

**T.C.**  
**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**InSe İNCE FİLMLEİNİN FARKLI ALT TABANLAR ÜZERİNDE**  
**BÜYÜTÜLMESİ VE OPTİK, YAPISAL, FOTOELEKTİRİK**  
**ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Fatih ÜNAL**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. Hasan MAMMADOV**

**OCAK-2013**

**KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih ÜNAL'ın Prof. Dr. Hasan MAMMADOV'un danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "InSe İnce Filmlerinin Farklı Alt Tabanlar Üzerinde Büyütülmesi Ve Optik, Yapısal, Fotoelektrik Özelliklerinin Araştırılması" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

23.01.2013

**Adı ve Soyadı**

**İmza**

**Başkan:** Prof. Dr. Hasan MAMMADOV

**Üye** : Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜKSEK



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ...../...../..... gün ve ...../.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Muzaffer ALKAN

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Katıhal Fiziği Bilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır.

Bu çalışmada InSe ince filmleri, farklı alt tabanlar üzerinde büyütüldü. InSe ince filmlerinin yapısal, morfolojik, optik soğurma ve elektriksel özellikleri araştırıldı.

Öncelikle çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hasan MAMMADOV'a, değerli hocam Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT'a, Yrd. Dr. Mustafa YÜKSEK'e, Arş. Gör. Hüseyin ERTAP'a ve Yüksek Lisans arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca hem Lisans hem de Yüksek Lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve bu çalışmamda beni hiç yalnız bırakmayan Eylül'üme çok teşekkür ederim.

Kars, 2013

Fatih ÜNAL

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

<b>ÖZET</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	VII
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	VIII
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2.III-VI GRUBUNA AİT BİLEŞİK YARIİLETKEN İNCE FİLMER</b> .....	3
<b>3.MATERYAL METOD</b> .....	12
3.1 Alt Tabanların Hazırlanması.....	12
3.2 Katyonik Çözeltinin Hazırlanması.....	12
3.3 Anyonik Çözeltinin Hazırlanması.....	13
3.4 InSe İnce Filmlerinin Büyütülmesi .....	13
<b>4.BULGULAR</b> .....	16
4.1Cam Alt Taban Üzerinde Büyütülen InSe İnce Filmlerinin Kalınlıklarının Hesaplanması.....	16
4.2 Yapısal Özellikler .....	16
4.3 Morfolojik Özellikler .....	24
4.4 Soğurma Özellikleri .....	28
4.5 Elektriksel Özellikler.....	38
<b>5.TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	63
<b>6.KAYNAKLAR</b> .....	69
<b>7.ÖZGEÇMİŞ</b> .....	71

## ÖZET

Bu çalışmada InSe ince filmleri cam, cam+GaSe ince film, cam+CdS ince film, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerine M-CBD yöntemiyle büyütüldü. Elde edilen filmlerin tavlansız ve tavlansız hallerinin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri incelendi. Cam alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin kalınlıkları 75 turda yaklaşık 112nm olarak hesaplandı. Farklı molaritelerde katyonik çözelti kullanarak elde edilen ince filmlerinin kalınlığı tur sayısı sabit tutularak hesaplandı ve filmlerin kalınlıklarının değişmediği tespit edildi. Cam, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlamanın etkisiyle XRD spektrumlarındaki değişimleri incelendi. Tavlamanın etkisiyle cam alt taban üzerine büyütülen filmin piklerinin şiddetlerinin arttığı, InSe tek kristal üzerine büyütülen filmin bazı noktalarda piklerinin şiddetlerinin arttığı bazı noktalarda ise zayıfladığı, GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen filmin ise bütün bölgelerde piklerin şiddetlerinin arttığı görüldü. Tavlamanın etkisiyle filmlerin parçacık boyutlarının arttığı tespit edildi. Filmlerin optik özellikleri UV-VIS spektrometre ile çalışıldı ve filmlerin yasak band aralıkları hesaplandı ve tavlamanın etkisiyle yasak band aralıklarının daraldığı görüldü. Karanlık ve ışıklı ortamlarda filmlerin I-V karakteristiği incelendi. Filmlerin ışığa duyarlı oldukları görüldü ve tavlamanın etkisiyle bu duyarlılığın arttığı tespit edildi. I-V ölçümlerinden sıcaklığın artmasıyla numunelerin dirençlerinin azaldığı ve akabinde elektriksel iletkenliklerinin arttığı görüldü.

**2013,71 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** InSe, GaSe, CdS, XRD

## ABSTRACT

In this study, InSe thin film were grown on glass, glass+GaSe, glass +CdS and InSe and GaSe simple crystal substrate by M-CBD method. Structural, morphological, optical and electrical properties as grown and heat treated thin film were investigated. The thicknes of InSe thin films grown on the glass substrated were determined to be 112nm for 75 dipping cycles. Dependence of film thicknes on the molarity of cationic solution were tested by fixed the dipping cycle content and it was found that film thickness did not change with molarity. Effect of annealing on the structure of InSe thin film grown on the glass, GaSe and InSe simple crystal substrations were studied by XRD. After heat treatment, the intensition of XRD peaks increased for InSe film grown on the glass and GaSe substrations while for InSe film grown InSe simple crystal substrate the intensition increased for same peak and decreased. The particle size were found to increase after annealing. Optical properties were studied by UV-VIS spectrometer and it was found that band gaps were decreased after heat treatment. I-V charecteristic of InSe film were investigated dark and illiminated environment. InSe film were shown to be photosensitive and photosensitive increased after heat treatment. From the I-V measurement it was observed that on the temperature increased the resistance decreased and electrical conductivity increased.

**2013, Page 71**

**Key Words:** InSe, GaSe, CdS, XRD

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

$\alpha$	Soğurma katsayısı
$E_g$	Yasak enerji aralığı
$h$	Plank sabiti
$M$	Molarite
$\nu$	Frekans
$T$	Sıcaklık
$k_b$	Boltzmann sabiti
$\sigma$	İletkenlik

### 2. Kısaltmalar

M-CBD	Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi
XRD	X-Işını Kırınımı
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.4.1 İndiyum selen filminin büyüme mekanizasyonu .....	15
Şekil 3.4.2 İndiyum selen ince filminin M-CBD yöntemiyle elde edilmesi.....	15
Şekil 4.2.1 Cam alt taban üzerine büyütülen tavlınmamış ve 100-150°C’de tavlınmış InSe ince filmlerinin XRD spektrumu .....	17
Şekil 4.2.2 InSe tek kristalinin XRD spektrumu .....	18
Şekil 4.2.3 InSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~10 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	18
Şekil 4.2.4 InSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~20 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	19
Şekil 4.2.5 InSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~30 da gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	20
Şekil 4.2.6 InSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~43 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	20
Şekil 4.2.7 InSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~67 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	21
Şekil 4.2.8 GaSe tek kristalinin XRD spektrumu .....	21
Şekil 4.2.9 GaSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~11 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	22
Şekil 4.2.10 GaSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~23 de gözlenen piklerin karşılaştırılması .....	22
Şekil 4.2.11 GaSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda 20°~45 de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	23



Şekil 4.2.12 GaSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlanan ve tavlansayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda $2\theta^{\circ}\sim 55$ de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	23
Şekil 4.2.13 GaSe tek kristali ve InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen tavlanan ve tavlansayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda $2\theta^{\circ}\sim 70$ de gözlenen piklerin karşılaştırılması.....	24
Şekil 4.3.1 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	25
Şekil 4.3.2 Cam alt taban üzerine büyütülen $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	25
Şekil 4.3.3 Cam alt taban üzerine büyütülen $150^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	26
Şekil 4.3.4 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	26
Şekil 4.3.5 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	27
Şekil 4.3.6 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	27
Şekil 4.3.7 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.....	28
Şekil 4.4.1 0,03M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	29
Şekil 4.4.2 0,03M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı...	29
Şekil 4.4.3 0,03M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $150^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı...	30
Şekil 4.4.4 0,05M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	30
Şekil 4.4.5 0,05M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı...	31
Şekil 4.4.6 0,05M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $150^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı...	31
Şekil 4.4.7 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	32
Şekil 4.4.8 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $100^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı ...	32
Şekil 4.4.9 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve $150^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı...	33

Şekil 4.4.10 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	34
Şekil 4.4.11 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen ve 80°C’de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	34
Şekil 4.4.12 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	35
Şekil 4.4.13 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen ve 80°C’de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	35
Şekil 4.4.14 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	36
Şekil 4.4.15 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve 100°C’de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	36
Şekil 4.4.16 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	37
Şekil 4.4.17 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve 100°C’de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı .....	37
Şekil 4.5.1 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği ...	39
Şekil 4.5.2 Cam alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	39
Şekil 4.5.3 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin sıcaklığa karşı I-V karakteristiği .....	40
Şekil 4.5.4 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	40
Şekil 4.5.5 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	41
Şekil 4.5.6 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	42
Şekil 4.5.7 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	42
Şekil 4.5.8 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	43
Şekil 4.5.9 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	44
Şekil 4.5.10 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	44

Şekil 4.5.11 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	45
Şekil 4.5.12 Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	45
Şekil 4.5.13 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	46
Şekil 4.5.14 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	47
Şekil 4.5.15 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması .....	47
Şekil 4.4.16 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	48
Şekil 4.5.17 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log I-10^3/T$ grafiği .....	48
Şekil 4.5.18 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log U_F-10^3/T$ grafiği .....	49
Şekil 4.5.19 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	49
Şekil 4.5.20 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	50
Şekil 4.5.21 InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması .....	51
Şekil 4.5.22 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	51
Şekil 4.5.23 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin $\log I-10^3/T$ grafiği .....	52
Şekil 4.5.24 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin $\log U_F-10^3/T$ grafiği .....	52
Şekil 4.5.25 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe ince filmlerinin I-V karakteristiği .....	53
Şekil 4.5.26 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği .....	54
Şekil 4.5.27 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	54
Şekil 4.5.28 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması .....	55

Şekil 4.5.29 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği .....	55
Şekil 4.5.30 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log I-10^3/T$ grafiği.....	56
Şekil 4.5.31 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log U_F-10^3/T$ grafiği .....	56
Şekil 4.5.32 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği . .....	57
Şekil 4.5.33 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği .....	58
Şekil 4.5.34 GaSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşımı.....	58
Şekil 4.5.35 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin $\log\sigma-10^3/T$ grafiği.....	59
Şekil 4.5.36 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin $\log I-10^3/T$ grafiği.....	59
Şekil 4.5.37 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin $\log U_F-10^3/T$ grafiği .....	60
Şekil 4.5.38 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlananmayan InSe ince filmlerinin I-V karakteristiği.....	61
Şekil 5.1 Farklı alt tabanlar üzerinde büyütülen InSe ince filmlerinin parçacık boyutunun şematik gösterimi .....	63
Şekil 5.2 Hesaplanan yasak enerji aralıklarının şematik gösterimi, K.Ç:Katyonik Çözelti .....	65
Şekil 5.3 Hesaplanan aktivasyon enerjilerinin şematik gösterimi .....	67

## 1.GİRİŞ

İnsanoğlunun yarıiletkenlerle tanışması 1950'li yıllara dayanmaktadır. Uygulama alanlarındaki ihtiyaçlardan dolayı yarıiletken fiziği gün geçtikçe gelişmektedir. Bundan dolayı yarıiletken fiziği mühendislik ve fizik alanında önemli bir yer almaktadır. Günlük yaşantımızda hemen hemen her alanda kullandığımız yarıiletken aygıtlar içerisinde önemli bir yere sahip olan ince filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel analizlerinin yapılması bilimsel açıdan son derece önemlidir. Yarıiletkenler gelişen teknoloji ile birlikte endüstriyel alanlarda, uzay araçlarında ve sağlık alanlarında kullanılmaktadır. Günümüzde yarıiletken malzemelerin fotodiyot, lazer, transistör, güneş pili, sensör, gösterim cihazları, optik iletişim sistemleri ve savunma teknolojisinde kullanımları oldukça yaygındır. Petrol ve diğer fosil yakıtların 20.y.y. da tükenmeye başlaması insanoğlunu farklı enerji kaynaklarını arama zorunluluğunda bırakmıştır. Diğer enerji kaynakları ile kıyaslandığında çok çok daha uzun ömre sahip olması ve aynı zamanda yenilenebilir olmasından dolayı güneş enerjisi çok cazip hale gelmiştir bu yüzden insanoğlu bu enerji kaynağından faydalanabilmek için yoğun bir araştırma temposuna girmiştir. Bu araştırmaların sonucunda güneş pilleri bulunmuştur. Güneş pilleri güneşten gelen ışınları doğrudan elektrik enerjisine çeviren p-n eklemleridir. Güneş pillerinin yapımı bir ölçüde kolay olup, kullanımına bağlı olarak uzun ömürlü olmaları, yüksek verim için sıcaklık gerektirmemeleri, verdikleri enerjiye göre kütlelerinin küçük olması, atıkları ve çevreye zararlarının olmaması ve çok kolay taşınabilme gibi özellikleri güneş pillerinin kullanım alanını gün geçtikçe arttırmaktadır [1].

Yarıiletkenler katıların en ilginç ve en önemli sınıfını oluşturur. Bunlar metallere yalıtkanlara uzanan bölgeyi kapsayan geniş bir olaylar zinciri sergilerler ve geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Yarıiletkenlerin özdirençleri oda sıcaklığında ( $10^{-2}$ - $10^9$ ohm-cm) aralığındadır. Bu aralık; İyi iletkenler ( $10^{-6}$ ohm-cm) ve yalıtkanlar ( $10^{14}$ - $10^{20}$ ohm-cm) arasındaki bölgeye düşer. Mutlak sıfır sıcaklığında yarıiletken maddelerin saf ve mükemmel kristalleri yalıtkan özelliği gösterir. Tanıtıcı yarıiletken

olma özelliği ise: Termal uyarma, safsızlık atomları, örgü kusurları veya kimyasal düzende meydana gelen değişiklikler sonucu ortaya çıkar. Bir yarıiletkenin iletkenliği, sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlıdır. Sıcaklık yükseldiğinde, bir yarıiletkenin öz direncinin küçülmesi onun en belirgin özelliğidir. Bu özellik; öz direnci esas olarak foton saçılmasından gelen metallerdeki durumdan tamamen farklıdır. Yarı iletkenlerdeki yabancı madde konsantrasyonu arttıkça öz direnç küçülür. Metallerde ise yarıiletkenlerin tam tersine, saflık arttıkça öz direnç küçülür [2].

Alt tabaka olarak katı bir malzeme üzerine malzemenin temel özelliklerinin ölçülmesinde hem doğrudan bir fiziksel işlemle hem de bir kimyasal yada elektrokimyasal reaksiyonlarla ince film şeklinde katı bir malzeme oluşturulur. Yalnız başına atomik, moleküler ya da iyonik durumlar hem buharlaştırma hem de sıvı formunda oluşturulabilir. İnce film depolama teknikleri iki ana kategoriye ayrılabilir:

1. Gaz halde katkılama
2. Sıvı/çözelti halde katkılama

Genel itibariyle ince film büyütme işlemi üç ana basamak içerir:

1. Uygun atomik, moleküler ya da iyonik türlerin üretimi
2. Bunların alt tabakaya geçişini sağlayacak bir ortam
3. Alt tabaka üzerine yoğunlaştırma hem doğrudan hem de kimyasal, elektrokimyasal reaksiyonlarla bir katı katkılaması yapılır[3].

## 2.III-VI GRUBUNA AİT BİLEŞİK YARIİLETKEN İNCE FİLMLER

Yarı iletkenler genellikle tek kristal şeklinde büyütülmektedirler. Tek kristallerin elektrik özellikleri sadece kimyasal birleşimlere bağlı olmayıp, yapı içerisindeki atomların dizilişine de bağlıdır. İndiyum III-A grubu elementidir ve atom numarası 49, kütle numarası 114,818gr/mol dür. Selenyum ise periyodik cetvelin VI-A grubunda yer alır ve atom numarası 34, kütle numarası ise 78,6gr/mol dür. İndiyum monoselenid, A<sup>III</sup>-B<sup>VI</sup> grubu GaSe ve GaS bileşikleri gibi tabakalı yapıya sahiptir. Bu tabakalı yapı, üç boyutta Van der Waals kuvvetleri ve iki boyutta kovalent bağlar ile sınırlandırılır. İndiyumselen literatürde iki farklı yapıda tanımlanmaktadır. Bunlardan birincisi a=4,0Å ; c=25,32Å ve z=6 örgü parametrelerine sahip R3m rombohedral yapı, ikincisi ise a=4,0Å ; c=16,64Å örgü parametrelerine sahip P6<sub>3</sub> hegzagonal yapıdır[4].

III-VI bileşikler; yapısal olarak III-VI ikili tabakaların sıralanışı bakımından birbirlerinden farklı olan çeşitli politiplerde bulunabilirler. Her bir ikili tabaka yapısal olarak özdeşir ve VI. grup atomları ve bu atomların oluşturduğu iki düzlem arasında kalan iki III. grup atom tabakasının D<sub>3H</sub> simetrisinde prizma yapısından oluşur. Sonuç olarak her bir ikili tabaka, dört atomik düzlemden meydana gelmiştir. Bu düzlemlerden ikisi III. grup, ikisi VI. grup atomlarından oluşur. InSe bileşiğinde indiyum düzlemindeki her bir atom, bitişindeki selenyum atomik düzleminde yer alan üç selenyum atomuna ve diğer tarafta ise bir indiyum atomuna komşudur. Selenyum atomları arasındaki mesafe indiyum atomları arasındaki mesafeden daha fazladır ve indiyum ve selenyum atomları arasındaki bölgede bir asimetri söz konusudur. Birbiri üzerine gelen iki boyutlu atomik düzlemler arası mesafe, oluşan politipin örgüsünü belirler. GaSe ve GaS gibi III-VI bileşiklerinin β- ve ε- politiplerinde kristalleştiği bildirilirken Bridgeman metoduyla büyütülen InSe nin γ- politipinde rombohedral yapıda kristalleşmesi beklenir. MOCVD(metal organik kimyasal buhar çökmesi) yöntemiyle büyütülen InSe filmler γ- politipinde ve hegzagonal yapıdadırlar [5].

