



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İKİ BOYUTLU TlGaSe₂ ve TlInS₂ KATKILI İNCE FİLM FOTODİYOTLARIN
ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yahya Kerem UÇMAN

Danışman: Doç. Dr. Umut AYDEMİR

İkinci Danışman : Doç. Dr. Hayriye Gökçen ÇETİNKAYA

Yüksek Lisans Tezi

**İKİ BOYUTLU TIGaSe₂ ve TlInS₂ KATKILI İNCE FİLM
FOTODİYOTLARIN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yahya Kerem UÇMAN

**Danışman: Doç. Dr. Umut AYDEMİR
İkinci Danışman : Doç. Dr. Hayriye Gökçen ÇETİNKAYA**



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ BOYUTLU TIGaSe₂ ve TlInS₂ KATKILI İNCE FİLM
FOTODİYOTLARIN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ**

Yahya Kerem UÇMAN

501905011

Doç. Dr. Umut AYDEMİR

(Danışman)

Doç. Dr. Hayriye Gökçen ÇETİNKAYA

(İkinci Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bursa – 2023

Her Hakkı Saklıdır.

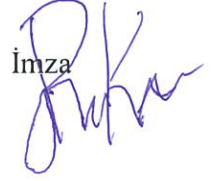
TEZ ONAYI

Yahya Kerem UÇMAN tarafından hazırlanan “İKİ BOYUTLU TIGaSe2 ve TlInS2 KATKILI İNCE FİLM FOTODİYOTLARIN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Umut AYDEMİR

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hayriye Gökçen ÇETİNKAYA, Gazi Üniversitesi

Başkan : Doç. Dr. Barış KINACI
0000-0003-3095-0624
Gazi Üniversitesi
Uygulamalı Bilimler Fakültesi
Fotonik

İmza


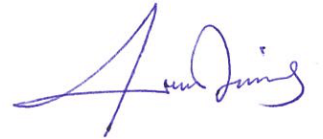
Üye : Doç. Dr. Enes YİĞİT
0000-0002-0960-5335
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

İmza



Üye : Doç. Dr. Umut AYDEMİR
0000-0001-5396-4610
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
04/07/2023

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/07/2023



Yahya Kerem UÇMAN

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman

Doç. Dr. Umut
AYDEMİR

04.07.2023



Okudum, anladım.

İkinci Danışman

Doç. Dr. Hayriye

Gökçen ÇETİNKAYA

04.07.2023



Okudum, anladım.

Öğrenci

Yahya Kerem
UĞMAN

04.07.2023



Okudum, anladım

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İKİ BOYUTLU TlGaSe₂ ve TlInS₂ KATKILI İNCE FİLM FOTODİYOTLARIN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

Yahya Kerem UÇMAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Umut AYDEMİR

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hayriye Gökçen ÇETİNKAYA (Gazi Üniversitesi)

Bu tez çalışmasında, bir yüzeyi parlatılmış n-tipi Si yarıiletken üstüne farklı rpm hızlarında ve farklı ultrasonik etki süreleri kapsamında sırasıyla PVP, PVP+TlInS₂, PVP+TlGaSe₂ solüsyonları ile ince filmler kaplanmıştır. Katkılanan PVP+TlInS₂ ve TlGaSe₂ çözeltisi dönel kaplama tekniği ile Si alt taş üzerine ince filmler kaplanmıştır. Sadece PVP kaplama referans alınabilmesi için kaplanmıştır. Elde edilen ince filmlerin üzerine noktasal kontak alınarak iki boyutlu malzeme katkılı fotodiyotlar üretilmiştir. Üretilen fotodiyotların özdirenç ve XRD analizleri yapıldıktan sonra farklı ışık şiddetleri altında elektriksel ve optiksel karakteristikleri incelenmiştir.

Deneysel sonuçlara göre, hem daha ince bir film kaplamak için hem de mobilite ve özdirenç için, en uygun rpm değerinin 2500 olmasına karar verildi ve elektriksel karakteristikler için yapılacak ölçümlerde örnek numuneler bu hızda kaplandı. Özdirenç değerlerinin ölçümünde 2 saat sonikasyon işlemine maruz kalan numunelerin 1 saat sonikasyon işlemine maruz kalanlardan özdirenci daha yüksek olarak gözlemlenmiştir, ayrıca RPM değeri arttıkça kalınlık azalacağı için her numunelerde özdirenç azalmıştır. İki yarı iletken numuneleri birbiri ile karşılaştırıldığında PVP+TlInS₂ 'nin PVP+TlGaSe₂ 'den özdirenç değerinin daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. XRD analiz sonuçlarında ise her numuneler için 1 saat sonikasyon işlemine maruz kalmış numuneler katkılanan malzemenin yapısal özelliklerini barındırmadığı için 1 saat sonikasyon işlemine tabi tutulan numuneler için yorum yapılamaz fakat 2 saatlik sonikasyon işlemine tabi tutulan numunelerde katkılanan numunelerin yapısal özellikleri gözlemlendiği için elektriksel ve optik karakterizasyon hakkında bir araştırma yapılabilir. Elektriksel karakterizasyonda TlInS₂ için 60mW ışık şiddetinde PVP+TlInS₂ en ideal fotodiyot özelliklerini gösterirken, TlGaSe₂ için 100mW ışık şiddetinde PVP+TlGaSe₂ en ideal fotodiyot özelliklerini gösteriyor. Bu iki numune birbiri ile karşılaştırıldığında ise PVP+TlGaSe₂ 'nin PVP+TlInS₂ numunesinden daha ideal bir fotodiyot olduğu gözlemlenmiştir. Optik karakterizasyonda ise TlInS₂ için 100mW ışık şiddetinde PVP+TlInS₂ en ideal fotodiyot özelliklerini gösterirken, TlGaSe₂ için 100mW ışık şiddetinde PVP+TlGaSe₂ en ideal fotodiyot özelliklerini gösteriyor. Bu iki numune birbiri ile karşılaştırıldığında ise aynı elektriksel karakterizasyondaki gibi PVP+TlGaSe₂ 'nin PVP+TlInS₂ numunesinden daha ideal bir fotodiyot olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PVP+TlInS₂, PVP, PVP+TlGaSe₂, nanokompozit, 2B yarıiletkenler, schottky fotodiyot, mikroelektronik, optoelektronik

ABSTRACT

MSc Thesis

MANUFACTURING AND INVESTIGATION OF TWO-DIMENSIONAL TlGaSe₂ and TlInS₂ DOPED THIN FILM BASED PHOTODIODES

Yahya Kerem UÇMAN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Umut AYDEMİR

Second Supervisor: Assoc. Prof. Hayriye Gökçen CETINKAYA (Gazi University)

In this thesis, thin films were coated on a polished n-type Si semiconductor with PVP, PVP+TlInS₂, PVP+TlGaSe₂ solutions, respectively, at different rpm speeds and different ultrasonic exposure times. Thin films of doped PVP+TlInS₂ and TlGaSe₂ solution were coated on the Si sub-strate by rotational coating technique. Only the PVP coating is coated for reference. Two-dimensional material-doped photodiodes were produced by taking point contact on the thin films obtained. After the resistivity and XRD analyzes of the produced photodiodes were made, their electrical and optical characteristics were investigated under different light intensities.

According to the experimental results, it was decided that the optimum rpm value would be 2500, both for coating a thinner film and for mobility and resistivity, and the sample samples were coated at this speed for measurements to be made for electrical characteristics. In the measurement of resistivity values, it was observed that the resistivity of the samples exposed to sonication for 2 hours was higher than those exposed to sonication for 1 hour. Also, as the RPM value increased, the resistivity of each sample decreased because the thickness would decrease. When the two semiconductor samples are compared with each other, it is observed that the resistivity value of PVP+TlInS₂ is higher than PVP+TlGaSe₂. In the XRD analysis results, since the samples subjected to 1 hour sonication for each sample do not contain the structural properties of the doped material, no interpretation can be made for the samples subjected to the 1 hour sonication process. research can be done. In electrical characterization, PVP+TlInS₂ at 60mW light intensity shows the most ideal photodiode properties for TlInS₂, while PVP+TlGaSe₂ at 100mW light intensity shows the most ideal photodiode properties for TlGaSe₂. When these two samples are compared with each other, it has been observed that PVP+TlGaSe₂ is a more ideal photodiode than the PVP+TlInS₂ sample. In optical characterization, PVP+TlInS₂ at 100mW light intensity shows the most ideal photodiode properties for TlInS₂, while PVP+TlGaSe₂ at 100mW light intensity for TlGaSe₂ shows the most ideal photodiode properties. When these two samples are compared with each other, it has been observed that PVP+TlGaSe₂ is a more ideal photodiode than PVP+TlInS₂ sample, as in the same electrical characterization.

Keywords: PVP+TlInS₂, PVP, PVP+TlGaSe₂, nanocomposite, 2D semiconductors, Schottky photodiode, Microelectronics, Optoelectronics

TEŞEKKÜR

Tezimi tamamlama sürecinde rehberliği ve desteğini için değerli hocalarım Do. Dr. Umut Aydemir'e ve Do. Dr. Hayriye Gökçen etinkaya'ya en derin Őukranlarımı sunmak isterim. Uzmanlıkları, cesaretlendirmeleri ve paha biçilmez geri bildirimleri, bu çabayı başarıyla tamamlamamda bana yardımcı oldular. Tecrübeleriyle ve laboratuvar çalıŐmalarımda desteğini esirgemeyen Tugay Demirtaş'a, Dr. Öğretim Üyesi Halil İbrahim Akyıldız'a ve Fizik bölümünde çalıŐmalarımda bana yardımcı olan Hüseyin Kaan Kaplan'a ve Ali Olkun'a ve okulda benimle beraber vakit geçirip hem akademik anlamda hem de motivasyonel anlamda bana destek olan çalışma arkadaŐım Muhammed Azad Kılıçarslan'a teŐekkürü borç bilirim

Ayrıca eğitim ve öğretim hayatımda her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen, başarılarımda sonsuz katlıları olan canımdan çok sevdiğim annem, babam ve kardeŐlerime sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Yahya Kerem UÇMAN
04/07/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1Malzemelerin Elektriksel Özellikleri	4
2.1.1 İletkenler	4
2.1.2 Yalıtkanlar.....	5
2.1.3 Yarıiletkenler.....	6
2.2 Yarıiletkenlerde taşıyıcı yük yoğunluğu	8
2.3 Saf (Özgün) Yarıiletkenler	9
2.4 Katkılı Yarıiletkenler	9
2.4.1 N-Tipi Yarıiletkenler.....	10
2.4.2 P-Tipi Yarıiletkenler	11
2.5 İki Boyutlu Yarıiletkenler	12
2.6 TlInS ₂ ve TlGaSe ₂ İki Boyutlu Yarıiletkenlerinin Özellikleri.....	12
2.7 PVP Malzemesinin Özellikleri.....	15
2.8 Özdirenç	16
2.9 Mobilite	19
2.10 Hall Etkisi	20
2.11 Scottky Diyot	22
2.12 Akım – Gerilim Karakteristikleri İçin Analiz Yöntemleri.....	23
2.13 Optiksel Karakteristikleri İçin Analiz Yöntemleri.....	25
3.MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1 Bridgman Yöntemi Kristal Büyültme ve Yarıiletken Malzemelerin Sentezi	26
3.2 PVP + TlInS ₂ ve PVP + TlGaSe ₂ Solüsyonu ile İnce Film Numunelerinin Üretilmesi.....	27
3.2.1 PVP Solüsyonunun Hazırlanması	27
3.2.2 Ultrasonik Homojenizatör	27
3.2.3 TlInS ₂ ve TlGaSe ₂ Sonikasyon İşlemi	28
3.2.4 Altaş Silisyumun Kesilmesi ve Temizlenme İşlemi	29
3.2.5 Döndürme Yöntemi İle Kaplama İşlemi (Spin Coating Process).....	30
3.2.6 Elektriksel Ölçümler İçin Omik Kontak Alınması.....	31
3.3 Özdirenç ve İletkenlik Değerlerinin Hesaplanması	32
3.4 Akım – Gerilim Karakteristik (I-V) Değerlerinin Hesaplanması	35
3.5 X Işık Kırınımı (XRD) ve Ölçümlerinin Hesaplanması	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39

4.1 Malzemelerin Özdirenç Değerleri.....	39
4.2 X Işınları Kırınımı (XRD) Yöntemiyle Malzemenin Yapısal Özelliklerinin Karakteristikleri	43
4.3 Schottky Fotodiyotların Işık Altında Akım – Gerilim Karakteristikleri.....	47
4.4 Schottky Fotodiyotların Işık Altında Optiksel Karakteristikleri.....	56
5.SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
n	Taşıyıcı elektron yoğunluğu
p	Deşik yoğunluğu
n_i	Özgün taşıyıcı yoğunluğu
E_g	Bant aralığı Enerji seviyesi
E_c	İletim bandı Enerji seviyesi
E_v	Valans bandı enerji seviyesi
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_d	Verici (Donor) enerji seviyesi
E_a	Alıcı (Acceptor) enerji seviyesi
N_V	Valans bandındaki etkin yoğunluk
N_C	İletim bandındaki etkin yoğunluk
T	Sıcaklık
k	Boltzmann sabiti
ρ	Özdirenç
E	Elektrik alan şiddeti
J	Elektrik akım yoğunluğu
l	İletken uzunluğu
A	İletken kesit alanı
R	İletken direnci
N_a	Alıcı konsantrasyon
N_d	Verici konsantrasyon
μ_p	Elektron mobilitesi
μ_n	Deşik mobilitesi
B	Manyetik alan
I	Akım
p_s	Delik levha konsantrasyonu
ϕ_B	Bariyer yüksekliği
ϕ_i	Yerleşik potansiyelidir
I_0	Saturasyon akımı
A^a	Diyot alanı
A^*	Richardson sabiti
q	Elektron yükü
K	Kelvin
N	İdealite faktörü
Kısaltmalar	Açıklama
FZ	Float Zone
TlInS2	Tellür indiyum sülfat
TlGaSe2	Tellür galyum selenide
PVP	Polivinilpirolidon

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. İletkenlerin bant enerji seviyesi	5
Şekil 2.2. Yalıtkanların bant enerji seviyesi.....	5
Şekil 2.3. Sol tarafta Silisyum (Si), sağ tarafta Germanyum (Ge).....	6
Şekil 2.4. Yarıiletkenlerin enerji bant seviyesi	7
Şekil 2.5. Silisyum atom ve kristal kafesi yapısı	7
Şekil 2.6. Saf yarıiletken enerji bant seviyesi ve sırasıyla iletim bandı, fermi ve valans bandı enerji seviyeleri	9
Şekil 2.7. N tipi yarıiletken bant seviyesi ve sırasıyla fermi, verici (donor) enerji seviyeleri	10
Şekil 2.8. Arsenik (As) verici (donor) atomu ile N tipi katkılanmış Silisyum kristali.....	10
Şekil 2.9. P tipi yarıiletken bant seviyesi ve sırasıyla fermi, alıcı (acceptor) enerji seviyeleri	11
Şekil 2.10. Bor (B) alıcı (acceptor) atomu ile P tipi katkılanmış Silisyum kristali..	11
Şekil 2.11. TlGaSe ₂ 'nin kristal yapısı (In-Ga olabilir).....	13
Şekil 2.12. TlGaSe ₂ 'nin yığın yapısı (bulk)	13
Şekil 2.13. TlInS ₂ 'nin kristal yapısı	14
Şekil 2.14. TlInS ₂ 'nin yığın yapısı (bulk)	14
Şekil 2.15. PVP polimerinin moleküler yapısı.....	15
Şekil 2.16. Yığın halindeki bir malzemenin öz direnç formülü için şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.17. Düzensiz kesilmiş bir numunen için van der Pauw yöntemi ile öz direnç ölçüm örneği.....	18
Şekil 2.18. Hall etkisinin p tipi çubuk şekilli bir yarı iletkende temsili.....	21
Şekil 2.19. Bir Schottky bariyer diyotu ve uygulanan ters polarlama tükenmiş bölge.....	22
Şekil 2.20. Termal dengede Schottky enerji bant diyagramı	23
Şekil 3.1. Bridgman tekniği ile kristal büyütme ve sentezi	26
Şekil 3.2. Solüsyonların sonikasyon işlemi ve kullanılan ultrasonik cihazın görünümü	28
Şekil 3.3. Kullanılan solüsyonlar deney tüpleri içerisinde.....	29
Şekil 3.4. Silisyum wafer'ın kesilme ve temizlenme aşaması	29
Şekil 3.5. Döndürme yöntemi (Spin coating) ile kaplama işlemi aşamaları	30
Şekil 3.6. Maske yardımıyla altın Schottky diyot kontaklarının alınması	31
Şekil 3.7. Üretilen Schottky diyot yapısının şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.8. Sol tarafta Ecopia HMS-3000 sağ tarafta PCB bağlantı ve manyetik akı yoğunluğu giriş sistemi, sağ tarafta ise Filmetrics F20 cihazı	33
Şekil 3.9. İnce film kaplı cam numunelerin kesilmesi ve gümüş boya ile boyanması	33
Şekil 3.10. Sağ tarafta PCB karta tutturulmuş numune, sol tarafta ise ölçüm için devreye ve makinaya bağlantısı ve alt tarafta 0,5T değerinde bir mıknatıs	34
Şekil 3.11. Sol tarafta Fytronix FY-7000 Sourcemeter ve Solar similatör, sağ tarafta ise 100mW ışık şiddetinde I-V karakteristikleri ölçülen nokta şeklinde kontak alınmış numunenin ölçüm aşaması	35

Şekil 3.12.	Sol tarafta ölçüm aletlerinden gelen sonuçların bilgisayardaki görüntüsü, sağ tarafta ise örnek bir sonuç grafikleri.....	36
Şekil 3.13.	XRD çalışma prensibinin şematik gösterimi	37
Şekil 3.14.	Kübik kristallerde farklı Miller indekslerine sahip düzlem örnekleri	38
Şekil 3.15.	Pan-Analytical X'pert XRD cihazının tipik görünümü.....	38
Şekil 4.1.	Filmetrics F20 cihazından alınan kalınlık tayini ve 3115,5 Angstrom değeri.....	39
Şekil 4. 2.	PVP 2500rpm özdirenç değeri için örnek ölçüm sonuçları	40
Şekil 4. 3.	PVP, PVP + TlInS2 ve PVP + TlGaSe2 RPM farklılıklarına göre özdirenç değerleri (noktalar).....	41
Şekil 4. 4.	PVP, PVP + TlInS2 ve PVP + TlGaSe2 örneklerinin RPM farklılıklarına göre iletkenlik değerleri (noktalar).....	42
Şekil 4. 5.	Saf külçe TlInS2 ve TlGaSe2 örneklerinin XRD karakteristik tepe noktaları ve miller indisleri	43
Şekil 4. 6.	PVP + TlInS2 ve örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü.....	44
Şekil 4. 7.	PVP + TlGaSe2 ve örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü	45
Şekil 4. 8.	PVP, PVP + TlInS2 ve PVP + TlGaSe2 örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü ve miller indisleri	46
Şekil 4. 9.	PVP+TlInS2 ile katkılanmış numune (Siyah) ve referans olması için seçilen sadece PVP (Kırmızı) yaklaşık 0 mW ışık şiddetinde (karanlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.	47
Şekil 4. 10.	TlInS2 kaplı numuneye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4. 11.	PVP + TlInS2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.	49
Şekil 4. 12.	PVP + TlGaSe2 ile katkılanmış numune (Siyah) ve referans olması için seçilen sadece PVP (Kırmızı) yaklaşık 0 mW ışık şiddetinde (karanlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.	50
Şekil 4. 13.	TlGaSe2 kaplı numuneye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.	51
Şekil 4. 14.	PVP + TlGaSe2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.	52

Şekil 4. 15.	TlInS2 kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.....	57
Şekil 4. 16.	PVP + TlInS2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.....	57
Şekil 4. 17.	TlGaSe2 kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.....	58
Şekil 4. 18.	PVP + TlGaSe2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Elektronikte kullanılan bazı yarıiletkenlerin kullanım alanları	6
Çizelge 4. 1.	TlInS ₂ ile karşılaştırmak için katkılanacak saf PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri	53
Çizelge 4. 2.	TlInS ₂ ile katkılanmış PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri	53
Çizelge 4. 3.	TlGaSe ₂ ile karşılaştırmak için katkılanacak saf PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri	54
Çizelge 4. 4.	TlGaSe ₂ ile katkılanmış PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri	54
Çizelge 4. 5.	Numunelerin farklı ışık şiddetleri altındaki lineer bölgedeki ln I – V grafiğinden alınmış denklemleri	55
Çizelge 4. 6.	Numunelerin farklı ışık şiddetleri altındaki lineer bölgedeki ln I – V grafiğinden alınan x değerlerinin aralığı.....	55
Çizelge 4. 7.	TlInS ₂ kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I _{sc} -t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri	59
Çizelge 4. 8.	PVP + TlInS ₂ kaplı numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I _{sc} -t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri	59
Çizelge 4. 9.	TlGaSe ₂ kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I _{sc} -t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri.....	60
Çizelge 4. 10.	PVP + TlGaSe ₂ kaplı numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I _{sc} -t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri	60

1. GİRİŞ

Bu tezin konusu iki boyutlu yarıiletkenlerde farklı ince film kaplamaları yapılarak karakterizasyon ölçümlerinin incelenmesidir. Bu konunun önemi yarıiletkenlerde farklı deneyler yapılarak literatüre yeni bilgi katma gerçeğinde yatmaktadır. Bu çalışmanın amacı diğer mikro aygıtlardan daha verimli veya başka bir işe yarayan yarıiletken aygıt üretmektir. Bu araştırma mikro aygıtların uygulama alanlarına, yarıiletkenlerin karakteristiklerinin karşılaştırılmasına ve mevcut bilgi birikimine katkıda bulunacaktır. Bu çalışmada kullanılan metodoloji araştırma ve deneysel olacaktır.

