüzlerinde ve temel yarıiletkenlerin tüm yüzlerinde bulunur. (Si veya GaAs'ların (111) ve (100) yüzlerinde gözlemlenir). Ayrılma, yüzeylerinin gösterdiği gevşemelerin aksine yeniden yapılandırmalar tekniğine, termal geçmişe ve yüzeyin stokiyometrisine bağlıdır (Zangwill 1988).

Çinko Oksit (ZnO) yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi endüstriyel katma değer açısından oldukça önemlidir. Heterojen bir katalizör olarak ZnO veya ZnO bazlı bileşikler kullanılarak birçok farklı kimyasal üretilir. En belirgin örnek, 1960 yılına kadar aktif bileşen olarak ZnO içeren katalizörlerle üretilmiş metanol'dür. Son zamanlarda ZnO katalizörleri üzerindeki atomistik mekanizmaların çözülmesinde büyük ilgi olsa da kusurlarının aktif bölgeler olduğu görülmektedir. Günümüzde, kimya endüstrisinin en önemli üçüncü kimyasal ürünü olan metanol, aktif bileşen olarak ZnO

substratı ile etkileşimleri ile teşvik edilen küçük Cu parçacıkları ile bir Cu/ZnO/Al₂O₃ katalizörü kullanılarak üretilmektedir (El-Shobaky *et al.* 1987). Campbell tarafından 1997'de yayımlandığından beri bildirilen temiz ve adsorbe kaplı tek kristal ZnO yüzeylerinin kimyası ve fiziği üzerine hem deneysel hem de teorik olan araştırmalar yapılmıştır. ZnO yüzey yapılarının belirlenmesi için standart teknik, düşük enerjili elektron kırınımı basit bir şekilde uygulanabilir.

Silisyum Oksit (SiO₂) yarıiletkenin yüzeyi uzun yıllardır araştırılmaktadır (Lu 2006). Transistör etkisinin keşfedilmesinden (1948) bu zamana, bu araştırmalar esas olarak germanyum ve silikon kristalleri üzerinde yoğunlaşmış özellikle de çeşitli yüzey olaylarının bu malzemelerle yapılan p-n eklemili cihazların özellikleri ve kararlılığı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. 1959'da Atalla tarafından termal olarak yetiştirilen silikon-dioksit filmlerinin silisyumun yüzey özellikleri üzerinde dengeleyici (satabilize) bir etkiye sahip olabileceği bilgisi verilmiştir. O zamandan beri SiO₂ kaplamaları, yalnızca yüzey stabilizasyonu nedeni olmasa da, silikon transistör teknolojisinde yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır. Filmler ayrıca silikonda p-n kavşakları yapmak için kullanılan kirlilik difüzyonlarına karşı seçici maskeleme için kullanılır. Ayrıca metal elektrotları yarıiletkendен ayırabilirler (Sze 2002). Bu tür metal elektrotlar, silikon "entegre devrelerde" yapılan transistörler, diyotlar ve dirençler gibi elemanlarına kullanılabilir. Şekil 2.13'de oksit kaplı yüzey modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Oksit kaplı yarıiletken yüzey modeli (Senel *et al.* 2009)

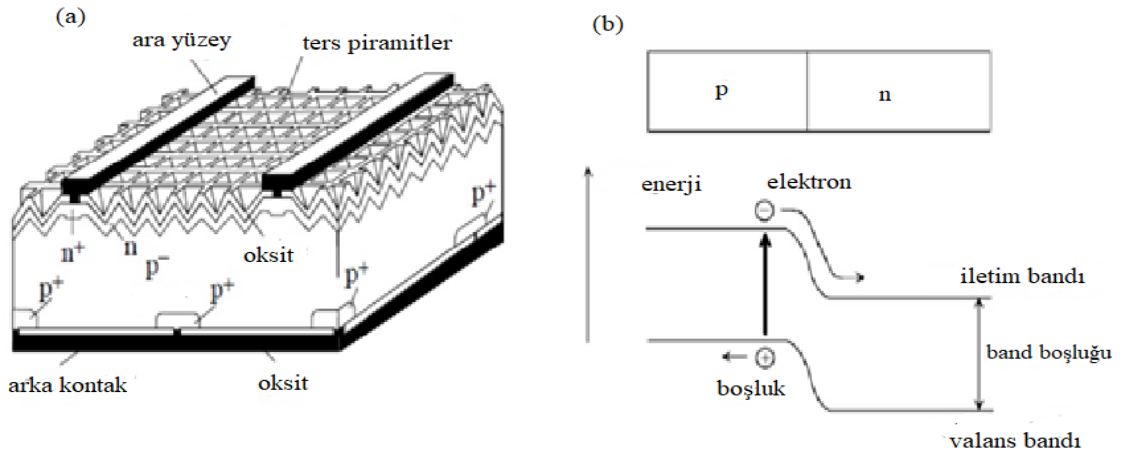
Verilen şarj ve yüzey (arayüz) dağılımı, termal olarak okside olmuş birçok p tipi silikon numunesi için örnek sayılabilir. Pozitif yüklü oksit merkezlerinin sahibinden kaynaklanan silikondaki negatif boşluk yükü, bir tükenme yükü Q_{depl} 'e (boşluksız bir bölgede alıcı eentres) ve bir geri dönüşüm yükü Q_{in} (boşluklara yakın bir tabakada serbest elektriksel yüzey) bölünebilir.

Boşluk yükünün varlığına negatif yönde bükülen bir bant ve pozitif bir yüzey potansiyeli eşlik eder V_s . Bant bükmenin donör tipi yüzeylerin nötr olma eğilimi verdiğini ve alıcının negatif olarak yüklenme eğiliminde olduğunu gösterir. Bu şekilde, arayüz durumlarındaki Q_{ss} yükü, oksit yükünün yüzey potansiyeli üzerindeki etkisini önler.

2.11. Mikro ve Nano Yapılarda Yarıiletkenler

2.11.1. Nano yapılı fotovoltaikler (güneş pilleri)

Mevcut son teknoloji ürünü yüksek verimli silikon güneş pilleri, Şekil 2.14.(a)'da gösterildiği gibi yaklaşık 300 mm kalınlığındaki silikon yapılardan oluşmaktadır (Kylie 2015). Güneş hücreleri için kullanılmalarına izin veren silikon gibi yarıiletkenlerin özelliği, elektronik seviyelerinde, görünür ışığın fotonlarının enerjisine benzer olan elektronik bant aralığı olarak bilinen bir boşluğa sahip olmalarına dayanmaktadır (Şekil 2.14(b)).



Şekil 2.14. Güneş pil yapısı. a)Yüksek verimli bir silikon güneş pilinin yapısı. b) Elektron ve boşluklerin hareket yönünü gösteren bir pn birleşim güneş hücresinin elektronik bant yapısı (Kylie 2015).

Silisyum devre levhası, çoğunlukla p tipidir ve üstünde ince bir n tipi bölge bulunur. Üst yüzey, hücrenin içindeki ışığı yakalamak ve absorbe olma şansını artırmak için ters piramitlerle yapılandırılmıştır. Eklemdeki iletkenlik ve değer bantlarının bükülmesi, o bölgedeki elektrik alandan kaynaklanmaktadır. Elektron ve boşluk konsantrasyonlarındaki gradyanlar (şemada gösterilmemiştir) elektron ve boşlukların itici gücüne katkıda bulunur (Kylie 2015).

Bant aralığının altındaki enerji seviyeleri değerlik bandı, bu aralığın üzerindeki enerji seviyelerine ise iletkenlik bandı denir. Geleneksel güneş pillerinin en önemli özelliği p-n eklemidir. Eklem bor (p tipi) gibi az miktarda safsızlığa sahip katkılı silikon ile fosfor (n tipi) gibi safsızlığa sahip katkılı silikon arasındadır (Kylie 2015).

Gelen ışık, elektronları değerlik bandından yarıiletkenin iletken bandına ulaştırır ve elektronların boşluklar olarak bilinen şekilde uyarıldığı alanların gerisinde kalır. P-n yapısının asimetrisi, elektron ve boşlukların konsantrasyonlarında gradyanların ve ayrıca bir elektrik alanın gelişmesine yol açar. Alan ve konsantrasyon gradyanları, cihaz aydınlatıldığında, elektronlar için n-tipi kontağa ve boşluklar için p-tipi kontağa doğru net bir itici güç ile sonuçlanır. Hücrenin p ve n tipi bölgeleri tek yönlü membranlar olarak

işlev görür. n tipi taraftaki elektronları ve güneş hücresinin p tipi tarafındaki boşlukleri birbirinden ayırır.

Bu nedenle, bir güneş hücresinin temel işlevleri ışığı absorbe etmek, elektronları ve boşlukleri yararlı miktarda potansiyel enerjiyle ayırmak (bu, hücre boyunca bir voltaj oluşmasına neden olabilir) ve elektronları ve boşlukleri metal temas noktalarına aktarmaktır. Bu işlevlerin her birini gerçekleştirmek için son zamanlarda yeni nano yapılar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Optoelektronik teknolojisinde özellikle fotovoltaiik uygulamalarında silisyum önemli bir yere sahiptir. Çünkü silisyum mükemmel optik, elektronik ve fiziksel özelliklerinden dolayı en çok çalışılan ve endüstriyel olarak oldukça önemli bir çalışma alanine sahip malzemedir. Bununla beraber tek kristal silisyum, güneş pili uygulamalarında ilk zamanlardan itibaren kullanılan ve yüksek verim sağlayan malzemedir. Ancak tek kristal Si maliyet olarak çok yüksek olduğundan zaman içerisinde güneş pili uygulamaları içerisinde polikristal Si ve amorf Si ince filmler maliyeti düşürmek için kullanılmıştır. Son yıllarda ise nano ölçekli üretim teknolojisinin gelişmesiyle nano boyutlu Si ince filmler güneş pili uygulamalarında çalışılmaktadır (Hovel 1975).

Nano gözenekli titan oksitten yapılan güneş hücrelerinde Titanyum dioksit (TiO_2) kullanılır (Zang *et al.* 2014). Bu çeşit güneş hücrelerinin aktifliği titanikioksit yüzeyinde emilen bir rubidyum dye nanomoleküler tabakası tarafından verilir. Güneş ışınının dye tarafından emilmesi bu bölgenin genişliğiyle mümkündür. Emilen dye'dan TiO_2 bağlantı o kadar güçlüdür ki elektron TiO_2 sadece birkaç piko saniyesinde enjekte edilir. Temel yük ayrımı 3 aşamalı bir süreçtir.

- Dye oluşturulması
- Elektronun dye'dan titan2oksitin geçirgen bandına enjekte edilmesi
- Dye'nin elektrolit ile yeniden meydana getirilmesi

Bir taraftan materyal maliyetleri düşük ve süreç basit olduğundan bu yeni güneş hücre teknolojisi caziptir. Diğer yandan dye güneş hücreleri fiziği diğer güneş hücrelerinden oldukça farklıdır ve bu tamamıyla araştırılmamıştır.

2.11.2. Fotovoltaiklerde mikro ve nano yapılı yüzeylerin emilim etkisi

Çevre dostu ve sürdürülebilir enerji çözümlerine olan talebin artması nedeniyle güneş enerjisini kullanan uygulamalar aktif olarak geliştirilmektedir. Güneş, ultraviyole ışınlarından kızılötesi dalga boylarına kadar uzanan, görülebilir aralıkta maksimum enerjiyle 5780 K kara cisim sıcaklığına karşılık gelen çok büyük bir enerji kaynağıdır. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi miktarının yeterli olduğu tahmin edilmektedir. Dünyanın mevcut ve gelecekteki enerji taleplerini karşılamak için güneş enerji oldukça önemlidir. Güneş enerjisi, ev içi hava ve suyun ısıtılması ve soğutulması, endüstriyel uygulamalar, elektrik üretimi ve kimyasal reaksiyonlar için kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu enerjiyi verimli bir şekilde çıkarmak ve onu diğer, kullanılabilir şekillere dönüştürmek konusunda zorluklar vardır (Zaretskiy 2012).

Solar termo fotovoltaik ve solar termal uygulamalar gibi yenilenebilir enerji sektörü için güneş ışığının etkin bir şekilde emilmesi istenmektedir. Termal radyasyonu en aza indirmek için, dalga boyu seçici cihazlara ihtiyaç bulunmaktadır. Yapısal yüzeyleri emici olanlar tercih edilmektedir. Çünkü elektromanyetik özellikleri geometrilerinden daha büyük oranda ve bileşen malzemelerin iç özelliklerinden daha az bir ölçüde elde edilmektedir. Böylece, emici özelliklerin tasarımında ve kontrolünde daha fazla esneklik sağlarlar ve gereksinimlere göre uyarlanabilirler. Bu süreçte çeşitli yapı modelleri bulunmaktadır: fotonik kristaller, metal-dielektrik-metal döşeme dizileri, metal malzemeler ile görünür ve kızılötesi dalga boyu aralıklarında çalışan nanoyapılar (Cavas 2011).

Nanoyapılı fotovoltaik konusunda aşağıda belirtilen başlıklar oldukça önem arz etmektedir.