H.M Pahtan ve çalışma arkadaşları modifiye edilmiş kimyasal banyo depolama yöntemini kullanarak nanokristal indiyum selen ince filmi üzerine çalışmışlardır. InSe ince filmi elde etmek için konsantrasyon, katyonik öncülerin pH'ı, adsorbsiyon, reaksiyon, durulama süresi gibi hazırlık şartları optimize edilmiştir. İnce filmin büyümesi bir döngüde 6.3nm olarak bulunmuştur. Film çeşitli metodlarla örneğin yapısal, yüzey morfolojisel, düzensel, optiksel ve elektriksel özellikleriyle karakterize edilmiştir. Filmlerin nanokristal ve InSe, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, In<sub>6</sub>Se<sub>7</sub> fazlarında büyüdüğü görülmüştür. Filmin yüzeyinin pürüzlü olduğu ve filmin soğurmasından bant aralığının 2,5eV olduğu tespit edilmiştir. Filmin elektriksel direncinin 10<sup>6</sup> ohm-cm ve iletkenlik tipinin n-tipi olduğu belirlenmiştir[6].

İndiyum selen(InSe) kompleks tabakalı yarı iletkenin direk bant aralığı 1,42eV ve indirek bant aralığı 1,29eV dur. Büyüme şartlarına ve katılamaya bağlı olarak film p-tipi yada n-tipi davranış gösterebilir. InSe çok farklı fiziksel özellikler sergileyen iki kristal yüzeye sahiptir. Z eksenine dik olan yarıklı yüzey, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmış selenyum atomlarından oluşur. Z eksenine paralel olan diğer yüzey ise, van der Waals kuvvetleriyle bağlı selenyum atomlarının komşu tabakalarından meydana gelir. In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, metal iyon kusurlu yapısından ve sahip olduğu polimorfizmden dolayı ilgi çekmektedir. In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> α, β ve γ ile gösterilen ve α-β ve β-γ geçiş sıcaklıkları sırasıyla 200 °C ve 650 °C olan en az 3 farklı kristal modifikasyonu gösterir. n-tipi In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> hegzagonal yapıda ve direk bant aralığı 1,7eV olan bir yarı iletkenidir. Oda sıcaklığında In-Se faz diyagramı α-In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, α-In<sub>2</sub>Se<sub>8</sub>, InSe ve In<sub>2</sub>Se şeklinde dört tanımlı bileşik gösterir. Bunlar bataryalar ve foto-elektrokimyasal hücrelerin potansiyel uygulamaları için dikkat çekici malzemelerdir [6].

B.Kobbi ve çalışma arkadaşları InSe ince filmlerini alt taban sıcaklıkları (T<sub>s</sub>=30, 100, 160, 200°C) farklı olan cam tabanlarda termal ve flaş buharlaştırma metodu elde etmişlerdir. En iyi filmler 160°C alt taban sıcaklığı ve 200°C de 6 saat tavlama ile elde edilmiştir. Termal buharlaştırmayla elde edilen filmlerin analizinde güçlü yapı bozukluklarının olduğu görülmüştür. Yapısal çalışmalar oluşan fazların InSe ile In<sub>4</sub>Se<sub>3</sub> şeklinde olduğu belirlenmiştir. Oluşan bileşiğin kimyasal formülü In<sub>x</sub>Se<sub>x-1</sub>dir. x'in değerinin mikroprob metoduyla 0,52 ile 0,56 aralığında olduğu bulunmuştur. Optiksel soğurma verileri bileşiğin farklı varyasyonlarının olduğunu açıklamıştır.



InSe fotovoltaik dönüşüm alanlarında iyi özelliklere sahip yarı iletken bir bileşiktir. Güneş pillerinin maliyetlerini azaltmak için birkaç bilim adamı InSe materyalinden başlayarak ince filmlerin şekillenmesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışma içinde InSe ince filmi In ve Se'un %99,999 saflık içeren stikiometreleriyle vakum buharlaştırma metoduyla elde edilmiştir. In'un buhar basıncı Se'unkinden yüksek olduğu için çalışılan ince film de InSe ile  $In_4Se_3$  bileşikleri birlikte varolmuşlardır. Çalışılan bütün filmler elektron mikroskopuyla, mikroprob analiziyle ve X ışını kırınımı ile incelenmiştir. Optiksel karakterizasyonlarda görülmüştür ki ince filmlerin yasak bant aralıkları hemen hemen InSe kristaliyle aynı seviyededir. Oluşturulan ince filmlerin kalınlıkları  $1\mu m$  ile  $1,5\mu m$  arasında değişim göstermektedir. Fakat kalınlık farklılığının optiksel ölçümler hariç diğer deneysel sonuçları önemli bir derecede etkilemediği görülmüştür. Farklı kalınlıklarda oluşturulan ince filmlerin yasak bant aralıkları  $1,28eV$  ile  $1,38eV$  arasında değiştiği gözlemlenmiştir [7].

Literatürde yapılan bir başka çalışmada B.Kobbi ve çalışma arkadaşları InSe ince filmlerini iyi temizlenmiş cam alt taban üzerine polikristal materyallerin vakum buharlaştırılmasıyla elde etmişlerdir. Soğuk alt taban üzerine InSe ince filmlerini biriktirdikten sonra numune tavlama süreci için sızdırmaz vakum Pyrex tüpü içine yerleştirilmiştir. InSe tabakasının elektriksel özellikleri farklı tavlama sıcaklıklarında çalışılmıştır. Elektriksel ölçümler bize filmin farklı termal çevrelere karşı hassas olduğunu göstermiştir. İletkenlik tanecik sınırlandırılmasıyla kontrol altına alınmıştır. Elde edilen bütün filmler taramalı elektron mikroskobu, XRD ve optiksel karakterizasyonu incelenmiştir. Bütün filmlerde InSe bileşiği hegzagonal şekilde büyüdüğü görülmüştür. Filmin bileşenleri RBS ile ölçülmüştür ve In(53,10%) ve Se(46,9%) miktarlarında olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ise materyallerin süblimasyonun eşlenmemesi ve selenyumların daha yüksek buhar basıncına maruz kalmasıdır. Kalınlığı  $40nm$  ve altında olan filmlerde herhangi bir bileşimin olmadığı RBS analizi ile görülmüştür. Çalışılan InSe filmi hegzagonal yapıda olduğu belirlenmiştir. InSe ince filmin özellikleri bize InSe kristalinin toz referansına oldukça yakın olduğunu göstermiştir. InSe'in yasak band aralığı  $1,30eV$  olarak tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında hesap edilen aktivasyon enerjisinin sıcaklığın artırılmasıyla arttığıda gözlemlenmiştir[8].

Bouzouita ve çalışma arkadaşları  $\text{In}_2\text{Se}_3$  filmlerini spray pyrolysis (sprey pizoliz) metoduyla hazırlamışlardır ve gerekli şartlar optimize etmişlerdir. Filmlerin yapısal, optiksel ve morfolojik özelliklerinin; çözeltiler içerisindeki Se/In molar konsantrasyon oranları ve alt taban sıcaklıklarıyla bazı hazırlık parametrelerine bağlı olduğu açıklanmıştır. Yaklaşık  $1\mu\text{m}$  kalınlığındaki  $\text{In}_2\text{Se}_3$  ince filmler,  $250\text{-}300^\circ\text{C}$  ye kadar ısıtılan cam alt tabanlar üzerine, çözeltilerin  $\text{N}_2$  taşıyıcı gazı kullanarak açık bir sistemde püskürtülmesiyle elde edilmiştir. Püskürtülen  $0,005\text{M}$  konsantrasyona sahip çözelti,  $\text{InCl}_3$  ün de iyonize su içerisinde çözünmesiyle elde edilen çözeltiyle, N-N dietilselenitin etanol içerisinde çözünmesiyle elde edilen çözeltilerin püskürtme işleminden hemen önce karıştırılmasından oluşmuştur. Karakterizasyon çalışmaları ise aşağıdaki şartlarda hazırlanan örnekler üzerinde yapılmıştır.

1. Taban malzemenin sıcaklığı  $T_c=250^\circ\text{C}$  den  $300^\circ\text{C}$  ye kadar değiştirilmiş, molar konsantrasyon oranı  $R=1,5$  te sabit tutulmuştur.
2. Molar konsantrasyon oranı  $R=1,0$  dan  $1,9$  a kadar değiştirilmiş, taban malzemenin sıcaklığı  $T_c=300^\circ\text{C}$  de sabit tutulmuştur.

$250^\circ\text{C}$  ve  $300^\circ\text{C}$  de alt taban malzemeleri üzerinde elde edilen numunelerin X ışını difraksiyon desenlerinden  $T_c=250^\circ\text{C}$  de mevcut olan  $\text{In}_6\text{Se}_7$  ve  $\text{InSe}$  ikincil fazlarının  $T_c=300^\circ\text{C}$  de yok olduğu, ayrıca  $\text{In}_2\text{O}_3$  ikincil fazının her iki sıcaklık değerinde de mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Molar konsantrasyon oranı(R) değiştirilerek elde edilen numunelerin X-ışını difraksiyon desenleri,  $\text{In}_6\text{Se}_7$  ikincil fazının artan R değeriyle birlikte kaybolduğunu göstermiştir. Sonuç olarak  $\text{In}_2\text{Se}_3$  ün  $\text{In}_2\text{O}_3$  ikincil fazı ile birlikte  $T_c=300^\circ\text{C}$  ve  $R=1,9$  değerleri için elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu ikincil faz filmlerin öz direncini azaltmakta ve ortaya çıkan bu durum, güneş hücrelerinin soğurmalarına fayda sağlamaktadır. Farklı R değerlerine sahip filmlerin optik geçirgenlikleri R değerinin artmasıyla artmıştır. Yapılan soğurma ölçümleri sonucunda  $T_c=250^\circ\text{C}$  de  $E_g=1,76\text{ eV}$  ve  $T_c=300^\circ\text{C}$  de  $E_g=1,72\text{ eV}$  olarak bulunmuştur. Yasak enerji değerleri R oranına bağlı olarak  $R=1,0$  için  $E_g=1,96\text{eV}$  ve  $R=1,9$  için  $1,77\text{ eV}$  olarak bulunmuştur.  $\text{In}_2\text{Se}_3$  ince filminin mikro yapısı SEM kullanılarak incelenmiş,  $T_c=300^\circ\text{C}$  ve  $R=1,9$  değerleri için hazırlanan filmlerin görüntüsünün homojen olduğu belirlenmiştir. Filmin kalınlığı ise optik girişim yöntemleri kullanılarak hesaplanmış ve  $0,9\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir [9].

P.Matheswaran ve çalışma arkadaşları bu çalışmalarında sıralı termal buharlaştırma metodu kullanılarak %99,999 saflıktaki In ve Se ları cam alt taban üzerinde biriktirmişlerdir. Filmlerin kalınlığa bağlı özelliklerinin çalışılması için 1000Å, 2000Å ve 3000Å kalınlığında filmler büyütmüşlerdir. Numunelerin kalınlıkları artıkça yasak band aralığının bu büyümeyle ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir yani 1000Å da band aralığı 1,7eV, 2000Å da 1,2eV ve 3000Å da band aralığı ise 1,1eV olarak ölçülmüştür. 250°C de tavlanan filmlerin band aralığı 1000Å 2,0eV, 2000Å 1,9 eV, 3000Å da ise 1,5 olarak ölçülmüştür. Bu band aralığının büyümesinin sebebi doymamış yapı bozukluklarının sayısının azalmasına atfedilebilir ve band yapıları içerisinde dejenere hallerin yoğunluğunun azalması ve sonuç olarak tavlanan filmlerin band aralığının büyümesine sebep olmuştur. 300°C de tavlanan numunelerin band aralıkları ise 1000Å da 1,8eV 2000Å da 1,7 ve 3000Å da 1,3 eV olarak hesaplanmıştır. Band aralığındaki bu düşüşün sebebi ise kristalleşmenin boyutu arttığında tanecik sınırlarındaki dağılıma azalmıştır buda band aralığının düşmesine yol açmıştır. Aktivasyon enerjisi 3000Å kalınlıkta ve 303K ile 373K sıcaklıkları arasında hesaplanmıştır. Direncin sıcaklığın artmasıyla azaldığı görülmüştür ve InSe filminin doğal yarıiletkenlerle aynı özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aktivasyon enerji noktaları lineer olmayan bir şekilde sıralanmıştır. Numenin direnci  $10^5 \Omega\text{-cm}$  ve aktivasyon enerjisi 0,48eV olarak ölçülmüştür.

Çift katmanlı kalkojen alaşımlarından olan III-VI yarı iletkenler örneğin InSe, InTe, InS son birkaç yıl boyunca geniş bir şekilde çalışılmıştır ve fotovoltaik piller içerisinde iyi bir soğurucu olan InSe uygulama potansiyeli çok büyük ilgi çekmiştir. InSe yarıiletken materyali dört yüzlü bağa sahiptir ve  $sp^3$  hibritleşmesinden dolayı bu dört yüzden bir tanesi boşta kalmıştır. InSe yarı iletken ince filmi birçok bilim adamı tarafından yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri bakımından çalışılmasına rağmen sonuçlar tartışmalı çıkmıştır çünkü ölçümler çok aşamalı filmler üzerine yapılmıştı. Bir çok fazın örneğin InSe,  $In_2Se_3$ ,  $In_4Se_3$ ,  $In_5Se_6$  ve Se ve In arasında farklı yüksek buhar basıncının var olmasından dolayı tek kristal InSe ince filmlerinin hazırlanmaları sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada InSe tek kristal ince filmi hazırlanmış ve filme kalınlığın ve tavlama sıcaklığının etkileri araştırılmıştır [10].

S.S.Sen ve çalışma arkadaşları InSe ince filmleri 673-873K sıcaklıkları arasında ve  $4,5 \cdot 10^{-6}$  torr basınç altında 1cmx1cm boyutlarındaki cam alt tabanlar üzerine termal buharlaştırma tekniği ile büyütmüşleridir. Hem depolanan filmler hem de tavlanan filmlerin elektriksel iletkenlikleri sıcaklık artışıyla artış göstermiştir. Elde edilen ince filmlerin iletkenlik tipi Hall etkisi ölçümleriyle n-tipi olarak belirlenmiştir. Filmlerin kalınlıkları girişim yöntemi kullanılarak 100-500nm olarak ölçülmüş ve bu kalınlık değerinden çökeltme oranının  $4,8 \text{ nm s}^{-1}$  olduğu hesaplanmıştır. 100nm kalınlığındaki filmin tavlama halinin aktivasyon enerjisi 0,257eV iken tavlama numunenin aktivasyon enerjisi 0,341eV, 450nm kalınlığındaki filmin aktivasyon enerjisi 0,205eV iken tavlama numunenin aktivasyon enerjisi 0,330 eV olarak hesaplanmıştır. Büyütülen farklı kalınlıktaki ince filmlerin yapısı X ışını kırınım tekniği ile incelenmiş, hem tavlama hem de tavlama örneklerde elde edilen kırınım desenlerinde önemli bir pik gözlenmemiştir. Bunun nedeni büyütülen InSe filmlerinin amorf bir yapıya sahip olmasıdır.

İndiyum selen birçok araştırmacı tarafından fotovoltaik etki sergilemesiyle rapor edilmiş indirek band aralığına sahip bir yarıiletkenidir. Son yıllarda polikristal indiyum selenin potansiyel uygulamaları üzerine hatırı sayılır bir ilgi oluşmuştur. Polikristal indiyum selen fotoiletken olmasının yanında bileşiklerin katı hal iyonik iletken olarak kullanıldığı mikro bataryalar ve kapasitörler gibi mikro devre uygulamalarında ticari ve endüstriyel olarak yer almaktadır. İndiyum selen metal iyonlarına nazaran sahip olduğu kusurlu yapısından dolayı küçük parçacıklar ve iyonlaştırıcı radyasyon için sensör olarak kullanıma uygundur [11].

Shuming Yang ve çalışma arkadaşları 0,25 nm kalınlığındaki InSe tabakasını 6 nm nmkalınlığında GaSe çekirdeklerinin üzerine büyütmüşlerdir. Büyüyen tabaka kızıl kayan soğurma spektrumunu eşliğindeydi ve salınım yoğunluğu oda sıcaklığına doğru azalmaktaydı. Kızıl tarafta soğurma başlangıcı değişmemiş fakat mavi tarafta  $27,840 \text{ cm}^{-1}$  den  $25,266 \text{ cm}^{-1}$  re kaymıştır. Bu InSe tabakası ile GaSe çekirdeği arasında elektron aktarımının meydana geldiği anlamına gelmektedir. Yarıiletken nanoparçacıkların fotofiziksel ve spektroskopik özelliklerine ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu ilgiye karşın nispeten bir kaç tip yarıiletken nanoparçacığın elektronik, optiksel ve fotofiziksel özellikleri iyice anlaşılmaktadır. Bu parçacıklar

III-VI gurubu tabakalı yarıiletkenlerdir. III-VI bileşikler örneğin InSe ve GaSe temel tabakaları dört tane atomik düzlemden oluşan Se-M-M-Se (M=In, Ga) tabakalı yarı iletkenlerdir. Se atomları iki boyutlu sıkı paketlenmiş hegzagonal formunda şekillenmiştir ve buda kristale hegzagonal yapı şeklini verir. III-VI tabakalı yarıiletkenlerinin band aralığı genellikle oda sıcaklığında dardır ve buda optoelektronik tasarımlar ve güneş enerji dönüşümleri için bu bileşikleri cazip hale getirmektedir. Farklı materyaller arasında ki yük transferini anlamak oluşturulan kontaklar için büyük önem arz etmektedir. Bu amaç için GaSe ve InSe ideal aday olarak gösterilmektedir. GaSe ve InSe aynı kristal yapısına ve aynı örgü parametrelerine sahiptirler bu yüzden birbirleri üzerinde epitaksiyel büyümeye elverişlidirler. Öte yandan bu iki materyalin enerji band yapıları bu yapıların arasında yük transferine oldukça uygundur[12].