Kalkojenit yarı iletken grubuna giren ve yüksek oranda anizotropik kristalleri TlInS₂ ve TlGaSe₂ son zamanlarda kapsamlı araştırma konusu olmuştur. Yapılan bir araştırmada 0.35 mm kalınlığındaki TlInS₂ katmanlı tek kristalin optik ve fotoelektrik özellikleri incelenerek, kırılma indeksinin soğurma (absorb) bölgesinde anormal bir dağılım ve iletim (transparent) bölgede ise normal bir dağılım gösterdiğini söylemektedir. Soğurma bölgesindeki anormallik, malzemenin optik özelliklerinde bir bozulmaya veya dalga boyuna bağlı olarak daha yüksek bir soğurma oranına işaret edebilir. (El-Nahass ve ark. 2007)

TlInS₂ ve TlGaSe₂ yarıiletkenlerinin, optoelektronik cihazlarda kullanılabilirliği nedeniyle ilgi çekmiştir. Güneş pilleri, fotodetektörler, lazer diyotları ve optik sensörler gibi alanlarda kullanım potansiyeli vardır. Yapılan başka bir araştırmada ise TlInS₂, TlGaS₂ ve TlGaSe₂ tek kristalli yapıları doğrudan sentezi (direct synthesis) yöntemi ile büyütülerek elektrik iletkenlikleri, tabaka düzlemlerine dik ve paralel olarak sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi ve oldukça anizotropik olduğu kanıtlandı. Foton enerjileri üzerindeki absorpsiyon katsayıları için elde edilen işlevsel bağımlılıktan, kristallerin ayrıca enerji aralığı boyunca dolaylı iletim gösterdiği sonucuna varılabildiğini gösterdi. (M. P. Haniaş ve ark., 1992)

Sonuç olarak katılan TlInS₂ ve TlGaSe₂ ışığa duyarlı yarı iletken malzemelerdir ve ışığa duyarlı yarıiletken malzemeler, optoelektronik cihazların temel yapı taşlarıdır ve birçok önemli uygulamada kullanılırlar. (Algılama ve sensörler, optik iletişim, aydınlatma, güneş enerjisi)

Gelişen teknoloji ile birlikte TlInS₂ ve TlGaSe₂ iki boyutlu yarı iletkenleri transistörler ve entegre devreler gibi yüksek performanslı ve enerji verimli elektronik bileşenlerin geliştirilmesinde kullanılabilir, ayrıca optik ve elektronik özelliklerinin birleşimi nedeniyle optoelektronik cihazlarda potansiyel olarak kullanılabilir. Fotodiyotlar, fototransistörler, lazerler ve optik sensörler gibi cihazlar için ışığa duyarlı bileşenler olarak kullanılabilir. Güneş hücreleri veya fotovoltaj cihazlar için potansiyel bir malzeme olarak araştırılmaktadır. Işığı emerek elektrik enerjisine dönüştürebilme özelliği, güneş enerjisi toplama ve kullanım verimliliğini artırma potansiyeline sahip olabilir. Ek olarak, termoelektrik özellikleri araştırılmaktadır. Termoelektrik malzemeler, sıcaklık farklılıklarını elektrik enerjisine dönüştürebilen cihazlar için kullanılır. Bu yarı iletken malzemelerin termoelektrik özelliklerinin anlaşılması, termoelektrik verimlilikte gelişmeler sağlayabilir, TlGaSe₂ ve TlInS₂ yarı iletken malzemeleri, spintronik cihazlarında kullanılmak üzere araştırılmaktadır, elektronların spin özelliklerini kullanarak bilgi depolama ve işleme için alternatif bir teknolojidir.

Tez çalışması kapsamında PVP polimeri kullanılarak enkapsüle edilen ve farklı sonikasyon sürelerine maruz bırakılmış TlGaSe ve TlInS₂ iki boyutlu yarıiletkenler ince film olarak farklı RPM değerlerinde döndürülerek kaplama metodu tercih edilmiştir. Elde edilen numunelerin yapısal karakteristiklerinin tespiti için X ışını kırınımı (XRD) cihazıyla analiz yapılmıştır. Akım – gerilim ölçümlerini almak için Schottky diyot kontakları noktasal maske yardımı ile fiziksel buharlaştırma yöntemiyle iletkenlik değerinin fazla olması nedeniyle altın metali (Au) kullanılarak alınmıştır. Karanlık ve farklı ışık şiddeti altında aydınlık ortamlarda alınan akım – gerilim eğrilerinden termiyonik emisyon teorisi temel alınarak idealite, saturasyon akımı, bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı gibi parametreler hesaplanmıştır. Farklı ışık şiddetlerinde belirli zaman aralıklarında ışık on-off olacak şekilde kısa devre akımı ve zaman grafikleri kullanılarak yükselme süresi, düşme süresi, fotocevap, dış kuantum verimi ve alıcılık parametreleri hesaplanmıştır. Özdirenç değerleri için 1cm*1cm boyutlarında temiz cam yüzeyine (laboratuvar deney camı) ince film kaplayarak hall etkisi ile ölçümleri alınmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde yarı iletkenler ve temel özelliklerini, katkılanan iki boyutlu yarı iletken ve polimer malzemelerinin özelliklerini, Schottky fotodiyotların özellikleri, özdirenç, akım-gerilim grafiklerinden elde edilen elektriksel ve optik karakteristik hesaplamaları üzerine teorik bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise hazırlanan numunelerin solüsyon hazırlık aşaması, Silisyum alt taşıma ince film kaplanması, uygun kontak alımı, özdirenç ölçümleri, elektriksel ve optik karakteristikleri hakkında deneysel prosedürler ve analiz yöntemleri hakkında açıklama yapılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan özdirenç, XRD, elektriksel ve optik karakterizasyon sonuçları verilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise bu sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır.

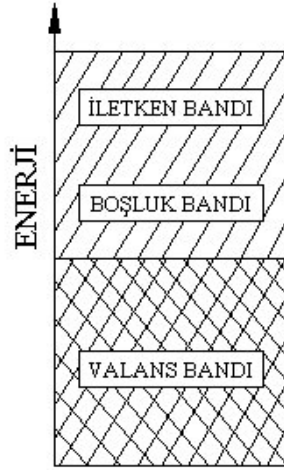
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Malzemelerin Elektriksel Özellikleri

Yeryüzünde bütün maddeler atomlardan oluşur, atomlar ise çekirdekten ve etrafında değişik yörüngelerde dolaşan elektronlardan oluşur. Atomun çekirdeği pozitif yüklü olan protonlardan ve nötr yüklü nötronlardan oluşur, elektronlar ise negatif elektrik yüküne sahiptirler. Değişik etkiye yolları ile atomlardan ayrılan elektronlar bir devre içerisinde ki belli bir yöndeki hareketleri elektrik akımlarını oluşturur. Elektronların her madde içerisindeki hareketlerine göre iletken, yalıtkan ve yarıiletken olmak üzere üç farklı kısma ayrılırlar. Maddelerin iletkenliğini belirleyen en önemli etken, atomların son yörüngesindeki elektron sayısıdır ve bu son yörüngeye valans yörüngesi denir ve üzerinde bulunan elektronlara da valans elektron adı verilir. Yörüngedeki elektronlar hareket halinde olması nedeniyle elektronlar belirli bir enerjiye sahiptir, valans elektronlarının da belirli bir enerji seviyesi vardır ve buna valans bandı enerjisi denir. Valans elektronunun enerjisinin üzerine dışarıdan bir enerji verildiğinde elektronu atomundan kopartır ve valans elektronunun serbest hale geçmesi o maddenin iletkenlik kazanması olarak nitelendirilebilir.

2.1.1 İletkenler

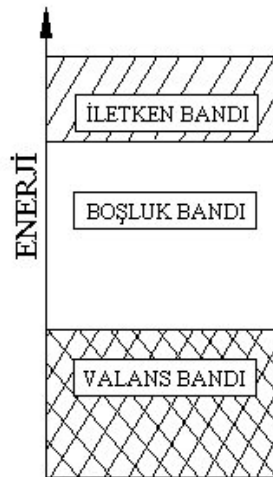
İletken malzemelerin atomlarının dış yörüngesindeki elektronların sayısı 1,2 veya 3 adet olup atoma zayıf olarak bağlıdır ve ısı, ışık ve elektriksel etki altında kolaylıkla atomlarından kopma eğilimi gösterirler. Bu nedenle elektrik akımını kolaylıkla iletir. İletken maddeler de iyi iletken ve kötü iletken olarak gruplara ayrılır. Altın, gümüş, bakır gibi valans elektron sayısı 1 olan atomlar (örnek olarak metaller) iyi iletkenlerdir. Bakır elementi, altın ve gümüş oranla biraz daha kötü iletken olmasına rağmen ucuz olması ve bol bulunması nedeniyle daha çok tercih edilir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi iletkenlerde verilen küçük bir enerji ile valans elektronları kolaylıkla serbest hale geçer.



Şekil 2.1. İletkenlerin bant enerji seviyesi

2.1.2 Yalıtkanlar

İletkenlerin tam tersine yalıtkan malzemeler elektrik akımını iletemeyen maddelere denir. Son yörüngedeki elektron sayıları 5,6 veya 7 olan elementler kısmi olarak yalıtkan sayılabilirler. Ayrıca bu yörüngeler elektronlarca doymuş olduğu için elektron alıp veremezler, bu sebeple elektriği iletemezler. Bu maddeler iletkenlerin yanında yalıtımda kullanılabilir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi oldukça geniş bir boşluk bandı bulunduğundan elektronların valans bandından iletkenlik bandına geçebilmesi için oldukça büyük bir enerji verilmesi gerekiyor.



Şekil 2.2. Yalıtkanların bant enerji seviyesi

2.1.3 Yarıiletkenler

İletkenlerin ve yalıtkanların bazı özelliklerini taşıyan maddelerdir. Üzerinde dışarıdan bir etki olmadıkça yalıtkan gibi davranır. Doğada en çok bulunan yarıiletken elementlere Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) örnek olarak verilebilir. Ayrıca Galyum-Arsenit (GaAs), İndiyum-Fosfor (InP) gibi bileşik şeklinde yapıları da mevcuttur. Aşağıdaki Çizelge 2.1’de bu yarıiletkenlerin bazı kullanım alanları gösterilmiştir.

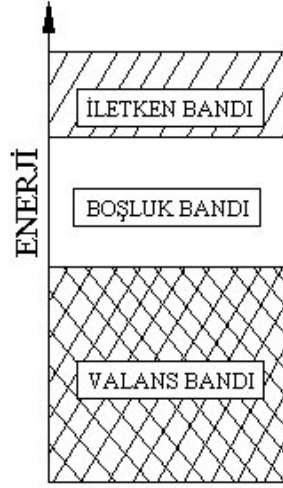
Çizelge 2.1. Elektronikte kullanılan bazı yarıiletkenlerin kullanım alanları

ADI	KULLANILMA YERİ
Germanyum (Ge) (Basit eleman)	Diyot, transistör, entegre, devre
Silikon (Si) (Basit eleman)	Diyot, transistör, entegre, devre
Galliyum Arsenid (Ga As) (Bileşik eleman)	Tünel diyot, laser, fotodiyot, LED
İndiyum Fosfor (In P) (Bileşik eleman)	Diyot, transistör

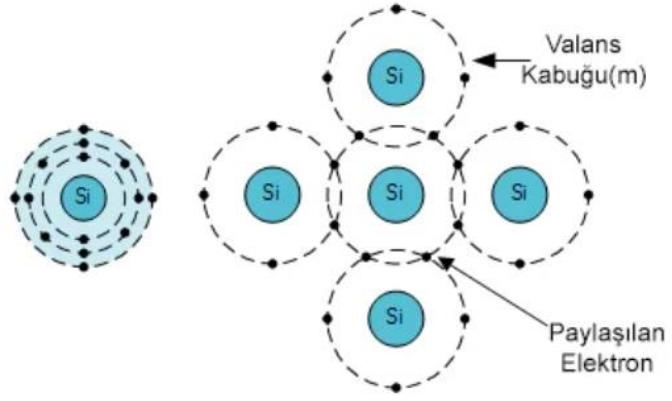
Silisyum ve Germanyum elementlerinin son yörüngelerinde, valans bantlarında, 4 elektron bulunmaktadır. Katkılama (doping) yapmaya meyilli malzemelerdir. Enerji bant seviyesinde boşluk bandı yalıtkanlardan daha küçüktür ve belli bir enerjide valans bandından iletkenlik bandına elektronlar kolaylıkla geçebilir. Yarıiletkenler kristal yapıya sahiptir ve atomları kübik kafes veya kristal kafes adı verilen modelde birbirine yakın bir şekilde gruplanmıştır.



Şekil 2.3. Sol tarafta Silisyum (Si), sağ tarafta Germanyum (Ge)



Şekil 2.4. Yarıiletkenlerin enerji bant seviyesi



Şekil 2.5. Silisyum atom ve kristal kafesi yapısı

2.2 Yarıiletkenlerde taşıyıcı yük yoğunluğu

Elektron yük yoğunluğu,iletim bandında birim hacim başına sahip olunan elektron sayısıdır. Küçük p harfi ile gösterilir. Deşik yoğunluğu için ise valans bandında birim hacim başına deşik sayısıdır. Küçük n harfi ile gösterilir. Özgün bir yarıiletkende elektron yoğunluğunu bulmak için iletim bandının en altından en üstüne kadar banttaki farklı enerjilerin toplamı alınır. Aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir. (Sze 2012.)

$$n = \int_{E_c}^{E_{top}} n(E)dE = \int_{E_c}^{E_{top}} N(E)F(E)dE \quad (2.1)$$

Bu denklemde n(E) elektron yoğunlunun enerjisi, N(E) her durumdaki enerji yoğunluğu (the product of density of states) ve F(E), bu enerji aralığını işgal etme olasılığı ile çarpılması olarak elde edilebilir. Hesaplamayı basitleştirmek için Maxwell-Boltzmann dağılımı kullanılırsa:

$$F(E) = \frac{1}{1+e^{\frac{E-E_F}{k_B T}}} \approx e^{-\frac{E-E_F}{k_B T}} \quad (2.2)$$

N(E) denklemini tanımlamak için ise 3 boyutlu durumların yoğunluğu sistemlerini kullanılır. Sonuç olarak bu denklem elde edilir.

$$N(E) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{2m_n}{E} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{E^{\frac{1}{2}}} \quad (2.3)$$

Denkemlerin ayrıntılı integralinden sonra ifade şu şekilde sadeleştirilebilir

$$N_c = 12(2\pi m_n kT/h^2)^{\frac{3}{2}} \quad (2.4)$$

$$n = N_c e^{\frac{E_c-E_F}{kT}} \quad (2.5)$$

Benzer bir şekilde özgün bir yarıiletkende deşik yoğunluğunu bulmak için valans bandının en altından en üstüne kadar banttaki farklı enerjilerin toplamı alınır. Yularıdaki denklemler p için de uygulanırsa aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

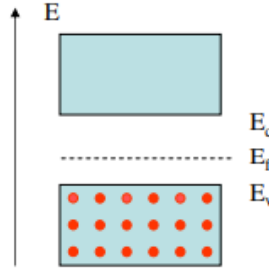
$$p = N_v e^{\frac{E_F-E_V}{kT}} \quad (2.6)$$

2.3 Saf (Özgün) Yarıiletkenler

Doğada saf olarak bulunan yarıiletkenlerdir veya işlem yapılmamış, katkılanmamış yarıiletkenlerdir. Bu yarıiletkenlerde taşıyıcı elektron yoğunluğu deşik yoğunluğuna eşittir. Aşağıdaki denlemlerde saf yarıiletkenler özgün taşıyıcı yoğunluğunu ve taşıyıcı elektron yoğunluğunun eşitlikleri verilmiştir.

$$n_i^2 = n \cdot p \quad (2.7)$$

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \rightarrow n_i \propto e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (2.8)$$



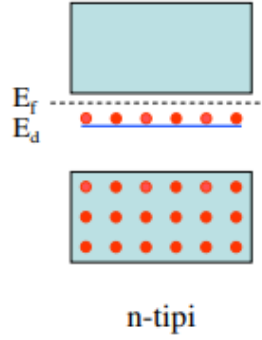
Şekil 2.6. Saf yarıiletken enerji bant seviyesi ve sırasıyla iletim bandı, fermi ve valans bandı enerji seviyeleri

2.4 Katkılı Yarıiletkenler

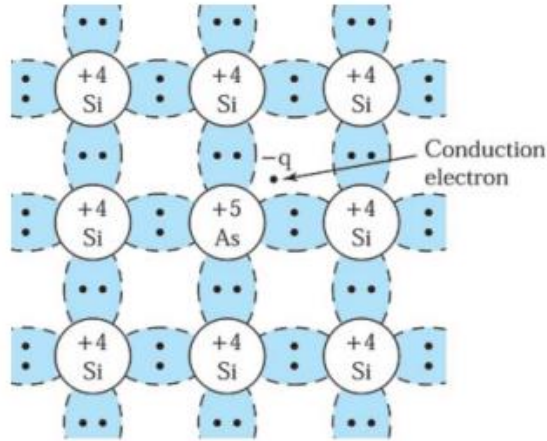
Katkılama işlemi kristal yarıiletken içerisindeki yük taşıyıcılarının veya deşik sayılarını değiştirmek için yapılır. Katkılama (Doping) işlemi yapılmış bir kristalde, eğer serbest deşikler çoğunluktaysa P-Tipi yarıiletken olarak adlandırılırken, tam tersine serbest elektronlar çoğunluktaysa N-Tipi yarıiletken olarak adlandırılır. Saf silisyum yarıiletkenine 5A grubundan Fosfor (P) elementi katkılандığında taşıyıcı elektron yoğunluğu arttığı için N-Tipi katkılanmış yarıiletken elde edilir. Aynı şekilde 3A grubundan Bor (B) elementi katkılандığında deşik yoğunluğu arttığı için P-Tipi katkılanmış yarıiletken elde edilir.

2.4.1 N-Tipi Yarıiletkenler

Verici (Donor) tipi atomların kullanılması ile N tipi yarıiletken oluşturmak mümkündür. Örnek olarak 5A grubundaki Arsenik (As) atomu kristale fazladan 1 adet elektron verir ve bundan dolayı kristallerde fazlalık yük yoğunluğu oluşmuş olur. Fazlalık elektronlar nedeniyle fermi bandı enerji seviyesi eski konumundan iletkenlik bandına doğru kayar.



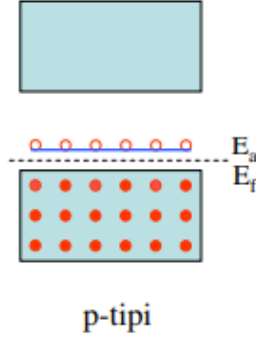
Şekil 2.7. N tipi yarıiletken bant seviyesi ve sırasıyla fermi, verici (donor) enerji seviyeleri



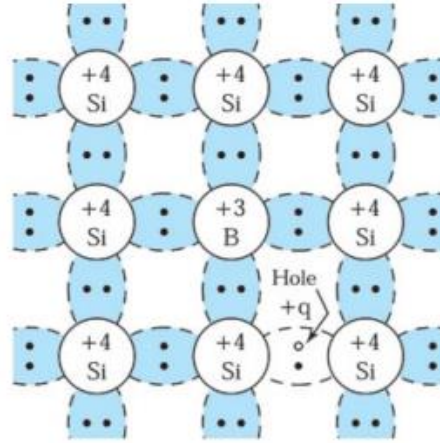
Şekil 2.8. Arsenik (As) verici (donor) atomu ile N tipi katkılanmış Silisyum kristali

2.4.2 P-Tipi Yarıiletkenler

Alıcı (Acceptor) tipi atomların kullanılması ile P tipi yarıiletken oluşturmak mümkündür. Örnek olarak 3A grubundaki Bor (B) atomu kristale fazladan 1 adet deşik bulunur ve bundan dolayı kristallerde fazlalık deşik (hole) yoğunluğu oluşmuş olur. Fazlalık deşik nedeniyle fermi bandı enerji seviyesi eski konumundan valans bandına doğru kayar.



Şekil 2.9. P tipi yarıiletken bant seviyesi ve sırasıyla fermi, alıcı (acceptor) enerji seviyeleri



Şekil 2.10. Bor (B) alıcı (acceptor) atomu ile P tipi katkılanmış Silisyum kristali

2.5 İki Boyutlu Yarıiletkenler

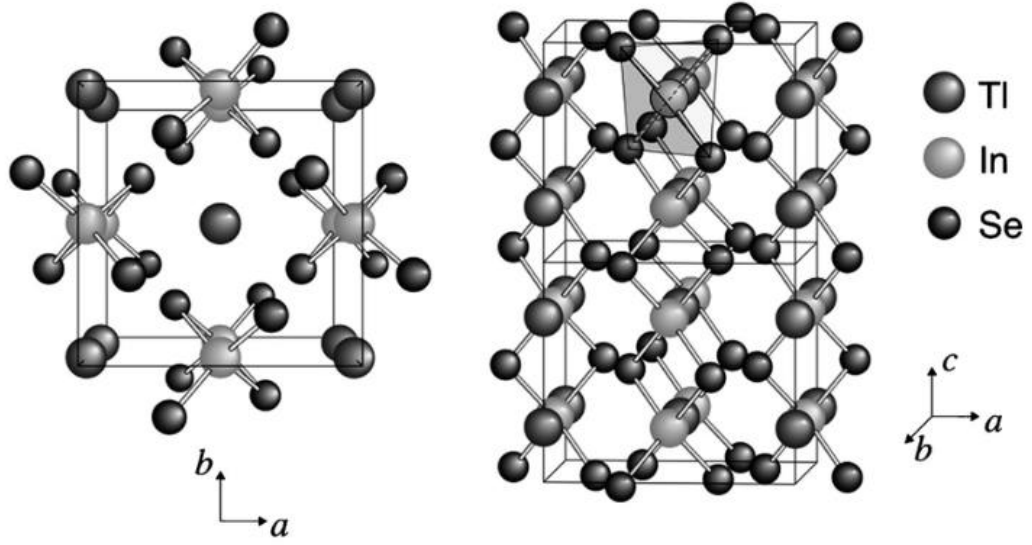
Son yıllarda 2 boyutlu sistemlerdeki elektronik devrelerdeki özellikleri hem kuantum alanında hem de optiksel ve elektriksel alanlarda öne çıkıyor. İki boyutlu limitlerde bağlanma enerjisinin üç boyutlulara göre daha büyük olduğu bilinmektedir. İki boyutlu malzemeler manyetizma alanında da iyi çalışılmıştır.