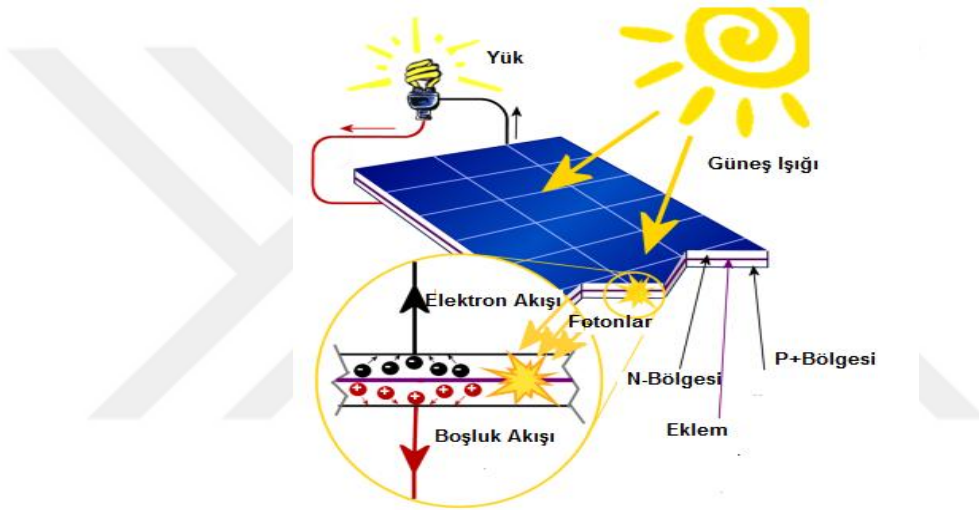
- Çalışma şartları,
- Tasarım ilkeleri,
- Temel fiziksel olaylar,
- Malzeme ve sıcaklık ile ilgili hususlar,
- İmalat yöntemler,
- Geniş bant ve çok bantlı işlem,
- Polarizasyon ve açı bağımsızlığı,
- Esneklik ve ayarlanabilirlik gibi çeşitli istenen emici özelliklerin elde edilmesin,

Güneş enerjisinden faydalanmanın daha iyi bilinen yollarından biri fotovoltaiktir. Güneş ışınımının çeşitli yarıiletken malzemelerin (nano ve mikro boyutta) yardımıyla elektriğe dönüştürülmesi yani fotovoltaiik etki göstermesi fotovoltaiik hücreler ile elde edilmektedir. Güneş pilinin ışığa maruz bırakılması, bir elektrik akımı taşıyan elektron-boşluk çiftlerinin oluşumunu tetikler. Dönüştürme işleminde sadece uygun enerjili dar bir spektral ışık dalgası aralığı kullanılırken, güneş spektrumunun çoğunluğu kullanılmadan bırakılır, bu da düşük foton-elektron dönüşüm etkinliği sağlar. Bu durumu anlatan olan Şekil 2.15' de gösterilmiştir.

Bununla birlikte, fotovoltaiik bir hücrede meydana gelen ışık olayının güneşten kaynaklanması gerekli değildir. Termo fotovoltaiikler (TPV) alanında yüksek bir sıcaklıkta ısıtılmış bir termal yayıcı radyasyon kaynağı olarak işlev görür. Yayıcılar tipik olarak binlerce santigrat derece arasındaki sıcaklıklara kadar ısıtılır, böylece kızılötesi ışımadaki radyasyonun çoğunu yayarlar. Bu kısımda fotovoltaiik hücrelerde kullanılan yarıiletkenlerin enerji bantları bulunur.

Solar TPV'ler yayıcıyı ısıtmak için güneş enerjisi kullanır ve daha büyük bir alanda toplanan radyasyonu çok daha küçük bir fotovoltaiik sisteme odaklayan yoğunlaştırıcılardan faydalanır ve böylece malzeme maliyetlerini düşürür. Bu tür sistemler, geniş güneş spektrumunda depolanan enerjinin fotovoltaiik hücre çalışması için uygun dar frekans aralığına dönüştürülmesini sağlayarak genel verim artmaktadır.

Güneş termal sistemleri endüstriyel prosesler veya absorpsiyonlu soğutma dahil uygulamalar için doğrudan kullanılabilen ısı oluşturmak için güneş radyasyonu kullanır. Bu tür sistemler, türbinler kullanılarak elektrik üretimi için de kullanılabilir. İdeal olarak, güneş ısı alıcıları, güneş ışığından en uygun enerjiyi çıkarmak için görünür ve NIR bölgelerinde kuvvetli bir şekilde absorbe olur, ancak orta ila uzak kızıl ötesi sıcaklıkta salınımlılığı bastırır, böylece güneş ışınlamı ısıya dönüştürüldüğünde, bu ısı tutulur. emici içinde ve çevreye yayılması önlenir.



Şekil 2.15. Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri şeması (Anonim 12).

Nanoteknoloji ile enerji üretimi, depolanması ve kullanımının tüm alanlarında uygulama yapılması sağlanmıştır. Bu teknoloji ile ızgaralar, fotonik kristaller ve nano malzemeler gibi belirli emici yapı tiplerine yönelik incelemeler önem kazanmıştır. Malzeme özelliklerinden ziyade geometrik yapı ile ilgili buluşlar sayesinde daha yüksek tasarım esnekliği elde edilebilecek ve daha verimli güneş cihazları üretebilir üretilerek yenilenebilir enerji sektöründe gelişmeler yaşanabilecektir.

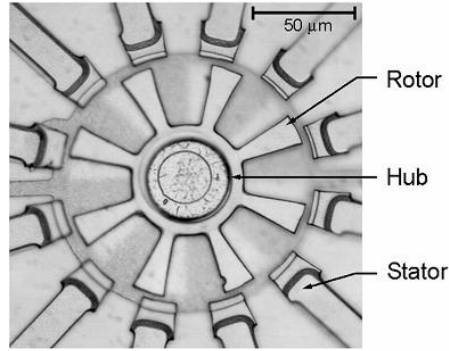
Sonuç olarak; mikro ve nano desenli yapılar kullanılarak güneş emilimi artacak ve güneş enerjisinden daha fazla verim elde edilebilecek.

2.11.3. Mikro yapılı sensörler

Mikro ölçekli yapılarda yüzey alan/hacim oranı arttıkça mikro-sensör ve benzeri cihazların kullanımında bazı faktörlerin etkisi daha kritik bir hale gelmektedir. Bu yapıların yüzey özellikleri, Mikro-Mekanik Sistemlerin (MEMS) kararlı bir şekilde çalışmasına etki etmektedir. Küçük ölçekli yapılarda cihazın fiziksel olarak hasar görmesi büyük ölçekli yapılara göre farklı olmaktadır ve dolayısıyla daha detaylı bir inceleme gerektirmektedir. Mikro motorlarda yüzey özelliklerinin cihaz güvenilirliğine etkisi son dönemler detaylı bir şekilde incelenmektedir (Senel *et al.* 2009). Mikro motorlarda bulunan yüksek alan/hacim oranına sahip hareketli parçaların sürtünme, aşınma ve yağlama özellikleri incelenerek yüzey üzerindeki etkileri belirlenebilmektedir. Mikro aynalarda ise, yalıtkan tabakada lazer ışığının Al elektrod yüzeyine çarpmasıyla meydana gelen elektriksel yüklenmenin cihazın performansına olan etkisi farklı yalıtkan malzemeler kullanılarak incelenmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde lazer ışığının, silika cam ve silisyum nitrat yalıtkan malzemelerde yüzey üzerinde bir bozulmaya sebep olmadığı fakat yalıtkan tabakada kaplama esnasında oluşmuş hataların elektriksel yüklenmelere neden olmaktadır.

Mikro motorlar, enerji santrallerinde ince borular için alternatif çözümler, kan damarları ve akıllı haplar için ultrason problemleri, ilaç dağıtım sistemleri ve biyomedikal uygulamalardaki cerrahi aletler gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Olağan motor ve mikro motor arasındaki ana fark, mikro motorların atalet özelliklerinden ziyade yüzey gerilimi ve sürtünmeden etkilenmesidir (Senel *et al.* 2009).

Mikro motorlar üç bileşenden oluşur: Şekil 2.16 'da gösterilen rotor, stator ve göbek. Doğrusal veya döner olarak işlenebilirler. Mikro ölçekte çalıştıklarından, MEMS cihazlarının imalattan hemen sonra kullanılamaz hale gelmesi veya hatta tahrip olması mümkündür. MEMS'in performansı, yüzey hacim oranlarının yüksek olmasından dolayı yüzey olaylarından büyük ölçüde etkilenir, güvenilirlikleri ve ömürleri sınırlıdır.



Şekil 2.16. Bir yüzey mikro işlenmiş polisilikon mikro motorun optik mikrografı (Senel *et al.* 2009)

2.12. İnce Film Kaplama Teknolojisi

2.12.1. Sol jel yöntemi

Sol jel yöntemi, kimyasal bir yöntem olup başlangıç malzemesi olarak bir solüsyon içerdiği için ve bu solüsyon kullanılarak jel gibi bir yapı elde edildiğinden “sol-jel yöntemi” denilmektedir (Erayman 2017). Sol-jel yöntemi, geleneksel yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda (100-600°C) yapılır ve özellikle organik olmayan (inorganik) ince film kaplamalarında kullanılır. Sol jel yöntemi, çözelti jel halindeyken daldırma yöntemi, döndürme yöntemi ve püskürtme yöntemi ile ince film hazırlanmasında ideal ve düşük maliyetli olması teknolojik olarak önemlidir.

Sol jel yöntemi; pürüzlü/pürüzsüz yüzeyleri, geniş alanlı altlıklara kolay ve düşük maliyet ile kaplama imkânı sağladığı için ince film oluşturmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde altlıklara tek kaplama ile çok ince film kaplamaları veya çok kaplama ile daha kalın ince film kaplamaları yapılabilir.

Sol jel terimine ilk kez 1846 yılında rastlanılmaktadır (Carballeda 2000). 1939’da sol jel yöntemi kullanılarak SiO₂ ile ilgili ikinci bir çalışma yapılmıştır. Bu yöntemin, 1953’ten sonra otomobil dikiz aynalarında kullanılmaya başlanması ile popülaritesi artırmış ve yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Sol jel yöntemi, elektro-kromik kaplamalar,

ferro- elektrik tabakalar, koruyucu kaplamalar, opto-elektronik kaplamalar, optik hafızalar ve yüksek sıcaklık süper iletkenleri kaplama vb. geniş bir uygulama alanına sahiptir.

2.12.2. Sol jel kaplama yöntemleri

Sol jel yöntemi ile oluşturulan jeller kullanılarak ince film kaplama yöntemleri şu şekildedir (Ates 2012).

- a. Daldırarak kaplama (dip coating),
- b. Spin-kaplama (spin-coating)
- c. Püskürterek kaplama (spray pyrolysis)

a. Daldırarak Kaplama Yöntemi (Dip Coating)

Bu yöntemde, ince film kaplanacak tabaka solüsyon içine daldırılır ve daha sonra tabaka yavaşça geri çekilerek ince filmin oluşturulduğu bir kaplama yöntemidir. Tabaka dışarı doğru çekilirken fazla solvent tabakadan ayrılır ve solventin buharlaşması ile ince film elde edilir. Genellikle daldırma birkaç kez tekrarlanarak istenilen kalınlıkta ince film elde edilebilir. Tek bir daldırma ile elde edilen ideal film kalınlığı 0,1–0,45 μm arasındadır. Film bundan daha kalın olursa çözelti kurutulduğunda filmdeki yapışma kuvveti filmin taban yüzeyine paralel yönde daralmayı zorlayarak filmin kırılmasına neden olabilir.

b. Spin Kaplama (Spin Coating) Yöntemi

Spin-kaplamada birkaç damla solüsyon taban üzerine damlatıldıktan sonra taban 500–4000 rpm'e kadar istenilen hızlarda döndürülür. Taban dönerken solüsyon tabakaya yayılır ve solvent buharlaşmaya başlar. Solventin büyük bir kısmı buharlaştıktan sonra ince film elde edilir.

Film tabanında arta kalan solventi buharlaştırmak için ince film belirli bir süre (5-10 dk) düşük sıcaklıklarda ($\sim 100\text{--}200^\circ$) ısıtılmasına tabi tutulur. Bu işlem isteğe ve film kalınlığına bağlı olarak birkaç kez tekrar edilebilir. Elde edilen filmde kalan diğer organikleri buharlaştırmak için daha yüksek sıcaklıklarda ($\sim 300\text{--}600^\circ\text{C}$) tavlansarak ince film oluşturma işlemi tamamlanır.

Oluşan film kalınlığı ve kaplamanın kalitesi aşağıda belirtilen unsurlara bağlıdır.

*Solüsyon özellikleri;

- Viskozitesine,
- Kuruma hızına,
- Katı oranı,
- Yüzey gerilimleri

*İşlem şartlarına;

- Devir,
- Hızlandırma,
- Döndürme,
- Taban,

c. Püskürterek Kaplama Yöntemi (Spray Pyrolysis)

Bu yöntemde solüsyon ısıtılmış tabakaya püskürtülerek spreyl damlacıklarının tabakaya çarpması ile çözünen madde tabaka üzerinde yoğunlaşırken solvent buharlaşır. Bu şekilde bir süre sonra yüzeyde ince film oluşturma işlemi tamamlanır.