O.Lang ve çalışma arkadaşları InSe ve GaSe tabakalı kalkojenlerinin birbirleri üzerinde güçlü kafes uyumsuzluklarının(%6,5) epitaksiyel büyümeleri van der Waals konsepti ile elde etmişlerdir. InSe/GaSe/InSe ve GaSe/InSe/GaSe kuantum yapıları moleküler ışın epitaksisi (MBE) ile hazırlanmış ve arayüzey özellikleri yumuşak x-ray fotoelektron spektroskopisiyle karakterize edilmiştir. Valans ve iletkenlik band aralıkları sırasıyla 0,1 ve 0,9 eV olarak bulunmuş ve biriktirme sırasına bağımlı olmadığı tespit edilmiştir. Arayüz kutupları iş fonksiyonundan belirlendiği kadarıyla 0,05 eV tur ve iki materyal arasındaki band dizilişi tam olarak Anderson modeli(elektron ilişki kuralları(EAR)) tarafından tahmin edilmiştir.

Farklı arayüz yarıiletkenlerinin band dizilişleri farklı bağlantıların optoelektronik özelliklerini belirleyen parametrelere daha çok bağlıdır. Fakat sayısız deneysel ve teorik çalışmalara rağmen bandların sıralanışını kontrol eden prensipler hala önemli tartışmalara yol açmaktadır. Özellikle yüzeye karşı büyümenin önemli ilişkisi yada ara yüzeylerin özellikleri hala yerleşmemiştir. Anderson'nun orijinal önerisi içerisindeki band dizilişleri yarıiletkenlerin elektron ilişkilerinden belirlenmiştir. Bir katının elektron ilişkiliği yüzeydeki yük bozulmalarından ve yerleşik atomik yapılar tarafından verilen yüzey kutuplanmasıyla güçlü bir şekilde etkilenir. Ara yüzeylerdeki bu kutuplanmalardaki değişmeler her iki yarıiletken için eşitse EAR dan tahmin edilen band dizilişleri geçerli olacaktır. Fakat bu genellikle

beklenmeyebilir ve sürpriz değildir çünkü deneylerle belirlenen band dizilişlerinin çoğu üçboyutlu yarı iletkenlerin farklı ara yüzleri EAR yı takip etmez.

Farklı durumlar hemen hemen üç boyutlu yapılarla materyaller arasında farklı arayüzler için verilir. Bu tabakalı bileşenler güçlü anizotropik yapıların kovalent bağlarıyla X-M-X ( $\text{MoS}_2$ ) ya da X-M-M-X (InSe, GaSe) tabakaların zayıf etkileşmelerinin birbirlerini çekmesi ile karakterize edilirler. Tabakalar arasındaki bağlar genellikle van der Waals bağlarına atfedilir. Van der Waals yarılma düzlemleri sarkmış bağlar dışında sıkı paketlenmiş hegzagonal kalkojen tabakalar içerir. Son zamanlarda görülmüştür ki güçlü kafes uyumsuzluğuna rağmen (van der Waals epitaksi) yüksek kalitedeki kristallerin üzerlerine yarıiletkenlerin epitaksiyel büyümeleri gerçekleştirilmiştir. Tabakalar arasındaki zayıf etkileşimden dolayı van der Waals boşluklarında neredeyse yüksüz birikmeler en son band yapısının hesaplanmasıyla görülmüştür. İhmal edilen yüklerin yeniden dağılımı ya yüzeylerin yada farklı arayüzeylerin aynı arayüzeyinden değiştiğinde beklenebilir. Eğer bu doğru ise band sıralanmaları EAR ile tamı tamına tahmin edilebilir [13].

S.Gopal ve çalışma arkadaşları İndiyum selen (InSe) ince filmlerini indiyum kalay oksit (İTO) kaplanmış cam altlıklar üzerine, elektrodepozisyon tekniğiyle indiyum klorit ve selenyum dioksit sulu çözeltileri kullanarak çökeltilmişlerdir. Çökeltme esnasında akım yoğunluğu, çökeltme potansiyeline karşı civa klorür elektrotun saturasyonu, pH değeri, kaynak materyal konsantrasyonu gibi parametreler incelenmiştir. Bu metotta üç çeşit sulu çözelti kullanılmıştır. a) 25 mM  $\text{InCl}_3$  ve 25 mM  $\text{SeO}_2$ , b) 50 mM  $\text{InCl}_3$  ve 25 mM  $\text{SeO}_2$ , c) 75 mM  $\text{InCl}_3$  25 mM  $\text{SeO}_2$ . Çözeltilerin pH değeri hidroklorik asitle sulandırmak suretiyle 1,45'te çökeltme potansiyeli ise -1,35V ta sabit tutulmuştur. Çökeltme işlemlerinin tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir ve çökeltme süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir.  $2\text{mA}/\text{cm}^2$  ve  $20\text{mA}/\text{cm}^2$  lik akım yoğunlukları uygulanmıştır. Çökeltme işleminden önce İTO cam altlıklar deterjan, aseton ve damıtılmış su ile temizlenmiştir. Filmlerin kalınlıkları tek tek yüzey profilometre kullanılarak ölçülmüş ve kalınlığın, 800-1000Å aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kristal yapı Cu  $K_\alpha$  radyasyonu kullanan X-ışını difraksiyonu yardımıyla incelenmiş rombohedral InSe ve  $\text{In}_2\text{Se}_3$  fazlarının oluştuğu gözlenmiştir. Çözeltideki  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonunun artması X-ışını

difraksiyon desenindeki piklerin keskinleşmesine ve kristalleşmenin artmasına neden olmuştur. Filmlerin yüzey ve kompozisyonunu incelemek için SEM, X enerji dispersiv analiz ile birlikte kullanılmıştır. SEM resimlerindeki çözeltideki  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonunun artması ile kristalleşmenin arttığını göstermiştir. Bu durum  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonunun artması ile band aralığının daraldığını doğrular. Ayrıca SEM resimlerinden düşük  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonlarında küçük taneciklerin birleşerek nispeten düz bir yüzey oluşturduğu, artan  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonu ile birlikte küçük taneciklerin sayısının azaldığı ve büyük taneciklerinin hacminin arttığı tespit edilmiştir. Raman spektrumu filmlerin  $\text{InSe}$  ve  $\text{In}_2\text{Se}_3$  fazlarının karışımından oluştuğunu göstermiştir. İndiyum selen ince filmlerin band aralığını çökeltme parametrelerine bağlı olarak belirlemek için oda sıcaklığında, 300-1100nm dalga boyu aralığında optik iletim spektrumu kaydedilmiştir. Bant aralığı değeri 50 mM  $\text{InCl}_3$ , 25 mM  $\text{SeO}_2$  ve 75 mM  $\text{InCl}_3$ , 25 mM  $\text{SeO}_2$  molar konsantrasyon değerleri için sırasıyla 1,83eV ve 1,66 eV bulunmuş, artan  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonu ile bant aralığının daraldığı tespit edilmiştir. Bant aralığındaki bu daralma, tanecik büyüklüğünün artmasına ve dislokasyon yoğunluğunun azalmasına bağlanmıştır[14].

### 3.MATERYAL METOD

InSe ince filmlerinin M-CBD metoduyla büyütülmesi için gerekli öncüler alt tabanların, katyonik ve anyonik çözeltilerin ve deney düzeneğinin hazırlanması ve ince filmlerin büyütülmesi şeklinde sıralanabilir.

#### 3.1 Alt Tabanların Hazırlanması

InSe ince filmleri cam, InSe ve GaSe tek kristalleri, cam+GaSe ve cam+CdS ince filmleri üzerine büyütüldü. Alt taban olarak kullanılan kristaller Bridgman metoduyla büyütüldü. Cam alt taban üzerine GaSe ince filmi M-CBD büyütülürken cam üzerine CdS ince filmi CBD yöntemiyle büyütüldü. Cam alt tabanlar(75mm x 26mm x 2mm) önce kromik asitte kaynatılıp, sonra hidroklorik asitle ardından sıcak deterjanlı suyla yıkandıktan sonra asetondan geçirilip distile edilmiş su ile temizlendi. Böylece cam alt tabanlar büyütme işlemine hazır hale getirildi.

#### 3.2 Katyonik Çözeltilerin Hazırlanması

InSe ince filmlerinin elde edilmesi için katyonik çözelti olarak indiyum sülfat ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ ) çözeltisi kullanıldı.0,01M'lık indiyum sülfat çözeltisi hazırlamak için 100ml'lik bolon jodede milimetrik boyutta parçalar haline getirilmiş 0,2296gr In, 0,2882gr sülfürük asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) içerisinde çözüldü. Çözünmenin daha iyi olabilmesi için 5-10 dk karıştırıcı üzerinde bekletildi ve daha sonra 100 ml su ile tamamlandı.



Katyonik çözeltinin pH ı yaklaşık 3 olacak şekilde 1 M'lık tartarik asit çözeltisi ile dengelendi. 1M'lık 25 ml tartarik asit ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ ) çözeltisi hazırlamak için 25ml'lik



balon jøjeye 3,7522 gr tartarik asit konulup 25 ml su ile tamamlandı ve manyetik karıştırıcı üzerinde iyice çözüldü.

### 3.3 Anyonik Çözeltinin Hazırlanması

InSe ince filmlerinin elde edilmesi için anyonik çözelti olarak sodyum selenosülfat ( $\text{Na}_2\text{SeSO}_3$ ) çözeltisi kullanıldı. 0,05 M'lık 100ml çözelti hazırlamak için 0,632gr sodyum sülfat, 0,3948 gr Se(toz haline getirilmiş) 100 ml lik balon jøjeye konuldu. Hem katyonik hemde anyonik çözelti parametrelerini tartma işlemi ELECTRONIC BALANCE type BX-320h SHIMATZU modelindeki hassas tartı cihazı ile yapıldı. Daha sonra balon jöje 100ml ye tamamlayana kadar distile edilmiş saf su ile dolduruldu. Çözeltimiz ışığa maruz kalmasın diye balon jöje alüminyum folyo ile sarıldı ve



tepkimesinin en iyi verimle gerçekleşmesi için oda sıcaklığında 3 saat manyetik karıştırıcı üzerine bırakıldı. 3 saatin sonunda çözelti süzgeç kâğıdıyla süzöldü ve ışık geçirmeyen şişelere konularak durulması beklendi.

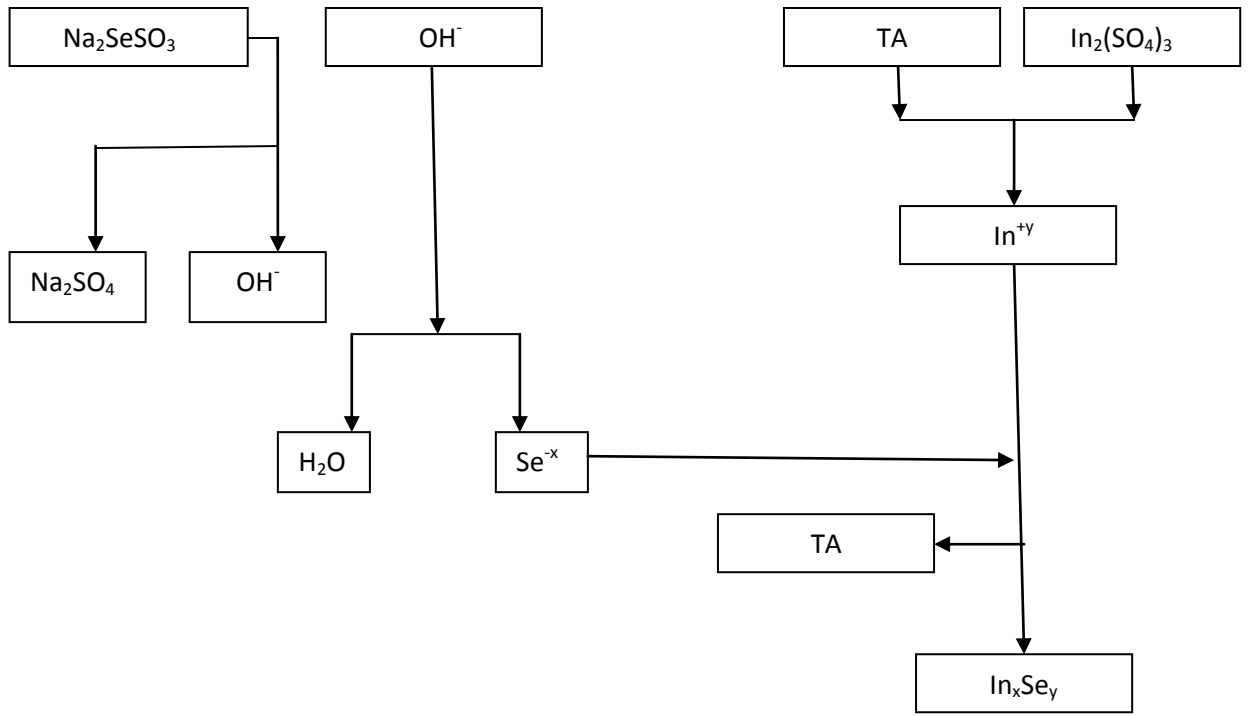
### 3.4 InSe İnce Filmlerinin Büyütölməsi

Oda sıcaklığında InSe ince filmlerini büyötmek için ilk olarak 25 ml'lik 4 tane cam behere sırasıyla;

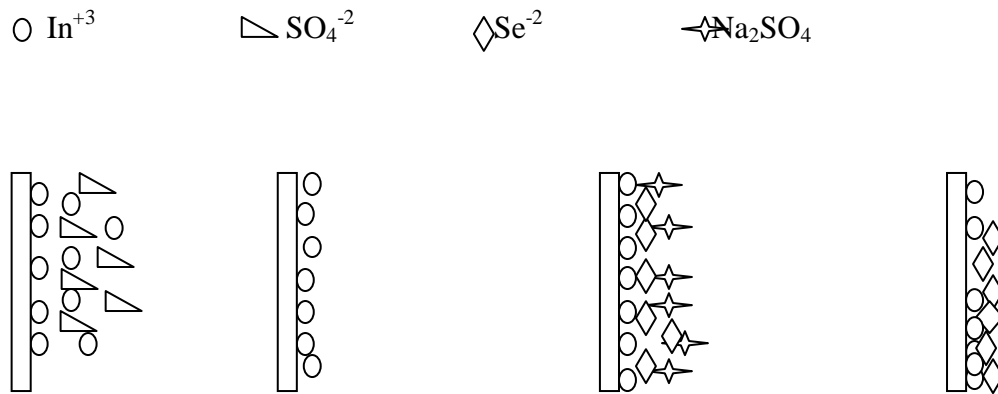
1. 20 ml kullanmak istediğimiz molar değerincede (0,01-0,03-0,05-0,07M) indiyum sülfat  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  çözeltisi konuldu ve pH~3'ye ayarlamak için 1M, 4ml tartarik asit çözeltisi eklendi
2. 20 ml distile edilmiş su bırakıldı
3. 20 ml 0,05M sodyum selenosülfat ( $\text{Na}_2\text{SeSO}_3$ ) çözeltisi konuldu

#### 4. 20 ml distile edilmiş su bırakıldı

İyice temizlenmiş cam alt taban veya diğer alt taban olarak kullandığımız numuneler (InSe kristali, GaSe kristali, cam+GaSe, cam+CdS) dik bir şekilde cam beherlerin içine sırasıyla 30 saniye, 70 saniye, 10 saniye ve 70 saniye süresince daldırıldı. Bu işlemler ortalama 60 defa yapılarak InSe ince filmlerinin depolanması sağlandı. InSe nin oluşma mekanizması ve reaksiyonun oluşma biçimi Şekil 3.1.1-2’de gösterildiği gibidir. Cam alt taban üzerinde büyütülen ince filmleri hazırlamak için 0,03-0,05-0,07 M katyonik çözeltiler kullanılırken diğer alt tabanlar üzerinde büyüttüğümüz filmler için 0,07 M katyonik çözelti kullanılmıştır. Cam alt taban üzerinde büyütülen filmlerin döngü sayısı 75, cam+GaSe ince film alt tabanı üzerinde büyütülen filmlerin döngü sayısı 60, cam+CdS ince film alt tabanı üzerinde büyütülen filmlerin döngü sayısı 45, GaSe kristal alt taban üzerine büyütülen filmlerin döngü sayısı 40 ve InSe kristal alt taban üzerine büyütülen filmlerin döngü sayısı 50 dir.



Şekil 3.1.1 İndiyum selen filminin büyüme mekanizasyonu, TA: tartarik asit[6].



Şekil 3.1.2 İndiyum selen ince filminin M-CBD yöntemiyle elde edilmesi[4].

## 4.BULGULAR

### 4.1 Cam Alt Taban Üzerine Büyütülen Inse İnce Filmlerinin Kalınlıklarının Hesaplanması

M-CBD yöntemiyle büyütülen ince filmlerde kalınlık, elipsometre, hava kaması yöntemi veya alt tabanlar üzerinde depolanan film miktarı ile belirlenebilmektedir. Filmin son kalınlığı devir sayısına bölünerek, ortalama büyüme oranı tespit edilebilmektedir [15]. Bu çalışmada ince filmlerin kalınlıkları depolan film miktarı belirlenerek, eşitlik 4.1 yardımıyla hesaplandı.

$$t = \frac{m}{\rho_s \cdot A} \quad (4.1)$$

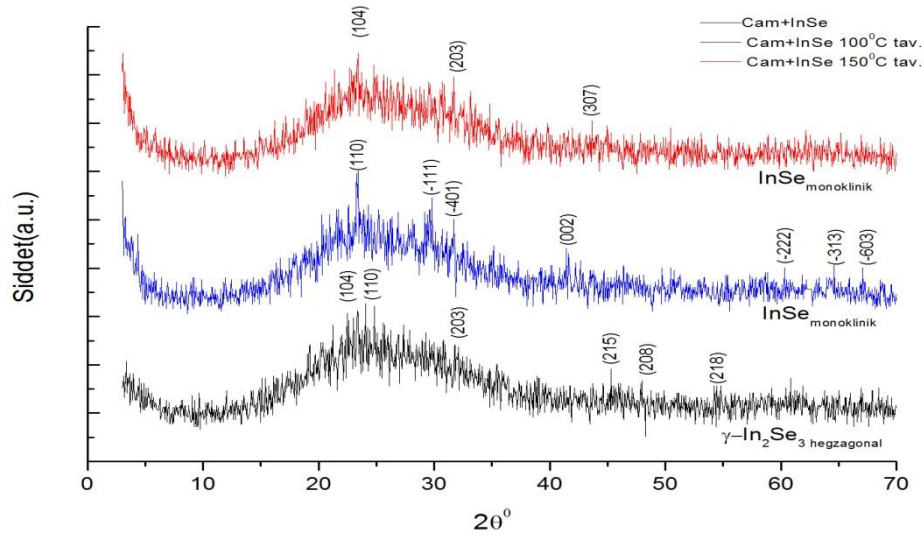
Burada; t kalınlık, m alt taban üzerinde depolanan madde miktarı,  $\rho_s$  ise maddenin yoğunluğu, A ise film tabakasının biriktiği yüzey alanıdır. Cam taban üzerinde 75 devirde büyütülen InSe ince filminin kalınlığı yaklaşık 112 nm olarak hesaplandı. Buradan her döngüde alt taban üzerine ortalama 1,49 nm film biriktiği anlaşılmaktadır.