2 boyutlu sistemler optik özelliklerin en belirgin özelliği eksitonun kararlılığıdır. Eksiton, Coulomb etkileşmesinden dolayı elektron ve deşiklerin birbirine bağlı olma durumudur. Elektriksel olarak nötrdür fakat kristal içerisinde dolaşarak enerji iletebilir, ancak yüksüz olduğu için yük iletemez. Örnek olarak güneş pili çalışma prensibine göre eksitonun ışığı (fotonları) soğurması ile ayrışması gerekir. Eksiton enerji seviyeleri çok küçük olduğu için oda sıcaklığında deneysel olarak gözlenemez. (İshihara ve ark. 1989) Ayrıca FET'lerin yarı iletken bileşeni olarak uygulamaya yönelik 2B malzeme yelpazesi, grafen, altıgen boron nitrid (h-BN), geçiş metali dikalkojenitler (TMD'ler), silisen ve fosforen gibi. Gelecekte bu tür atomik olarak ince 2B malzemelerin elektronik cihazlar için bir yol gösterici olabileceğini düşündürmektedir. (Manish Chhowalla ve ark. 2016)

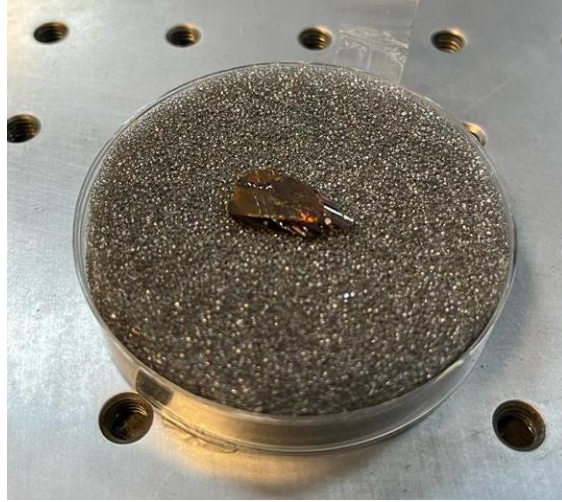
2.6 TlInS₂ ve TlGaSe₂ İki Boyutlu Yarıiletkenlerinin Özellikleri

Kimyasal formülleri TlBX₂ olan TlInS₂ ve TlGaSe₂ yarıiletkenleri talyum kalkojenit ailesine aittir. (B= In veya Ga olabilirken X=S, Se veya Te olabilir). TlInS₂ katmanlı yapıya sahipken TlGaSe₂ zincir yapıya sahiptir.

Düşük boyutlu kalkojenitler, karmaşık bir kimyasal bağın "ufalanabilir" kristal kafesi ile karakterize edilir. Yapısal anizotropi kafes ve elektronik özellikleri etkiler. TlGaSe₂ üç atomlu zincir kristalidir ve In dörtgen bir yerde, Tl ise oktahedral bir yerdedir. In ve Se atomları, [001] ekseninde boyunca kovalent zincirler oluşturur. Bu zincirler, oktahedral olarak koordine edilmiş Tl atomları aracılığıyla daha zayıf iyonik bağlarla bir arada tutulur. (J. Grigas ve ark. 2007) . Ayrıca örnek bir makalede $0.4 \times 0.5 \times 2.0 \text{ cm}^{-3}$ boyutlarında TlGaSe₂ bileşiğinin erime noktası 767 °C, yoğunluğu ise 6.35 g/cm^3 'tür. Safsızlık konsantrasyonu $N_D = 6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ iken enerji seviyesi 0.9 eV – 1.1 eV aralığında değişmektedir.

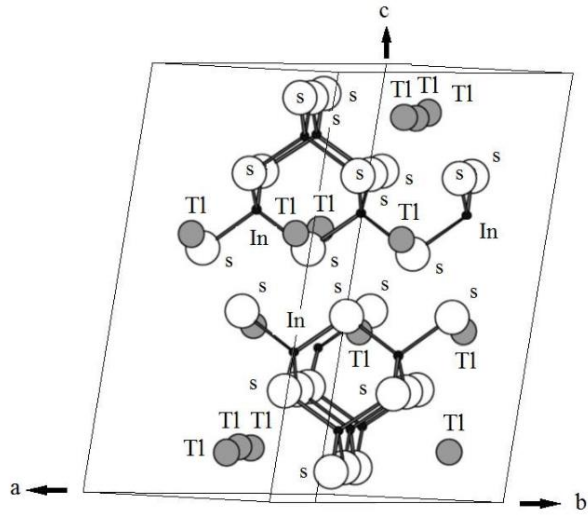


Şekil 2.11. TlGaSe₂'nin kristal yapısı (In-Ga olabilir)



Şekil 2.12. TlGaSe₂'nin yığın yapısı (bulk)

TlInS₂ ise katmanlı bir yapıdadır ve kafesi, (0 0 1) düzlemine paralel değişen iki boyutlu katmanlardan oluşur ve birbirini izleyen her katman bir önceki katmana göre dik açıyla döndürülür. Bir katmanın temel yapısal birimi, S atomları arasında köprü kurarak birbirine bağlanan dört temel InS₄ tetrahedranın bir kombinasyonunu temsil eden In₄S₁₀ polihedronudur. (El-Nahass ve ark. 2007) Ayrıca örnek bir makalede $0.3 \times 0.6 \times 1.5 \text{ cm}^{-3}$ boyutlarında TlInS₂ bileşiğinin erime noktası $777 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, yoğunluğu ise 4.95 g/cm^3 iken enerji seviyeside 1 eV – 1.12 eV aralığında değişmektedir. (Guseinov ve ark. 1967)



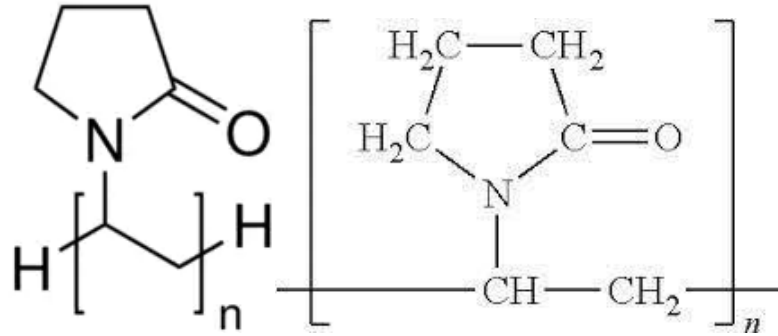
Şekil 2.13. TlInS₂'nin kristal yapısı



Şekil 2.14. TlInS₂'nin yığın yapısı (bulk)

2.7 PVP Malzemesinin Özellikleri

Povidon veya kısaca PVP olarak da adlandırılan polivinilpirolidon, Reppe tarafından keşfedilmiş asetilen kimyasının ürünlerinden biridir. PVP, nanopartikül sentezinde yaygın olarak kullanılan $C = O$, $C - N$ ve CH_2 fonksiyonel gruplara sahip, hacimli, toksik olmayan ve iyonik olmayan bir polimerdir. PVP molekülü, güçlü bir hidrofilik bileşen olan pirolidon halkası içerir ve halka içindeki yüksek oranda polar amid grubu ve halkadaki backbone boyunca apolar metilen ve methine gruplarının bir sonucu olarak, su ve birçok susuz sıvı PVP için mükemmel çözücülerdir. Bu deneysel çalışmada çözücü olarak etil alkol (etanol) kullanılmıştır. (F. Haaf ve ark. 1984)



Şekil 2.15. PVP polimerinin moleküler yapısı

PVP, belirli sentetik koşullara ve malzeme sistemine bağlı olarak bir yüzey stabilizatörü, büyüme düzenleyici, nanopartikül dağıtıcı ve indirgeyici birim olabilir. PVP birbirleriyle etkileşime giren hidrofobik karbon zincirlerinden kaynaklanan itici kuvvetler yoluyla nanopartiküllerin toplanmasını önleyen harika bir dengeleyicidir (sterik engel etkisi). Bazı durumlarda ise elde edilen parçacıklar arası mesafeler o kadar uzundur ki, PVP bir "dağıtıcı" olarak yardımcı görev üstlenebilir. Ayrıca PVP'nin uzun olması nedeniyle nanopartiküllerin stabilizasyonunda da önemli bir rolü vardır. PVP genellikle belirli kristal yüzlerin büyümesini teşvik ederken bazılarını da engelleyen bir şekil kontrol maddesi olabilir. PVP, geniş bir pH değerleri aralığında inert fizikokimyasal özelliklere sahip, oldukça kararlı bir polimerdir. PVP tek başına havada yaklaşık 400 °C'de bozulur ve farklı moleküler ağırlıklarda mevcuttur ve sulu çözeltideki viskozite, ayrışma sıcaklığı ve redoks potansiyeli gibi parametreler bu özelliğe bağlıdır. (Kallum M. Koczkur ve ark. 2015)

2.8 Özdirenç

Bir malzemenin elektrik akımına karşı direncin ölçüsüne özdirenç denir. Bir malzeme boyunca birim uzunluk ve kesit alana sahip elektriksel potansiyel farkının içinden akan akıma oranı olarak tanımlanır ve tipik olarak ohm-metre ($\Omega \cdot m$) birimleriyle ölçülür.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (2.9)$$

Formül 2.9 da ρ özdireni, E elektrik alan şiddetini, J ise elektriksel akım yoğunluğunu ifade etmektedir.

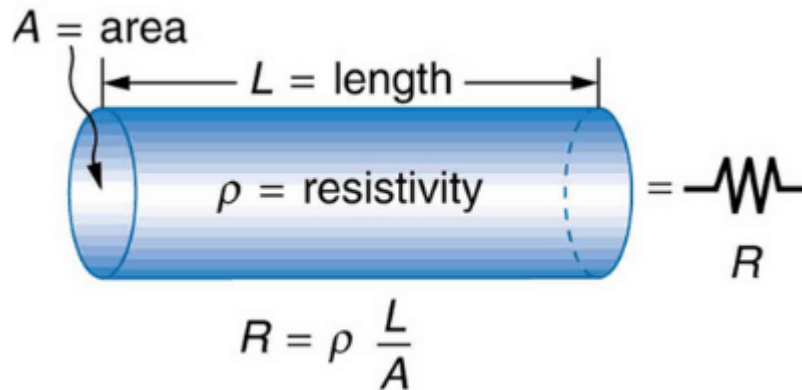
$$E = \frac{V}{\ell} \quad (2.10)$$

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki formüllerde ise V iletkenin iki ucu arasındaki gerilim farkını, I akım şiddetini, A iletkenin kesit alanını, ℓ ise iletkenin uzunluğudur. Formül 2.9'a 2.10 ve 2.11 uygulanırsa 2.9'daki özdirenç formülünün son hali şu şekilde olur:

$$\rho = \frac{V/\ell}{I/A} = R \cdot \frac{A}{\ell} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki 2.12 formülünde ise V/I' dan gelen R ise direnci temsil etmektedir. Özdirenç, malzemelerin geometrik ölçülerinden bağımsız bir büyüklük olup, malzemenin yapıldığı madde özellikleriyle ilgilidir. (Panagiotis Tsourlos 1995)



Şekil 2.16. Yığın halindeki bir malzemenin özdirenç formülü için şematik gösterimi

2 boyutlu yarıiletkenlerde ise özdirenç, malzeme düzleminde elektrik akımı akışına karşı direnci ifade eder. Bir 2 boyutlu yarıiletkenin özdirenci malzemenin türü, kalınlığı ve kusurlarının veya safsızlıkların varlıkları gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir.

Transistörler, sensörler ve güneş pilleri gibi elektronik uygulamalarda, yüksek hareketlilik ve yük taşıyıcılarının güçlü bir şekilde sınırlandırılması gibi benzersiz özelliklerinden dolayı 2 boyutlu yarı iletkenlerde özdirenç analizi önemli bir etkindir.

Öziletkenlik ise özdirenç tanımının tam zıttı olup maddenin elektrik akımına karşı oluşturduğu iletkenlik derecesidir. Özdirencin çarpmaya göre tersi olup birimi Siemens/metre (S/m) olup sigma (σ) ile ifade edilir.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.13)$$

Özdirenç sıcaklık etkisi ile değişkenlik gösterebilir. Sıcaklık ve özdirenç arasındaki ilişki, sıcaklık özdirenç katsayısı ile doğrudan alakalıdır. Sıcaklık özdirenç katsayısı pozitif veya negatif olabilir ve işareti malzemenin tipine bağlıdır. Örneğin metallerde sıcaklık özdirenç katsayısı genellikle pozitiftir, yani sıcaklık arttıkça malzemenin özdirenci artar. Öte yandan yarı iletkenlerde ise genellikle negatiftir, yani sıcaklık arttıkça malzemenin özdirenci azalır.

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (2.14)$$

Yukarıdaki formülde ρ_0 belli bir ısıda malzemenin özdirencidir (genellikle 20 santigrat derece, oda sıcaklığına yakın bir değer seçilir), ΔT sıcaklık farkını, α ise yukarıda bahsedilen malzemenin sıcaklık özdirenç katsayısıdır. Sıcaklığın özdirenç üzerindeki etkisinin anlaşılması, elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımını, elektronik cihazlar ve termal yönetim gibi birçok uygulamada önemlidir.

Yarıiletkenlerde ise özdirenç hesabı yapabilmek için (2.5) ve (2.6) denklemlerinden yardım alınarak

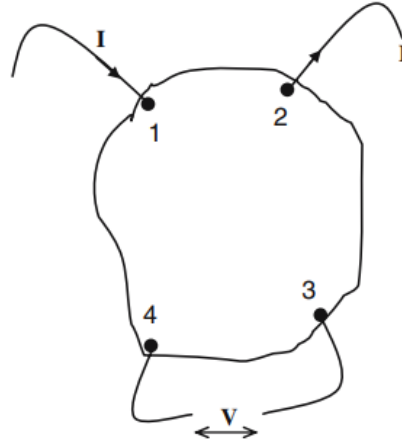
$$\rho = \frac{1}{e(p\mu_p + n\mu_n)} \quad (2.15)$$

denklemini kullanılabilir. Burada μ_p eletron mobilitesi ve μ_n ise deşik mobilitesidir. (Mao-Hua Du ve ark. 2012)

Yaygın olarak Van der Pauw temel teknikleri kullanılarak ölçümler alınır. Van der Pauw tekniği, ince bir filmin veya disk veya halka gibi karmaşık bir şekle sahip numunenin elektriksel öz direncini ve Hall katsayısını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. 1958 yılında L. J. Van der Pauw tarafından geliştirilmiştir. Van der Pauw tekniğinin temel prensibi, bir numunenin yüzeyindeki dört noktada akım ve gerilimi ölçmek ve bu ölçümleri numunenin direncini ve Hall katsayısını hesaplamak için kullanmaktır.

Dört noktalı ölçüm, numuneye iki zıt noktada bir akım uygulanarak ve diğer iki zıt noktada voltajın ölçülmesiyle yapılır. Akım yönü tersine çevrilerek her yön için ikişer adet olmak üzere toplam dört ölçüm yapılır. Bu ölçümler daha sonra numunenin direncini ve Hall katsayısını hesaplamak için kullanılır.

Van der Pauw tekniği, ince filmlerin ve diğer tekniklerle mümkün olmayan karmaşık şekillere sahip numunelerin öz direnç ve Hall katsayısının ölçülmesine izin verdiği için yarı iletken araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.17. Düzensiz kesilmiş bir numunen için van der Pauw yöntemi ile öz direnç ölçüm örneği

t kalınlığındaki tekdüze bir numunenin öz direnci şu şekilde verilir:

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \cdot \frac{(R_A + R_B)}{2} \cdot f \quad (2.16)$$

Burada R_A ve R_B bitişik iki kontakta akım verilerek ve kalan iki kontaktaki voltaj düşümünü ölçerek belirlenen direnç değerleridir. f fonksiyonu ise R_f oranının düzeltme faktörüdür.

$$R_A = \frac{V_3 - V_4}{I_{1,2}}, \quad R_B = \frac{V_4 - V_1}{I_{2,3}}, \quad R_f = \frac{R_A}{R_B}, \quad (2.17)$$

Simetrik geometrik numunelerde ise $R_A = R_B$ ve $R_f = 1 = f$ olduğundan (2.16) daki denklem sadeleşir

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \cdot R_A = 4.532 \cdot t \cdot R_A \quad (2.18)$$

Van der Pauw tekniğinin dört noktalı prob tekniğine göre en büyük avantajı, test yapısı için daha küçük bir alan kullanmasıdır. (F.Pascal ve ark. 2002)

2.9 Mobilite

Aslında mobilite bir parçacığın santimetre başına bir voltluk bir elektrik alanında saniyede santimetre cinsinden sürüklenme hızı olarak ifade edilir. Birimi ise $cm^2/volt \cdot sec$ 'tir. Elektron hareketliliği (mobilitesi) ve delik hareketliliği (mobilitesi), sırasıyla elektronların ve deliklerin uygulanan bir elektrik alanının etkisi altında malzeme içinde hareket etme kolaylığını açıklayan yarı iletken bir malzemenin özelliğidir denilebilir. Elektronların ve deliklerin hareketliliği, transistörler ve güneş pilleri gibi yarı iletken cihazların performansını belirlemede önemli bir faktördür. Tipik olarak, elektronların hareketliliği yarı iletken bir malzemedeki deliklerinkinden daha yüksektir.

Fazla elektronların hareketinden kaynaklanan iletkenlik, hareket etmekte serbest olan elektronların birim hacim başına toplam yükü ile hareketliliğin çarpımına eşittir. Toplam yük, elektronların yoğunluğu ve elektronik yükün (e) (1.60×10^{-19} coulomb) çarpımına eşittir. (W. Shockley 1950).

$$\sigma = e \cdot (n\mu_n + p\mu_p) \quad (2.19)$$

2.10 Hall Etkisi

Hall etkisi, akıma dik olarak uygulanan bir manyetik alanın varlığında, bir iletkendeki elektrik akımına dik olarak bir voltaj farkının üretildiği olgudur. İlk olarak 1879'da Amerikalı fizikçi Edwin Hall tarafından keşfedildi. İnce bir metal şeritte akım iletimi üzerine bir deney sırasında keşfedildi. Daha sonra, iletkene dik olarak bir manyetik alan uygulandığında enine küçük bir voltaj üretildi. Bu Hall fenomeninin temel prensibi, enine bir manyetik alanın varlığının neden olduğu Lorentz kuvveti nedeniyle bazı taşıyıcıların akım çizgisinden sapmasıdır. Sonuç olarak, akım akışına çapraz olarak bir voltaj düşüşü V_H indüklenir. Ayrıca Haşş voltajı şu şekilde de verilebilir:

$$V_H = V_y = E_y W = \frac{BI}{qV_H} \quad (2.20)$$

Manyetik alan B ve akım I biliniyorsa, o zaman Hall voltajının ölçümü delik levhası konsantrasyonunu p_s verir.

$$p_s = p_t = \frac{BI}{qV_H} \quad (2.21)$$

İletken tabaka kalınlığı t biliniyorsa, malzemedeki delik konsantrasyonu belirlenebilir ve şu şekilde tanımlanan Hall katsayısı R_H 'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir:

$$R_H = \frac{tV_H}{BI} \quad (2.22)$$

$$p = \frac{1}{qR_H} \quad (2.23)$$

Aynı yaklaşımı n-tipi homojen bir yarı iletken malzeme için kullanmak istersek

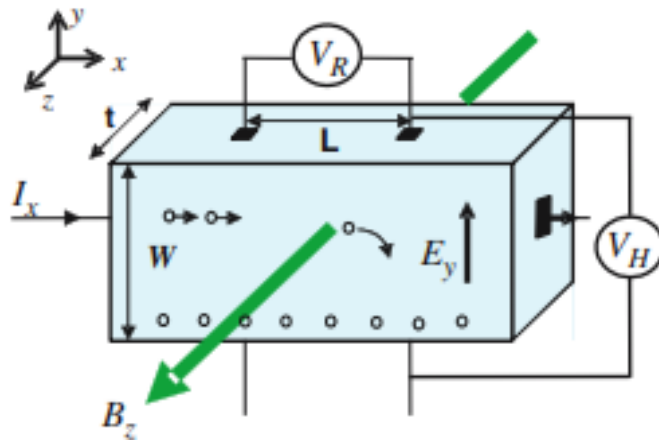
$$R_H = -\frac{tV_H}{BI} \quad (2.24)$$

$$p = -\frac{1}{qR_H} \quad (2.25)$$

Malzemenin özdirenci biliniyorsa veya sıfır manyetik alanda bir Hall bar veya van der Pauw yapı geometrisi gibi bilinen bir örnek kullanılarak aynı anda ölçülebiliyorsa, o zaman taşıyıcı drift mobilitesi şu şekilde elde edilebilir:

$$\mu = \frac{|R_H|}{\rho} \quad (2.26)$$

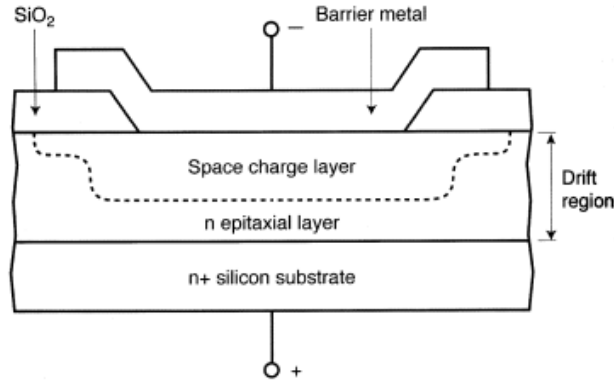
Van der Pauw tekniği ile bir özdirenç ölçümüyle birlikte Hall ölçümleri, bir yarı iletken numunenin hareketliliğini belirlemek için kullanılabilir. Modern yarı iletken bileşenlerde ve devrelerde, bu iki temel parametrenin, n,p veya μ_n, μ_p bilgisi kritik öneme sahiptir. (F.Pascal ve ark. 2002)



Şekil 2.18. Hall etkisinin p tipi çubuk şekilli bir yarı iletkende temsili

2.11 Schottky Diyot

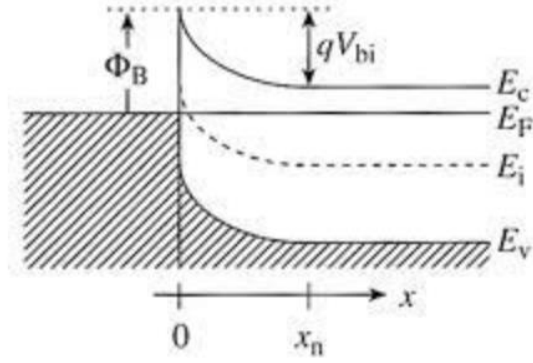
Adını Alman fizikçi Walter H. Schottky den alır ve literatürde bilinen diğer ismi Schottky bariyer diyodu şeklindedir. Schottky diyotu, geleneksel bir P-N bağlantı diyotundan daha düşük ileri voltaj düşüşüne ve daha hızlı anahtarlama süresine sahip bir tür yarı iletken diyottur. Genellikle elektronik devrelerde güç düzeltme, sinyal algılama ve voltaj kenetleme için kullanılırlar. Schottky diyotları ayrıca "sıcak taşıyıcı diyotlar" olarak da bilinir çünkü bunlar bir P-N bağlantısı yerine metal-yarı iletken bir bağlantı ile yapılırlar. Bu, çalışma sırasında daha seri anahtarlama hızları ve daha az enerji kaybı sağlar. (Sze 2012).