2.13. Yarıiletken Malzemelerin Yüzey Özelliklerinin Ölçülmesi

2.13.1. Temas açısı ve yüzey enerjisi

2.13.1.a. Giriş

Bir katı yüzeyi ile temastaki bir sıvı yüzeyi bir açı oluşturur (Cengiz 2010). Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Yüzey enerjisinin herhangi bir katı yüzey için hesaplanması malzeme yüzeyi için ıslanma ve fazlar arasındaki adezyon gibi konularda önemli ve kullanışlı bir bilgiye sahip olunması demektir. Yüzey işlemlerinin olduğu herhangi bir kimyasal ya da fiziksel bir işlemde yüzey serbest enerjisinin hesaplanması prosesin optimizasyonunda önemli bir yere sahiptir (Hietschold *et al.* 1975). Yüzey serbest enerjisini ölçmek için kullanılan metotların anlaşılması ve doğru şekilde uygulanması; boya, mürekkep, kaplama vb. gibi sektörlerde kullanılan hammaddelerin efektif ve uygun bir şekilde kullanımına olanak vermektedir.

2.13.1.b. Yüzey enerjisi

Yüzey enerjisi, bir katının yüzey gerilimi olarak kabul edilebilir (Anonim 8). Yüzey enerji, temas açısı ölçümleriyle hesaplanır. Tek başına su temas açısı ölçümü, katının ıslanmasına dair bir gösterge verir ancak yüzey enerjisi kullanılan sıvıdan bağımsız olan yüzeydeki moleküller arası kuvvetlerin kantitatif ölçümüdür.

Katı maddenin yüzey enerjisi bilinerek yüzeydeki herhangi bir sıvının davranışını tahmin edebilir (Johnson 2012).

Yüzey enerjisi, moleküller arası etkileşimlerin toplamıdır. Yüzey enerjisi terimi, yüzeyin malzemenin kütlesiyle karşılaştırdığı fazla enerjiyi tanımlar. Yüzey enerjisi, London

kuvveti, Debye endüktif kuvveti ve Keesom oryantasyon kuvveti gibi van der Waals kuvvetlerini içeren bir arayüzdeki moleküller arası etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Diğer etkileşimler hidrojen bağı ve dipol-dipol etkileşimleridir. Son ikisi kutupsal olarak kabul edilirken, van der Waals kuvvetleri dağınıktır. Kısaca yüzey enerjisi, katı-sıvı etkileşimlerini öngörür.

İki faz arasındaki yapışmayı belirlediği için katı ve sıvı arasındaki etkileşimler birçok işlemde önemlidir. Katı-sıvı etkileşimleri, katının yüzey enerjisi ve uygulanan sıvının yüzey gerilimi ile belirlenir. Katı maddenin yüzey enerjisi yüksek olduğunda, boyalar gibi herhangi bir sıvı ile genellikle kolayca ıslanır.

Temiz, yağsız ve partikülsüz, metal ve cam, ıslanmanın sorun olmadığı yüksek yüzey enerjili malzeme örnekleridir. Buna karşılık, polipropilen ve polimerler gibi yaygın olarak kullanılan bazı plastiklerin çok düşük yüzey enerjileri vardır ve ıslanabilirliklerini arttırmak için bazı işlemler uygulanır ve Yüzey enerjisi (2.1)

$$\gamma = \frac{1}{A} \left[G(T, p, N_i) - \sum N_i \mu_i(T, p) \right] \quad 2.1.$$

ile verilir. Burada γ yüzey enerjisi, N_i yüzey konsantrasyon atomları, μ_i atomların kimyasal potansiyeli, T sıcaklık, P basınç, G gipss serbest yüzey enerjisi, A yüzey alanıdır.

2.13.1.c. Yüzey gerilimi

Yüzeydeki moleküllerin iç kısma doğru çekilmesi ve yüzeyde daha düzenli bir şekilde dizilmesi sonucunda su damlası serbest haldeyken küre şeklini alır. Yüzeydeki bu gerilmeye yüzey gerilimi denir (Erayman *et al.* 2017). Yani sıvı yüzeyindeki birim uzunluğu geren kuvvettir ve birimi dyne/cm dir.

Yüzey enerjisi ile yüzey gerilimi aynı şeyin farklı fiziksel nedenlerle açıklanması olayıdır. Sıvılar için yüzey gerilimi ifadesini, katılar için yüzey enerjisi ifadesini kullanmak daha doğrudur. Sonuç olarak bir sıvının yüzey alanını 1 cm² arttırmak için gerekli olan enerjiye de yüzey enerjisi denir ve birimi erg/ cm² dir.

Bazı böceklerin suda yürüebilmesi, bozuk paranın su üzerinde kalabilmesi, bir cımbızın suya batmadan yüzebilmesi, yağın suya karışmaması, ördeklerin tüylerinin yüzerken ıslanmaması, deterjanın sabunun temizlik etkisi yüzey geriliminin etkisinden dolayıdır. Yüzey gerilimini etkileyen faktörler: sıcaklık, çözünen madde cinsi ve oranı, havanın basıncı vb.

2.13.1.d. Temas açısı

Katı yüzey ile temas eden bir sıvı belli miktarda bir açı oluşturur. Bu açı temas edilen katının ne olduğuna, temas eden sıvının ne olduğuna bağlı değişir. Temas açısı, bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile oluşturduğu açı olarak tanımlanabilir ve sıvının ıslatma özelliğinin bir ölçüsüdür. Temas açısı, ıslanabilirlik derecesini ifade eder (Erayman *et al.* 2017).

Temas açısı ne kadar küçükse, ıslanabilirlik o kadar fazla olur. Bu açının büyüklüğü kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Adezyon oluşturabilmek için sıvının katı yüzeyinde kolayca yayılmasına ıslatma denir ve sıvının katıyı ıslatma miktarı, sıvının katıyla yaptığı temas açısına bağlıdır (Cengiz 2010).

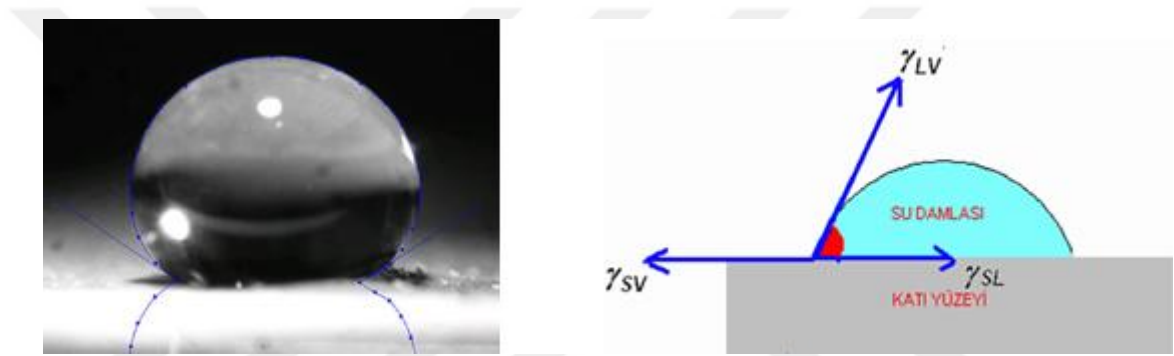
Eğer temas açısı 90 dereceden büyükse; hidrofobik (ıslatmaz)

Eğer temas açısı 90 dereceden düşükse; hidrofilik (ıslatma)

Eğer temas açısı 140 dereceden büyükse; süper hidrofobik

Eğer temas açısı 0 dereceye çok yakınsa; süper hidrofilik

Sıvı damlası ve bu sıvı damlasının katı bir yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısı Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Sıvı damlası ve bu sıvı damlasının katı bir yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısı (Cengiz 2010)

Young Denklemi

Islanabilirlikle ilgili ilk denklem 1805’ te bulunan (Erayman *et al.* 2017), düz bir yüzeydeki sıvının statik temas açısını ($\cos\theta$) ortaya koyan denklem (2.1) Young denklemi

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cdot \cos\theta \quad 2.1.$$

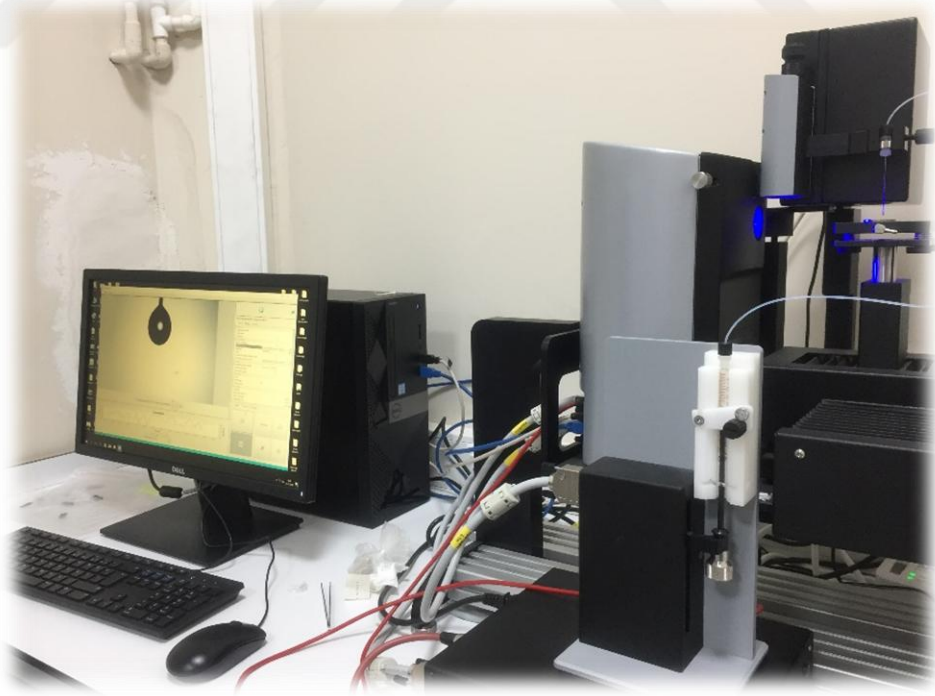
ile gösterilir. Burada γ serbest yüzey enerjisi, θ suyun veya diğer sıvının temas açısı, γ_d suyun serbest yüzey enerjisinin dispersive terimi, γ_p suyun serbest yüzey enerjisinin polar terimi, γ_s katı yüzeyin serbest yüzey enerjisidir.

Damlacıklar, Şekil 2.17’de gösterildiği gibi katı-sıvı, katı-hava ve sıvı-hava arayüzlerine uygun üç fazlı bir temas hattı oluşturmaktadır. Her bir arayüzde yüzey gerilimi ile yaratılan kuvvetler, katı yüzeydeki damlaları çekmekte ve onların şeklini belirlemektedir.

Young denkleminde göre, denge durumundaki su temas açısının (θ) kosinüsü, doğrudan katı-hava ve katı-sıvı birim uzunluğu başına arayüzey kuvvetlerinin farkıyla orantılıyken sıvı-hava arayüzey kuvvetiyle ters orantılıdır.

2.13.1.e. Temas açısı ve yüzey enerjisi ölçüm yöntemleri

Temas açısının ölçümü katı yüzeyler için genellikle optik sistemler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu sistemlere “optik gonyometre cihazları” denir. Örnek bir sistem Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Temas açısı ölçüm cihazı (Attension Theta Flex)

Optik tansiyometreler çok çeşitli endüstrilerde ve kimyasal, eczacılık, elektronik, gıda, enerji, kağıt ve ambalaj gibi araştırma alanlarında kullanılmaktadır.

Kullanım Alanları

Attension Theta Flex (Anonim 10), aşağıdakilerin uygun ve kesin çalışmaları için kullanılabilir:

- ❖ Islatımlılık,
- ❖ Homojenlik,
- ❖ Yüzey pürüzlülüğü,
- ❖ Temizlik,
- ❖ Baskılanabilirlik,

Islatma ve yapışma özelliklerini optimize etmek için kullanılan birçok yüzey modifikasyonu ve kaplama teknolojisi, hem yüzey kimyasını hem de pürüzlülüğü etkiler. Bu iki faktörü ayırarak ıslatmayı etkileyen mekanizmaları anlamak, ürün geliştirme süreçlerinde ve kalite kontrolünde yararlı bir araç olabilir. Temas açıları pürüzlülük düzeltilmesi ayrıca pürüzlü yüzeylerde temel yüzey enerjisinin hesaplanmasını sağlar. Theta Topography, birçok uygulama ve işlemle ilgili olan mikro ölçekli pürüzlülüğü incelemek için kullanılabilir.

Yapılan ölçümler

- ❖ Sessile düşme, tutulmuş kabarcık ve menisküs yöntemleri ile statik temas açısı,
- ❖ Eğik düşme ve sapsız düşme yöntemleri ile dinamik temas açısı,
- ❖ Sessile düşme, tutulmuş kabarcık ve menisküs yöntemleri ile Serbest yüzey enerji,
- ❖ Sarkıt düşme ve ters düşey düşme yöntemleri ile yüzey ve arayüzey gerilimi,
- ❖ Pürüzlülük düzeltilmiş temas açısı ve Fringe projeksiyon fazı kaydırma yöntemi ile 3D yüzey pürüzlülüğü,
- ❖ Titreşen damla yöntemiyle arayüzey dilatasyonu reolojisi.

3. MATERYAL ve METOT

Katkısız ve Pd katkılı n-WO₃/p-NiO ile katkısız n-TiO₂ yarıiletkenler ile GaAs, InP gibi III-V yarıiletkenler kullanılmıştır.