### 4.2 Yapısal Özellikler

InSe ince filmleri yapı analizi için cam, InSe kristali ve GaSe kristali üzerinde M-CBD yöntemiyle büyütüldü. Oda sıcaklığında elde edilen filmlerden cam alt taban üzerinde büyütülen filmin renginin koyu turuncu olduğu, hava ortamında 100 ve 150°C de 1 saat tavlandıktan sonra ise renginin karardığı gözlemlenmiştir. InSe tek kristali üzerinde büyütülen ince filmin rengi ise InSe tek kristalinin rengine yakın ve yüzey üzerinde hafif koyuturuncu rengini almıştır. Hava ortamında 100°C de 1 saat

tavlandıktan sonra numunenin rengi belirgin bir biçimde kararmıştır. GaSe tek kristali üzerinde büyütülen ince filmin rengi ise GaSe tek kristalinin rengine yakın ve 100°C de hava ortamında 1 saat tavlandıktan sonra renginde hafif kararma gözlemlenmiştir. Elde edilen numunelerin XRD ölçümleri Ankara MTA’da gerçekleştirildi. Cam alt taban üzerinde büyütülen filmin  $a=7,12860\text{\AA}$ ,  $c=19,38200\text{\AA}$  ve  $z=6$  örgü parametrelerine sahip  $P6_1\ \gamma\text{-In}_2\text{Se}_3$  hegzagonal yapısında olduğu, 100-150°C’de tavlanan filmlerin  $a=11,74000\text{\AA}$ ,  $b=4,11000\text{\AA}$ ,  $c=4,61000\text{\AA}$  ve  $z=4$  örgü parametrelerine sahip  $C2/m$  InSe monoklinik yapısında olduğu, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerinde büyütülen filmlerin  $a=4,00200\text{\AA}$ ,  $c=24,94600\text{\AA}$  ve  $z=6$  örgü parametrelerine sahip  $R3_m$  InSe rombohedral yapısında olduğu belirlenmiştir.

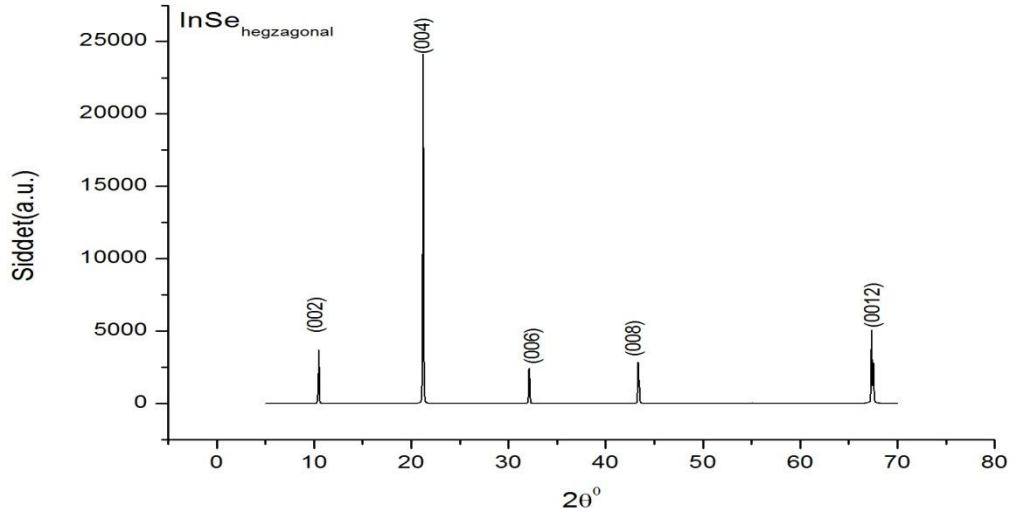
Şekil 4.2.1 de cam alt taban üzerine büyütülen, tavlınmamış ve 100 ve 150°C de tavlınmış filmlerin XRD spektrumları verilmektedir.



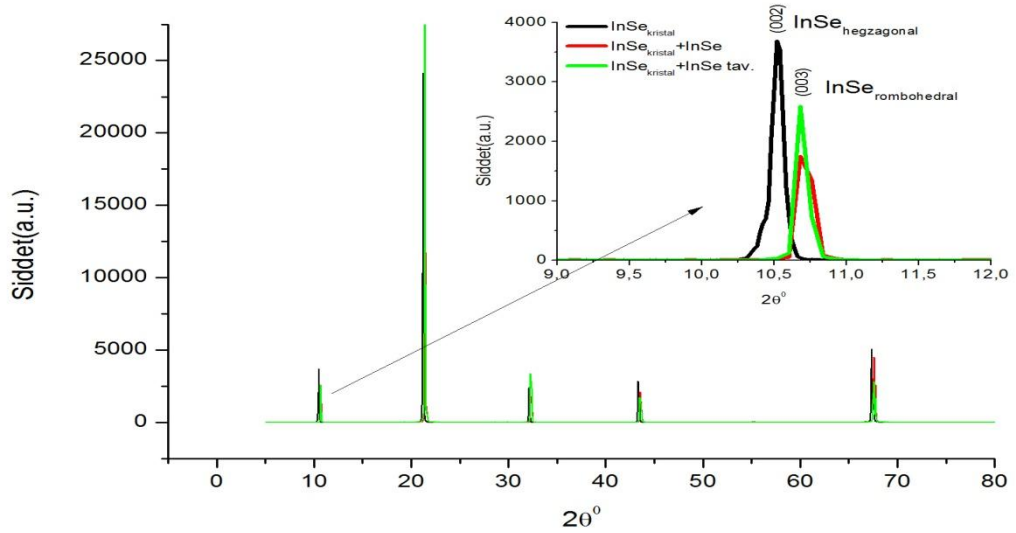
Şekil 4.2.1 Cam alt taban üzerine büyütülen, tavlınmamış ve 100-150°C tavlınmış InSe ince filmlerinin XRD spektrumu.

Tavlamanın etkisiyle piklerin şiddetinin arttığı görülmektedir. Şekil 4.2.1’de de görüldüğü üzere 100°C de tavlınan numunenin piklerinin 150°C de tavlınan numunenin piklerinden daha şiddetlidir.

InSe tek kristalinin XRD spektrumu ve InSe tek kristali üzerine büyütülen tavllanmış ve tavlınmamış InSe ince filmlerinin XRD spektrumları Şekil 4.2.2-7’de verilmektedir.

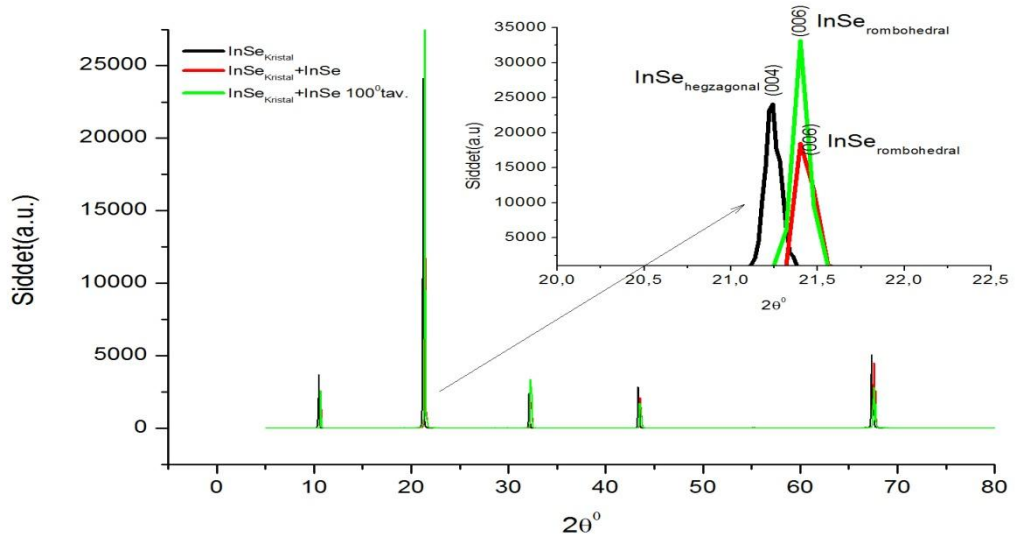


Şekil 4.2.2 InSe kristalinin XRD spektrumu.



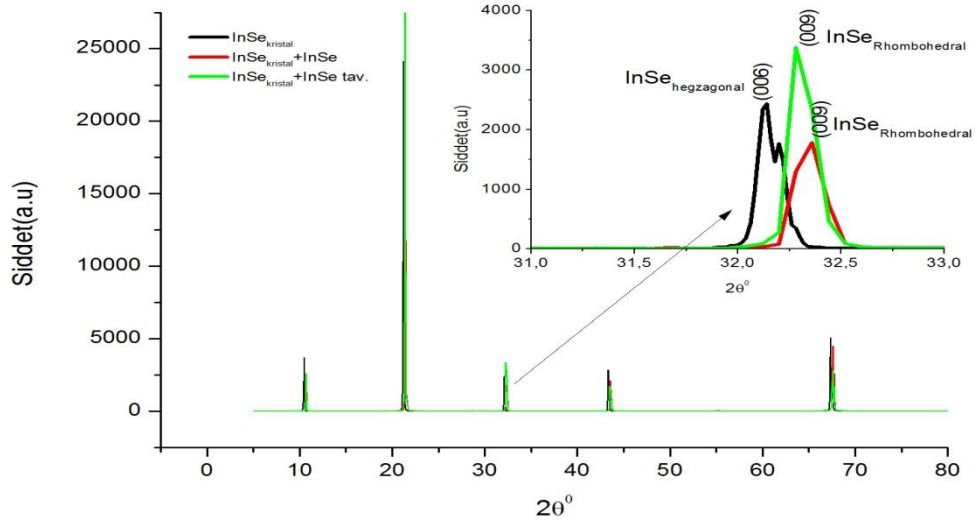
Şekil 4.2.3 InSe kristali ve InSe kristal alt tabanı üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}$ ~ $10^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

Şekil 4.2.3'te InSe tek kristali ile InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen tavlanmamış ve tavlanmış ince filmlerin  $2\theta^{\circ}\sim 10^{\circ}$  bölgesinde pik noktaları karşılaştırıldığında piklerin yaklaşık olarak  $0,17^{\circ}$  büyük açılara doğru kaydığı gözlemlenmektedir. Tavlanmamış numunenin pikinin tavlanmış numunenin pikine kıyasla daha zayıf olduğu, InSe tek kristalinin pikinin ise diğer piklerden daha şiddetli olduğu görülmektedir.



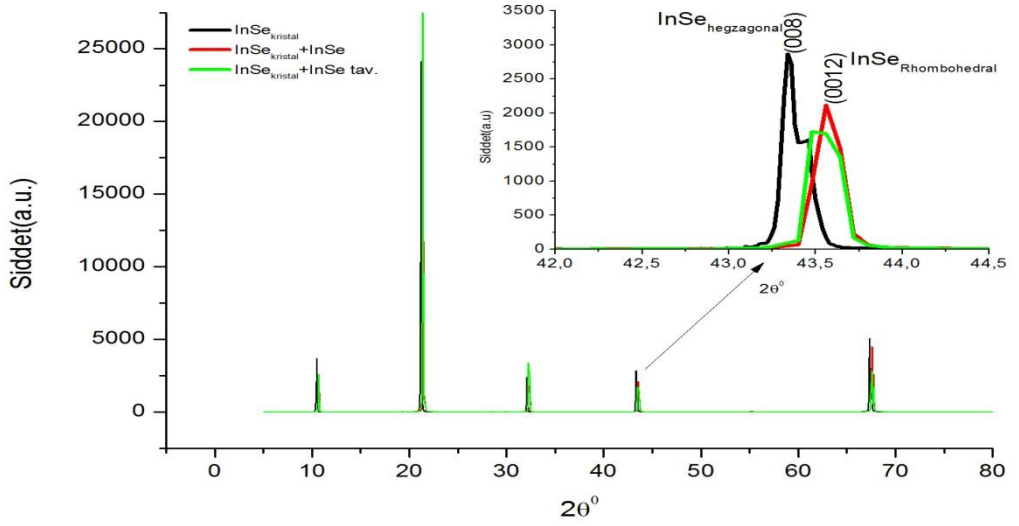
Şekil 4.2.4 InSe kristali ve InSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlanmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}\sim 20^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

Şekil 4.2.4'te InSe kristali ile InSe kristali üzerine büyütülen tavlanmamış ve tavlanmış ince filmlerin  $2\theta^{\circ}\sim 20^{\circ}$  civarında gözlenen piklerin konumları ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak  $0,15^{\circ}$  büyük açılara doğru kaydığı gözlemlenmektedir. Bu bölgede ise InSe kristalinin pikinin tavlanmamış numunenin pikinden şiddetli, tavlanmış numunenin pikinden ise zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2.5 InSe kristali ve InSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

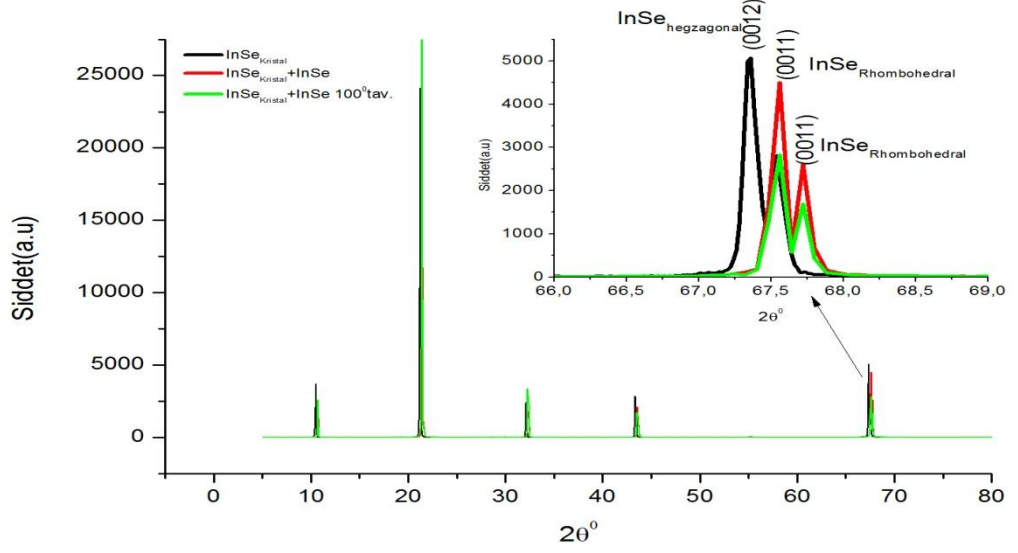
Şekil 4.2.5'te de Şekil 4.2.4 deki gibi özellikler sergilenmektedir.  $2\theta^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$  bölgesinde kaymalar yaklaşık olarak  $0,14^{\circ}$  dir.



Şekil 4.2.6 InSe kristali ve InSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}$ ~ $43^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

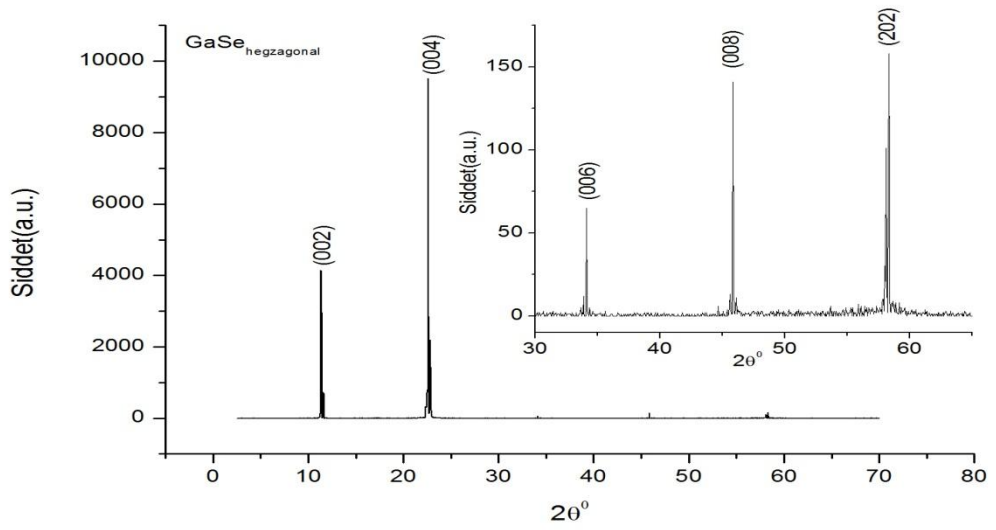


Şekil 4.2.6-7 deki özelliklerde şekil 4.1.3'e benzemektedir bu bölgelerdeki kaymalar sırası ile  $0,21^\circ$  ile  $0,20^\circ$ 'dir.