Şekil 2.19. Bir Schottky bariyer diyotu ve uygulanan ters polarma tükenmiş bölge

Metal ve yarı iletken arasındaki bariyer, bir enerji bandı diyagramında tanımlanabilir. Metallerde yaygın olarak kullanılanlar molibdenum, platinyum, tungsten, krom kullanılır. Metal ve yarı iletken bir araya getirildiğinden, metal ve yarı iletkenin Fermi enerjileri hemen değişmez ve düz bant diyagramı elde edilir. Metal ve yarı iletken arasındaki kimyasal reaksiyonlar, yarı iletken ve ara yüzey katmanlarının yüzeyindeki arayüz durumlarında olduğu gibi bariyer yüksekliğini değiştirir. Bununla birlikte, bazı genel eğilimler gözlemlenebilir. düz bant diyagramı, metaldeki Fermi enerjisi yarı iletkenkinden farklı olduğu için bir termal denge diyagramı değildir. N-tipi yarı iletkenindeki elektronlar bağlantı noktasından geçerek enerjilerini azaltabilir. (Laughton ve Warne 2003).

Vakum seviyesi (E_0) ile Fermi seviyesi arasındaki fark, iş fonksiyonu (ϕ) dur.



Şekil 2.20. Termal dengede Schottky enerji bant diyagramı

Burada ϕ_B bariyer yüksekliği, q birim yük, V_{bi} ise yerleşik iç potansiyelidir (built-in potential).

2.12 Akım – Gerilim Karakteristikleri İçin Analiz Yöntemleri

Diyodun idealite faktörünün hesaplanmasında deneysel akım – gerilim ölçüm termiyonik emisyonun teorisi ile analiz edilebilir. İdealite faktörü (n), gerçek bir sistemin illikten sapmasını açıklamak için kullanılan boyutsuz bir parametredir. İdealite faktörü, bir sistemin ideal bir sistemin davranışına ne kadar yaklaştığının bir ölçüsüdür. $n = 1$ değeri sistemin tamamen ideal olduğunu, n 'nin 1'den küçük veya büyük değerleri ise sistemin ideallikten saptığını gösterir.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_d}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.27)$$

Eşitliğin her iki tarafının \ln 'i alındıktan alınıp düzenlenirse;

$$\ln I = \ln(I_0) * \frac{q}{nkT} [V] \quad (2.28)$$

$$\frac{\ln I}{V} \rightarrow Slope(Eğim), \quad n = \frac{Slope}{kT/q} \quad (2.29)$$

Elde edilir . (2.24) ifadesindeki I_0 doyma akımı;

$$I_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \quad (2.30)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A^* Richardson sabiti, T Kelvin olarak sıcaklık, k Boltzmann sabiti, q elektronun yükü ve ϕ_B sıfır gerilimde engel yüksekliği olarak tanımlanmıştır. (3) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, ϕ_B 'ye göre çözülürse;

$$-\phi_B = kT/q * \ln(I_0/A^*T^2) \quad (2.31)$$

şeklinde engel yüksekliği ifadesi elde edilir. (Yıldırım ve Durumlu, 2017)

Doğrultma oranı, bir diyotun ileri (forward) yöndeki akım ve ters (reverse) yöndeki akım arasındaki farkı belirtir. Doğrultma oranı, forward yöndeki akımın reverse yöndeki akıma oranını temsil eder. Yüksek doğrultma oranı, diyodun ileri yöndeki akımda daha iyi iletkenlik gösterdiğini ve ters yöndeki akımda daha iyi yalıtkan olduğunu gösterir.

$$\frac{I_{fmax}}{I_{rmax}} \quad (2.32)$$

Burada I_{fmax} , ileri yönde (+2 Volt noktasındaki) akım değerini ifade ederken, I_{rmax} ise ters yöndeki (-2 Volt noktasındaki) akım değerini ifade etmektedir.

Şönt (shunt) direnç, devre içindeki bir bileşene paralel olarak bağlanır. Yani, akımın bir kısmı şönt dirençten geçerken geri kalan kısmı bileşenden geçer. Seri direnç ise devre içindeki bir bileşene seri olarak bağlanır. Yani, akım bileşenden geçmeden önce tamamının seri dirençten geçmesi gerekir yani seri direnç, akımın tamamını etkiler.

Akım – Gerilim grafik eğrisindeki verileri kullanarak Şönt ve seri direnç değerleri hesaplanabilir. Ters yöndeki (reverse) (-2 Volt noktasındaki) maksimum voltaj değerinde okunan akım değeri ile maksimum voltaj değerinin oranı şönt direnç değerini verir. (Ohm kanunu $V=I/R$), benzer şekilde ileri bölgedeki (forward) (+2 Volt noktasındaki) maksimum voltaj değerinde okunan akım değeri ile maksimum voltaj değerinin oranı seri direnç değerini verir (Ohm kanunu $V=I/R$). Denklemlerde R_s seri, R_{sh} ise şönt dirençtir. (K. Bouzidi ve ark., 2007)

$$R_s = +2V / I_{fmax} \quad (2.33)$$

$$R_{sh} = |-2V| / I_{rmax} \quad (2.34)$$

2.13 Optiksel Karakteristikleri İçin Analiz Yöntemleri

Fotocevap (responsivity), bir fotodedektörün veya sensörün gelen optik güce duyarlılığını tanımlamak için kullanılan bir parametredir. Optik güç girişi birimi başına cihaz tarafından üretilen elektriksel yanıtı nicelleştirir. Duyarlılık tipik olarak watt başına amper (A/W) birimleriyle ifade edilir. Denklemde R^* fotocevap, P^* ışık şiddetinin gücü olarak verilmiştir.

$$R^* = \frac{I_{sc}}{P^*} \quad (2.35)$$

Dış Kuantum Verimi (External Quantum Efficiency) (EQE), bir fotovolttaik cihazın veya fotodedektörün gelen fotonları elektrik yükü taşıyıcılarına dönüştürmedeki etkinliğinin bir ölçüsüdür. Emilen ve elektrik akımı veya sinyalinin üretilmesine katkıda bulunan fotonların yüzdesini ölçer. Denklemde I_{sc} kısa devre akımı, c ışık hızı, λ dalga boyu, q elektron yükü olarak verilmiştir.

$$EQE = I_{sc} * \frac{h*c}{\lambda*q} * 100 \quad (2.36)$$

Gürültüye Eşdeğer Güç (NEP) (Noisy Energy Power), bir fotodedektörün veya sensörün gürültü varlığında zayıf optik sinyallere duyarlılığını karakterize etmek için kullanılan bir parametredir. Cihazın algılanabilir minimum güç seviyesini temsil eder ve tipik olarak hertz'in (W/\sqrt{Hz}) karekökü başına watt birimi cinsinden ifade edilir.

$$NEP = \left(\frac{1}{R^*}\right)(2q * I_{sc})^{1/2} \quad (2.37)$$

Genellikle D^* olarak gösterilen özgül detektivite (alıcılık), bir fotodedektörün veya sensörün hassasiyetini ölçmek için kullanılan bir değer göstergesidir. Dedektörün zayıf bir optik sinyali arka plan gürültüsünden ayırt etme yeteneğini temsil eder ve düşük ışık koşullarında performansının bir ölçüsüdür. (A. Rogalski, 2010)

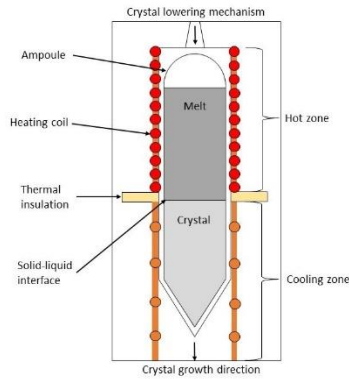
$$Alıcılık (D^*) = \frac{A}{NEP} \quad (2.38)$$

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bridgman Yöntemi Kristal Büyütme ve Yarıiletken Malzemelerin Sentezi

Bridgman yöntemi, tek kristal malzemelerin büyütülmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, genellikle yüksek erime noktasına sahip malzemeleri, özellikle metalleri ve bazı yarı iletkenleri büyütme için kullanılır. Bridgman kristal büyütme işlemi, genellikle aşağıdaki adımları ile yapılır. Malzemenin hazırlanması ve öncelikle, büyütülecek malzeme bir kapta (genellikle silindirik bir şekli olan bir kap) eritilir. Bu kap, genellikle yüksek erime noktasına sahip bir malzeme ile kaplanmıştır, böylece kap, eriyikle reaksiyona girmez. Eritme ve soğutma işlemi için kap, yüksek bir sıcaklıkta bir fırına yerleştirilir. Fırının bir tarafı, eriyiği eritmek için yeterince sıcakken, diğer tarafı soğutucu ile soğutulur. Bu sıcaklık gradyanı, eriyiğin bir tarafının donmaya başlamasını sağlar. Kristal büyütme için kapa erime bölgesinden soğutma bölgesine doğru yavaşça hareket ettirilir. Bu, eriyiğin yavaşça donmasını ve büyüyen kristalin üzerine eklenen yeni malzemenin düzgün bir şekilde kristalleşmesini sağlar. Kristalin çıkarılması için tek bir kristal, kap içinde büyür. Bu kristal daha sonra dikkatlice çıkarılır ve istenen uygulama için hazırlanır.

Bridgman yöntemi, basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle popülerdir, ancak aynı zamanda bazı zorlukları da vardır. Örneğin, kristal büyüme hızı ve soğutma hızı arasındaki dengeyi sağlamak zordur ve bu, kristalin kalitesini ve özelliklerini etkileyebilir. Ayrıca, büyüyen kristal üzerinde tam bir kontrol sağlamak genellikle zordur, bu da hatalı veya düzensiz kristallerin oluşmasına neden olabilir.



Şekil 3.1. Bridgman tekniği ile kristal büyütme ve sentezi

3.2 PVP + TlInS₂ ve PVP + TlGaSe₂ Solüsyonu ile İnce Film Numunelerinin Üretilmesi

3.2.1 PVP Solüsyonunun Hazırlanması

Deneysel çalışmada toz biçimindeki PVP polimeri çözmek için etil alkol tercih edildi. Kaplamak istenilen malzemenin üst kısmındaki filmin ince olması için etil alkol + PVP solüsyonu oranını %20 civarında olması gerektiği tespit edildi. Toz halindeki PVP polimeri hassas terazide her biri 250 mg olacak 5 numune ayrılarak tartıldı. Etil alkol oranı her 250 mg PVP için 12.5 ml olarak seçildi ve karıştırıldı. Solüsyonların ve numunelerin hazırlanması için Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bünyesinde bulunan ince film laboratuvarında ultrasonik homojenizatör ve spin coater makinalarından yardım alındı.

3.2.2 Ultrasonik Homojenizatör

Ultrasonik homojenizatör yüksek frekans jeneratörü ile alternatif şebeke besleme voltajını 50-60 Hz'den 20 kHz voltajına dönüştürür. Hücreleri ya da kimyasal bileşikleri, yüksek frekansta ses dalgaları kullanılarak parçalanması, homojenleştirilmesi, ayrıştırılması gibi işlemlere sonikasyon işlemi denir. Sonikasyon sürecinde çözeltide binlerce mikroskobik vakum kabarcığı oluşur ve sıvı içindeki kabarcıklar ani olarak patlayarak veya içeri çökerek muazzam bir enerji kuvveti salarak bitişik malzemede hasar ve fiziksel deformasyon oluşturur. Ayrıca sıvı molekülleri arasındaki etkileşimi bozan, karıştırmayı kolaylaştıran, parçacık kümelerini ayıran güçlü titreşim dalgalarına neden olur.



Şekil 3.2. Solüsyonların sonikasyon işlemi ve kullanılan ultrasonik cihazın görünümü

3.2.3 TlInS₂ ve TlGaSe₂ Sonikasyon İşlemi

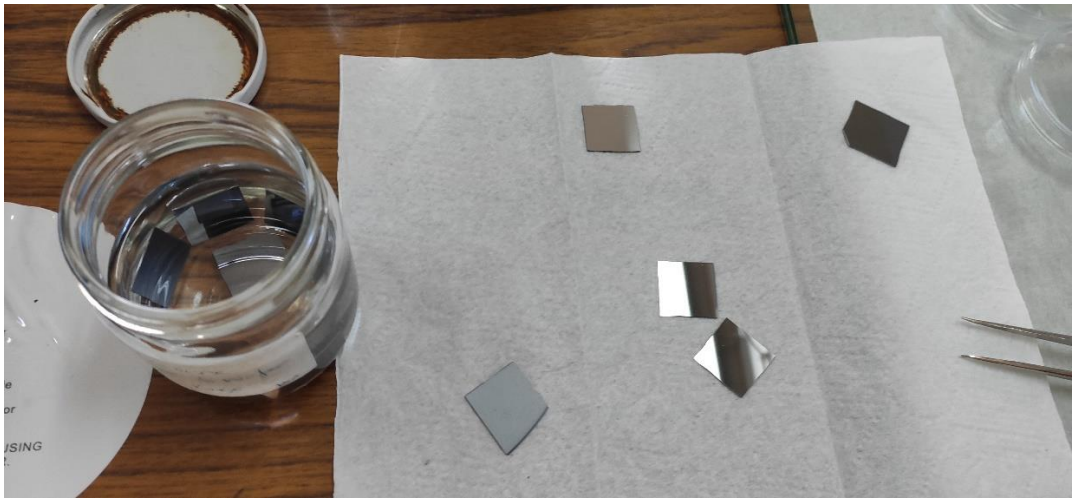
Hassas terazi yardımıyla TlInS₂ kristalinden 5 mg olacak şekilde 2 adet numune, TlGaSe₂ kristalinden 5 mg olacak şekilde 2 adet numune ayrılarak tartıldı ve önceden ayrılmış 4 numuneye karıştırıldı. Ultrasonik homojenizatör kullanılarak 2 adet 1 saatlik sonikasyon işlemi görmüş TlInS₂ ve TlGaSe₂ solüsyonu, 2 adet 2 saatlik sonikasyon işlemi görmüş TlInS₂ ve TlGaSe₂ solüsyonu sürece tabi tutuldu. Ek olarak ölçümlerde referans almak için saf PVP solüsyonu hazırlandı. Şekil 3.3' de sırasıyla saf PVP, TlGaSe₂+PVP(1 saat), TlGaSe₂+PVP(2 saat), TlInS₂+PVP(1 saat), TlInS₂+PVP(2 saat) solüsyonları sonikasyon işlemi sonrasında deney tüpleri içinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kullanılan solüsyonlar deney tüpleri içerisinde

3.2.4 Alttaş Silisyumun Kesilmesi ve Temizlenme İşlemi

Czochralski işlemi ile üretilen bir yüzeyi parlatılmış 1-50 ohm.cm öz dirence sahip 625 ± 25 μm kalınlığındaki N tipi silisyum optik ve elektriksel ölçümler için 10x10 mm ve 5x10mm kalınlıklarında elmas uçlu kalem ile çizilerek kesilmiştir. Kesilmiş olan silisyum parçaları sırasıyla etil alkol, aseton ve saf suda 10 ar dakika bekletilmiştir. Temiz filtre kağıdı yardımıyla kurulandı.



Şekil 3.4. Silisyum wafer'in kesilme ve temizlenme aşaması

3.2.5 Döndürme Yöntemi İle Kaplama İşlemi (Spin Coating Process)

Döndürerek kaplama (Spin Coating) düz tabakalara ince film uygulamak için kullanılan bir prosedürdür. Vakum ile tutulan silisyum parçası üzerine 1 ml solüsyon karışımından steril bir plastik pipet yardımıyla damlatılır ve seçilen rpm (revolutions per minute – dakikadaki devir sayısı) değerine göre dönerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Bu deneysel çalışmada silisyum alttaşın üstüne kaplanan ince filmin kalınlığındaki farklılıkları incelemek için 3 farklı rpm değerleri alındı. Her solüsyondan 500rpm, 1500rpm, 2500rpm olmak üzere toplamda 12 farklı ince film kaplı silisyum elde edildi. Şekil 3.5’de sırasıyla solüsyon damlatma, seçilen rpm değerlerinde döndürülme ve bitiş evreleri görünmektedir.



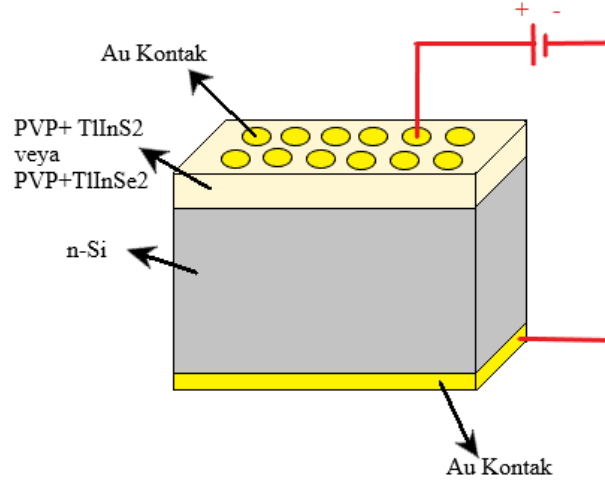
Şekil 3.5. Döndürme yöntemi (Spin coating) ile kaplama işlemi aşamaları

3.2.6 Elektriksel Ölçümler İçin Omik Kontak Alınması

Yapılan ön hazırlık gözlemlerinden sonra 2 saatlik sonikasyon işlemi görmüş 2500rpm hız ile kaplanmış TlInS₂ ve TlGaSe₂ solüsyonlar tercih edildi. Seçilen üzeri ince film kaplı numuneler termal buharlaştırma yöntemi ile alt yüzeylerine altın metali (Au) belli bir basınç altında 100nm kalınlığında kontak alındı. Schottky diyot ölçümleri için numunelerin ince film kaplı ön yüzeylerine hazır maskeler kullanılarak çapı 1 mm ve konumları farklı olan 10-12 adet nokta kontak alındı.



Şekil 3.6. Maske yardımıyla altın Schottky diyot kontaklarının alınması



Şekil 3.7. Üretilen Schottky diyot yapısının şematik gösterimi

3.3 Özdirenç ve İletkenlik Değerlerinin Hesaplanması

Bu ölçümler için Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü bünyesinde bulunan ince film laboratuvarında, özdirenç ve mobilite ölçümleri için Ecopia'nın Hall Effect Measurement System HMS-3000 aygıtı, bir adet PCB numune tutucu ve manyetik akı yoğunluğu giriş sistemi kullanıldı. Ölçümleri görüntülemek için bir bilgisayardan yardım alındı.

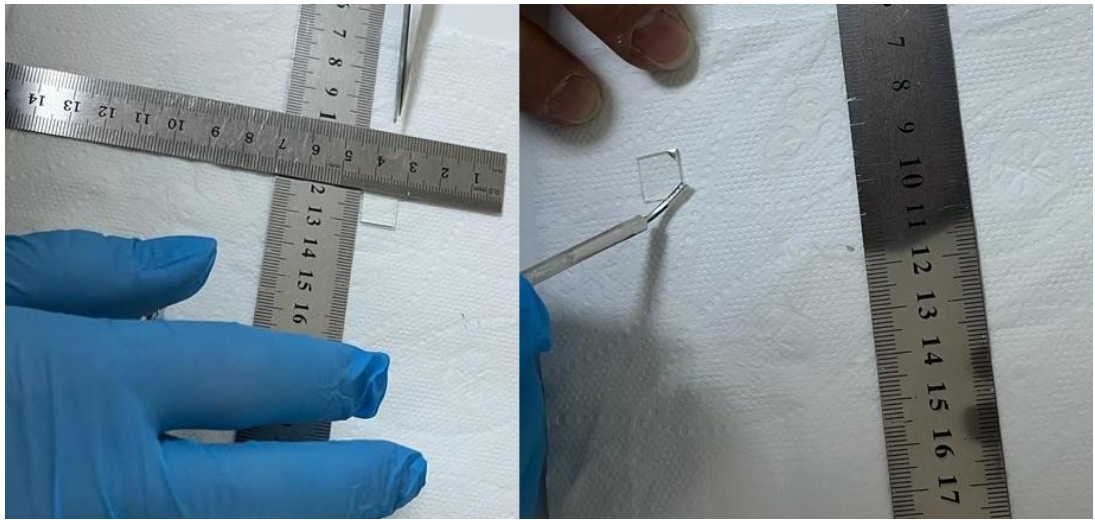
Ölçümler yapılmadan önce Filmetrics F20 cihazı ile her numunenin kalınlık tayini yapılmıştır ve yaklaşık olarak yakın değerler bulunmuştur.



Şekil 3.8. Sol tarafta Ecopia HMS-3000 sağ tarafta PCB bağlantı ve manyetik akı yoğunluğu giriş sistemi, sağ tarafta ise Filmetrics F20 cihazı

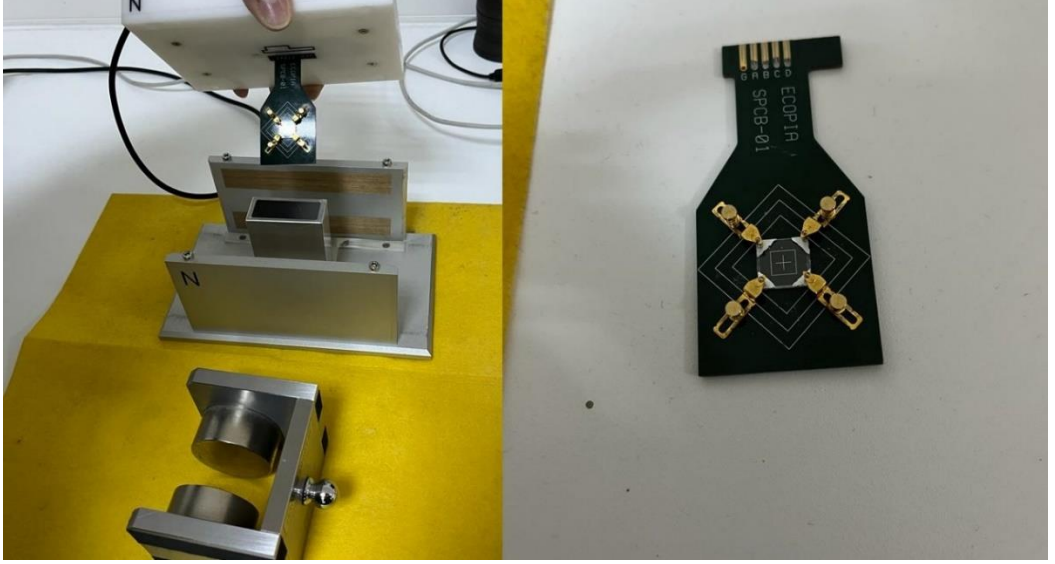
Her numuneden özdirenç örnekleri almak için altyapı taşı olarak ucuz ve yaygın olarak bulunan temiz cam yüzey seçilmiştir. TlGaSe₂'den 6 adet, TlInS₂'den 6 adet ve sadece PVP'den 1 adet olmak üzere 13 adet cam numune üzerine ince film kaplama yapıldı.