3.1. Materyallerin Ölçüme Hazırlanması

Bu çalışmada birinci aşamada; fabrikasyon olarak parlatılmış n-tipi Si ince tabakası ile katkısız ve farklı oranlarda Pd katkılı WO₃, katkısız ve farklı oranlarda Pd katkılı NiO kullanılmıştır. Hazırlanmış olan katkısız ve Pd katkılı n-WO₃/p-NiO ile katkısız n-TiO₂ yarıiletkenler ile GaAs, InP gibi III-V yarıiletkenler ölçüm öncesinde aşağıda belirtilen işlem sırasına göre kimyasal olarak temizlenmiştir.

- a. Belirli ebatlarda kesilen mikroskop camları ayrı ayrı uygun beherlerin içerisine yerleştirildi. Her bir beherin içerisine yaklaşık 50 ml metanol konularak ultrasonik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı.
- b. Beherlerdeki metanol boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml de-iyonize su doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- c. Beherlerdeki de-iyonize su boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml aseton doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- d. Beherlerdeki aseton boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml de-iyonize doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- e. Ultrasonik karıştırıcıdaki kimyasal temizleme işlemleri tamamlandıktan sonra yarıiletkenler kurutuldu.

Yukarıda belirtilen kimyasal temizleme ve kurutma işlemlerine tabi tutulmuş yarıiletkenler, yüzey fizik özelliklerinin incelenmesi için temas açısı, yüzey enerjisi gibi 1. ölçüm değerleri kayıt edilmiştir.

İkinci aşamda ise; fabrikasyon olarak parlatılmış n-tipi Si ince tabakası ile katkısız ve farklı oranlarda Pd katkılı WO_3 , katkısız ve farklı oranlarda Pd katkılı NiO kullanılmıştır. Hazırlanmış olan katkısız ve Pd katkılı n- WO_3 /p-NiO ile katkısız n- TiO_2 yarıiletkenler ile GaAs, InP III-V yarıiletkenler yaklaşık 30 dk. süre ile 200 C° de oksitleme yapılarak ölçüm öncesinde aşağıda belirtilen işlem sırasına göre kimyasal olarak temizlenmiştir.

- a.** Belirli ebatlarda kesilen mikroskop camları ayrı ayrı uygun beherlerin içerisine yerleştirildi. Her bir beherin içerisine yaklaşık 50 ml Metanol konularak ultrasonik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı.
- b.** Beherlerdeki metanol boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml de-iyonize su doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- c.** Beherlerdeki de-iyonize su boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml aseton doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- d.** Beherlerdeki aseton boşaltılarak beherlere yaklaşık 50 ml de-iyonize doldurularak 10 dakika karıştırıldı.
- e.** Ultrasonik karıştırıcıdaki kimyasal temizleme işlemleri tamamlandıktan sonra yarıiletkenler kurutuldu.

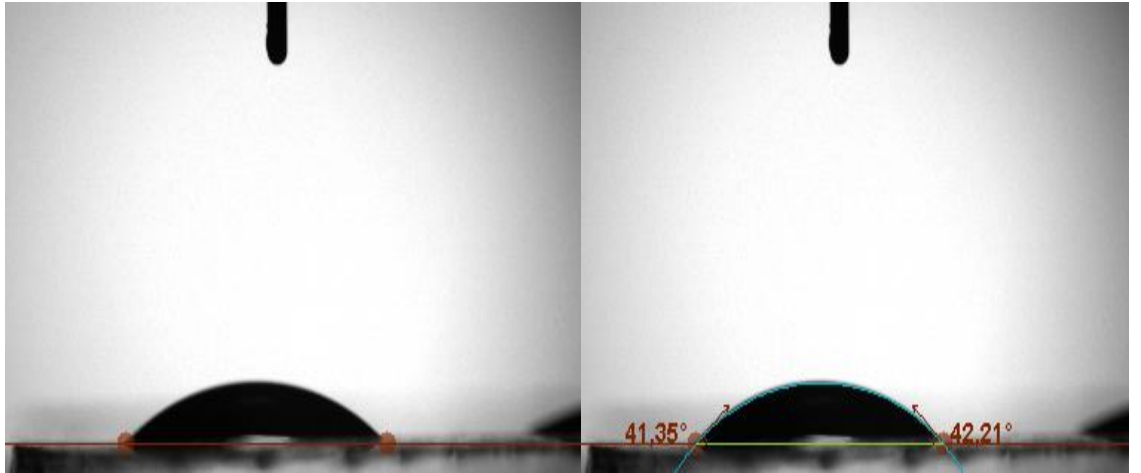
Yukarıda belirtilen kimyasal temizleme ve kurutma işlemlerine tabi tutulmuş yarıiletkenler, yüzey fizik özelliklerinin incelenmesi için temas açısı, yüzey enerjisi gibi 2. ölçüm değerleri kayıt edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Son yıllarda malzemelerde kaplamaların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu malzemelerin kullanıldığı yere göre yüzey kaplaması ile şekillendirmek veya özelliklerini belirlemek mümkün olmaktadır. Malzemelerin yüzey özelliklerinden birisi de suya karşı dirençlerinin kullanımıdır. Malzemelerin veya kaplamaların suya karşı nasıl davrandıkları, yüzey karakterleri, malzemelerin yüzey enerjisine bağlıdır. Yüzey enerjisi, yüzey üzerine damlatılan bir damlanın yüzey ile yaptığı temas açısının bulunması ile hesaplanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ilk aşamada; katkısız ve Pd katkılı n tipi WO_3 /p tipi NiO ile katkısız n tipi TiO_2 yarıiletkenler ile n tipi GaAs (Te), SI tip GaAs (Un), SI tip InP (Fe), n tipi InP (Un) III-V yarıiletkenlerin temas açıları ve yüzey enerji ölçümleri yapılmıştır.

❖ WO_3 (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.1, Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.1. WO_3 (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

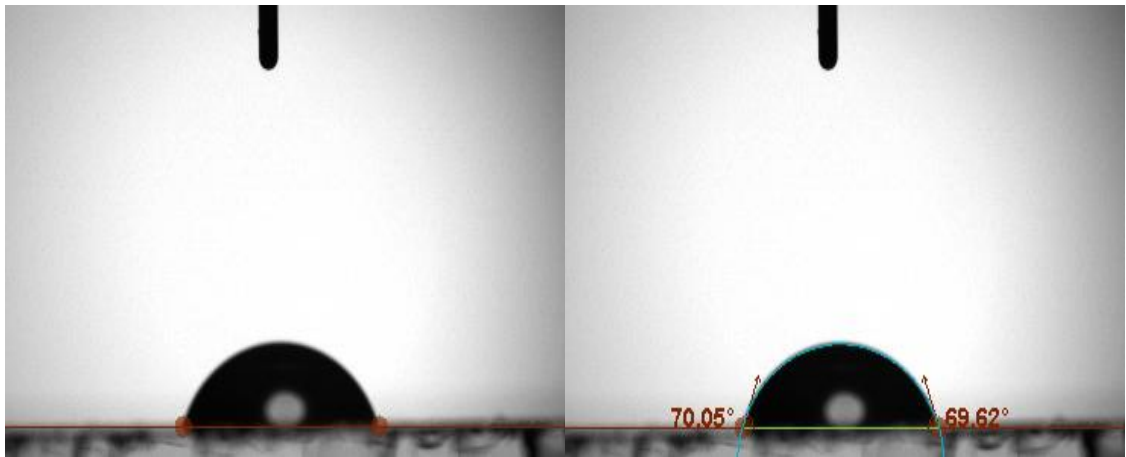
Çizelge 4.1. WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
WO ₃ n tipi	41,77	Su	58,4

Çizelge 4.2. WO₃ yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	41,630	42,534	42,082	6,146	4,099	21,853
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,458	0,487	0,393	0,468	0,012	0,001
Min	0,000	41,096	41,031	41,613	2,584	3,992	21,852
Max	9,935	45,130	46,438	45,019	9,533	4,105	21,854

❖ Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.2, Çizelge 4.3 ve 4.4’ de verilmiştir.

**Şekil 4.2.** Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.3. Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
WO ₃ n tipi (Pd katkılı)	69,83	Su	41,8

Çizelge 4.4. Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	70,063	69,416	69,740	4,633	3,184	21,897
Std deviation (Standart sapma)	2,899	1,639	1,684	1,573	0,471	0,028	0,002
Min	0,000	53,550	53,482	53,516	2,342	3,155	21,894
Max	9,935	74,726	75,386	75,056	5,632	3,303	21,903

❖ NiO (p tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri aşağıdaki Şekil 4.3, Çizelge 4.5 ve 4.6’ da verilmiştir.

**Şekil 4.3.** NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.5. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
NiO p tipi	86,003	Su	31,72

Çizelge 4.6. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	86,196	86,690	86,443	4,985	2,769	22,056
Std deviation (Standart sapma)	2,899	1,565	1,781	1,671	0,101	0,003	0,000
Min	0,000	82,691	82,529	82,610	3,996	2,741	22,055
Max	9,935	103,044	105,910	104,477	5,207	2,778	22,056

❖ Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.4, Çizelge 4.7 ve 4.8’ de verilmiştir.

**Şekil 4.4.** Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.7. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
NiO p tipi (Pd katkılı)	57,94	Water	49,94

Çizelge 4.8. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	60,930	58,768	59,849	2,542	3,561	22,150
Std deviation (Standart sapma)	2,920	3,442	4,518	3,979	1,453	0,108	0,001
Min	0,000	57,937	55,024	56,481	0,959	3,114	22,147
Max	10,006	83,259	87,941	85,600	5,907	3,659	22,152

❖ TiO_2 (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.5, Çizelge 4.9 ve 4.10' da verilmiştir.

**Şekil 4.5.** TiO_2 (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

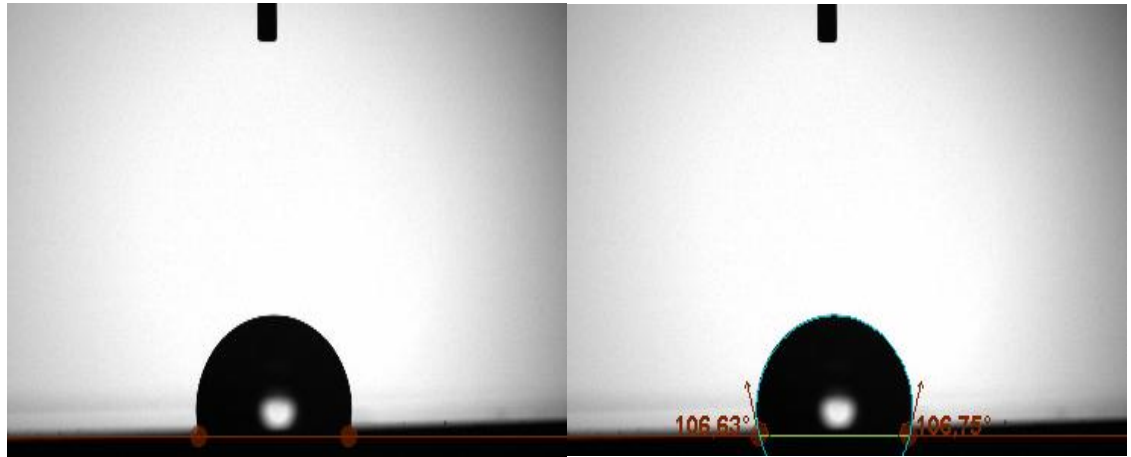
Çizelge 4.9. TiO₂ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
TiO ₂ n tipi	47,25	Su	55,25

Çizelge 4.10. TiO₂ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,595	36,286	58,221	47,254	0,049	3,945	22,239
Std deviation (Standart sapma)	2,819	0,347	1,059	0,622	0,247	0,010	0,002
Min	0,000	34,493	52,755	43,770	0,000	3,929	22,235
Max	9,863	37,268	60,116	47,935	1,606	3,996	22,242

❖ GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.6, Çizelge 4.11 ve 4.12’ de verilmiştir.

**Şekil 4.6.** GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.11. GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
GaAs (Te) n tipi	106,89	Su	19,02

Çizelge 4.12. GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	106,863	106,928	106,895	5,639	2,438	22,911
Std deviation (Standart sapma)	2,920	0,738	0,910	0,817	0,051	0,003	0,001
Min	0,000	101,771	99,159	100,465	5,546	2,421	22,910
Max	10,007	111,127	111,242	111,185	6,026	2,464	22,913

- ❖ SI/GaAs (Un) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.7, Çizelge 4.13 ve 4.4' de verilmiştir.

**Şekil 4.7.** SI/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.13. Si/GaAs (Un) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
Si/GaAs	88,64	Su	30,24

Çizelge 4.14. Si/GaAs III-V (Un) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	89,307	87,990	88,648	4,927	2,829	22,433
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,901	1,153	0,990	0,417	0,004	0,000
Min	0,000	87,692	84,516	86,866	0,287	2,785	22,433
Max	9,935	99,225	100,548	99,887	5,922	2,834	22,434

❖ InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.8, Çizelge 4.15 ve 4.16’ da verilmiştir.