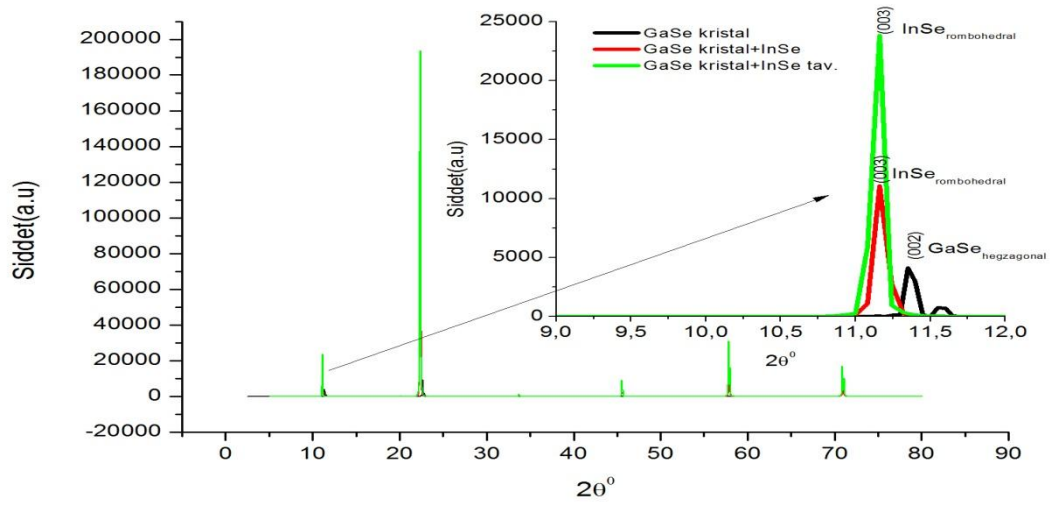


Şekil 4.2.7 InSe kristali ve InSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $29^\circ$ ~ $67^\circ$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

GaSe tek kristalinin XRD spektrumu ve GaSe tek kristali üzerine büyütülen tavllanmış ve tavlınmamış InSe ince filmlerinin XRD spektrumları şekil 4.2.8-13'te verilmektedir.

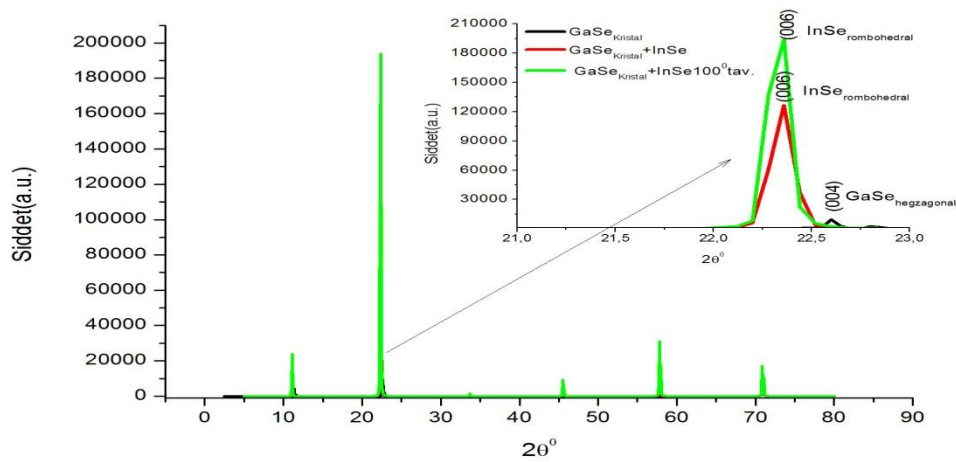


Şekil 4.2.8 GaSe tek kristalinin XRD spektrumu.

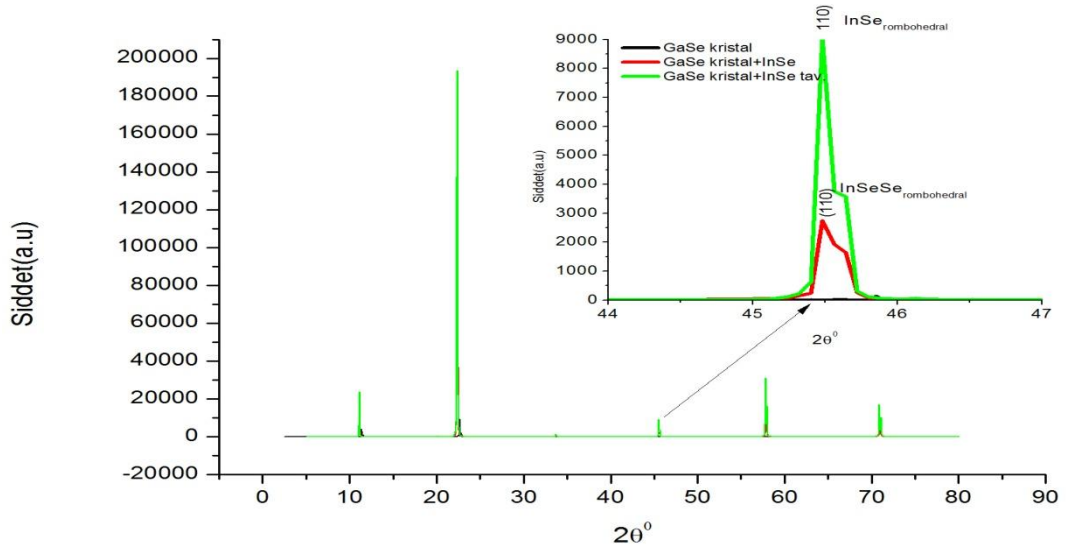


Şekil 4.2.9 GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülen, tavlaman ve tavlamanmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}$ ~ $11^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

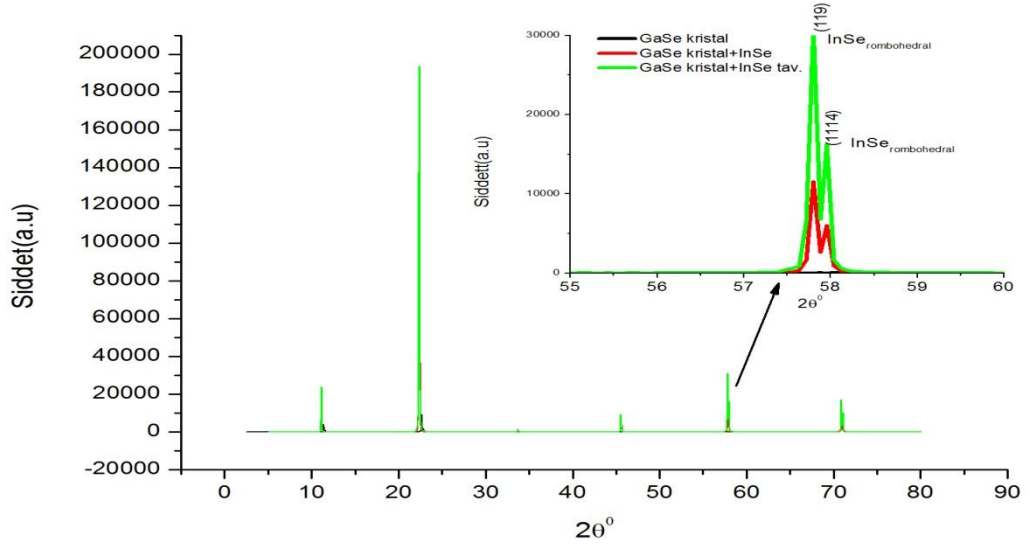
Şekil 4.2.9’da GaSe kristali ile GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülmüş tavlamanmamış ve tavlamanmış InSe ince filmlerinin  $2\theta$ ~ $11^{\circ}$  civarında gözlenen pikler karşılaştırıldığında GaSe kristalinin pikinin diğer piklere göre daha zayıf olduğu ve tavlamanmış numunenin bu bölgedeki pikinin tavlamanmamış numunenin pikine nazaran daha şiddetli olduğu görülmektedir. Tavlamanmamış ve tavlamanmış numunelerin bu bölgedeki piklerinin yaklaşık olarak  $0,2^{\circ}$  küçük açılara doğru kaydığı görülmektedir.



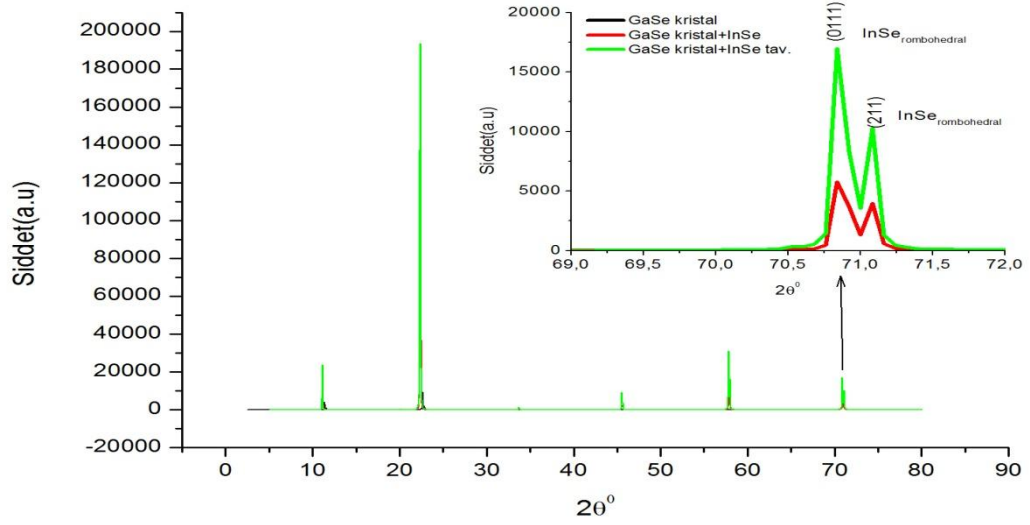
Şekil 4.2.10 GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülen, tavlaman ve tavlamanmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^{\circ}$ ~ $23^{\circ}$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.



Şekil 4.2.11 GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^\circ \sim 45^\circ$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.



Şekil 4.2.12 GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^\circ \sim 55^\circ$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

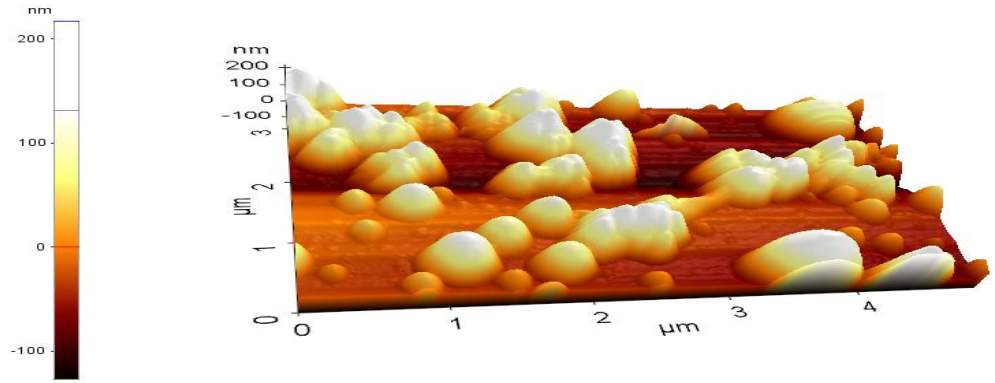


Şekil 4.3.13 GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülen, tavlanan ve tavlınmayan InSe filmlerinin XRD spektrumunda  $2\theta^\circ \sim 70^\circ$  de gözlenen piklerin karşılaştırılması.

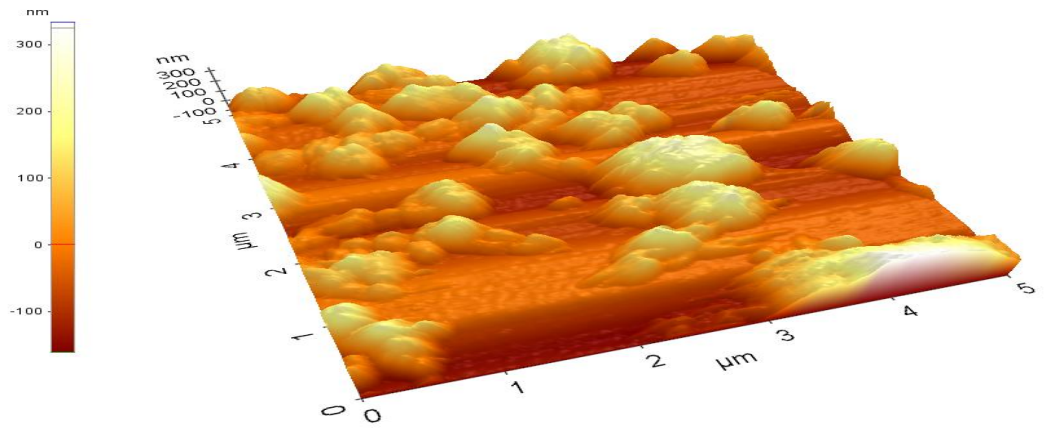
Şekil 4.2.10-13'te de Şekil 4.1.9 daki gibi benzer değişimler gözlenmektedir. Yine kaymalar küçük açılara doğru olmuştur. Tavlanmamış ve tavlınmış numunelerin piklerinin GaSe tek kristalinin pikinden çok daha şiddetli oldukları da gözlenmektedir.

### 4.3 Morfolojik Özellikler

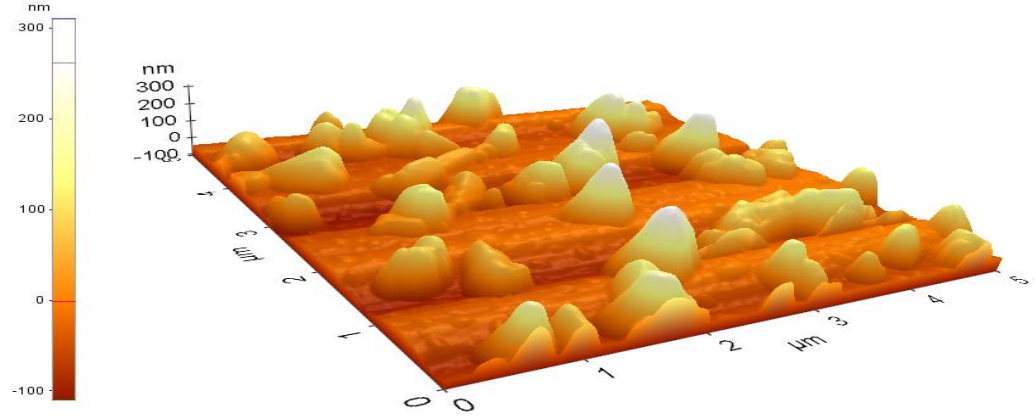
İnce filmlerin morfolojik özelliklerini belirlemek için Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanıldı. InSe ince filmlerinin AFM görüntüleri Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) bulunan PSIA marka XE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobuyla gerçekleştirildi. Şekil 4.3.1-7 de cam, InSe tek kristali ve GaSe tek kristali üzerinde büyütülen InSe ince filmlerin tavlınmamış halleri ile tavlınmadan sonraki AFM görüntüleri verilmektedir. AFM görüntülerinde ince filmlerin tavlınmamış ve tavlınmış hallerinin parçacık boyutları incelendi. Parçacık boyutlarının ortalama değerleri XEI 1.6.1 Alpha programı ile hesaplandı.



Şekil 4.3.1 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.

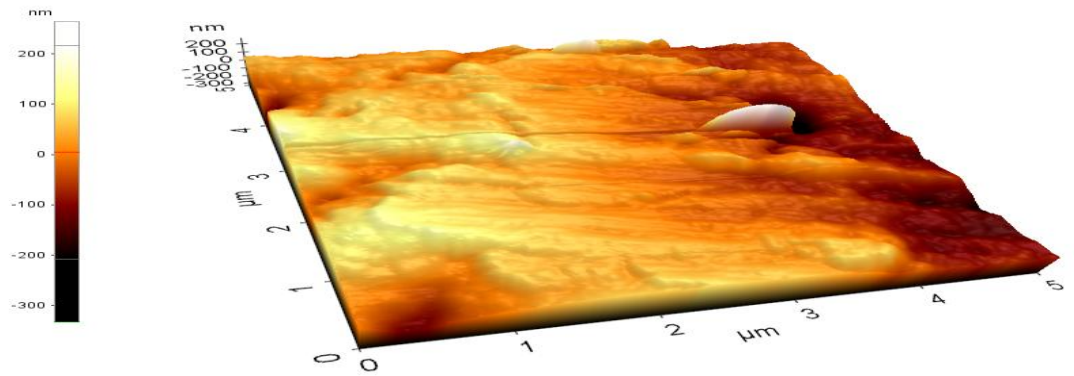


Şekil 4.3.2 Cam alt taban üzerine büyütülülen ve 100 °C de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.

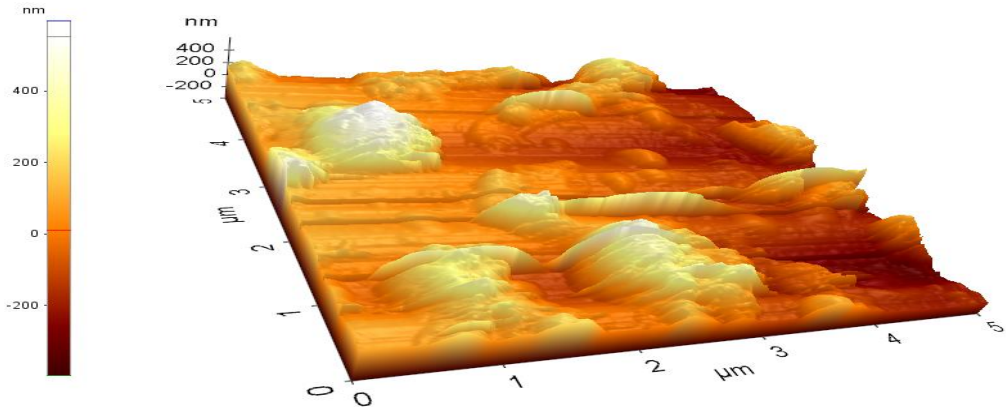


Şekil 4.3.3 Cam alt taban üzerine büyütülen ve 150 °C de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.

Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin ve bu filmlerin hava ortamında 100°C ve 150°C de 1 saat tavllanmış hallerinin ortalama parçacık boyutları sırası ile 40nm, 65nm, 70nm olduğu hesaplanmıştır. Tavlamanın etkisiyle parçacık boyutunun arttığı gözlemlenmiştir.