Üzeri ince film kaplı cam numuneler elmas uçlu kalem yardımı ile 1cm x 1cm boyutunda kesildi ve car-max markalı elektrofiks gümüş iletken boya ile köşeleri boyandı.



Şekil 3.9. İnce film kaplı cam numunelerin kesilmesi ve gümüş boya ile boyanması

Ardından boyanmış numuneler ölçüm için PCB kart üzerine tutturulup bir mıknatıs yardımıyla Hall etkisi altında ölçümler alınmıştır

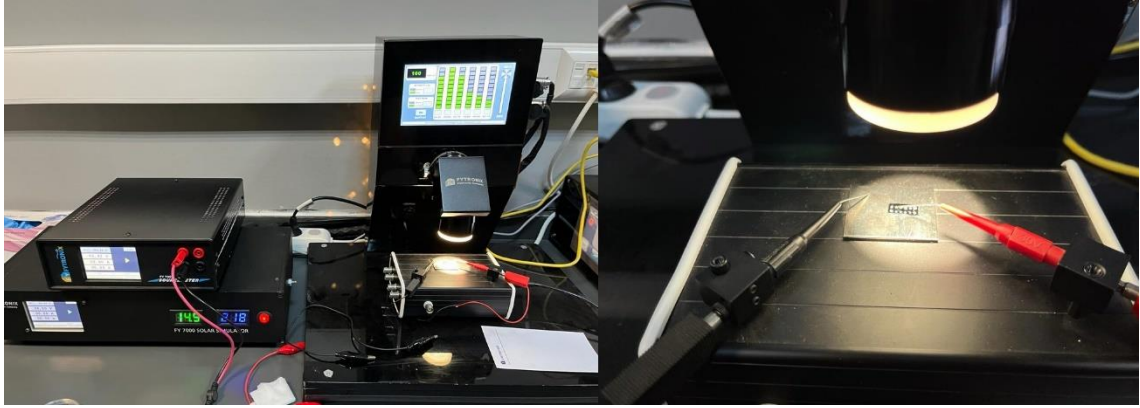


Şekil 3.10. Sağ tarafta PCB karta tutturulmuş numune, sol tarafta ise ölçüm için devreye ve makinaya bağlantısı ve alt tarafta 0,5T değerinde bir mıknatıs

3.4 Akım – Gerilim Karakteristik (I-V) Değerlerinin Hesaplanması

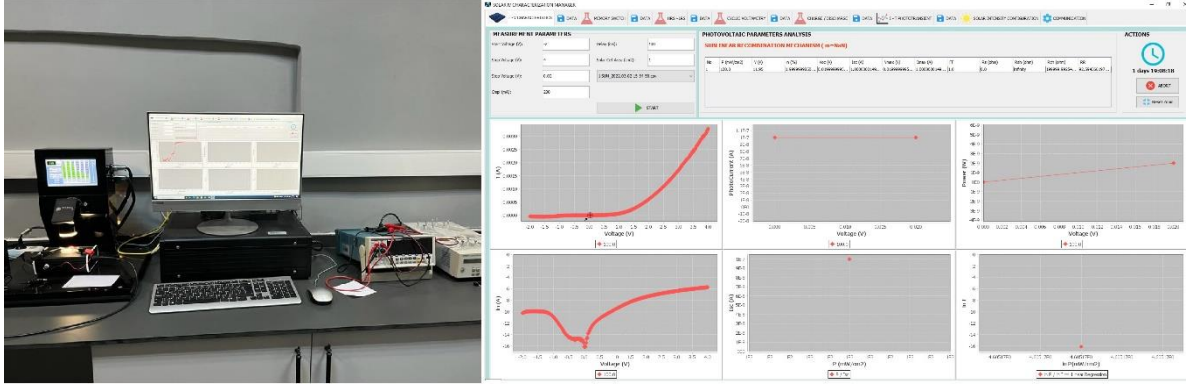
Bir malzemenin I-V (akım-gerilim) özelliği, uygulanan bir gerilime yanıt olarak malzemeden geçen akımın nasıl değiştiğini ifade eder. Akıma karşı bir voltajın grafiği ile de temsil edilebilir. Farklı malzemeler, malzemenin türünü ve özelliklerini tanımlamak için kullanılabilen farklı I-V özelliklerine sahiptir. I-V karakteristiği, bir malzemenin veya cihazın verimliliğini ve kaldırabileceği güç miktarını belirlemek için de kullanılabilir. I-V karakteristiğinin sıcaklık, ışık yoğunluğu ve harici manyetik alanlar gibi dış etkenlerden etkilenebileceğini not etmek önemlidir.

Yüzeyi PVP+TIInS₂, PVP+TIGaSe₂ ve referans alabilmek için sadece PVP kaplı 1 er adet numune seçilerek hem diyot karakteristikleri, akım gerilim karakteristiklerini belirlemek için karanlık ve aydınlık (0mW ve 100mW ışık şiddetinde) ortamlarda ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler için Uludağ Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bünyesinde bulunan optik laboratuvarında Fytronix FY-7000 Sourcemeter modeli I-V cihazı ve ışık kaynağı olarak Fytronix FY-7000 modeli Solar simülatör cihazı kullanılmıştır. Ölçümleri görüntülemek için bir bilgisayardan yardım alındı.



Şekil 3.11. Sol tarafta Fytronix FY-7000 Sourcemeter ve Solar similatör, sağ tarafta ise 100mW ışık şiddetinde I-V karakteristikleri ölçülen nokta şeklinde kontak alınmış numunenin ölçüm aşaması

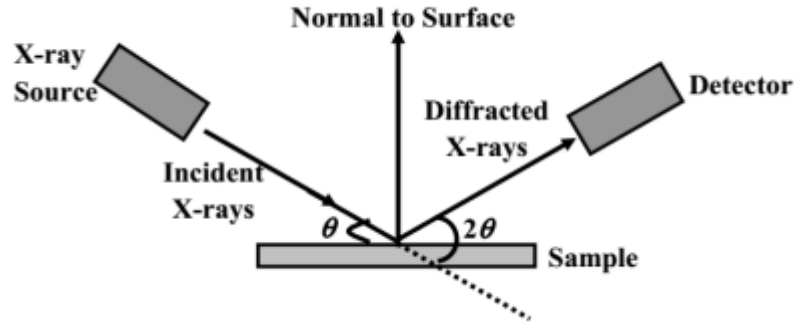
Ölçümler alınırken başlangıç voltajını -2 Volt, bitiş voltajını 4 Volt, aralık voltajını ise 0.02 Volt seçildi. Burada grafikleri oluşturmak için 300 adet örnekleme sayısı alındığı söylenebilir.



Şekil 3. 12. Sol tarafta ölçüm aletlerinden gelen sonuçların bilgisayardaki görüntüsü, sağ tarafta ise örnek bir sonuç grafikleri

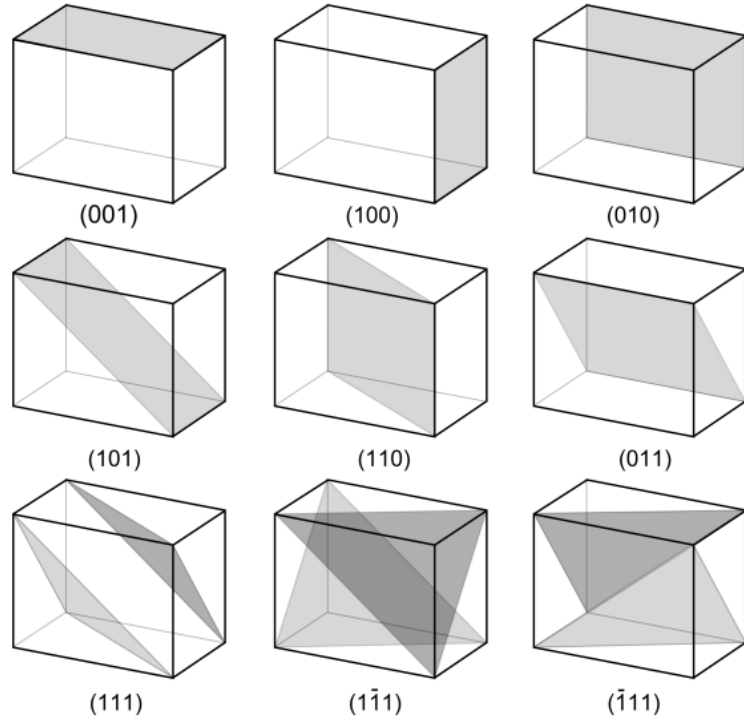
3.5 X Işık Kırınımı (XRD) ve Ölçümlerinin Hesaplanması

XRD açılımı itibariyle X-ray diffraction yani X-ışını kırınımı anlamına gelir. Kristal yapıların ve malzemelerin analizinde kullanılan bir tekniktir. XRD, X-ışınlarının bir malzemeden geçirilip saçılmasını kullanarak malzemenin kristal yapısını belirlemeye olanak tanır. X-ışınları, malzemenin atomik düzenlemesinin bir sonucu olarak kristal yapıdaki atomlardan saçılır. XRD tekniği, X-ışınlarının malzemeden geçerken farklı açılarda saçılmasını ölçerek malzemenin kristal yapısal özelliklerini belirler. Bu saçılma deseni, bir XRD taraması sırasında kaydedilen bir grafik veya spektrum olarak görüntülenir. XRD analizi, malzemelerin kristal yapısını, kristal boyutlarını, kristal oryantasyonunu ve kristal yapıdaki olası kusurları belirlemek için kullanılır. Kristal yapıların tanınmasında, kristal örgü parametrelerinin belirlenmesinde ve kimyasal bileşimin doğrulanmasında da önemli bir araçtır. XRD, birçok farklı alanın araştırma ve endüstriyel uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir analiz tekniğidir. Malzeme bilimi, mineraloji, kristalografi, jeoloji, metalurji, fizik, kimya ve biyoloji gibi alanlarda XRD kullanılarak çeşitli malzemelerin yapısı ve özellikleri hakkında bilgi elde edilebilir. Bu saçılma olayı, bir XRD deneyi sırasında kaydedilen bir desen veya spektrum olarak görüntülenir. Saçılma deseni, belirli açılarda (genellikle 2θ açısı olarak ifade edilen açılarda) saçılan X-ışınlarının yoğunluğunu gösterir.



Şekil 3.13. XRD çalışma prensibinin şematik gösterimi

XRD (X-Ray Diffraction) grafiklerinde saçılma desenindeki zirvelerin ve tepeliklerin kristal düzlemlerine ve yönlerine karşılık gelmesini belirlemek için Miller indeksi kullanılır. Miller indeksi, kristal yapıdaki düzlemlerin ve yönlerin tanımlanması için kullanılan bir sistemdir. Kristal yapı içerisinde bulunan düzlemler ve yönler, Miller indeksi ile belirtilir. Miller indeksi, bir düzlemin kristal yapı içindeki konumunu tanımlamak için kullanılan üç tamsayıdır ve genellikle (hkl) şeklinde gösterilir. İndeksler, düzlemin kristal örgüsüne dik olan kesimlerin kesişim noktalarının terslerini ifade eder. Miller indeksi, kristalografi, malzeme bilimi, mineraloji ve yapısal analiz gibi alanlarda kristal yapıyı tanımlamak ve anlamak için önemli bir araçtır. Kristal yapıların simetri özelliklerini ve düzenlemelerini anlamak için Miller indeksleri kullanılarak çeşitli düzlemler ve yönler tanımlanabilir. Miller indeksinde h, k ve l, düzlemin kesildiği üç eksenin oranını ifade eden tam sayılardır. Bu indeksler, düzlemin oryantasyonunu ve konumunu tanımlar. İndeksler, düzlemin kristal yapıya göre kesimini belirtir. Düzlem, kristal yapının atomlarının birleştiği yerlerde kesildiğinde oluşan düz bir yüzeydir. Düzlemin kesiştiği üç eksenin oranlarına göre indeksler belirlenir. Genellikle, Miller indeksleri en küçük tam sayı oranları temsil edecek şekilde ifade edilir. Örneğin, bir düzlemin kesiştiği x, y ve z eksenleri üzerindeki kesişim noktalarının oranları 2:3:4 ise, Miller indeksi (hkl) = (2, 3, 4) olarak belirlenir. Bu indeksler, düzlemin kesim oryantasyonunu ve düzlemin kristal yapı içindeki konumunu ifade eder. Örneğin, (100) düzlemi, x eksenine paralel bir düzlemi temsil ederken, (111) düzlemi, x, y ve z eksenlerine eşit oranda paralel olan bir düzlemi temsil eder.



Şekil 3.14. Kübik kristallerde farklı Miller indekslerine sahip düzlem örnekleri

Tez çalışmasında kullanılmak üzere alınan deney sonuçları, Bilkent Üniversitesi UNAM laboratuvar merkezinde bulunan Pan-Analytical X'pert XRD Sistemi (Cu K-alpha/1.540598 Å) modeli ve uyarım dalgaboylu XRD cihazı ile ölçümler alınmıştır.

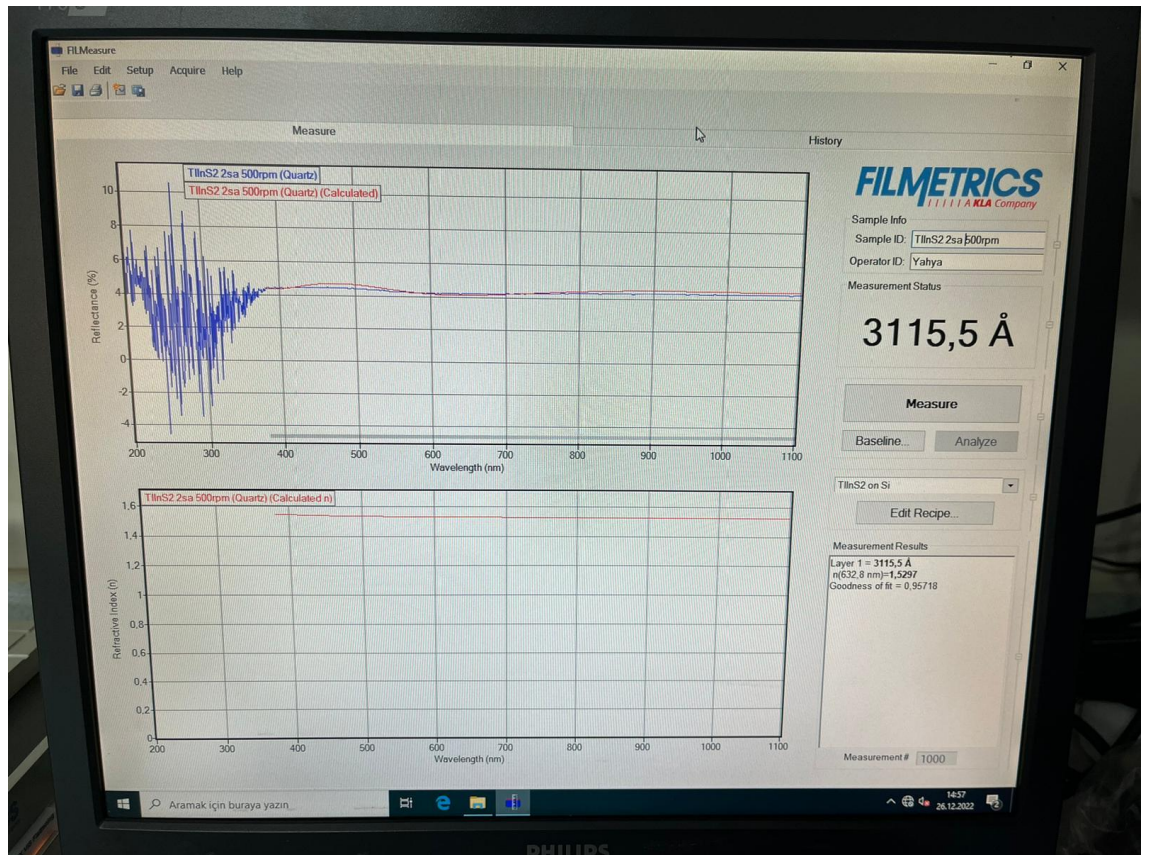


Şekil 3.15. Pan-Analytical X'pert XRD cihazının tipik görünümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Malzemelerin Özdirenç Değerleri

Numunelerin özdirenç değerlerini ölçmek için öncelikle Filmetrics F20 cihazını kullanarak kalınlık tayini yapıldı. Ölçülen değerler 3000 Angstrom – 3500 Angstrom değer aralığında çıktığı için özdirenç ölçümü alırken hepsi 0.3 um olarak aynı kabul edildi.



Şekil 4. 1. Filmetrics F20 cihazından alınan kalınlık tayini ve 3115,5 Angstrom değeri

Örnek olarak PVP 2500rpm numunesinin öz direnç ölçümleri için kalınlık seçimi 3115,5 Angstrom değeri yaklaşık olarak 0.3 um olarak sabit tutulmuştur. Sıcaklık ise 300 Kelvin seçilmiştir.

HALL EFFECT MEASUREMENT SYSTEM

INPUT VALUE

DATE: 01-12-2023 USER NAME: kaplan

SAMPLE NAME: pellet2 COM PORT: COM4 TEMP: 300 [K]

I = 1.00 nA DELAY = 0.200 [S]

D = 0.300 [um] B = 0.556 [T]

Measurement Number = 1000 [Times]

MEASUREMENT DATA

AB [mV]	BC [mV]	AC [mV]	MAC [mV]	-MAC [mV]
929.600	2095.660	-2292.290	4807.290	-6728.370
-6119.050	-3461.070	-1914.840	3730.680	-6837.340

CD [mV]	DA [mV]	BD [mV]	MBD [mV]	-MBD [mV]
472.193	6093.510	-692.734	-1009.380	-3772.910
-5631.990	2548.870	7616.590	-271.538	-3141.760

RESULT

Bulk concentration = 8.615E+10 [/ cm ³]	Sheet Concentration = 2.584E+6 [/ cm ²]
Mobility = 2.118E+2 [cm ² / Vs]	Conductivity = 2.922E-6 [1/Ω cm]
Resistivity = 3.422E+5 [Ω cm]	Average Hall Coefficient = 7.246E+7 [cm ³ / C]
A-C Cross Hall Coefficient = 1.305E+8 [cm ³ / C]	B-D Cross Hall Coefficient = 1.439E+7 [cm ³ / C]
Magneto-Resistance = 5.518E+9 [Ω]	Ratio of Vertical / Horizontal = 6.688E-1

OPERATING DESCRIPTION: **The calculation is completed.**

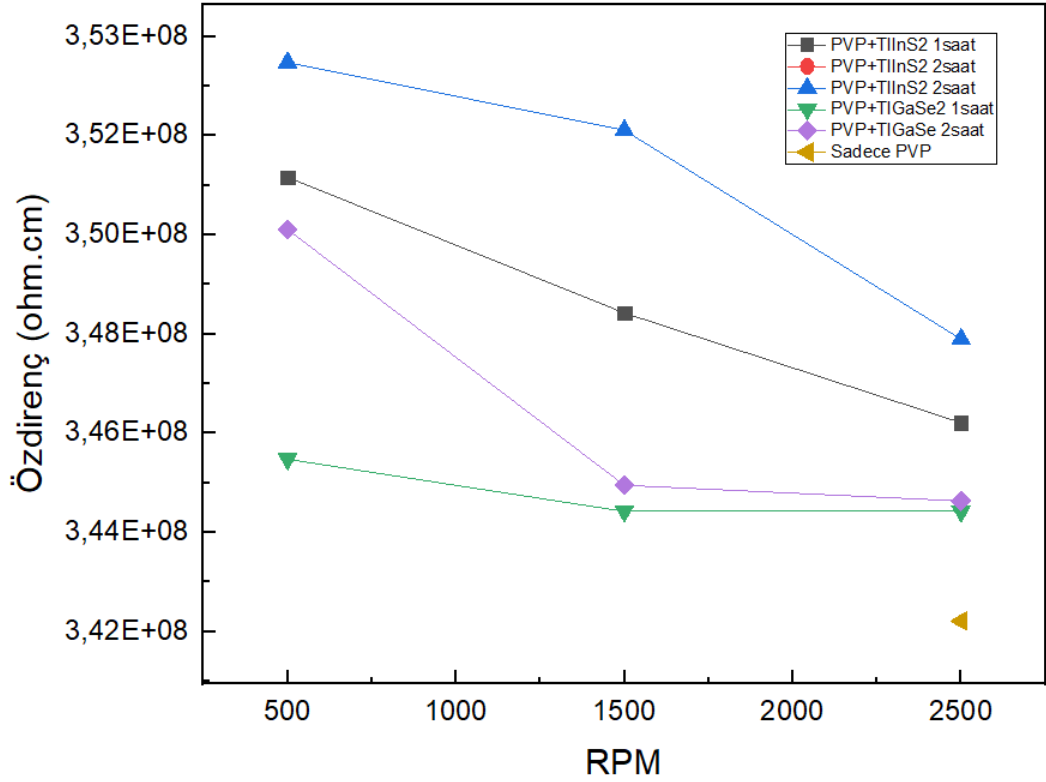
PROGRESS [%]: 100%

[GoTo I/V CURVE](#)

COM.TEST
MEASURE
STOP
CLEAR
CALCUL
LOAD
SAVE
PRINT
CLOSE
HELP

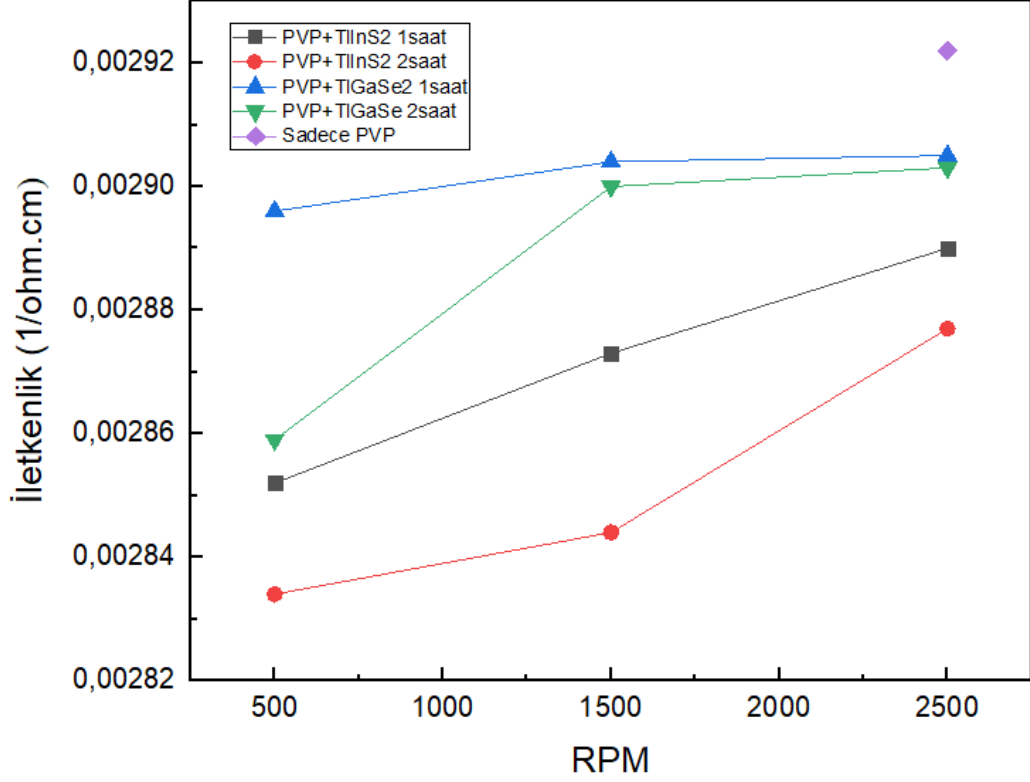
Şekil 4. 2. PVP 2500rpm öz direnç değeri için örnek ölçüm sonuçları

Özdirenç değerleri x ekseninde rpm değeri değişkeni, y ekseninde ise özdirenç değerleri olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 3. PVP, PVP + TIInS2 ve PVP + TIGaSe2 RPM farklılıklarına göre özdirenç değerleri (noktalar)

Grafikte de görüldüğü gibi malzemelere katkılama yapıldığı zaman özdirenç değerleri artarken (PVP 2500rpm ile diğer 2500rpmler kıyaslandığında), RPM değeri arttıkça özdirenç değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca sonikasyon işlemi 1 saatte 2 saate çıkarıldığında katkılanan malzeme daha fazla çözüldüğünden dolayı özdirenç değeri artmaktadır.