**Şekil 4.8.** InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.15. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
InP (Un) n tipi	80,29	Su	35,85

Çizelge 4.16. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre (saniye)	Temas Açısı (Sol)	Temas Açısı (Sağ)	Temas Açısı (Ort)	Hacim (Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	81,730	78,851	80,291	4,396	3,028	22,551
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,951	1,295	1,096	0,279	0,013	0,001
Min	0,000	75,784	74,136	74,960	4,118	2,989	22,548
Max	9,934	86,155	83,240	84,667	5,780	3,042	22,553

❖ SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.9, Çizelge 4.17 ve 4.18’ de verilmiştir.

**Şekil 4.9.** SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.17. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
SI/InP (Fe)	92,89	Damla	27,53

Çizelge 4.18. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	92,891	92,903	92,897	5,426	2,731	22,663
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,717	0,708	0,673	0,183	0,009	0,001
Min	0,000	89,792	89,600	89,853	4,141	2,675	22,662
Max	9,934	99,281	98,364	98,822	6,332	2,780	22,664

Tez çalışmasının ikinci aşamada ise; 1. ölçümde kullanılan bütün yarıiletkenler 30 dakika süre ile 200 °C’de ısıtılarak oksitlenmiş, temas açıları ve yüzey enerji ölçümleri yapılmıştır.

❖ WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.10, Çizelge 4.19 ve 4.20’ de verilmiştir.

**Şekil 4.10.** WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.19. WO₃ (n tipi) yarıiletkenine yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
WO ₃ n tipi (Oksitleme)	74,77	Su	39,18

Çizelge 4.20. WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	73,786	75,770	74,778	6,581	3,291	20,234
Std deviation (Standart sapma)	2,899	1,898	2,555	2,211	0,204	0,042	0,001
Min	0,000	71,988	73,069	72,529	4,896	3,129	20,233
Max	9,935	88,228	91,604	89,916	7,009	3,334	20,236

❖ Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.11, Çizelge 4.21 ve 4.22’ de verilmiştir.

**Şekil 4.11.** Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

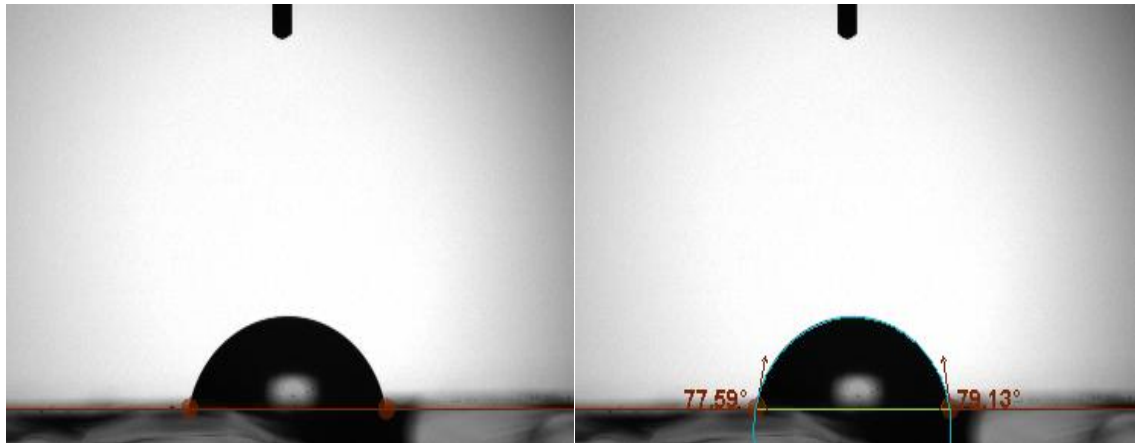
Çizelge 4.21. Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
WO ₃ n tipi Pd Katkılı (Oksitleme)	90,24	Water	29,32

Çizelge 4.22. Pd katkılı WO₃ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	89,926	90,568	90,247	6,032	2,886	20,268
Std deviation (Standart sapma)	2,920	1,987	1,963	1,972	0,166	0,007	0,002
Min	0,000	85,865	86,495	86,411	4,122	2,813	20,264
Max	10,007	112,228	111,988	112,108	6,218	2,897	20,271

❖ NiO (p tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.12, Çizelge 4.23 ve 4.24' de verilmiştir.

**Şekil 4.12.** NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.23. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
NiO p tipi (Oksitleme)	78,46	Su	36,5

Çizelge 4.24. NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	77,711	79,212	78,462	6,238	3,143	20,293
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,593	0,779	0,685	0,039	0,002	0,001
Min	0,000	71,467	70,795	71,131	5,922	3,137	20,291
Max	9,935	80,086	81,857	80,971	6,396	3,168	20,293

❖ Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.13, Çizelge 4.25 ve 4.26’ da verilmiştir.

**Şekil 4.13.** Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.25. Pd katkılı NiO (p tipi) yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
NiO p tipi Pd Katkılı (Oksitleme)	70,97	Su	41,64

Çizelge 4.26. Pd katkılı NiO (p tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	71,431	70,511	70,971	5,000	3,264	20,270
Std deviation (Standart sapma)	2,920	3,400	3,559	3,477	0,116	0,080	0,000
Min	0,000	68,444	67,592	68,033	4,785	3,024	20,270
Max	10,007	98,095	97,515	97,805	5,444	3,346	20,270

❖ TiO_2 (n tipi) yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.14, Çizelge 4.27 ve 4.28’ de verilmiştir.

**Şekil 4.14.** TiO_2 (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.27. TiO₂ (n tipi) yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
TiO ₂ n tipi (Oksitleme)	75,28	Su	38,57

Çizelge 4.28. TiO₂ (n tipi) yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	74,549	76,015	75,282	5,682	3,175	20,228
Std deviation (Standart sapma)	2,920	0,685	1,422	0,983	0,344	0,012	0,001
Min	0,000	70,945	72,030	71,488	5,006	3,150	20,226
Max	10,007	77,983	79,538	78,760	6,407	3,194	20,230

❖ GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.15, Çizelge 4.29 ve 4.30’ da verilmiştir.



Şekil 4.15. GaAs (Te) n tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

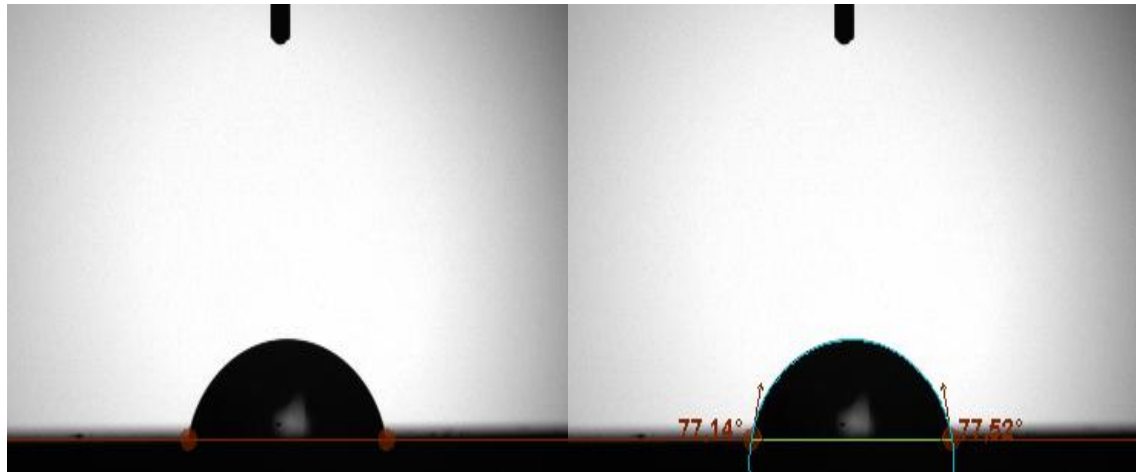
Çizelge 4.29. GaAs (Te) n tipi yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
GaAs (Te) n tipi (Oksitleme)	87,65	Su	30,88

Çizelge 4.30. GaAs (Te) n tipi yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	86,869	88,439	87,654	6,953	3,072	20,290
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,993	0,929	0,926	0,094	0,006	0,001
Min	0,000	84,754	87,025	86,270	6,382	3,025	20,289
Max	9,935	96,814	96,886	95,502	7,594	3,078	20,291

❖ SI/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.16, Çizelge 4.31 ve 4.32’ de verilmiştir.

**Şekil 4.16.** SI/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.31. Si/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
Si/GaAs (Un) (Oksitleme)	77,63	Su	37,15

Çizelge 4.32. Si/GaAs (Un) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	77,378	77,893	77,635	6,154	3,196	20,183
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,314	0,335	0,289	0,398	0,002	0,000
Min	0,000	74,773	75,230	75,655	1,708	3,193	20,183
Max	9,935	77,968	78,459	78,069	7,352	3,208	20,183

❖ InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.17, Çizelge 4.33 ve 4.34’ de verilmiştir.

**Şekil 4.17.** InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü

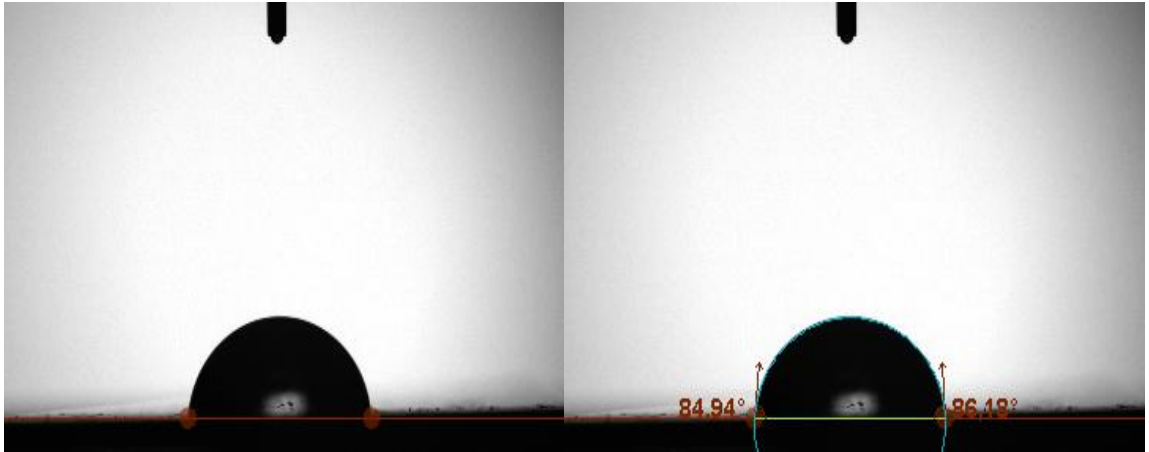
Çizelge 4.33. InP (Un) n-tipi III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
InP (Un) n tipi (Oksitleme)	86,81	Su	31,16

Çizelge 4.34. InP (Un) n tipi III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	5,003	85,968	87,656	86,812	7,038	3,051	20,317
Std deviation (Standart sapma)	2,920	1,967	1,992	1,973	0,104	0,012	0,002
Min	0,000	84,956	86,605	86,073	6,447	2,920	20,314
Max	10,007	108,828	110,385	109,607	7,446	3,058	20,320

❖ SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait temas açısı ve yüzey ölçümleri Şekil 4.18, Çizelge 4.35 ve 4.36’da verilmiştir.

**Şekil 4.18.** SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine yüzey temas açısı ölçümü

Çizelge 4.35. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait yüzey enerjisi ölçümü

Ölçülen Numune	Temas Açısı θ [°]	Damla	Yüzey Enerjisi γ [mN/m]
SI/ InP (Fe) (Oksitleme)	85,86	Su	32

Çizelge 4.36. SI/InP (Fe) III-V yarıiletkenine ait diğer ölçümler ve ortalama değerler

Statistics	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μ l]	Baseline [mm]	Temperature [°C]
İstatistikler	Süre(saniye)	Temas Açısı(Sol)	Temas Açısı(Sağ)	Temas Açısı(Ort)	Hacim(Damla)	Ölçü Alınan Çizgi	Sıcaklık
Mean (Ortalama)	4,967	85,325	86,403	85,864	6,042	2,966	20,174
Std deviation (Standart sapma)	2,899	0,519	0,514	0,444	0,120	0,002	0,000
Min	0,000	84,929	84,905	85,498	4,736	2,951	20,173
Max	9,934	89,390	91,602	90,352	6,221	2,970	20,174

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tezde katkısız ve katkılı n tipi WO_3 , p tipi NiO ile n tipi TiO_2 ile GaAs (Te), SI/GaAs , InP (Un) ve SI/InP (Fe) yarıiletkenler kullanılarak yüzey enerjileri ve temas açıları ölçüldü. Bu ölçüm sonuçlarına göre yarıiletkenlerin hidrofobik veya hidrofilik özellikleri hakkında bilgiler elde edildi. Ayrıca oksitleme sonucunda n tipi ile p tipi yarıiletkenlerin yüzey enerjilerinin ve temas açılarının nasıl değiştiği gözlemlendi. Yarıiletkenlerin yüzey enerjisi ve temas açıları gonyometre adı verilen optik ölçüm cihazı ölçüldü.

n tipi yarıiletkenlerin (WO_3 , NiO , TiO_2 , InP) temas açıları ve yüzey enerjisi, oksitlenme öncesi ile sonrası arasında farklılık gösterdi. p tipi (NiO) yarıiletkenler ile GaAs III-V yarıiletkenlerde ise oksitleme öncesi ve sonrasındaki temas açıları ile yüzey enerji değerleri karşılaştırıldığında kayda değer bir değişim olmadığı görüldü. Yani aynı bileşiklerden oluşan bir yarıiletken olsa da yarıiletken tipinin farklı olması yüzey özelliklerini ve temas açısını değiştirdiğini doğruladı.