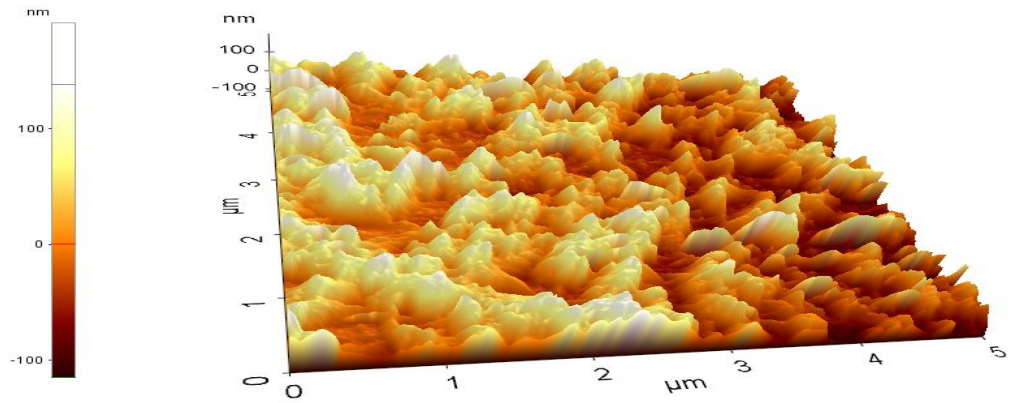


Şekil 4.3.4 InSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.

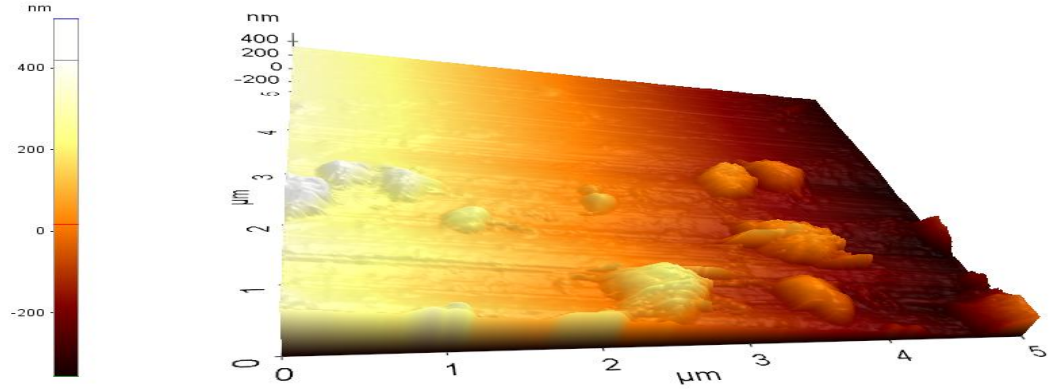


Şekil 4.3.5 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve  $100^\circ\text{C}$  de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.

InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülmüş ve hava ortamında  $100^\circ\text{C}$  de 1 saat tavllanmış InSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutları sırası ile 35nm, 70nm olarak hesaplanmıştır. Tavlama ile bu numunenin de parçacık boyutunun arttığı görülmüştür.



Şekil 4.3.6 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin AFM görüntüsü.



Şekil 4.3.7 GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ve 100°C de tavlanan InSe ince filminin AFM görüntüsü.

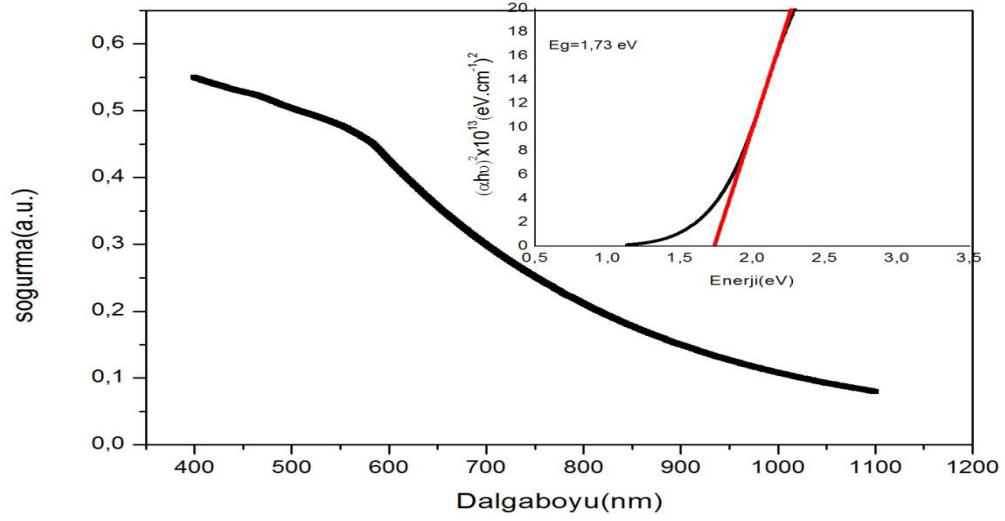
GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülmüş ve hava ortamında 100°C de 1 saat tavllanmış InSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutları sırası ile 30nm, 65nm olarak hesaplanmıştır. Diğer numunelerimizde olduğu gibi tavlamanın etkisi parçacık boyutunu artırmıştır.

#### 4.4 Soğurma Özellikleri

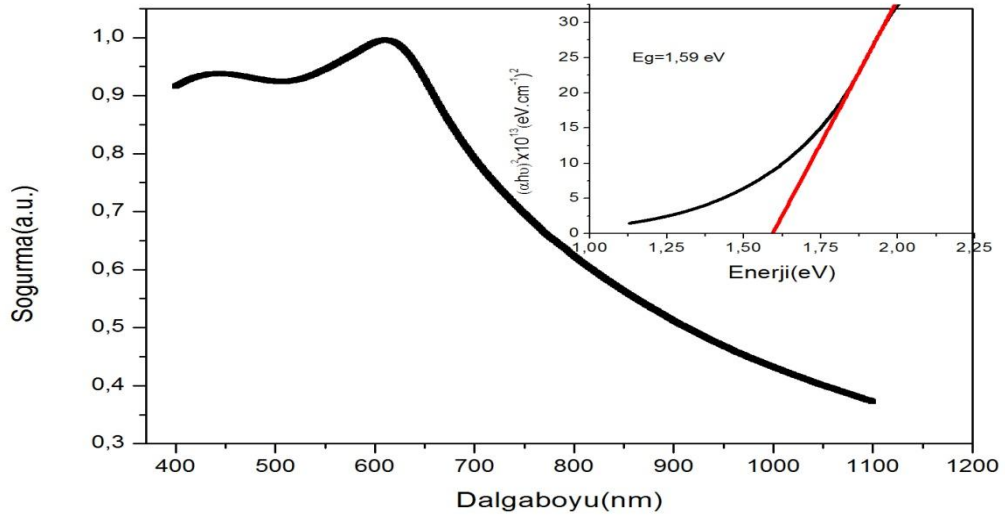
Cam, cam+GaSe ince film, cam+CdS ince film, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin optik soğurma spektrumları Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre ile ölçüldü. InSe ince filmlerinin yasak enerji aralıkları  $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$  bağıntısı kullanılarak hesaplandı[1]. Burada A bir sabit olup direk aralık yarıiletkenler için n=1/2 dir. Şekillerde soğurma spektrumu grafiklerinin üzerinde ince filmlerin  $(\alpha h\nu)^2 (eV/cm)^2 \sim \text{Enerji}(h\nu)$  grafikleri verilmiştir. Soğurma spektrumlarının lineer olduğu kısmın enerji eksenini kestiği nokta incelenen numunenin yasak enerji aralığını vermektedir.



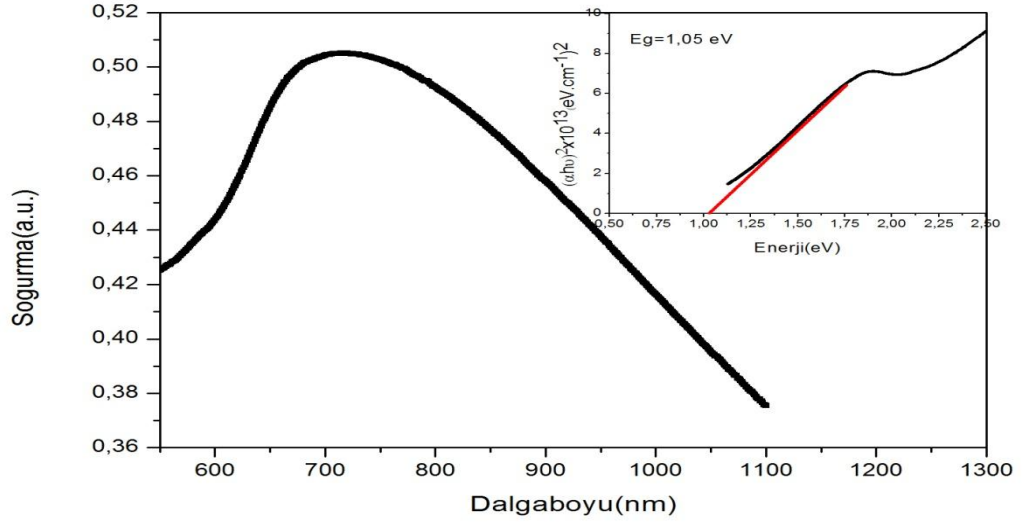
Farklı molaritelerde hazırlanmış katyonik çözeltiler kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlınmamış ve 100-150°C de 1 saat hava ortamında tavlınmış numunelerinin soğurma spektrumları ve yasak enerji aralıkları incelendi. Şekil 4.4.1-9 da bu grafikler verilmektedir.



Şekil 4.4.1 0,03M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

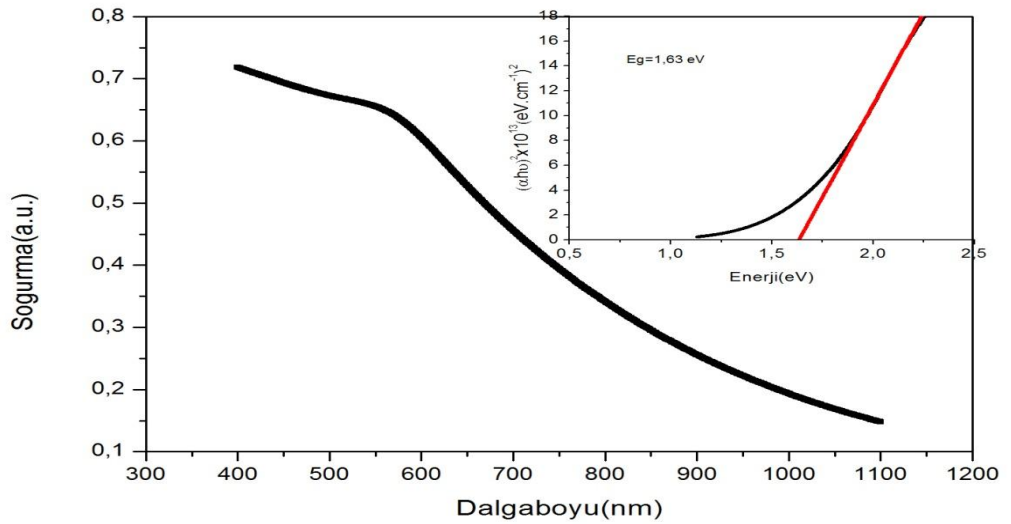


Şekil 4.4.2 0,03M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 100°C de tavlınan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

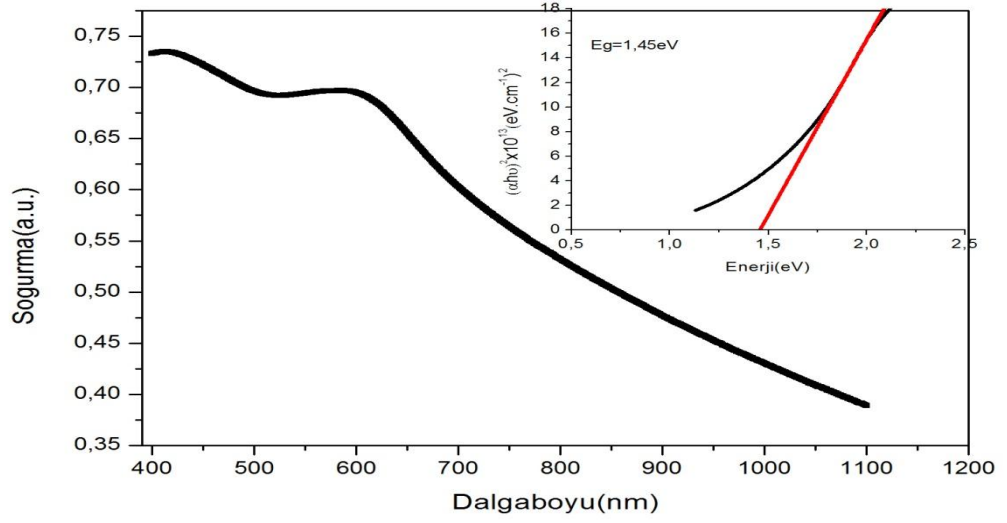


Şekil 4.4.3 0,03M kationik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 150°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

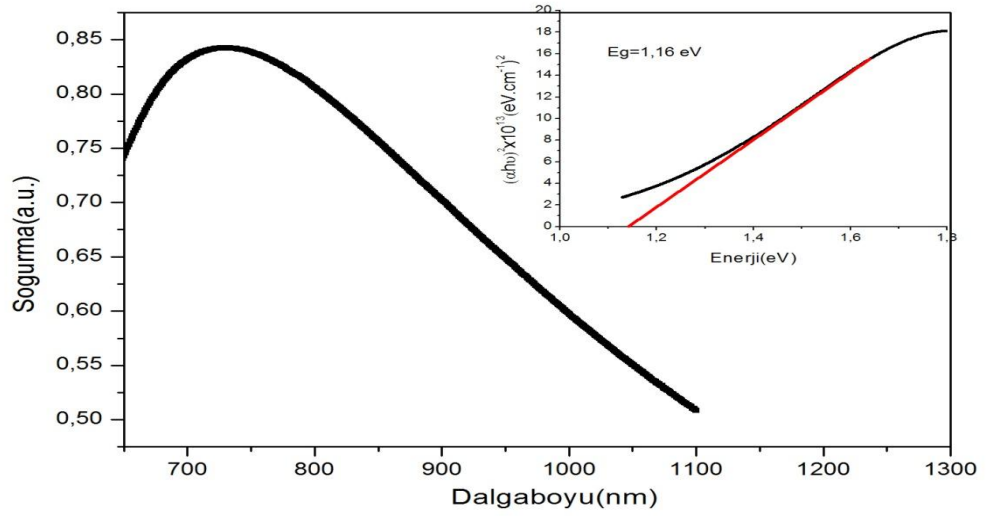
0,03M kationik çözelti kullanılarak hazırlanan InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,73eV, 100°C de tavllanmış numunenin yasak enerji aralığı 1,59eV ve 150°C de tavllanmış numunenin yasak enerji aralığının ise 1,05eV olarak hesapladı.



Şekil 4.4.4 0,05M kationik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

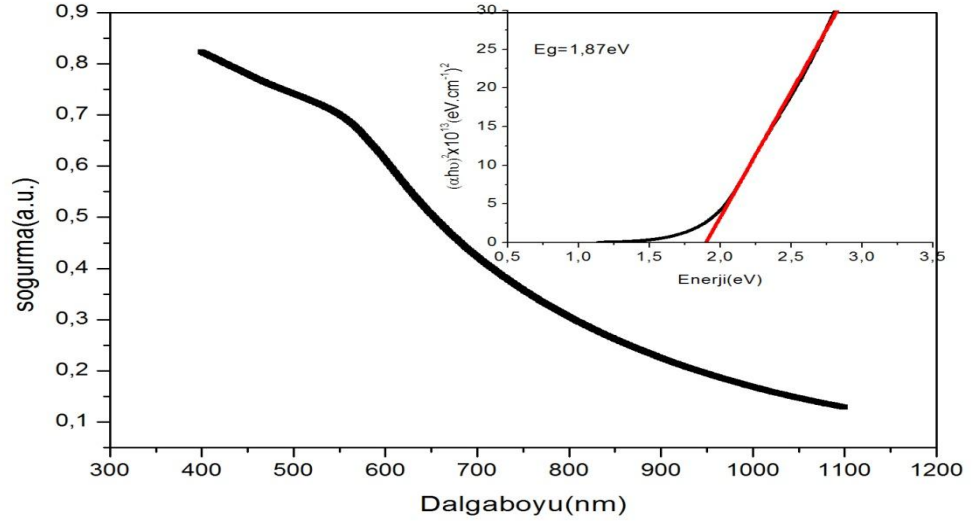


Şekil 4.4.5 0,05M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 100°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

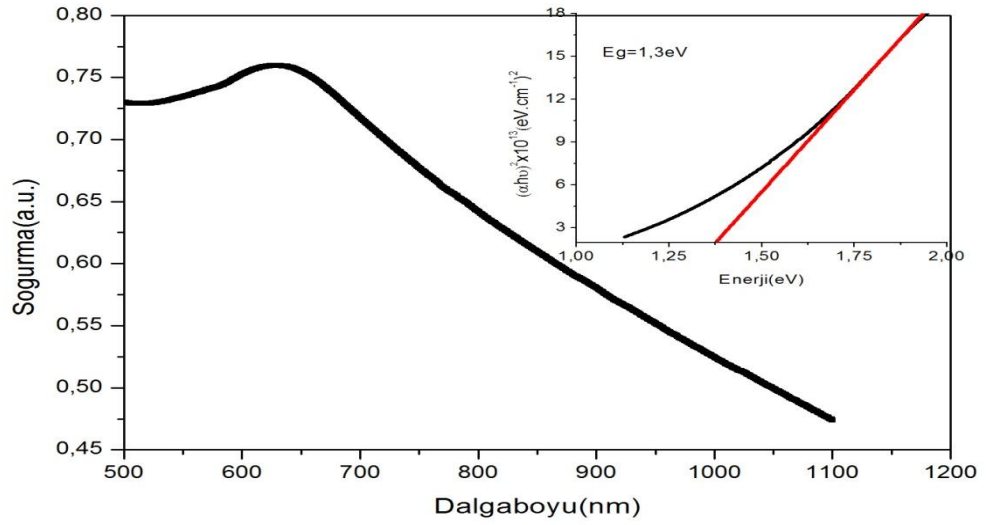


Şekil 4.4.6 0,05M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 150°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

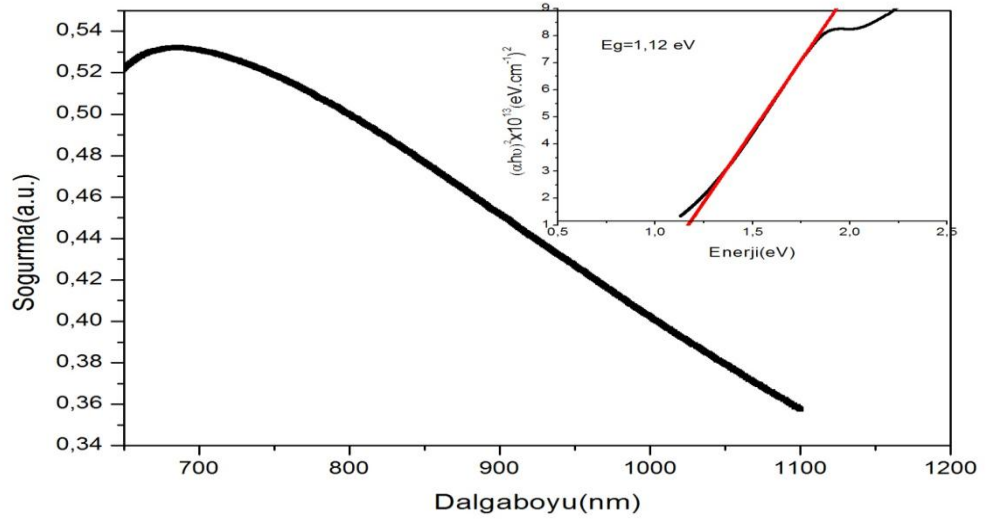
0,05M katyonik çözelti kullanılarak hazırlanan InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,63eV, 100°C de tavllanmış numunenin yasak enerji aralığı 1,45eV ve 150°C tavllanmış numunenin yasak enerji aralığının ise 1,16eV olarak hesaplandı.