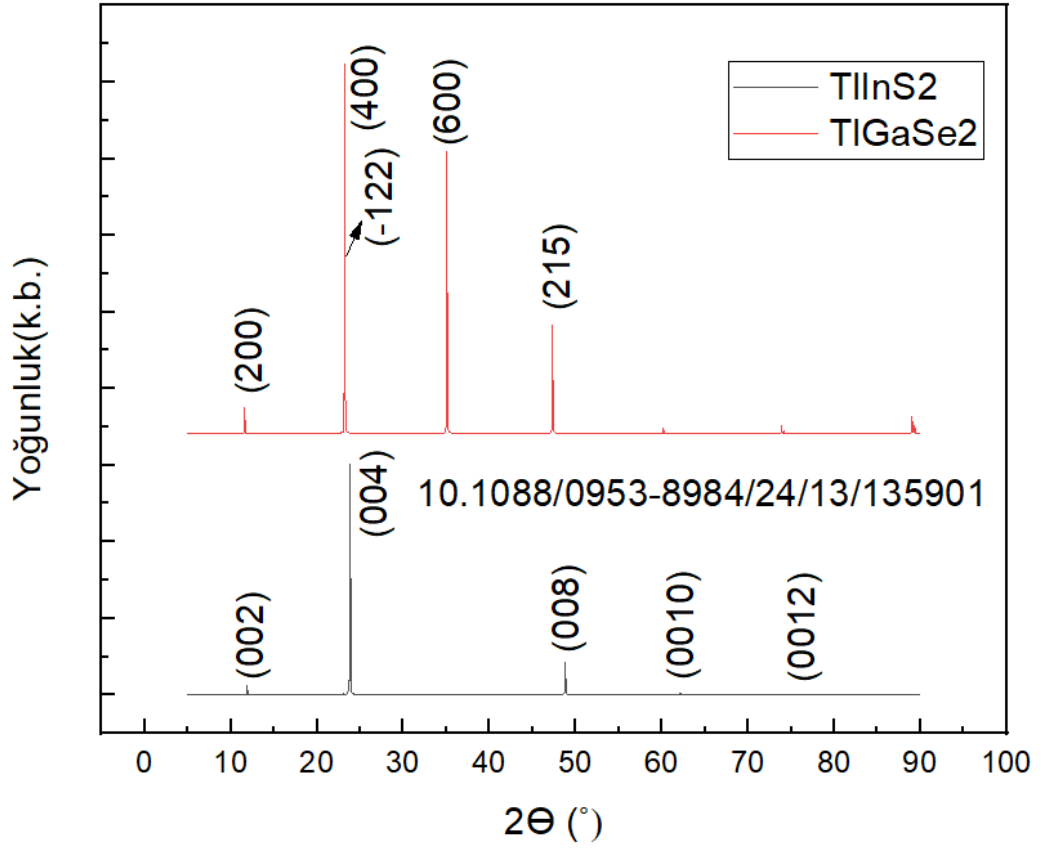


Şekil 4. 4. PVP, PVP + TiInS2 ve PVP +TiGaSe2 örneklerinin RPM farklılıklarına göre iletkenlik değerleri (noktalar)

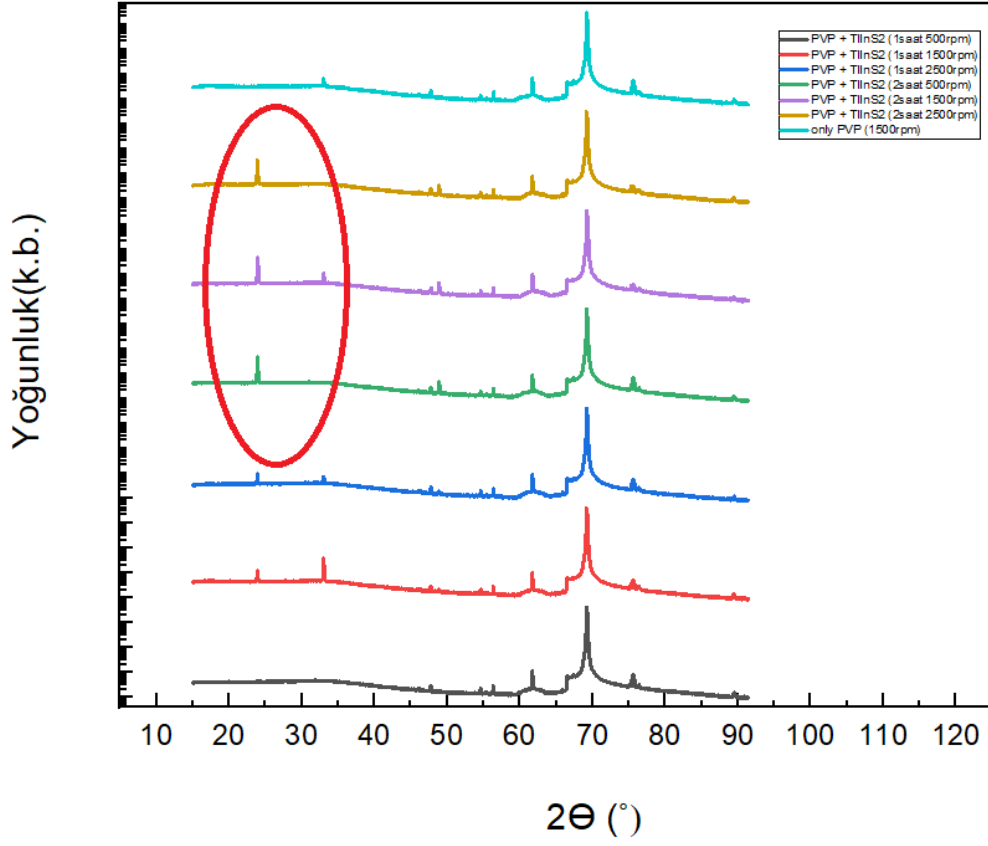
Özdirenç ile iletkenlik arasında ters bir ilişki olduğundan bir madde ne kadar yüksek özdirenç değerine sahipse, iletkenlik o kadar düşük olacaktır. Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi numunelere katkılama yapıldıkça, rpm hızları arttıkça ve sonikasyon süreci kısaldıkça iletkenlik değerlerinin arttığı gözlenmektedir.

4.2 X Işınları Kırınımı (XRD) Yöntemiyle Malzemenin Yapısal Özelliklerinin Karakteristikleri

Bir yarıiletken ile katkılanma yapılmayan sadece PVP numunesi ve farklı sonikasyon değerleriyle çözülmüş PVP+TIInS₂ ve PVP+TlGaSe₂ çözeltilerinin numuneleri, saf külçe halindeki numuneler karşılaştırılarak XRD analizi yapılmıştır.

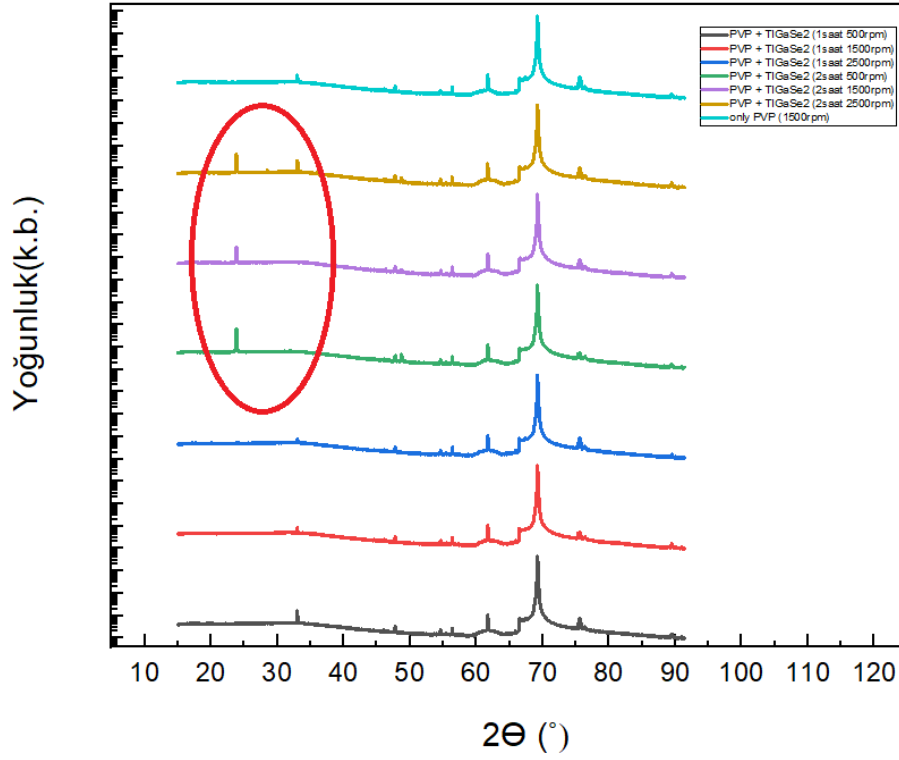


Şekil 4. 5. Saf külçe TIInS₂ ve TlGaSe₂ örneklerinin XRD karakteristik tepe noktaları ve miller indisleri (Ozdemir ve Bucurgat 2014) (A. M. Panich ve ark. 2012)



Şekil 4. 6. PVP + TIInS2 ve örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü (Kırmızı elips içindeki katkılanan malzemenin yapısal özellikleri)

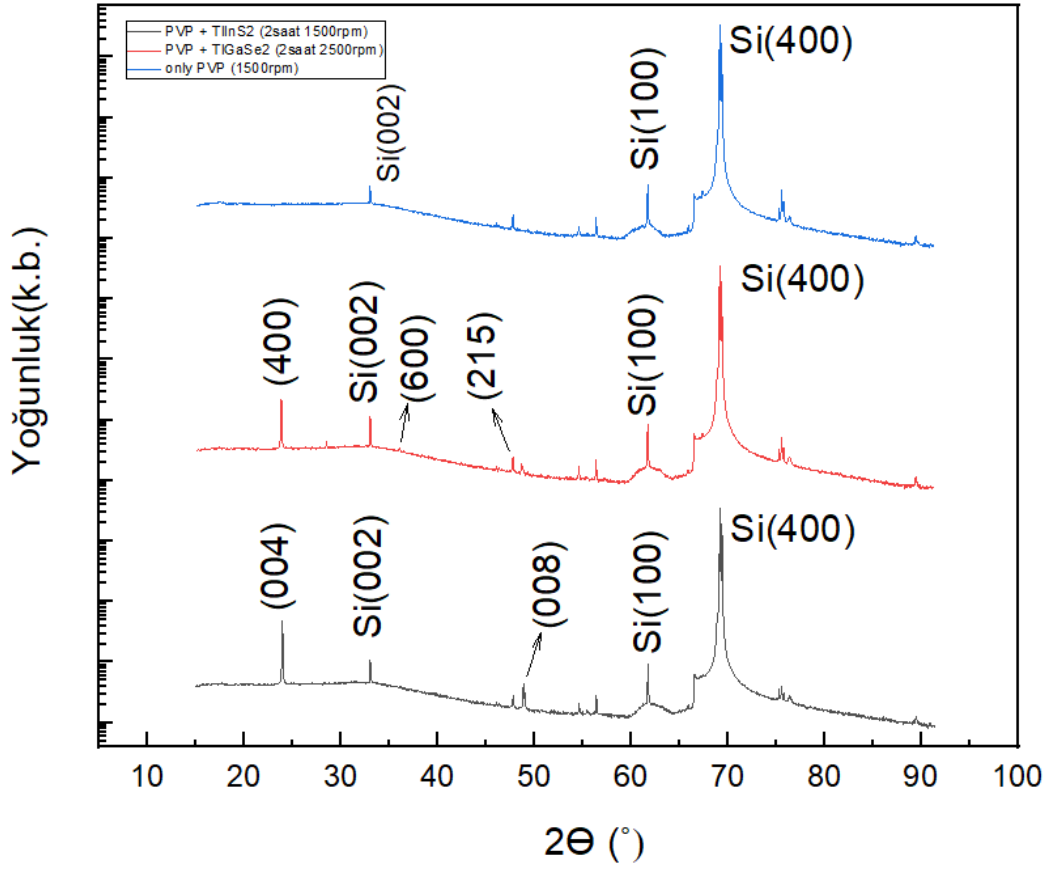
Şekil 4.6' de görüldüğü gibi gri elips şekline alınmış tepe noktaları TIInS2 malzemesinin varlığının kanıtı olarak gösterilebilir. Tepe noktaları 2 saat sonikasyon işlemi görmüş numunelerde daha belirgin olarak gözükmemektedir.



Şekil 4. 7. PVP + TiGaSe2 ve örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü (Kırmızı elips içindeki katkılanan malzemenin yapısal özellikleri)

Şekil 4.7’ de gri elips içine alınmış tepe noktaları TiGaSe2 malzemesinin varlığının kanıtı olarak gösterilebilir. Şekil 4.6’ ya oranla 1 saat sonikasyon işlemi yapılan numunelerde malzemelerin karakteristik özellikleri pek görünmemektedir.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 ‘de görüldüğü üzere 2 saat sonikasyon yapılan numunelerde külçe XRD değerlerindeki (Şekil 4.18) zirve noktaların benzerlikleri görünmektedir. Örnek olarak 25 derecedeki ve 34 derecedeki zirve noktalarının benzerlikleri örnek verilebilir.



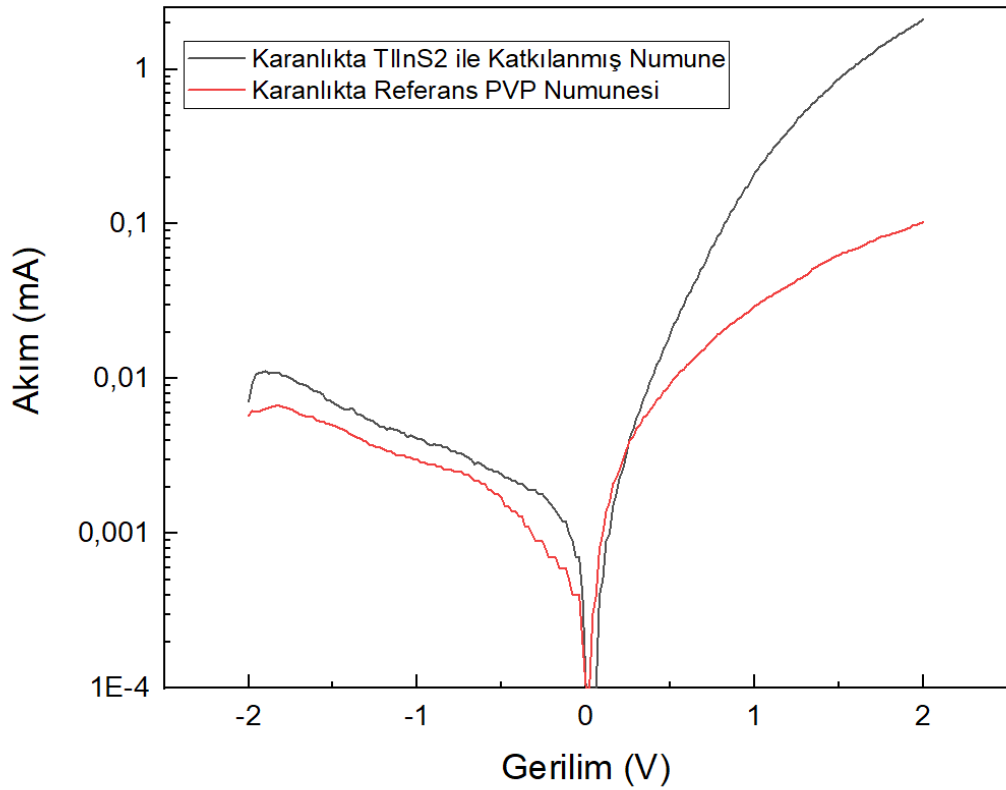
Şekil 4. 8. PVP, PVP + TlInS2 ve PVP + TlGaSe2 örneklerinin XRD karakteristik tepe noktalarının genel görünümü ve miller indisleri

Karşılaştırma yapılırken ölçüm hataları göz ardı edilerek en optimum değerlere sahip PVP + TlInS2 (2 saat sonikasyon ve 1500rpm) ve PVP + TlGaSe2 (2 saat sonikasyon ve 2500rpm) seçilmiştir.

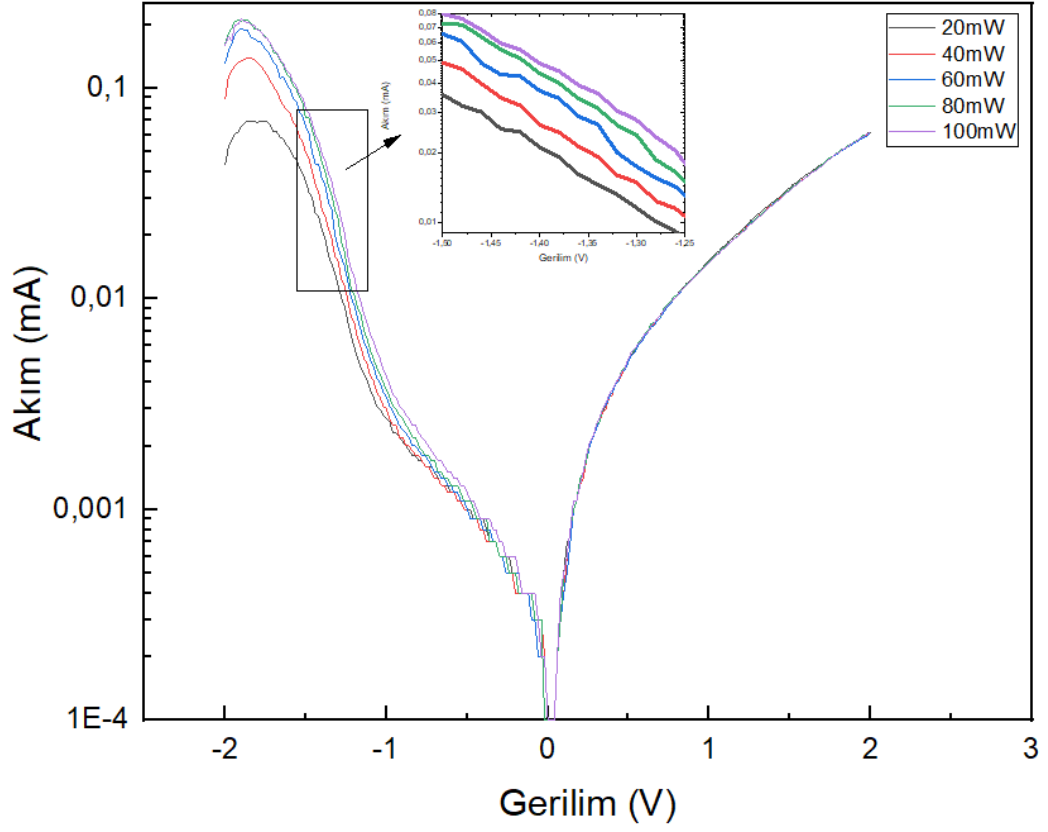
Elde edilen XRD tepe nokta sonuçlarına göre, Silisyumun miller indisleri için Si(002), Si(100) ve Si(400) konumlarındadır ve literatüre uygundur (F. A. Akgul 2017) (Z. Zhang ve ark. 1999). Silisyum üzerine kaplanan ince film PVP + TlInS2 numunesinin miller indisleri <004> ve <008> konumunda iken, PVP + TlGaSe2 ise <400>, <600> ve <215> konumundadır.