Genel olarak;

n tipi oksitlerin hava ortamında tavlama ile yani oksitleme ile yüzey enerjisi azalmaktadır. Bunun nedeni n-tipi oksitler oksijen boşluğu zengin yüzeylerdir. Bu boşluklar oksitlenme ile oksijen doldurularak yüzey enerjisi azalmış dolayısıyla da temas açısı artmıştır.

p tipinde ise tavlama öncesi sonrasındaki yüzey enerjileri hemen hemen birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bunlar oksijence zengin yüzeyler olduğu için oksitleme ile bu boşlukların doldurulmasına yer yoktur. Dolayısıyla da yüzey enerjisinde çok bir değişim görülmemiştir.

n tipi yarıiletkenler için yapılan ilk ölçümlerde hidrofobik (sudan kaçan) özellik gösterdiği görülmüştür. n tipi yarıiletkenler arasında bulunan boşluklar oksidasyon ile oksijen ile doldurularak daha düzgün bir yüzey haline gelmiştir.

Oksitlerde genelde gaz sensörü durumlarda n-tipi numunelerde p-tipine nazaran tersi bir değişim görülmektedir. Bunun sebebi de yukarıda belirtildiği üzere aynı doğrultuda açıklanmaktadır.

Islanması yüksek olan numuneler genelde spin coating tekniklerde daha elverişlidir. Çünkü yüzey enerjisinin yüksek olması durumunda temas açısı daha düşük olup numune üzerine kaplama için bırakılan sıvının çekirdeklenmesi (nucleation) oranı daha yüksek olacaktır. Bu gibi teknikler örneğin güneş pili üretiminde (peroskty) çok kullanılmaktadır. Oksitin taban malzemesi olarak kullanılan oksitlerin yüzey enerjisi özelliklerinin incelenmesi bu açıdan oldukça önemlidir.

Katkılanmamış InP n tipi olarak büyümektedir. Fe katkılı olduğu zaman In^{+3} , Fe^{+2} olduğundan ve Fe atomları In yerine oturduğundan akseptör gibi davranıp serbest elektronları kompanze ediyor ve SI (semi insulating) haline dönüşmektedir (Tuzemen, *et al.* 1999). Katkılanmamış InP, sonuçlardan da görüleceği gibi oldukça yüksek yüzey enerjisine sahiptir ($35,8 \text{ mJ/m}^2$). Fe katkılanarak bu yüzey enerjisi %30 civarında azalma göstermiştir. Yani Yüzey enerji değeri $27,5 \text{ mJ/m}^2$ olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi; normalde katkılanmamış InP’ da In^{+3} olduğundan yüzeydeki In atomlarının Fe^{+2} ’ ye göre daha fazla bağ yapma ihtimali vardır. Yüzey enerjisi demek, yüzeyde bağ yapabilecek atomların daha fazla var olması demektir. Yüzeyde In^{+3} , onun yerine geçen Fe^{+2} ’ ye göre daha fazla bağ yapmaya meyilli olduğundan, katkılanmamış yüzey katkılanmışa göre daha büyük yüzey enerjisi verir. Böylece oksit hava ortamında III-V numuneler kolay kolay oksitlenmemektedir. Oksitlenme ile büyük bir ihtimalle yüzey kusurları artmış ve böylece yüzey enerjisi de artmıştır.

Diğer taraftan Te, GaAs içerisinde doner etkisi yapmakta olup III. grup element Ga’a göre daha fazla bağ yapma seçeneği vardır. Yüzeydeki Te atomlarından dolayı (Te^{+4} olması sebebiyle) Te katkılı GaAs, katkısız göre daha fazla yüzey enerjisine sahiptir. Sonuçlardan da görüleceği gibi Te katkılı GaAs’in yüzey enerjisi, katkılanmamışa göre yaklaşık % 40 artmıştır.

GaAs (Un) numune, transistörlerde kötü kapılama özelliği göstermektedir. Bunun nedeninin Arsenik (As) boşluğu konsantrasyonunun azlığı (V_{as}) olduğu düşünülmektedir (Tuzemen 1993). Metalce (galyumca) zengin yüzey oksijen ortamında veya hava ortamında oksitlenerek yüzey enerjisinin arttığı görülmektedir. Böylece yüzeydeki sızıntı akımları düşünülerek kötü kapılama olayı giderilebilir.

Alternatif bir açıklama olarak GaAs (Un), arsenic boşluklarından p-tipiye kayma söz konusu olabilir. Bu nedenle yüzey enerjisi düşük çıkmıştır. Tavlama sonrası bu durum önemli ölçüde yüzey enerjisini artırmıştır. Bu da p-tipinden SI'ya kayma sağlayarak sızıntı akımları giderilmiştir. Dolayısıyla yüzey enerjisinin artması ile en azından SI InP(Fe) malzemeye yaklaşmıştır. Bu da numunenin ((GaAs (Un) tavlama sonrası daha iyi SI olduğunu göstermektedir. Muhtemelen GaAs'daki bu kötü kapılama yüzey enerjisinin artırılmasıyla iyileştirilebilir.

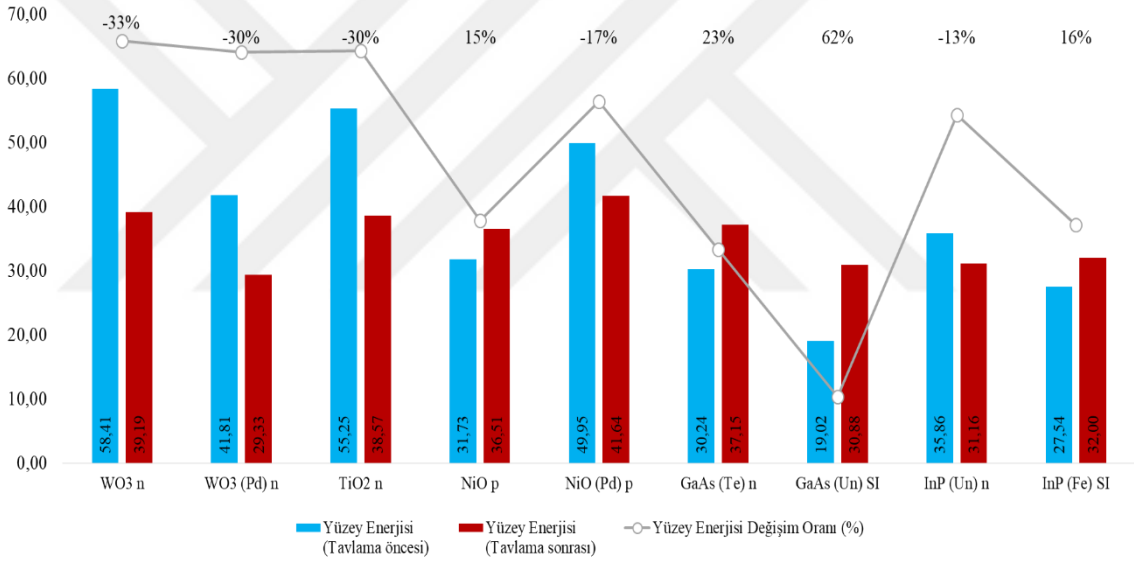
Bu ölçüm tablolarındaki tavlama öncesi temas ölçüm değerleri kontrol edilildiğinde numunenin sol ve sağ kısmındaki açılma değerleri TiO_2 yarıiletkeninde ciddi farklılık gösterdi. Bu durum ürünün tavlama öncesi homojen olmadığını söylemektedir. Tavlama sonrası ise yüzeydeki pürüzlerin veya oksijen boşluklarının oksijen ile dolmasıyla numune yüzeyinin homojen olduğu ölçüldü. Bu durum, ince film büyütme tekniklerinin ve şartlarının elde edilen ürünün homojen olup olmamasına ciddi derecede etkisi olacağını gösterdi. Özellikle büyütme şartlarının ürünün homojen olup olmadığının tespit edilebilmesi açısından yüzey enerjisi ölçümü ile fark edilebileceğinin daha kolay ve numuneye zarar vermeden yapılabileceği anlaşıldı.

Sonuç olarak, mikroskobik tekniklere (AFM, STM, SEM vb.) alternatif teşkil ettiğini söyleyemiyoruz fakat yüzey özelliğinin belirlenmesi açısından toksik olmayan ve yüzeye zarar vermeyen yöntem olarak avantaj sağlığını söyleyebiliriz.

InP (Fe) malzemede tavlama öncesi ve sonrası yüzey enerjisinde biraz artış görülmüştür. Sebebi demirce zengin yüzeyin, demirin çok fazla oksitlenmeye duyarlı olması sebebiyle yüzey enerjisinin arttığı düşünülmektedir. InP(Un)'de ise durum tersi olup böyle bir

oksitlenme mümkün değildir. GaAs (Te) malzeme de ise telleryumca zengin yüzeyde oksitlenme olasılığından yine aynı durum gözlenmiştir.

GaAs (Un) numune önceki deneylerde kötü kapılama özelliği göstermektedir. Yüzey enerjisi ölçümlerinden görülebileceği gibi bu numunenin tavlama öncesi yüzey enerjisi çok düşüktür. Bunun nedeni boşlukların azlığı olabilir. As boşluklar GaAs'da derin akseptör özelliği göstermekte olup taşıyıcıları telafi etmektedir. As boşluk konsantrasyonunun azlığı nedeni ile bu telafi işlemi olmakta ve sızıntı akımları meydana gelmektedir. Bu da kötü kapılama vermektedir.



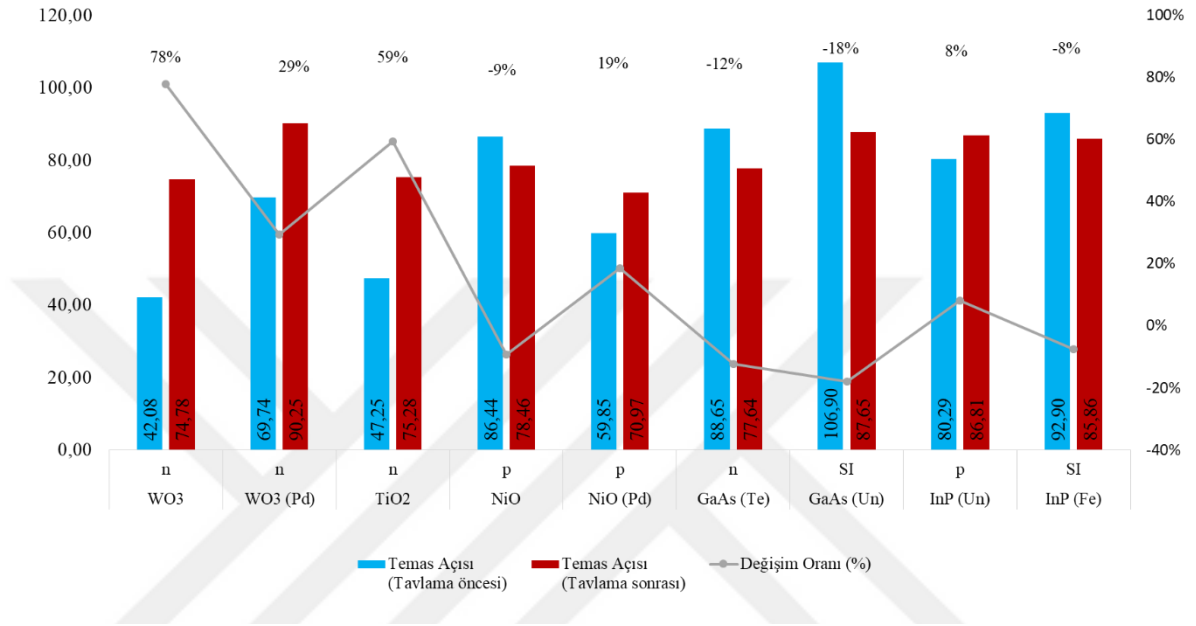
Şekil 4.19. Yüzey enerjisi değişim çizelgesi

Bazı oksit ve III-V yarıiletken numunelerin tavlama öncesi ve sonrası yüzey enerjileri gonyometre ile ölçülmüş ve Şekil 4.19' da gösterilmiştir. Buna göre;

- n tipi WO₃ yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 58,41 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %33 azalarak 39,19 mNmt olduğu görülmüştür.

- Pd katkılı n tipi WO_3 yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 41,81 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %30 azalarak 29,33 mN/mt olduğu görülmüştür.
- n tipi TiO_2 yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 55,25 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %30 azalarak 38,57 mN/mt olduğu görülmüştür.
- p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 31,73 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %15 artarak 36,51 mN/mt olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 49,95 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %17 azalarak 41,64 mN/mt olduğu görülmüştür.
- n tipi GaAs (Te) yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 30,24 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %23 artarak 30,88 mN/mt olduğu görülmüştür.
- SI tipi GaAs (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 19,02 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %62 artarak 37,15 mN/mt olduğu görülmüştür.
- n tipi InP (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 35,86 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %13 azalarak 31,16 mN/mt olduğu görülmüştür.