Şekil 4.4.7 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumunu ve yasak enerji aralığı.



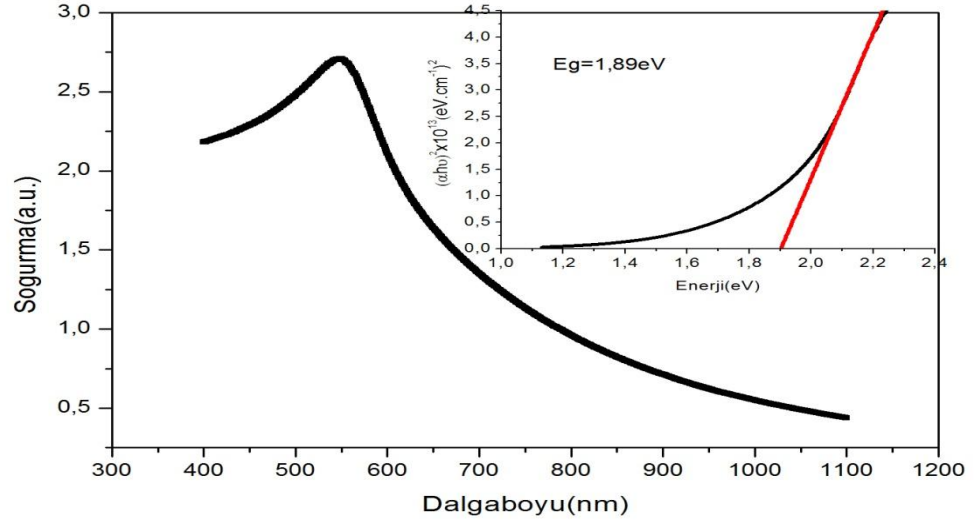
Şekil 4.4.8 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 100°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumunu ve yasak enerji aralığı.



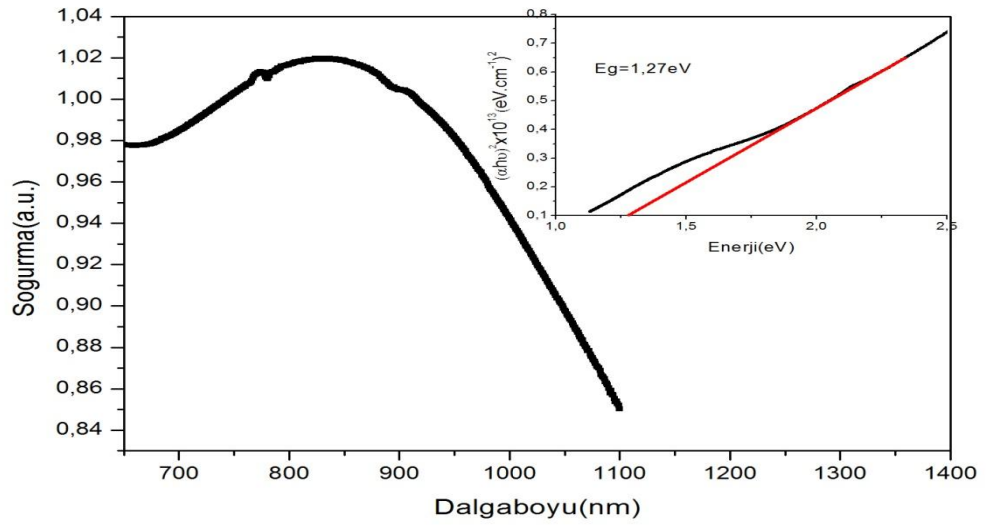
Şekil 4.4.9 0,07M katyonik çözelti kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülen ve 150°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

0,07M katyonik çözelti kullanılarak hazırlanan InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,87eV, 100°C de tavllanmış numunenin yasak enerji aralığı 1,3eV ve 150°C tavllanmış numunenin yasak enerji aralığının ise 1,12eV olarak hesaplandı.

Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlansamamış ve 80°C de hava ortamında 1 saat tavllanmış numunelerinin soğurma spektrumları ve yasak enerji aralıkları incelendi. Şekil 4.4.10-11 de bu numunelerin grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.4.10 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerinde büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

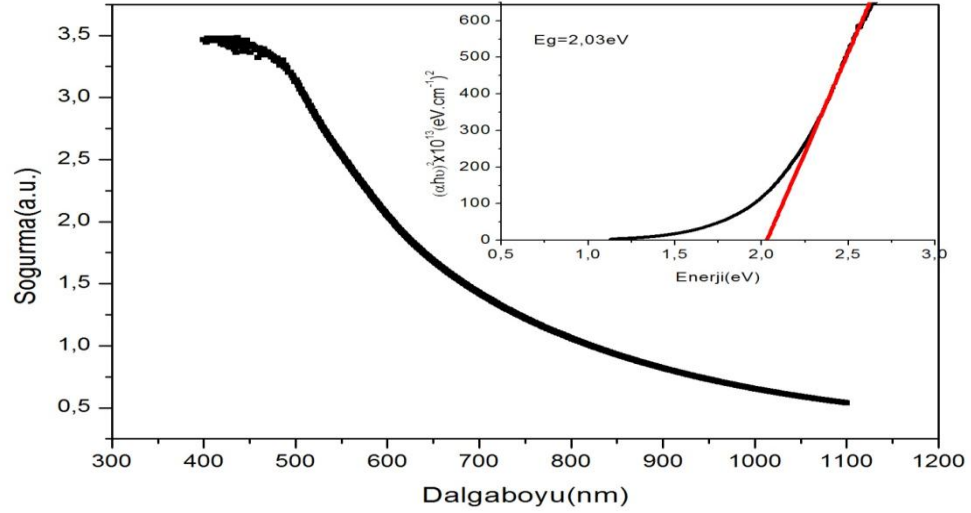


Şekil 4.4.11 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerinde büyütülen ve 80°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

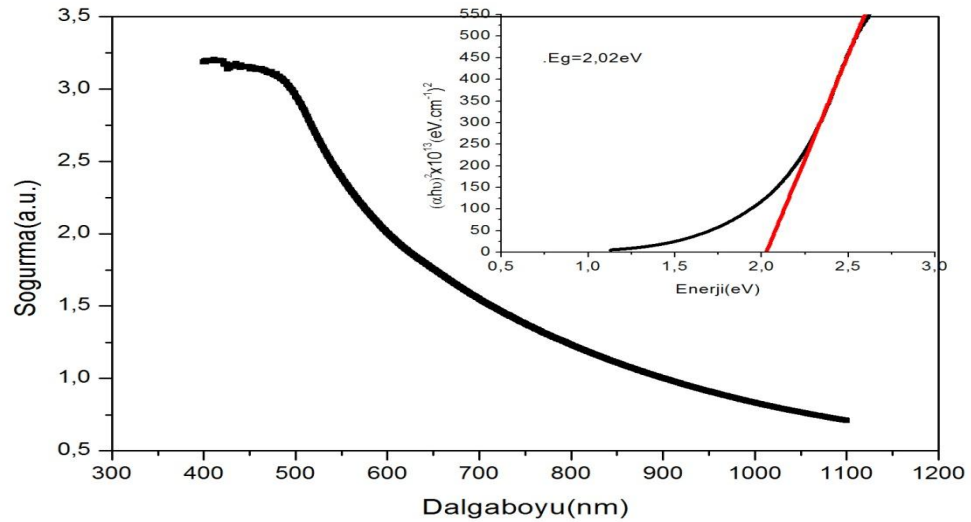
Tavlannmamış numunenin yasak enerji aralığı 1,89eV, tavlannmış numunenin yasak enerji aralığı ise 1,27eV olarak hesaplandı.

Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlannmamış ve 80°C de hava ortamında 1 saat tavlannmış numunelerinin soğurma spektrumları ve

yasak enerji aralıkları incelendi. Şekil 4.4.12-13'te bu numunelerin grafikleri verilmektedir.



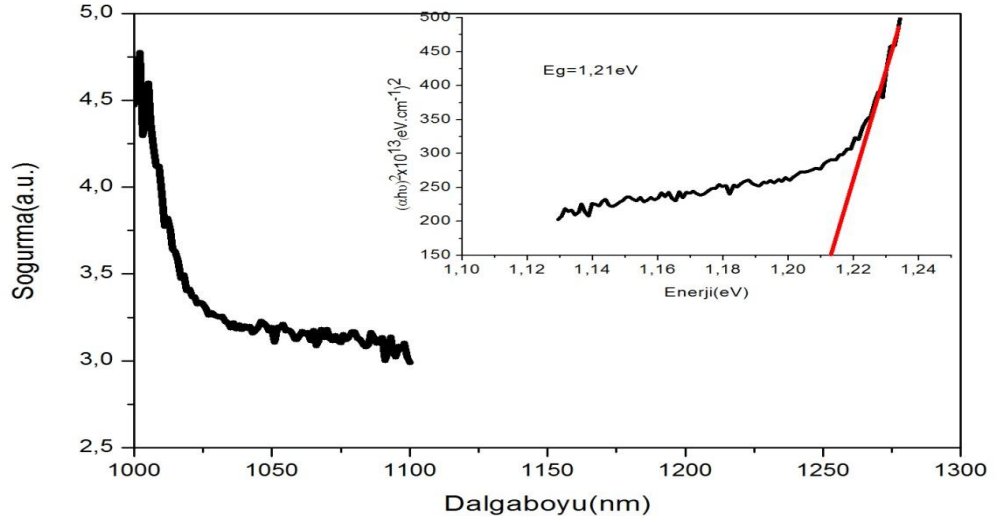
Şekil 4.4.12 Cam+CdS alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



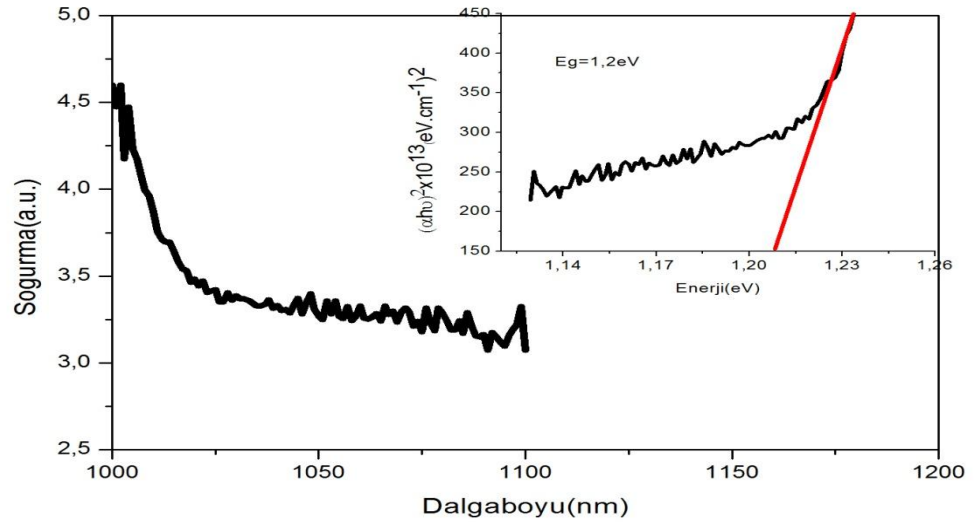
Şekil 4.4.13 Cam+CdS alt tabanı üzerinde büyütülen ve 80°C de tavlanan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

Tavlınmamış numunenin yasak enerji aralığı 2,03eV, tavlınmış numunenin yasak enerji aralığı ise 2,02eV olarak hesaplandı.

InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlınmamış ve 100°C de hava ortamında 1 saat tavlınmış numunelerinin soğurma spektrumları ve yasak enerji aralıkları incelendi. Şekil 4.4.14-15'te bu numunelerin grafikleri verilmektedir.



Şekil 4.4.14 InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

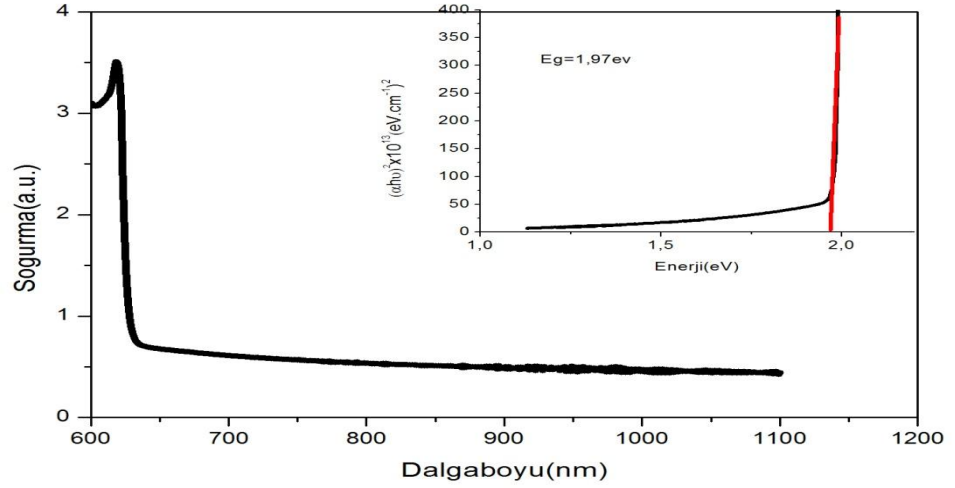


Şekil 4.4.15 InSe tek kristal alt tabanı üzerinde büyütülen ve 100°C de tavlınan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

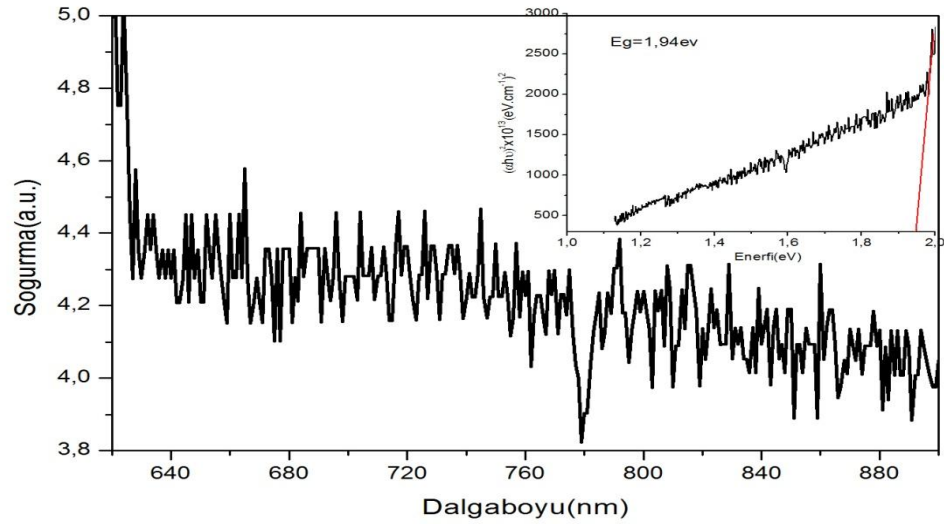
Tavlınmamış numunenin yasak enerji aralığı 1,21eV, tavlınmış numunenin yasak enerji aralığı ise 1,2eV olarak hesaplandı.



GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlınmamış ve 100°C de 1 saat tavlınmış numunelerinin soğurma spektrumları ve yasak enerji aralıkları incelendi. Şekil 4.4.16-17 de bu numunelerin grafikleri verilmektedir.



Şekil 4.4.16 GaSe kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



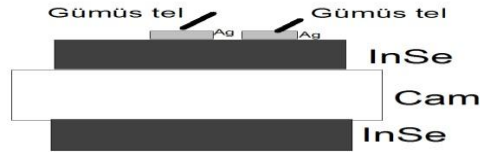
Şekil 4.4.17 GaSe tek kristal alt tabanı üzerinde büyütülen ve 100°C de tavlınan InSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

Tavlınmamış numunenin yasak enerji aralığı 1,97eV, tavlınmış numunenin yasak enerji aralığı ise 1,94eV olarak hesaplandı.