4.3 Schottky Fotodiyotların Işık Altında Akım – Gerilim Karakteristikleri

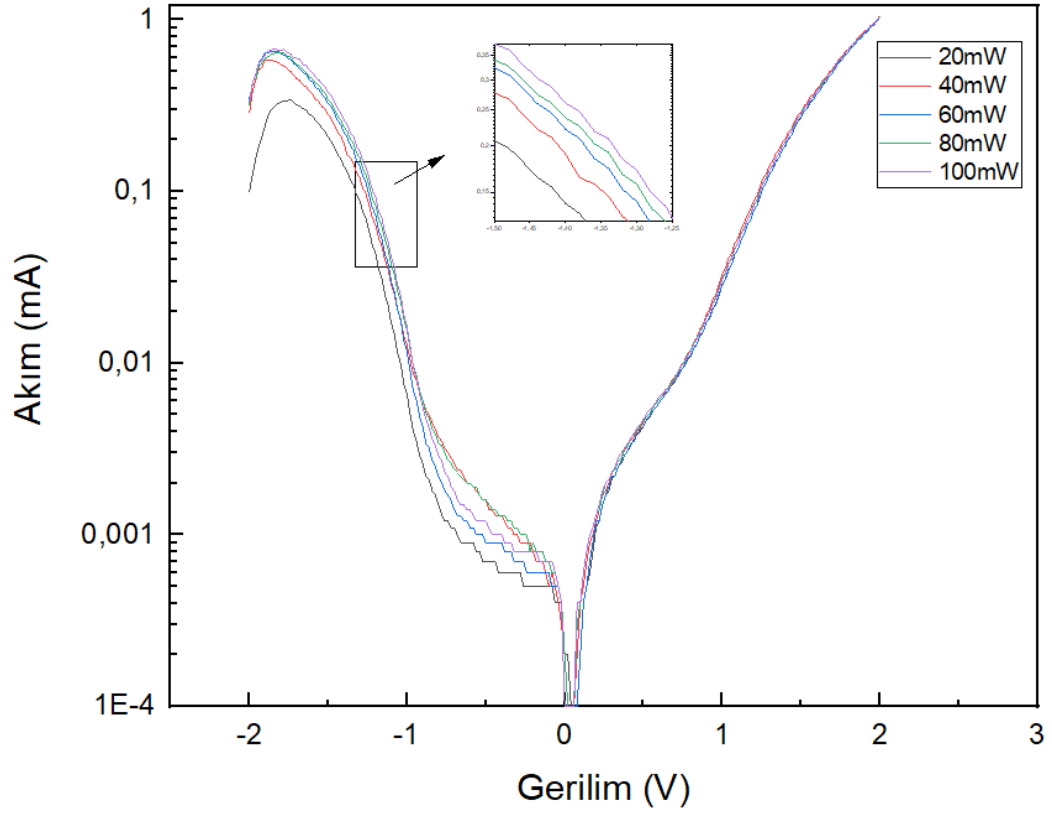
Silisyum alt taş üzerine kaplanmış PVP+TIInS2 ve PVP+TIGaSe2 numunelerinin arkasına alınmış 100nm Au kontak ve numune yüzeylerine 1mm çapında alınmış 100nm Au nokta (dot) kontaklar yardımıyla aydınlık ve karanlık ortamlarda akım – gerilim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunede sırasıyla Au-PVP+TIInS2-nSi-Au, Au-PVP+TIGaSe2-nSi-Au ve Au-PVP-nSi-Au Schottky fotodiyotlarına başlangıç gerilimi -2V, sonlanış gerilimi ise 2V seçilmiştir. 0.02V adımlar ile 0 mW, 20mW, 40mW, 60mW, 80mW ve 100mW güneş ışını şiddeti olacak şekilde toplamda ortalama 200 adet örnekleme ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Malzemede kullanılan PVP nedeniyle rpm seçiminde kalınlık tayininin en uygun sonuçları için IV grafik ölçümlerine 2500 rpmlik numuneler kullanılmıştır.



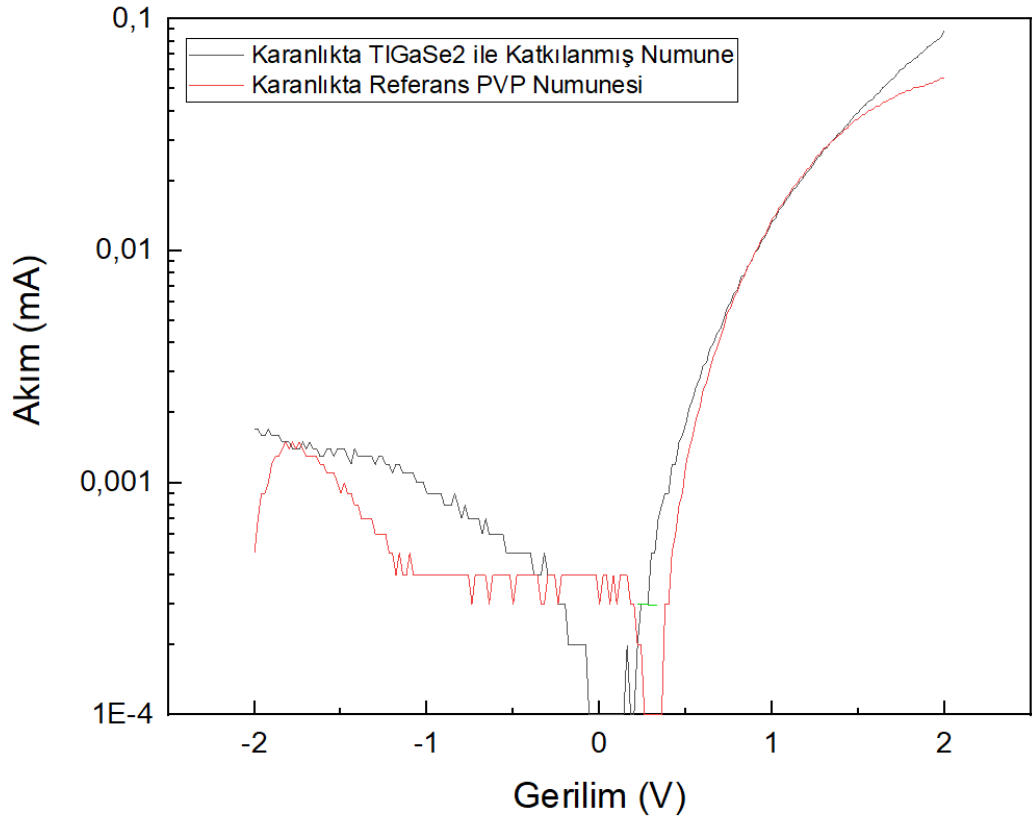
Şekil 4. 9. PVP+TIInS2 ile katkılanmış numune (Siyah) ve referans olması için seçilen sadece PVP (Kırmızı) yaklaşık 0 mW ışık şiddetinde (karanlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.



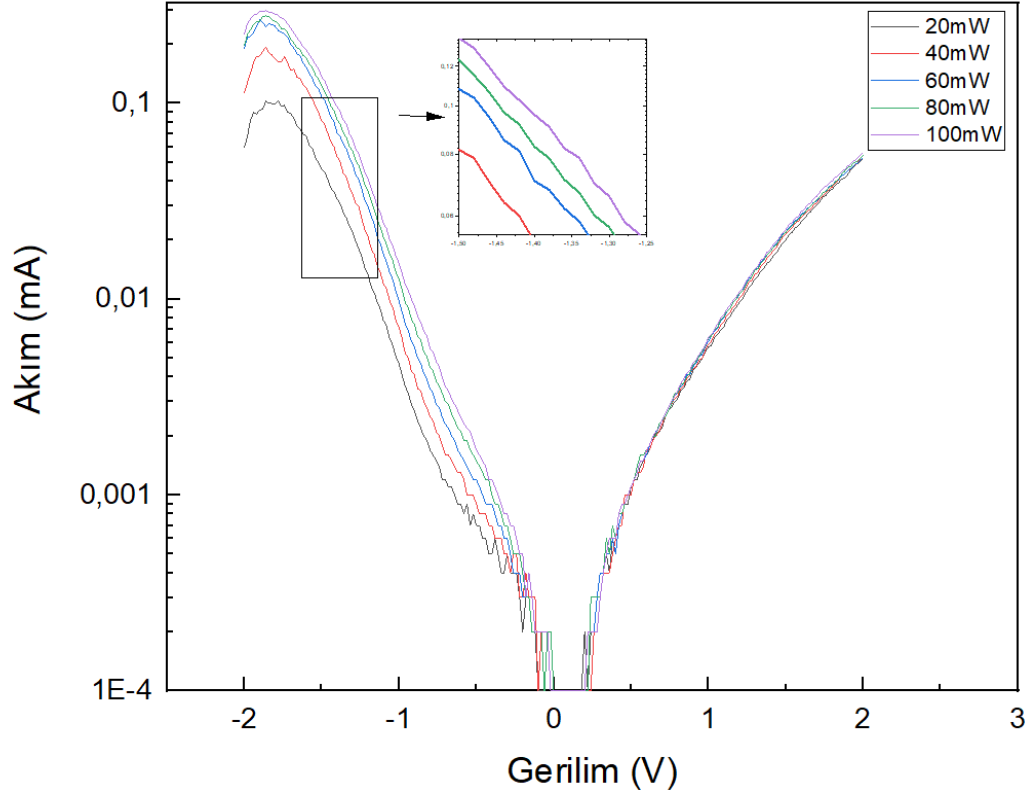
Şekil 4. 10. TlInS2 kaplı numuneye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması. (Ortadaki küçük grafik daha çizgilerin belirgin gözükmesi için -1,25V ve -1,5V aralığından alınmış bir kesit)



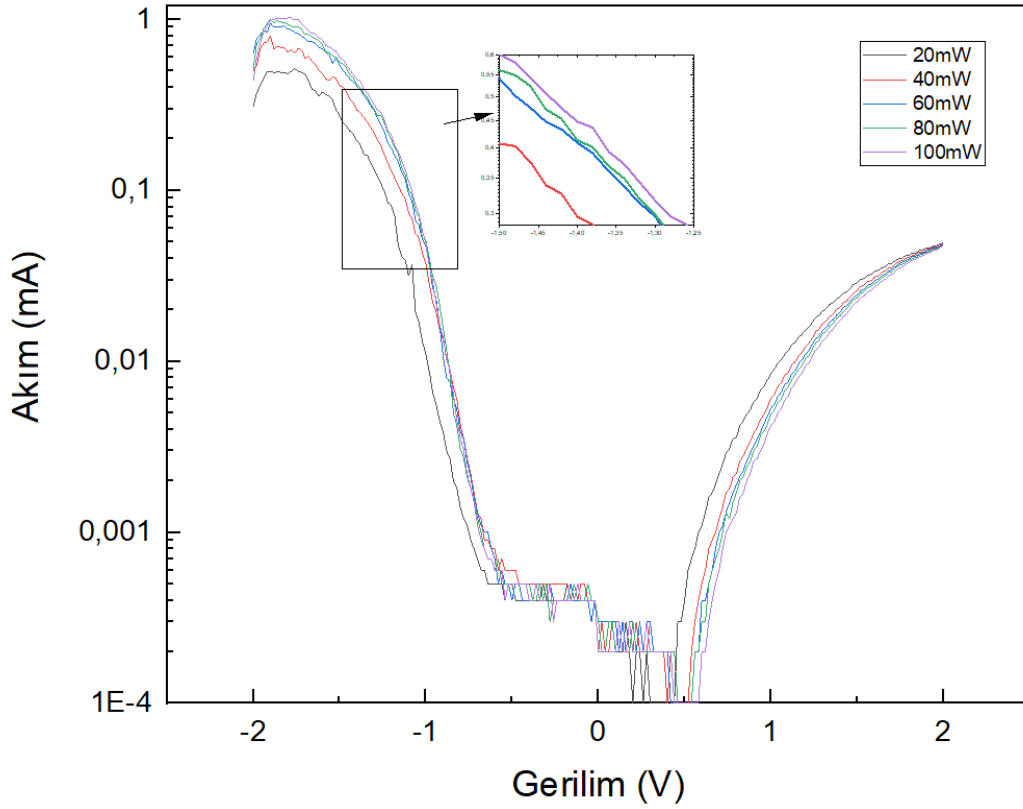
Şekil 4. 11. PVP + TIInS2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması. (Ortakdaki küçük grafik daha çizgilerin belirgin gözükmesi için -1,25V ve -1,5V aralığından alınmış bir kesit)



Şekil 4. 12. PVP + TlGaSe2 ile katkılanmış numune (Siyah) ve referans olması için seçilen sadece PVP (Kırmızı) yaklaşık 0 mW ışık şiddetinde (karanlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 4. 13. TlGaSe₂ kaplı numuneye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması. (Ortadaki küçük grafik daha çizgilerin belirgin gözükmeleri için -1,25V ve -1,5V aralığından alınmış bir kesit)



Şekil 4. 14. PVP + TlGaSe2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) akım – gerilim karakteristik grafiklerinin karşılaştırılması. (Ortadaki küçük grafik daha çizgilerin belirgin gözükmesi için -1,25V ve -1,5V aralığından alınmış bir kesit)

Şekil 4.9 – 4.14 grafiklerinden 'de görüldüğü üzere katkılama yapıldığında akım değerleri yaklaşık olarak 10 kat artmaktadır. Ayrıca ışık şiddeti arttırıldıkça ortalama akım değerinin 0,05 mA civarında artma gözükmektedir.

Sırasıyla hazırlanan Au-PVP+TlInS2-nSi-Au, Au-PVP+TlGaSe2-nSi-Au ve Au-PVP-nSi-Au Schottky fotodiyotlardan alınan ölçüm sonuçlarından elde edilen logaritmik I-V grafiğinden doğrusal noktalardan çizilmiş doğrular yardımıyla diyot parametreleri 2.bölümde 12. başlıktaki analiz denklemleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 1. TlInS2 ile karşılaştırmak için katkılanacak saf PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri

Işık Şiddetleri/ Parametreler	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
İdealite (n) (k.b)	2,1256	1,3411	1,2235	1,0093	1,0901	1,3411
Saturasyon Akımı (I_0) (A)	3,333E-08	2,500E-08	3,497E-08	4,480E-08	3,747E-08	2,451E-08
Bariyer Yüksekliği (ϕ_B) (eV)	0,7537	0,6146	0,6098	0,6062	0,6088	0,7537
Doğrultma Oranı (k.b)	17,7	1,43	0,688	0,466	0,375	0,374
Seri Direnci (Rs) (Ohm)	1,94E+03	1,89E+03	1,94E+03	1,90E+03	1,90E+03	1,94E+03
Şönt Direnci (Rsh) (Ohm)	2,01E+04	6,95E+03	5,76E+03	6,24E+03	5,93E+03	2,01E+04

Çizelge 4. 2. TlInS2 ile katkılanmış PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri

Işık Şiddetleri/ Parametreler	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
İdealite (n) (k.b)	2,6823	1,4853	1,3404	1,0683	1,0957	1,4275
Saturasyon Akımı (I_0) (A)	1,563E-09	6,250E-09	1,250E-08	1,207E-08	2,278E-08	2,787E-08
Bariyer Yüksekliği (ϕ_B) (eV)	0,6543	0,6344	0,6245	0,6250	0,6159	0,6543
Doğrultma Oranı (k.b)	296	10,4	3,69	2,97	3,28	3,12
Seri Direnci (Rs) (Ohm)	1,95E+04	3,24E+04	3,26E+04	3,27E+04	3,22E+04	3,23E+04
Şönt Direnci (Rsh) (Ohm)	3,45E+05	4,63E+04	2,26E+04	1,53E+04	1,23E+04	1,25E+04

Çizelge 4.1 ve 4.2 'den anlaşılacağı üzere katkılanma yapıldığında idealite değerleri beklendiği üzere ideal (n=1) diyotlarda uzaklaşmaktadır.

Çizelge 4. 3. TlGaSe2 ile karşılaştırmak için katkılanacak saf PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri

Işık Şiddetleri/ Parametreler	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
İdealite (n) (k.b)	2,1256	1,3411	1,2235	1,0653	1,0628	1,0188
Saturasyon Akımı (I_0) (A)	2,581E-16	1,953E-10	3,912E-10	3,508E-09	2,108E-09	9,535E-09
Bariyer Yüksekliği (ϕ_B) (eV)	0,8779	0,6840	0,6741	0,6427	0,6500	0,8779
Doğrultma Oranı (k.b)	111,2000	0,8805	0,4770	0,2786	0,2765	0,2503
Seri Direnci (Rs) (Ohm)	3,6E+04	3,82E+04	3,70E+04	3,77E+04	3,67E+04	3,55E+04
Şönt Direnci (Rsh) (Ohm)	4,0E+06	3,37E+04	1,77E+04	1,05E+04	1,01E+04	8,89E+03

Çizelge 4. 4. TlGaSe2 ile katkılanmış PVP numunesinin Schottky diyot numunelerinin lineer bölgesinden hesaplanan diyot parametreleri

Işık Şiddetleri/ Parametreler	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
İdealite (n) (k.b)	1,3411	2,1256	1,2235	1,0575	1,0498	1,0172
Saturasyon Akımı (I_0) (A)	7,813E-10	3,187E-18	6,581E-14	9,689E-12	5,604E-11	7,190E-10
Bariyer Yüksekliği (ϕ_B) (eV)	0,6642	0,9409	0,7986	0,7271	0,7019	0,6642
Doğrultma Oranı (k.b)	52,5882	0,1598	0,0976	0,0762	0,0936	0,1077
Seri Direnci (Rs) (Ohm)	2,24E+04	4,04E+04	4,08E+04	4,12E+04	4,18E+04	4,23E+04
Şönt Direnci (Rsh) (Ohm)	1,18E+06	6,46E+03	3,98E+03	3,14E+03	3,91E+03	4,55E+03

Çizelge 4.3 ve 4.4'te görüldüğü üzere beklendiği üzere katkılama yapıldıkça idealite değerleri artarak, ideal (n=1) diyot karakteristiğinden uzaklaşmıştır.

Çizelge 4. 5. Numunelerin farklı ışık şiddetleri altındaki lineer bölgedeki $\ln I - V$ grafiğinden alınmış denklemleri

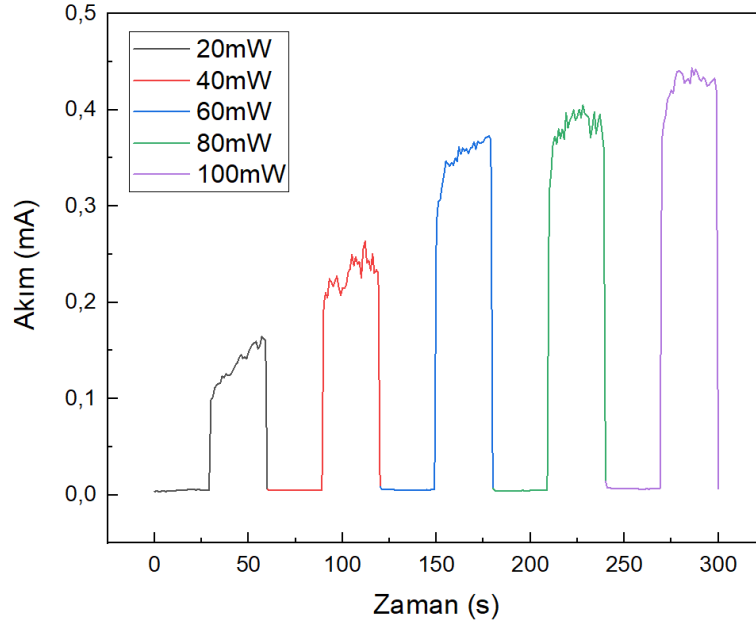
	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
TlInS2 Katkılama İçin Seçilen Sadece Saf PVP Katkılı Numune	54,9306x -17,2167	34,6573x- 17,5043	31,6174x -17,16876	26,0830x -16,9211	28,1710x -17,0996	34,6573x- 17,52439
TlInS2 Katkılanmış PVP+TlInS 2 Numunesi	69,3147x -20,2769	38,3844x -18,89068	34,6375x -18,19754	27,6073x -18,2326	28,3148x -17,0597	36,8892x -17,39588
TlGaSe2 Katkılama İçin Seçilen Sadece Saf PVP Katkılı Numune	54,9306x -35,89314	34,6573x -22,35642	31,6176x -21,66182	27,5286x -19,0468	27,4653x -19,9773	26,32868x -18,46831
TlGaSe2 Katkılanmış VP+TlInS2 Numunesi	34,65737x -20,97013	54,93058x -40,28755	31,61761x -30,3521	27,3287x -25,3607	27,1287x -23,6050	26,28682x -21,0532

Çizelge 4. 6. Numunelerin farklı ışık şiddetleri altındaki lineer bölgedeki $\ln I - V$ grafiğinden alınan x değerlerinin aralığı

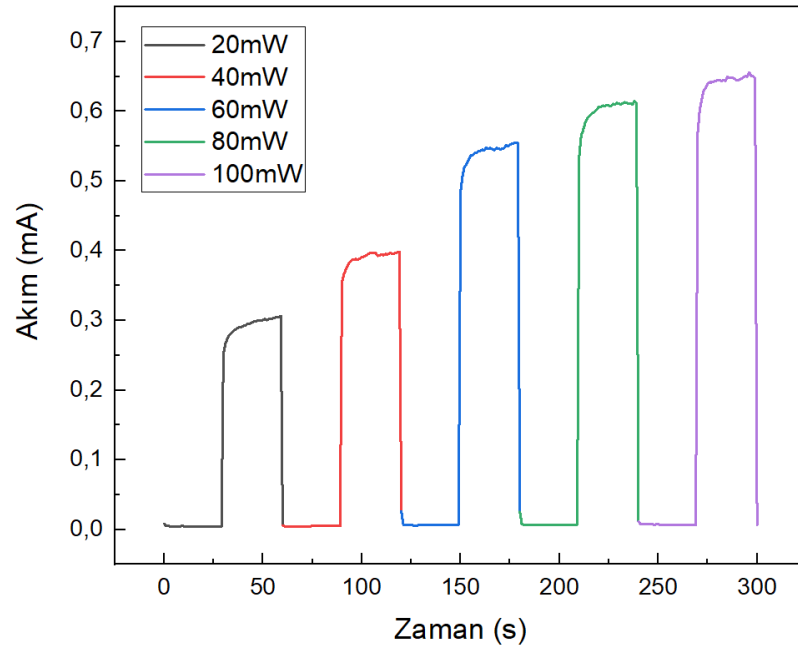
	0mW	20mW	40mW	60mW	80mW	100mW
TlInS2 Katkılama İçin Seçilen Sadece Saf PVP Katkılı Numune	0,02V - 0,04V	0,04V - 0,08V	0,04V - 0,1V	0,04V - 0,1V	0,04V - 0,1V	0,04V - 0,08V
TlInS2 Katkılanmış PVP+TlInS2 Numunesi	0,02V - 0,04V	0,08V - 0,12V	0,06V - 0,1V	0,08V - 0,14V	0,06V - 0,12V	0,06V - 0,08V
TlGaSe2 Katkılama İçin Seçilen Sadece Saf PVP Katkılı Numune	0,36V - 0,38V	0,18V - 0,2V	0,24V - 0,28V	0,2V - 0,24V	0,22V - 0,26V	0,2V - 0,26V
TlGaSe2 Katkılanmış PVP+TlInS2 Numunesi	0,14V - 0,16V	0,44V - 0,46V	0,52V - 0,56V	0,54V - 0,58V	0,54V - 0,58V	0,58V - 0,62V

4.4 Schottky Fotodiyotların Işık Altında Optiksel Karakteristikleri

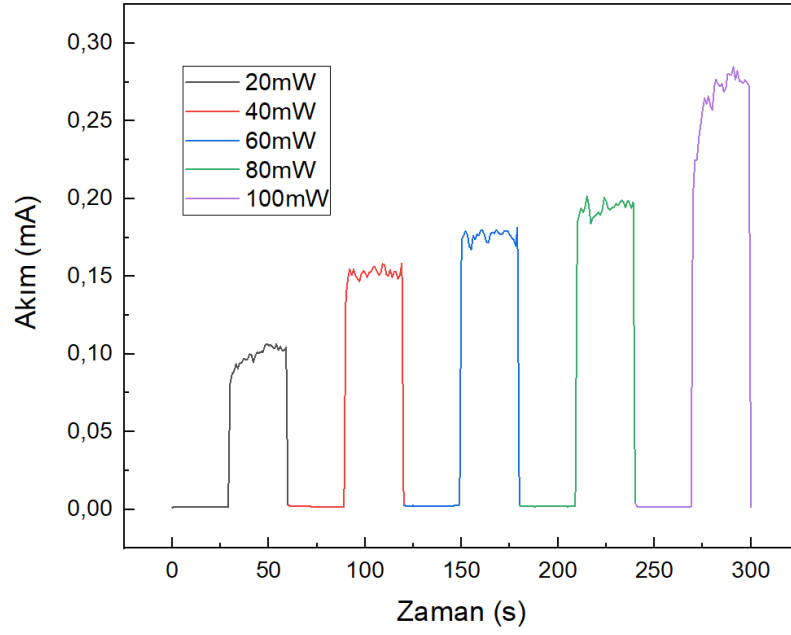
4.3 Başlığı altında yapılanlar gibi silisyum alt taş üzerine kaplanmış PVP+TIInS₂ ve PVP+TI GaSe₂ numunelerinin arkasına alınmış 100nm Au kontak ve numune yüzeylerine 1mm çapında alınmış 100nm Au nokta (dot) kontaklar yardımıyla farklı ışık şiddetleri altında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunede sırasıyla Au-PVP+TIInS₂-nSi-Au, Au-PVP+TI GaSe₂-nSi-Au ve Au-PVP-nSi-Au Schottky fotodiyotlarına sırasıyla 20mW, 40mW, 60mW, 80mW ve 100mW güneş ışını şiddetine kadar her 30 saniyede bir ışık verilerek ve numune -1.8V gerilim değerinde sabitlenerek akım değerleri ölçülmüştür.