- SI tip InP (Fe) yarıiletkenin tavlama öncesi yüzey enerjisi değeri 27,54 mN/mt iken tavlama işlemi sonrasındaki yüzey enerjisi değerinin %16 artarak 32,00 mN/mt olduğu görülmüştür.

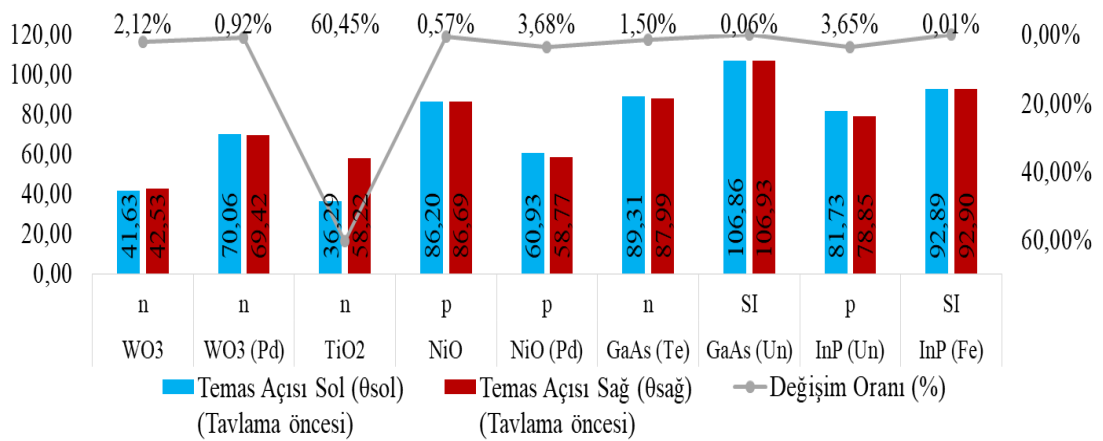


Şekil 4.20. Temas açısı değişim çizelgesi

Bazı oksit ve III-V yarıiletken numunelerin tavlama öncesi ve sonrası temas açıları gonyometre ile ölçülmüş ve Şekil 4.20’ da gösterilmiştir. Buna göre;

- n tipi WO₃ yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri 42,08° iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %78 artarak 74,78° olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı n tipi WO₃ yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri 69,74° iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %29 artarak 90,25° olduğu görülmüştür.
- n tipi TiO₂ yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri 47,25° iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %59 artarak 75,28° olduğu görülmüştür.

- p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $86,44^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %9 azalarak $78,46^\circ$ olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $59,85^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %19 artarak $70,97^\circ$ olduğu görülmüştür.
- n tipi GaAs (Te) yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $88,65^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %12 azalarak $77,64^\circ$ olduğu görülmüştür.
- SI tip GaAs (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $106,90^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %18 azalarak $87,65^\circ$ olduğu görülmüştür.
- n tipi InP (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $80,29^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %8 artarak $86,81^\circ$ olduğu görülmüştür.
- SI tip InP (Fe) yarıiletkenin tavlama öncesi temas açısı değeri $92,90^\circ$ iken tavlama işlemi sonrasındaki temas açısı değerinin %8 azalarak $85,86^\circ$ olduğu görülmüştür.



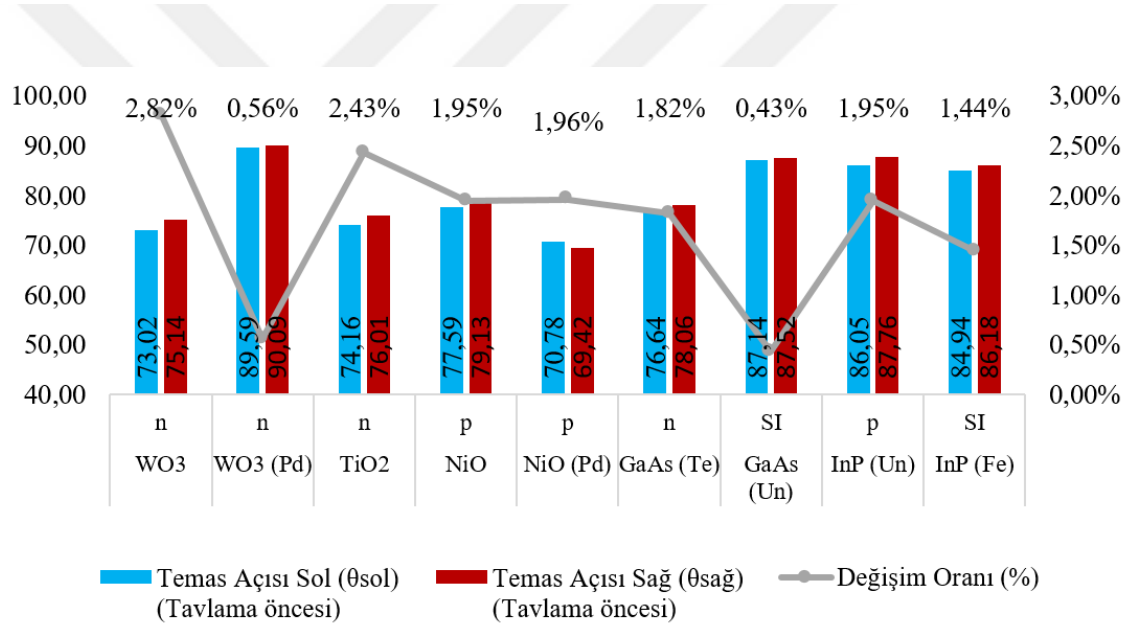
Şekil 4.21. Numunenin yüzey düzensizliği (tavlama öncesi) değişim çizelgesi

Bazı oksit ve III-V yarıiletken numunelerin tavlama öncesi temas açıları gonyometre ile ölçülmüş ve Şekil 4.21' de gösterilmiştir. Buna göre;

- n tipi WO_3 yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $41,63^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $42,53^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %2,12 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı n tipi WO_3 yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $70,06^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $69,42^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %0,92 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- n tipi TiO_2 yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $36,29^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $58,22^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %60,45 gibi yüksek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen olmadığı** görülmüştür.
- p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $86,20^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $86,69^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %0,57 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $60,93^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $58,77^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %3,68 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- n tipi GaAs (Te) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $89,31^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $87,99^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,50 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- SI tip GaAs (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $106,86^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $106,93^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı

%0,06 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.

- n tipi InP (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $81,73^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $78,85^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %3,65 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- SI tip InP (Fe) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $92,89^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $92,90^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %0,01 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22. Numunenin yüzey düzensizliği (tavlama sonrası) değişim çizelgesi

Bazı oksit ve III-V yarıiletken numunelerin **tavlama sonrası** temas açıları gonyometre ile ölçülmüş ve Şekil 4.22' de gösterilmiştir. Buna göre;

- n tipi WO₃ yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $73,02^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $75,14^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %2,82 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.

- Pd katkılı n tipi WO_3 yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $89,59^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $90,09^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %0,56 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- n tipi TiO_2 yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $74,16^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $76,01^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %2,43 gibi yüksek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** görülmüştür.
- p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $77,59^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $79,13^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,95 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- Pd katkılı p tipi NiO yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $70,78^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $69,42^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,96 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- n tipi GaAs (Te) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $76,64^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $78,06^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,82 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- SI tip GaAs (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $87,14^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $87,52^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %0,43 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.
- n tipi InP (Un) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $86,05^\circ$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $87,76^\circ$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,95 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.

- SI tip InP (Fe) yarıiletkenin tavlama öncesi sol kısımdaki temas açısı değeri $84,94^{\circ}$ iken sağ kısımdaki temas açısı değeri $86,18^{\circ}$ olarak ölçülmüştür. Değişim oranı %1,44 gibi tolere edilecek bir oran olması sebebiyle ürünün **homojen** olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akgül G., F.Aksoy, E. Mulazimoglu, H.E. Unalan and Turan R., 2014. Fabrication and characterization of copper oxide-silicon nanowire heterojunction photodiodes.
- Akyüz İ., 2005, CdO filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Al katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alexey A. Tomchenko, Gregory P. Harmer, Brent T. Marquis, John W. Allen, 2003. Semiconducting metal oxide sensor array for the selective detection of combustion gases.
- Amer N.M, Jackson, W B. 1984. Optical properties of defect statesin a-Si:H. In: Pankove J I (ed.) Semiconductors and Semimetals. Academic Press, New York, Vol. 21(B)
- Arabacı E., 2001. ZnS yarıiletken bileşiğinin spray pyrolysis yöntemi ile elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aslan, M.H. Oral, A.Y., Mensur, E., Gül, A. and Basaran, E., 2004. Preparation of c-axis-oriented zinc-oxide thin films and the study of their microstructure and optical properties, Solar Energy Materials and Solar Cells.
- Ateş T., 2012. Metal oksit Yarıiletken Malzemelerin üretilmesi ve Kuartz Kristal Mikroterazi Nem Sensörlerinin Hazırlanması, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aydın R., Sahin B., 2017. Farklı Oranlarda Tiyoüre Katkısının Nanoyapılı Kadmiyum Oksit (CdO) Filmlerin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi.
- A.Barr, 1991. Electrical Properties of Semiconductors. (s.19-21). Elektronik Materials Plenum, New York.
- Bachmann, K. J., 2010. Properties, Preparation, and Device Applications of Indium Phosphide-Annual Review of Materials Science, Annual Review of Materials Science.
- Bandara, J., and Yasomanee, J.P. 2006. p-type oxide semiconductors as hole collectors in dye-sensitized solid-state solar cells.
- Barr, A., 1991. Electrical Properties of Semiconductors. (syf 19-21)
- Beiser A., 1997. Modern Fiziğin Kavramları, Akademi Yayınları, Ankara.
- Belokopytov, Y.U.V., Kholyavenko, K. M., and Gerei, S.V., 1978. An Infrared Study of the Surface Properties of Metal Oxides.
- Bimberg, D., 1999. Quantum dots: Paradigm changes in semiconductor physics. Institut fur Festkorperphysik Technische Universty, Berlin.
- Blakemore, J.S. 1985. Solid state physics, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bolink, H.J., Coronado, E., Repetto E., and Sessolo, M., 2007. Air stable hybrid organic-inorganic light emitting diodes using ZnO as the cathode, doi: 10.1063/1.2809387
- Brillson, L.J. 1982. The structure and properties of metal-semiconductor interfaces.
- Caferov T., 1998, Yarıiletken Fiziği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Carballeda-Galicia, D.M., Castanedo-Perez, R., Jimenez-Sandoval, O., Jimenez-Sandoval, S., Torres-Delgado, G. and Zuniga-Romero, C.I., 2000, High transmittance CdO thin films obtained by the sol-gel method, Thin Solid Films.

- Cavaş M., 2011. Nano Yapılı Metal Oksit yarıiletkenler kullanılarak foto diyotların üretilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Celik V., 2012. Titanyum Dioksit Yüzeylerinde Safsızlıkların Elektronik Yapıya Etkileri, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Cengiz O., 2010. Temas Açısı Ölçüm Cihaz Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chaabouni, F., Abaab, M. and Rezig, B., 2004. Effect of the substrate temperature on the properties of ZnO films grown by RF magnetron sputtering, Materials Science and Engineering B,
- Chang, S., and Sites, J. R., 1978. Electronic characterization of indium tin oxide/silicon photodiodes.
- Coban O., 2018. Oksit Yarıiletken Tabanlı Optik Gaz Sensörlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Coban O., Tekmen S., and Tuzemen S., 2013. Detection of oxygen with electrochemically deposited ZnO thin films, Sensors and Actuators.
- Dinek, T., 2006. CdO Yarıiletken Bileşiğinin Spray Pyrolysis Yöntemi ile elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dogan, S., Tuzemen, S., Gurbulak, B., Ates, A., Yıldırım, M., 1999. J.Appl. Phy. Vol (85). N(9). p.6777,
- Dong, Y., HU, F., Xu, D., Lu, Xu B., Hu Z. and Chen, Y., 1999. A Study on the Surface Properties of Ceria-Supported Tungsten and Copper Oxides.
- Doroftei and L. Leontie, Nanostructured Oxide Semiconductor Compounds with Possible Applications for Gas Sensors.
- Duke, C.B., 1977. Surface structures of compound semiconductors. Vakum Bilimi ve Teknolojisi Dergisi 14, 870 (1977); <https://doi.org/10.1116/1.569319>
- Durlu, T.N., 1996. Katıhal Fiziğine Giriş, Zirve Ofset, Ankara.
- Eberhart, G., and Horner, S., 2010. Bond-Energy and Surface-Energy Calculations in metals.
- El-Shobaky, TH. El-Nabarawy, G.A. Fagal and A.M. Dessouki, 1987. Surface and Catalytic properties of gamma irradiated CuO/Al₂O₃ Solids.
- Erayman, Y., Korkmaz, Y., 2017. Süperhidrofob tekstil yüzeylerin florsuz bileşikler kullanılarak sol-jel yöntemi ile modifikasyonu.
- Erbudak M., 2012. Physics and Chemistry at Surfaces. Physics Department, Boğaziçi University and Laboratorium für Festkörperphysik, ETHZ, CH-8093, Zurich.
- Fritsche, S. Gunst, E. Golusda, M.C. Lejard, A. Thißen, T. Mayer, A. Klein, R. Wendt, R. Gegenwart, D. Bonnet, W. Jaegermann, 2001. Surface analysis of CdTe thin film solar cells.
- Gencyılmaz, O., Atay, F., and Akyuz, I. 2012. ZnO Yarıiletken Filmlerinin Optik, Elektrik ve Yüzey Özellikleri Üzerine Isıl Tavlama İşleminin Etkileri.
- Gündüz E., 1989. Modern Fiziğe Giriş, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Haneman, D., 1960. Surface Structures and Properties of Diamond-Structure Semiconductors.
- Hasan A.F.H., 2017. Deposition And Investigation Of Copper Oxide Nano-Particle on Copper Oxide Thin Films, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Hietschold, M., Paasch, G., Ziesche, P., 1975. Surface Energies of Simple Metals. *Der Elektronentheorie der Metalle'deki Ergebnisse* , Dresden. 10.1007 / 978-3-662-07081-9-11 , (402-466).
- Ho, M.C., He, Y., Chin, T.P., Liang, B.W., Tu, C.W., 1992. Enhancement of effective Schottky barrier height on n-type InP Electron. Lett. 28 68.
- Hovel H.J., 1975. Solar Cells, Semiconductors and Semimetals, Vol. 11 (Eds.R.K. Willardson ve A.C. Beer), Academic Press, New York.
- Inoue, T., Ohtsuka, K., Yoshida, J. R., Matsuura, Y., and Kajiyama, Y., 1995. Metal Oxide Semiconductor NO₂ Sensor.
- Johnson, K.L., Kendall K., and Roberts, A.D., 2012. Surface Energy and the contact of elastic solids.
- Johnson, L., Kendall, K., and Roberts, A. D., 2012. Surface Energy and the Contact of Elastic Solids.
- Jonda, CH., Mayer, A. B. R., Stolz, U., 2000. Surface roughness effects and their influence on the degradation of organic light emitting devices.
- Jong, M. P. DE., Van Ijzendoorn L. J. and Voigt, M. J. A. DE., 2000. Stability of the interface between indium-tin-oxide and poly/poly in polymer light-emitting diodes.
- Jose, W.V. Thavasi, and S. Ramakrishna, 2009. Metal Oxides for Dye-Sensitized Solar Cells.
- Kahn, A. 1983. Semiconductor Surface Structures, 3(4-5), 193-300. [https://doi.org/10.1016/0167-5729\(83\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0167-5729(83)90006-7), Elsevier Science, Amsterdam.
- Karakaya S., O. Gençyılmaz and O. Ozbas, 2012. In Katkılı CdS Filmlerinin Optik, Elektrik ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi.
- Karakaya S., Ozbaşı O., 2014. CdS: In Filmlerinin Optik, Yüzey ve Elektrik Özellikleri Üzerine Isıl Tavlamanın Etkisi.
- Kemper, S., Sturwald, C., Remmersmann, P., Angehanenberg, G.V. Bally, 2008. Characterisation of light emitting diodes (LEDs) for application in digital holographic microscopy for inspection of micro and nanostructured surfaces.
- Kittel, C., 1996. Katılmal Fiziğine Giriş, Çeviri: “Karaoğlu B.”, Güven Yayınları, kooi, 1967. The surface properties of oxidized silicon. DOI:10.6100/IR148292
- Kooi, E., 1967. The surface properties of oxidized silicon. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Eindhoven. DOI 10.1007/978-3-662-40210-8.
- Kose, H., 2017. Kalay dioksit nano ince filmlerin üretimi ve morfolojik karakterizasyonu, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(6), 1613~1619.
- Kosea, F. Ataya, V. Bilgin B, I. Akyuza, 2008. Some physical properties of copper oxide films: The effect of substrate temperature.
- Koutoulaki A., Fasaki I., Kompitsasb M. 2010, Structural, electrical and mechanical properties of NiO thin films grown by pulsed laser deposition, Applied Surface Science, 257: 429-433
- Kudryashov D., et al, 2018. Journal of Physics: Conference Series: 1124 041017. All-oxide heterojunction solar cells formed by magnetron sputtering.
- Kylie, By., Catchpole, R., 2015. Nanostructures in photovoltaics. Uygulamalı Fizik Dergisi 115, 134301; <https://doi.org/10.1063/1.4870040>.
- Lapa H.E., 2018. Au/(Zn-Katkılı PVA)/N-4HSİC (MPS) yapıların elektrik ve dielektrik özelliklerinin oda sıcaklığında arayüzey tabakasının kalınlığına bağlı incelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Lokhande, B.J. Uplane, M.D. 2001, Effect of deposition temperature on spray deposited cadmium oxide films, *Materials Research Bulletin*,
- LU, J. G., Chang, P., Fan, Z., 2006. Quasi-one-dimensional metal oxide material-Synthesis, properties and applications.
- McKelvey, J.P. 1966. Solid state and semiconductor physics, New York.
- Minami, T., Nishi, Y., and Miyata, T., 2016. Cu₂O-based solar cells using oxide semiconductors.
- Müller, P., Saul, A., 2004. Elastic effects on surface physics. Centre de Recherche en Matire Condense et Nanoscience, CNRS, Compus de Luminy, Case 913, 13288, Marsilya.
- Omar, M.A. 1975. Elementary Solid Stade Physics, Addison-Wesley Publishing Company Inc, Menlo Park, California.
- Onaran, K., 1993. Malzeme Bilimi, İstanbul Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Oral, M., 1979. Güneş Pilleri, Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- Pankove J.I., 1971. Optical processes in semiconductors, Solid State Physical Electronics Series, Prentice-Hall, New Jersey.
- Polat M., 2012. Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Yöntemiyle Elde Edilen Mn Katkılı CdS Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Polat Y., 2017. Nano ve Mikro Yapıdaki (Bi₂O₃)_{1-x-y}(Sm₂O₃)_x(Ho₂O₃)_y Elektrolit Sistemlerinin Katı Oksit Yakıt Pili için Sentezlenmesi ve Faz Kararlılığı, Elektriksel ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması.
- Rajan J., Velmurugan T. and Seeram R., 2009. Metal Oxide for dye-sensitized solar cells. *Journal of the American Ceramic Society*, <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2008.02870.x>.
- Ricote, J., Calzada, M.L., Mendiola, J., Chateigner, D., 2002. Preferential orientation of ferroelectric calcium modified lead titanate thin films grown on various substrates.
- Rochas, M. GANI, B. Furrer, P. A. Besse, R. S. Popovic, G. Ribordy, and N. GISIN, 2003. Single photon detector fabricated in a complementary metal-oxide-semiconductor high-voltage technology.
- Roduner, E., 2006. Size matters: why nanomaterials are different. Fiziksel Kimya Enstitüsü, Stuttgart Üniversitesi, Pfaffenwaldring 55, D-70569 Stuttgart, Almanya.
- Ryu, Y. R., Lee, T. S., Lubguban, J. A., White, H. W., Park, Y. S., and Youn, C. J., 2005. ZnO devices: Photodiodes and p -type field-effect transistors.
- Sasada, Y. Nakakita, M. Takenaka, and S.Takagi, 2009. Surface orientation dependence of interface properties of GeO₂/Ge metal-oxidesemiconductor structures fabricated by thermal oxidation.
- Schmidt, F. Giustiniano, G. Eda, 2015. Electronic transport properties of transition metal dichalcogenide field-effect devices: surface and interface effects.
- Schmidta, A. Geisa, P. Kiesela, D. Wallea, N. M. Johnsona, A. Bakinc, A. Waagc, G.H. Döhlerd, 2006. Analysis of a conducting channel at the native zinc oxide surface.
- Senel, E., Kızıl, H., Trabzon, L., 2009. mikro-sensörlerde yüzey özelliklerinin güvenilirliğe etkileri.
- Shimizu, T., and Okushi, H., 1995. The properties of a metal/oxide semiconductor junction prepared using a highpurity ozone surface treatment.

- Sibirev, N. V., Timofeeva, M.A., Bolshakov, A.D., Nazarenko M.V. and Dubrovskii, V. G., 2010. Surface Energy and Crystal Structure of Nanowhiskers of III–V Semiconductor Compounds.
- Simchi, B.E. Mccandless, T. Meng, W.N. Shafarman, 2014. Structural, optical, and surface properties of WO₃ thin films for solar cells.
- Sterrerr, M., and Freund, H. J., 2014. Properties of Oxide Surfaces.(Syf 229-270).
- SZE, S.M. and NG, K.K. 2002. Physics of Semiconductor Devices (syf 7-8). A. John Wiley-İnterscience&Inc., Publication, New York.
- SZE, S.M., 1981. Physics of Semiconductor Devices, A. John Wiley-İnterscience&Inc., Publication, New York.
- Takgun, M., 2016. Kadmiyum Oksit Karbon Nanotüp Nanokompozitinin Elektriksel ve Optik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tomás, P., Mingorance, A., Tanenbaum D., and Cantú, M.L., 2018. Yeni Nesil Güneş pillerinde Yarı İletken Oksitlerinin Geleceği: Metal Oxides in Photovoltaics: All-Oxide, Ferroic and Perovskite Solar Cells. (syf 267-356). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811165-9.00008-9>.
- Tomchenko, G.P. Harmer, B. T. Marquis, J. W. Allen, 2003. Semiconducting metal oxide sensor array for the selective detection of combustion gases.
- Tuzemen, S., 1993. An Investigation of Reverse-Contrast Centers in GaAs, Doktora Tezi, Manchester Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Enstitüsü.
- Tyagi, M.S., 1991, Introduction to Semiconductor Materials and Devices, New York.
- Uplane, M.D., Kshirsagar, P.N., Lokhande, B.J., Bhosale, C.H., 2000, Characteristic analysis of spray deposited cadmium oxide thin films, Materials Chemistry and Physics.
- Anonim 1: <https://www.britannica.com/science/semiconductor>.
- Anonim 2: <http://www.physics.ucdavis.edu/Classes/Physics243A>, 2016. Physics 243A-Surface and Interface Physics of Materials: Basic Concepts and Spectroscopy.
- Anonim 3: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00396028>, 2012. Surface Science.
- Anonim 4: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01675729>, 2012. Surface Science Reports.
- Anonim 5: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00796816>, 2012. Progress in Surface Science.
- Anonim 6: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>, 2012. Thin Solid Films.
- Anonim 7: <http://prb.aps.org>, 2012. Physical Review.
- Anonim 8: <http://www.kruss.de>, 1999. So You Want to Measure Surface Energy.
- Anonim 9: <http://www.TheSorptionSolution.com>, The Surface Energy Solution.
- Anonim 10: <http://www.terralab.com.tr/temsilcilikler/attension/attension-theta-flex.html>
- Anonim 11: <http://www.hcgurlek.tripod.com>
- Anonim 12: <http://www.mahmutselekoglu.com.tr>
- Wang H., Guoguang Wu, Cai X.P., Zhao Y., Shi Z.F., Wang J., Xia X.C., Dong X., Zhang B.L., Ma Y., Du G.T., 2012, Effect of growth temperature on structure and optical characters of NiO films fabricated by PA-MOCVD, Vacuum , 86:2044-2047
- Wang, Z.L, 2003, Nanobelts, nanowires, and nanodiskettes of semiconducting oxides from materials to nanodevices, Advanced Materials.

- Weibenrieder, K.S, Muller, J. 1997, Conductivity Model for Sputtered ZnO thin Film Gas Sensors. *Thin Solid Films*.
- Wöll, C., 2007. The chemistry and physics of zinc oxide surfaces. *Progress in Surface Science*. 82.55-120.10.1016/j.progsurf.2006.12.002
- Yakuphanoglu, F., 2010, Electrical characterization and device characterization of ZnO microring shaped films by sol–gel method, *Journal of Alloys and Compounds*.
- You, H., Dai, Y., Zhang D. and MA, D., 2007. Improved performances of organic light-emitting diodes with metal oxide as anode buffer, doi: 10.1063/1.2430511.
- Zangwill, A., 1988. *Physics at Surfaces*. Cambridge University Press, New York.
- Zaretskiy, N.P., Menshikov, L.I., Vasiliev, A.A., 2012. On the origin of sensing properties of the nanostructured layers of semiconducting metal oxide materials.
- Zhang, P., Gao, L., Song, X., and Sun, J., 2014. Micro- and Nanostructures of Photoelectrodes for Solar- Driven Water Splitting.
- Zhao, Z., Morel, D.L. and Ferekides, C.S., 2002. Electrical and optical properties of thin-doped CdO films deposited by atmospheric metalorganic chemical vapor deposition, *Thin Solid Films*.
- Zhong, Z., Zhong, Y., Liu, C., Yin, S., Zhang W., and Shi, D., 2003. Study on the surface wetting properties of treated indium-tin-oxide anodes for polymer electroluminescent devices.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Sivas Merkez ilçesinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Mehmet Akif İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini ise Sivas Halil Rıfat Paşa Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında Erzincan Meslek Yükseokulu'nda Teknikerlik öğrenimini tamamladıktan Dikey Geçiş Sınavı ile Mühendislik Fakültesine geçiş yaparak 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2017 yılında ise Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim dalına kayıt olarak Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Lisans öğreniminden sonra 2012 yılında Türktelekom alanında faaliyet gösteren özel bir Şirkette Şantiye Şefi olarak 1,5 yıl görev yaptı. 2013 yılı ikinci yarısından itibaren ise Elektrik Dağıtım sektöründe faaliyet gösteren özel bir Şirkette Başmühendis olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.