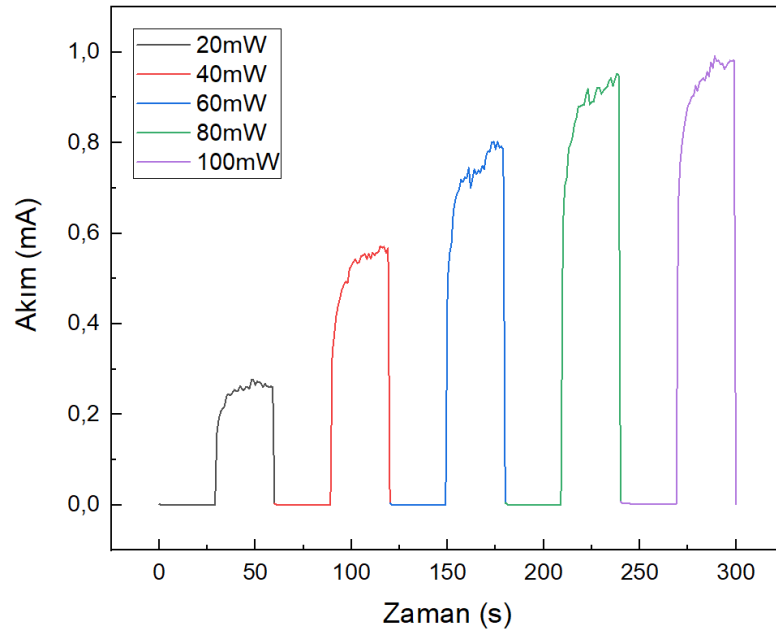
Şekil 4. 15. TlInS2 kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.



Şekil 4. 16. PVP + TlInS2 kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.



Şekil 4. 17. TlGaSe₂ kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.



Şekil 4. 18. PVP + TlGaSe₂ kaplı numunesinin sırasıyla 20 (siyah), 40 (kırmızı), 60 (mavi), 80 (yeşil) ve 100 (mor) mW ışık şiddetinde (aydınlıkta) kısa devre akım-zaman grafiği karşılaştırılması.

Şekil 4.15 – 4.18 grafiklerinden ‘de görüldüğü üzere katkılama yapıldığında kısa devre akımları artmaktayken, ışık şiddeti ‘de arttıkça kısa devre akımlarının arttığı gözlemlenmektedir.

2.13. Başlıktaki formüller kullanılarak çizelgelerdeki değerler hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 7. TlInS2 kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki Isc-t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri

Işık Şiddeti / Parametreler	20 mW	40 mW	60 mW	80 mW	100 mW
Yükselme Zamanı (s)	1,088	0,745	1,763	0,542	0,949
Düşme Zamanı (s)	0,6783	0,814	1,152	0,814	0,814
Isc (A)	1,63E-04	2,62E-04	3,72E-04	4,04E-04	4,43E-04
Fotocevap (A/W)	8,17E-06	6,55E-06	6,19E-06	5,05E-06	4,43E-06
Dış Kuantum Verimi (%)	3,16	5,16	7,29	8,02	8,90
NEP (Hz ^(1/2) *W)	8,86E-07	1,40E-06	1,76E-06	2,25E-06	2,69E-06
Alıcılık (cm.Hz ^(1/2) /W)	1,13E+03	7,15E+02	5,68E+02	4,44E+02	3,72E+02

Çizelge 4. 8. PVP + TlInS2 kaplı numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki Isc-t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri

Işık Şiddeti / Parametreler	20 mW	40 mW	60 mW	80 mW	100 mW
Yükselme Zamanı (s)	0,926	0,586	0,816	1,337	0,8755
Düşme Zamanı (s)	1,224	0,348	0,935	0,991	1,109
Isc (A)	3,08E-04	3,97E-04	5,56E-04	6,13E-04	6,53E-04
Fotocevap (A/W)	1,54E-05	9,92E-06	9,26E-06	7,67E-06	6,53E-06
Dış Kuantum Verimi (%)	5,96	7,82	10,89	12,18	13,11
NEP (Hz ^(1/2) *W)	6,45E-07	1,14E-06	1,44E-06	1,83E-06	2,21E-06
Alıcılık (cm.Hz ^(1/2) /W)	1,55E+03	8,80E+02	6,94E+02	5,47E+02	4,51E+02

Çizelge 4. 9. TlGaSe2 kaplı malzemeye referans olması için seçilen sadece PVP numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I_{sc}-t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri

Işık Şiddeti / Parametreler	20 mW	40 mW	60 mW	80 mW	100 mW
Yükselme Zamanı (s)	0,91	1,017	0,949	0,881	0,948
Düşme Zamanı (s)	0,781	1,017	1,015	0,678	0,678
I _{sc} (A)	1,04E-04	1,56E-04	1,86E-04	2,00E-04	2,80E-04
Fotocevap (A/W)	0,0052	0,0039	0,0031	0,0025	0,0028
Dış Kuantum Verimi (%)	2,01	3,07	3,65	3,97	5,62
NEP (Hz ^(1/2) *W)	1,11E-09	1,81E-09	2,49E-09	3,20E-09	3,38E-09
Alıcılık (cm.Hz ^(1/2) /W)	9,01E+05	5,52E+05	4,02E+05	3,12E+05	2,96E+05

Çizelge 4. 10. PVP + TlGaSe2 kaplı numunesinin farklı ışık şiddetleri altındaki I_{sc}-t grafiklerinden elde edilen önemli optik parametreleri

Işık Şiddeti / Parametreler	20 mW	40 mW	60 mW	80 mW	100 mW
Yükselme Zamanı (s)	0,947	1,152	1,151	0,746	2,034
Düşme Zamanı (s)	0,95	1,153	0,955	0,555	1,085
I _{sc} (A)	2,76E-04	5,65E-04	7,98E-04	9,44E-04	9,88E-04
Fotocevap (A/W)	0,0138	0,0142	0,0133	0,0118	0,0098
Dış Kuantum Verimi (%)	5,33	11,13	15,65	18,75	19,83
NEP (Hz ^(1/2) *W)	6,81E-10	9,48E-10	1,20E-09	1,47E-09	1,82E-09
Alıcılık (cm.Hz ^(1/2) /W)	1,47E+06	1,06E+06	8,32E+05	6,78E+05	5,51E+05

Çizelgelerdeki değerlere bakıldığında numunelere katkılama yapıldıkça ortalama olarak alıcılık değerleri, dış kuantum verimleri ve fotocevap değerleri artarken, diğerleri dalgalı bir sonuç vermekte. Işık şiddetleri arttıkça ‘da alıcılık değerleri, NEP değerleri ve fotocevap değerleri azalırken dış kuantum verimleri azalmaktadır.

5. SONUÇ

Sonuç olarak, bu tezde yapılan araştırmada bir yüzeyi parlatılmış yaklaşık 400µm kalınlığında ve 3” çapında 1-10 Ω.cm özdirence sahip n-tipi Si yarıiletken alt taş kullanılmıştır. Kesilen parça numunelerin XRD numunelerini alabilmek için üzerine sırasıyla PVP (2500rpm), 1 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlInS2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 2 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlInS2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 1 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlGaSe2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 2 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlGaSe2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune olmak üzere 13 numune üzerinde, I-V ölçümlerini almak için ise üzerine sırasıyla PVP, PVP+TlInS2, PVP+TlGaSe2 (2 saat sonikasyon işleminden geçmiş) solüsyonları 2500 rpm hızında dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile kaplanmıştır ve ardından üretilen numunelerin üzerine 100 nm kalınlığında 1mm çapında Au (Altın) metali ile Schottky noktasal kontak, alt yüzeyine ise 100nm kalınlığında yüzeyi tamamen kaplayacak şekilde kaplanmıştır. Özdirenç ölçümleri için 1cmx1cm saf ve steril cam üzerine sırasıyla PVP (2500rpm), 1 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlInS2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 2 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlInS2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 1 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlGaSe2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune, 2 saatlik sonikasyon işleminden geçirilen PVP+TlGaSe2 solüsyonunun sırasıyla 500, 1500, 2500 rpm olmak üzere 3 numune olmak üzere 13 numune üzerinde ölçüm testleri yapılmıştır.

Özdirenç sonuçlarına göre 2500 RPM ‘de sadece PVP 3,42E+08 ohm direnç göstererek en düşük değere sahiptir. Katkılanan malzemelerde RPM değerleri arttıkça kalınlığın incelmesinden dolayı özdirenç değerlerinin azaldığı görülebilir. Sonikasyon süresi arttıkça da fiziksel olarak çözünen malzemenin sayısı arttığından özdirenci arttırdığı gözlenmiştir. TlGaSe2 ve TlInS2 katkılı numuneler karşılaştırıldığında ise TlInS2 malzemesinin özdirencinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. 500 RPM değerinde 2 saat sonikasyon işlemi görmüş PVP + TlInS2 numunesi 3,53E+08 ohm direnç değeriyle en yüksek özdirence sahip numunedir.

XRD yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına göre TlInS₂ ve TlGaSe₂ iki boyutlu yarı iletkenlerinin literatüründe yer alan sırasıyla, Şekil 4.5. 'te gözüktüğü üzere TlInS₂ için <200>, <400>, <-122>, <600>, <215> ve TlGaSe₂ için <002>, <004>, <008>, <0010>, <0012> piklerinden katkılanan malzemede TlInS₂ için <400>, <600>, <215> pikleri belirgin bir biçimde belli olurken, TlGaSe₂ için <004>, <008> pikleri belirgin olarak gözleniyor. Bu pik değerleri Şekil 4.8. 'de görüldüğü gibi sadece PVP numunesinde gözükmemektedir. Şekil 4.6. ve 4.7. 'den görüldüğü üzere 1 saat sonikasyon yapılan malzemelerde XRD cihazı, TlInS₂ ve TlGaSe₂ numunelerinin yapısal özelliklerini gösteremezken, 2 saatlik sonikasyona maruz bırakılan numunelerde gözlemlenebilmiştir. Sonuç olarak 1 saatlik sonikasyon işleminde malzemelerin yoğunluğu çok az olduğundan diğer ölçümler için kesin bir yorum yapılamaz fakat 2 saatlik numunelerde katkılanan yarı iletkenin yapısal özellikleri gözlenebildiğinden diğer analiz yöntemleri uygulanıp yorum yapılabilir.

Elektriksel karakteristik özelliklerini belirlemek için Schottky noktasal kontaklardan karanlık ve farklı ışık şiddetlerinde aydınlık ortamlarda ölçümler gerçekleştirilerek logaritmik akım – gerilim grafik eğrileri kullanılarak idealite, satürasyon akımı, bariyer yüksekliği, doğrultma oranı, seri ve şönt dirençleri gibi parametreler hesaplanmıştır. TlInS₂ için idealite değeri 1' e en yakın olan 1,0683 değeri ile 60mW ışık şiddetinde katkılanmış PVP + TlInS₂ numunesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu numunenin satürasyon akımı diğerlerinden daha yüksek olup 1,207E-08 (A) olup, bariyer yüksekliği 0,625 (eV) iken doğrultma oranı 2,97'dir. Çizelge 4.1. ve 4.2. 'den görüldüğü üzere ışık şiddeti arttıkça ve katkılama yapılıncı idealite, bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı azalma eğilimi gösterirken, satürasyon akımı yükselme eğilimi göstermektedir. TlGaSe için idealite değeri 1 'e en yakın olan 1,0172 değeri ile 100mW ışık şiddetinde katkılı PVP + TlGaSe₂ numunesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu numunenin satürasyon akımı diğerlerinden daha yüksek olup 7,190E-10 (A) olup, bariyer yüksekliği 0,6642 (eV) iken doğrultma oranı 0,1077'dir. Çizelge 4.3. ve 4.4. 'den görüldüğü üzere önceki yarı iletken değerleri gibi ışık şiddeti arttıkça ve katkılama yapılıncı idealite, bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı azalma eğilimi gösterirken, satürasyon akımı yükselme eğilimi göstermektedir. Ek olarak iki yarı iletken numunede 'de karanlıkta (0mW) doğrultma oranları daha yüksek iken üzerine ışık düşürüldüğünde doğrultma oranları azalmaktadır, yani malzemelerin ışığa duyarlı olduğu gözlemlenebilir. İki malzeme karşılaştırılırsa

idealite değeri daha küçük olan 100mW ışık şiddetindeki TlGaSe2 daha iyi bir fotodiyot özelliği sergilemiştir.

Numunelerin farklı ışık şiddetleri altında gösterdikleri optik karakteristik özelliklerini belirlemek için 30 saniye aralıklarla her bir numunenin üzerine ışık düşürülecek şekilde kısa devre akım (I_{sc}) – zaman (t) grafikleri kullanılarak yükselme süresi, düşme süresi, fotocevap, dış kuantum verimi yüzdesi ve alıcılık değerleri gibi parametreler hesaplanıp çizelge olarak verilmiştir. TlInS2 için referans sadece PVP numunesine katkılama yapılıncaya yükselme süresi ve NEP değerleri azalma eğilimi gösterirken, fotocevap, I_{sc} değerleri, dış kuantum verim yüzdesi ve alıcılık değerleri artma eğilimi gösterirken, düşme süresi dalgalı bir durum sergilemiştir. Aynı yarı iletken malzemede ışık şiddeti arttıkça yükselme ve alçalma süreleri ve NEP değerleri dalgalı bir durum sergilerken, I_{sc} değerleri ve dış kuantum verim yüzdesi artma eğilimi gösterirken, fotocevap değerleri ve alıcılık değerleri azalmıştır. 100mW ışık şiddeti altında PVP + TlInS2 numunesi için fotocevap, dış kuantum verim yüzdesi ve alıcılık değeri sırasıyla $6,53E-06$ (A/W), %13,11, $4,51E+02$ değerleri ile en uygun fotodiyot özelliği taşımaktadır. TlGaSe2 için referans sadece PVP numunesine katkılama yapılıncaya yükselme ve düşme süreleri dalgalı bir durum sergilerken, I_{sc} değeri ve NEP değerleri azalma eğilimi gösterirken, fotocevap, dış kuantum verim yüzdesi ve alıcılık değerleri artmıştır. Aynı yarı iletken malzemede ışık şiddeti arttıkça yükselme ve düşme süreleri dalgalı bir durum sergilerken, I_{sc} değerleri ve dış kuantum verim yüzdesi artma eğilimi gösterirken, fotocevap, NEP değerleri ve alıcılık değerleri azalmıştır. 100mW ışık şiddeti altında PVP + TlGaSe2 numunesi için fotocevap, dış kuantum verim yüzdesi ve alıcılık değeri sırasıyla $9,88E-04$ (A/W), %19,83, $5,51E+05$ değerleri ile en uygun fotodiyot özelliği taşımaktadır. İki yarı iletken numunesi karşılaştırıldığında ise aynı elektriksel karakterizasyondaki gibi TlGaSe2 ‘nin TlInS2 ‘den daha iyi fotodiyot özellikleri gösterdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- A. M. Panich, D. Mogilyansky, R. Sardarlı (2012). *Phase transitions and incommensurability in the layered semiconductor TlInS₂- an NMR study*. *Journal of Physics Condensed Matter* 24(13):135901. <http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/24/13/135901>
- A. Rogalski (2010). *Infrared Detectors*, ISBN 1420076728, 9781420076721 https://books.google.com.tr/books/about/Infrared_Detectors.html?id=0VUJSafhaK0C&redir_esc=y
- D. A. Neamen (2003). *Semiconductor Physics and Devices*, <http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/403/Semiconductor%20Physics%20and%20Devices%20-%20Donald%20Neamen.pdf>
- F. A. Akgul (2017). *Kurpik Oksit/Silisyum Heteroeklemili Nanodiyotların Fotovoltaik Özellikleri*. *Selçuk University Journal of Engineering Science and Technology* 5(4):460-471. <http://dx.doi.org/10.15317/Scitech.2017.105>
- G.D. Guseinov A.M. Ramazanade, E.M. Keriova, M.Z. Ismailov (1967). *About a Group of Three-Component Compounds being Analogous to Binary Semiconductors of the AIII BVI Type*. *Physica Status Solidi*. 22(2);, K117-K122. <https://doi.org/10.1002/pssb.19670220256>
- Haaf, F., Sanner, A., Straub, F. (1985). *Polymers of N -Vinylpyrrolidone: Synthesis, Characterization and Uses*. *Polymer Journal* 1985 17:1, 17(1);, 143–152. <https://doi.org/10.1295/polymj.17.143>
- J. Grigas, E. Talik, M. Adamiec, V. Lazauskas (2007). *XPS and electronic structure of TlInSe₂ crystals*. *Lithuanian Journal of Physics* 47(1);, 87-95. [https://www.researchgate.net/publication/268388502_XPS_and_electronic_structure_of_TlInSe₂ crystals](https://www.researchgate.net/publication/268388502_XPS_and_electronic_structure_of_TlInSe2_crystals)
- J. Zheng, S. Ostrach, Y. Kamotani (1992). *A Numerical Study Of Low-Gravity Floating Zone Crystal Growth*. *Transport Phenomena in Heat and Mass Transfer*, 675,692. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89851-7.50063-7>
- K. Bouizidi, M. Chegaar, A. Bouhemadou (2007). *Solar cells parameters evaluation considering the series and shunt resistance*. *Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 91, Issue 18*. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2007.05.019>
- K. M. Koczur, S. Mourdikoudis, L. Polavarapu, S. E. Skrabalak (2015). *Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis*. *Dalton Transactions* 41. <https://doi.org/10.1039/c5dt02964c>
- Mao-Hua Du, K. Biswas, D. J. Singh (2012). *Resistivity, carrier trapping, and polarization phenomenon in semiconductor radiation detection materials* *SPIE Optical Engineering + Applications* <https://doi.org/10.1117/12.930072>
- M. Chhowalla, D. Jena, H. Zhang (2016). *Two-dimensional semiconductors for transistors*. *Nature Reviews Materials* volume, 1(11). <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.52>
- Milnes, A. G., D. L. Feucht (1972). *Heterojunctions and Metal Semiconductor Junctions*. *Heterojunctions and Metal Semiconductor Junctions*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-498050-1.X5001-6>
- M. J. Deen, F. Pascal (2006). *Electrical characterization of semiconductor materials and devices—review*. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 17:, 549-575. <https://doi.org/10.1007/s10854-006-0001-8>

- M.M. El-Nahass , M.M. Sallam b, A.H.S. Abd Al-Wahab (2008). *Optical and photoelectric properties of TlInS₂ layered single crystals*. *Current Applied Physics*, 9(2):, 311-316. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2008.02.011>
- M. P. Haniyas, A. N. Anagnostopoulos, K. Kambas, J. Spyridelis (1992). *Electrical and optical properties of as-grown TlInS₂, TlGaSe₂ and TlGaS₂ single crystals*. *Materials Research Bulletin*, Volume 27, Issue 1. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(92\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0025-5408(92)90039-3)
- N. Yıldırım, E. Durumlu (2017). *Ag/Azure A /n-Si Schottky Diyodun elektriksel ve fotovoltajik özelliklerinin araştırılması*. *Turkish Journal of Nature and Science*. 6(1). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/347359>
- P Tsourlos (1995). *Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data*. <https://etheses.whiterose.ac.uk/14017/1/296385.pdf>
- Sze (2012). *Semiconductor Devices: Physics and Technology, 3rd Edition* | Wiley. .
- S. Ozdemir, M. Bucurgat (2014). *Photoelectrical properties of TlGaSe₂ Single Crystals*. *Solid State Sciences* 33(2014) 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2014.04.006>
- T. Demirtaş (2019). *İki boyutlu GaSe katkılı PVP ince film tabanlı fotodedektörlerin üretilmesi ve incelenmesi*. <http://hdl.handle.net/11452/22139>
- W. Shockley (1950). *Electrons and Holes in Semiconductors With Applications to Transistor Electronics*
- Z. Zhang, K. Narumi, H. Naramoto (1999). *A crystalline hydrogenated carbon film obtained by plasma enhanced chemical vapor deposition*. *Journal of Applied Physics* 86(3):1317-1321. <http://dx.doi.org/10.1063/1.370888>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yahya Kerem UÇMAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Çarşamba/SAMSUN 07.09.1997
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Tekirdağ Çorlu Özel Trakya Koleji
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği

İletişim (e-posta) : keremucman@gmail.com

Akademik Çalışmalar : Yahya Kerem UÇMAN 2023. The sensitivity improvement via TlInS₂ chalcogen flake-based PVP nanocomposite thin films for Silicon photodiodes. *2nd International Conference on Innovative Academic Studies on 28 - 31 January in 2023 at Konya/Turkey. ISBN: 978-605-72325-2-6*