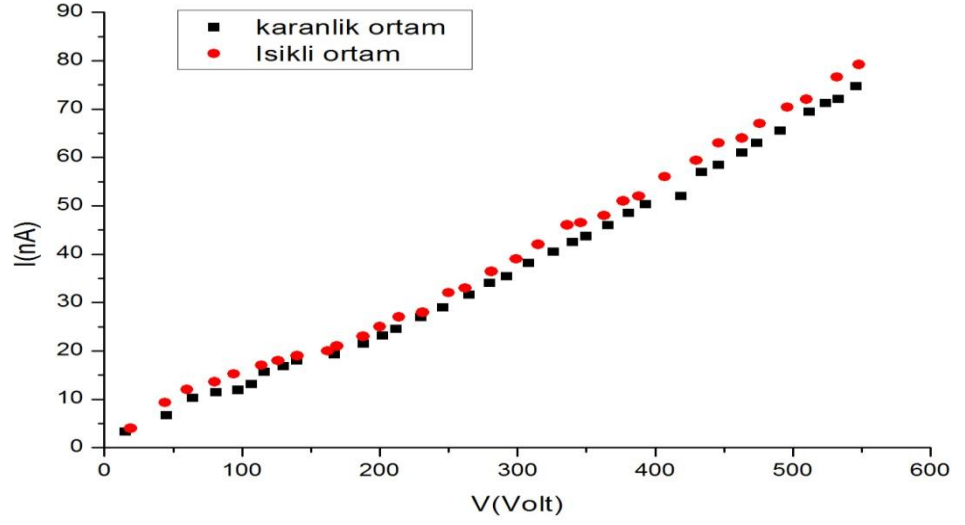
#### 4.5 Elektriksel Özellikler

Cam, cam+GaSe ince film, cam+CdS ince film, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin I-V ölçümlerinde iki adet Extech Instrument Multiview 110 modelindeki multimetre, bir tane Keithley 6486 model piko-ampermetre, bir adet Pasco Scientific SF-9585 A model güç kaynağı kullanıldı. Cam, cam+GaSe, cam+CdS alt tabanları üzerine büyütülen InSe ince filmleri üzerinde paralel kontaklar iletken gümüş boya ile alındı. Kontak teli olarak ta direnci düşük gümüş teller kullanıldı. InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerine ise indyum ile sandwich kontaklar alındı. Elde edilen numunelerin tavlınmamış ve tavlınmış örneklerinin karanlık ortamda ve ışıklı ortamda I-V karakteristikleri incelendi. Ayrıca cam, cam+GaSe, cam+CdS alt tabanları üzerinde büyütülen tavlınmayan InSe filmlerinin ve InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerine büyütülen tavlınan ve tavlınmayan InSe filmlerin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristikleri incelendi ve  $\log\sigma-10^3/T$ ,  $\log I-10^3/T$  grafikleri çizilerek numunelerin aktivasyon enerjileri hesaplandı.

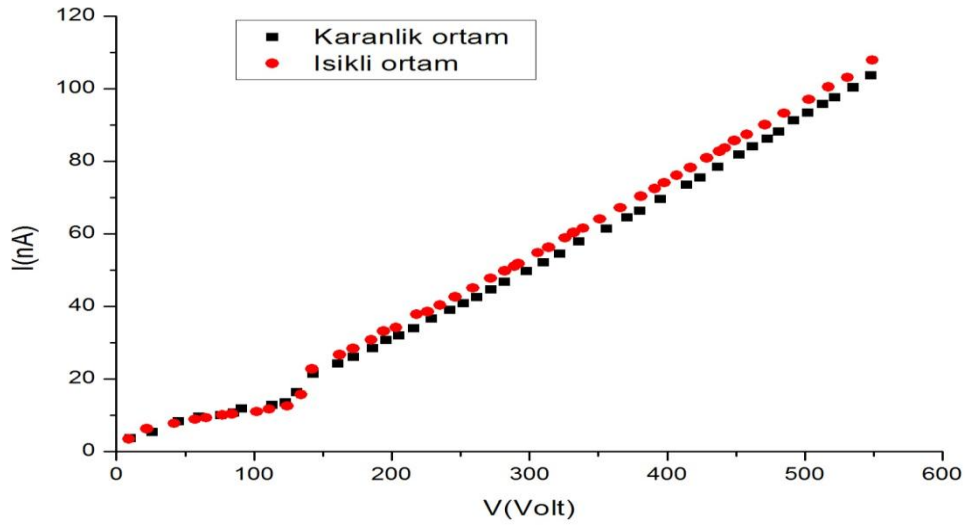
Ölçümler için cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerde iletken gümüş boyalar ve gümüş teller ile paralel kontaklar aşağıda gösterildiği gibi alınmıştır. Lehimler arası uzaklık yaklaşık 1 mm, lehimlerin ortalama alanı ise yaklaşık  $4,1 \text{ mm}^2$ 'dir.



Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavlınmamış ve tavlınmış örneklerinin I-V karakteristikleri Şekil 4.5.1-2'de verilmektedir. Tavlama işlemi  $100^\circ\text{C}$  de 1 saat hava ortamında gerçekleştirilmiştir.



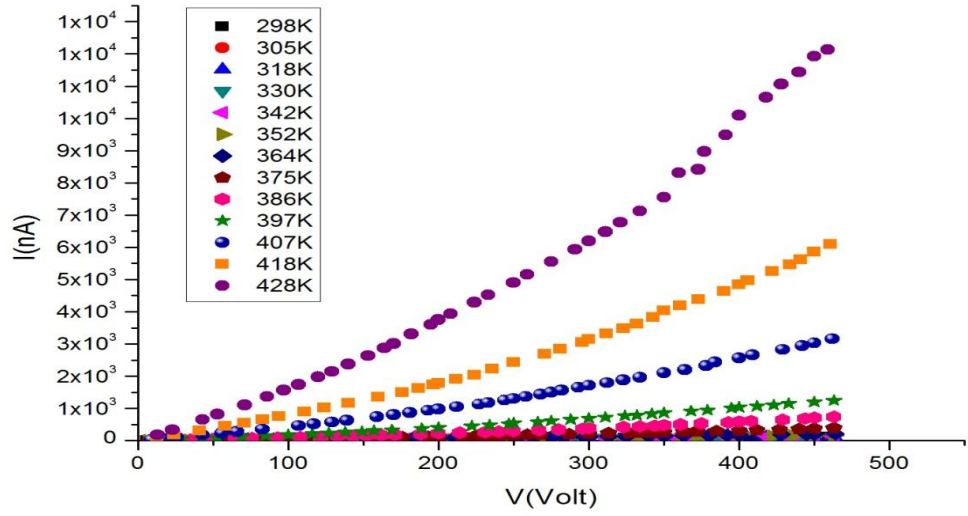
Şekil 4.5.1 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği.



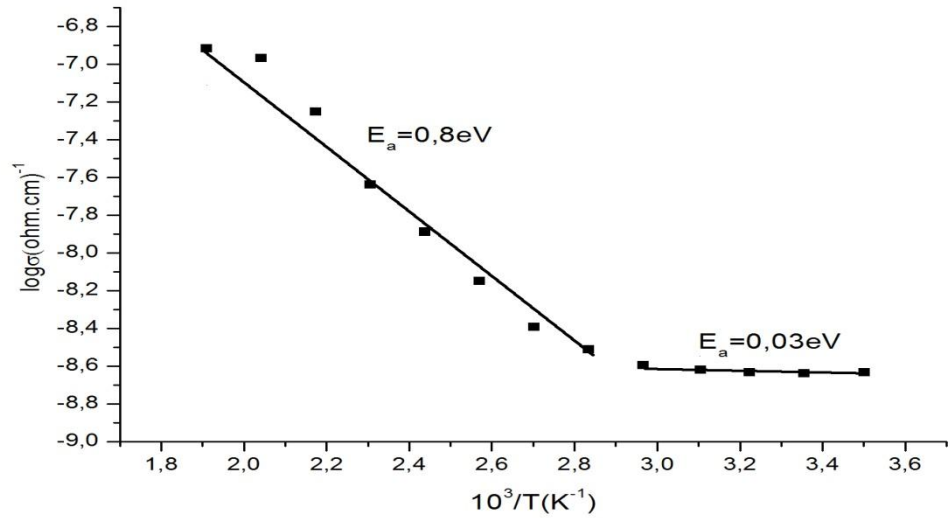
Şekil 4.5.2 Cam alt taban üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği.

Grafiklerde de görüldüğü gibi az da olsa numunelerin ışığa karşı duyarlı olduğu görülmüş ve tavllanmış numunenin akım değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Yine aynı filmin 298-428K sıcaklıkları arasında I-V karakteristiği incelenmiş ve bu sıcaklık değişimlerine göre  $\log\sigma-10^3/T$  grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.5.3 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.



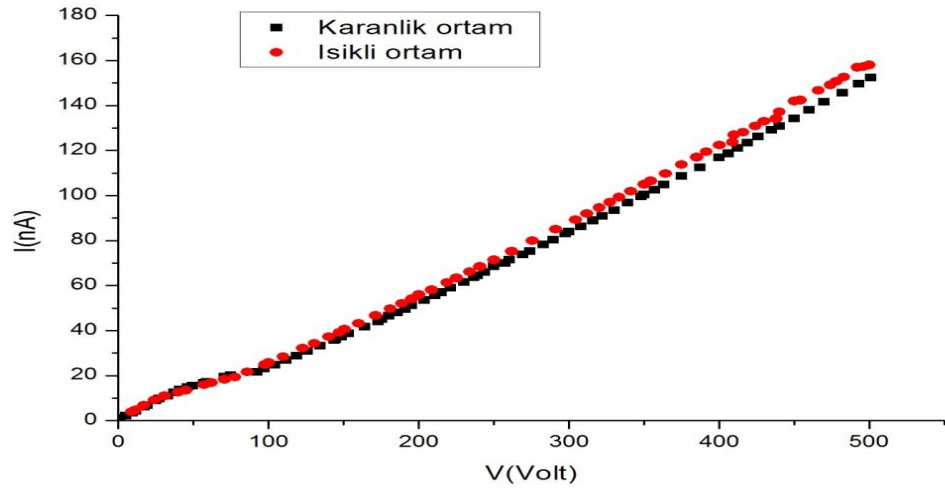
Şekil 4.5.4 Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.

298-428K arasındaki sıcaklık değişimine göre çizilen I-V grafiğinde görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça numunenin direnci azalmış ve elektriksel iletkenlik artmıştır. Bu sıcaklık aralığında çizilen  $\log\sigma-10^3/T$  grafiğinde numunenin düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 0,03eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde bu değer 0,8eV olarak hesaplanmıştır.

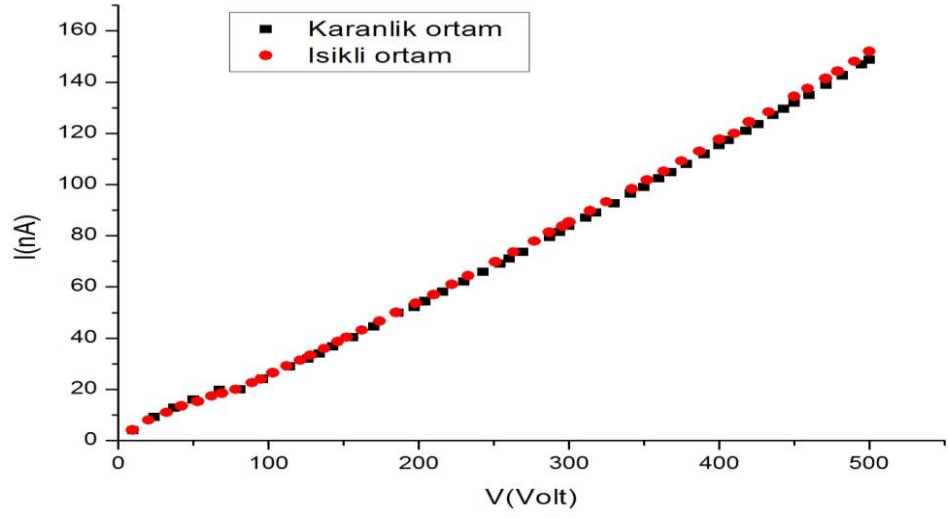
Cam+GaSe alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinde kontaklar aşağıdaki gibi alınmıştır. Lehimler arası uzaklık yaklaşık 0,3mm ve lehimlerin ortalama alanı yaklaşık  $6,5\text{mm}^2$ 'dir.



Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavllanmış ve tavlansamış örneklerinin karanlık ortam ve ışıklı ortamda I-V karakteristikleri incelenmiştir. Tavlama işlemi  $80^\circ\text{C}$  de 1 saat hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5.5-6 da bu grafikler verilmektedir.

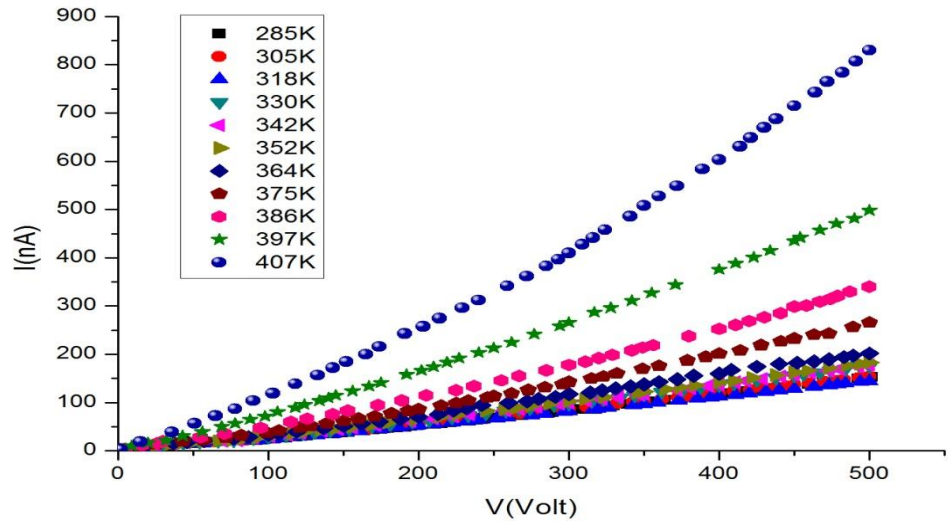


Şekil 4.5.5 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği.

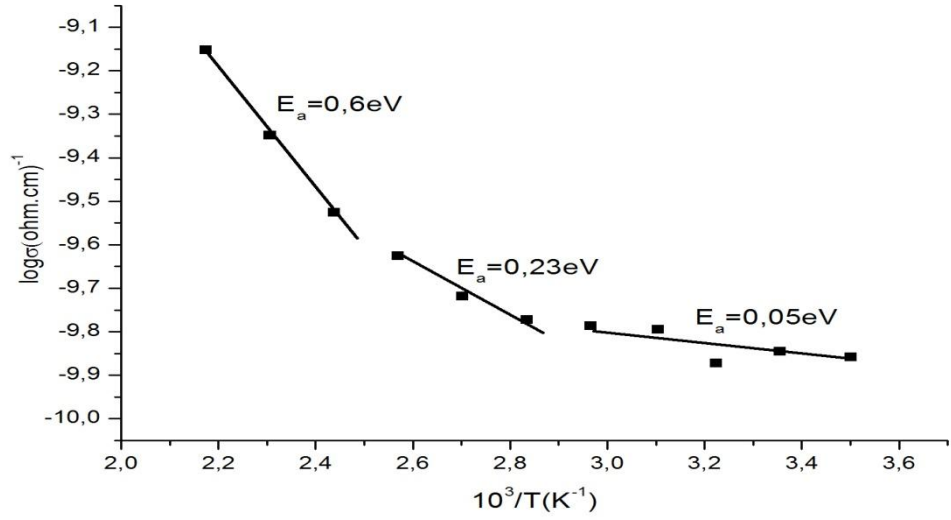


Şekil 4.5.6 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği.

Tavlanmamış ve tavllanmış numunelerin I-V karakteristikleri arasında belirgin fark gözlemlenmemiştir fakat her iki numunede de ışığa karşı duyarlılığın var olduğu görülmüştür. Yine aynı numunenin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği ve bu sıcaklık değişimlerine göre  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği Şekil 4.5.7-8 verilmektedir.



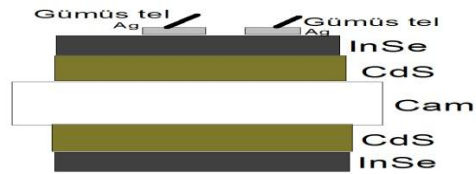
Şekil 4.5.7 Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.



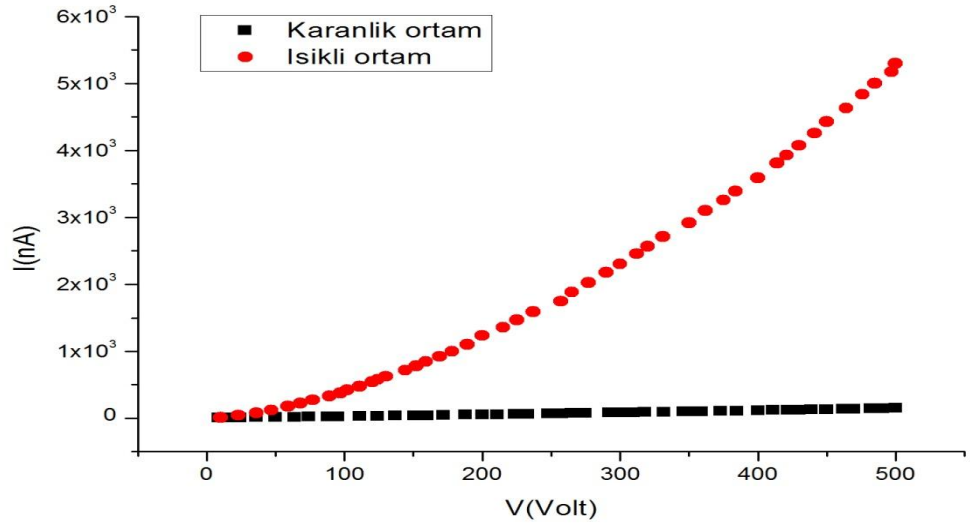
Şekil 4.5.8 Cam+GaSe ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log \sigma - 10^3/T$  grafiği.

Numunenin sıcaklık artışıyla direncinin azaldığı ve elektriksel iletkenliğinin arttığı görülmüştür. Aktivasyon enerjisi düşük sıcaklık bölgesinde 0,05eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde 0,6eV olarak hesaplanmıştır.

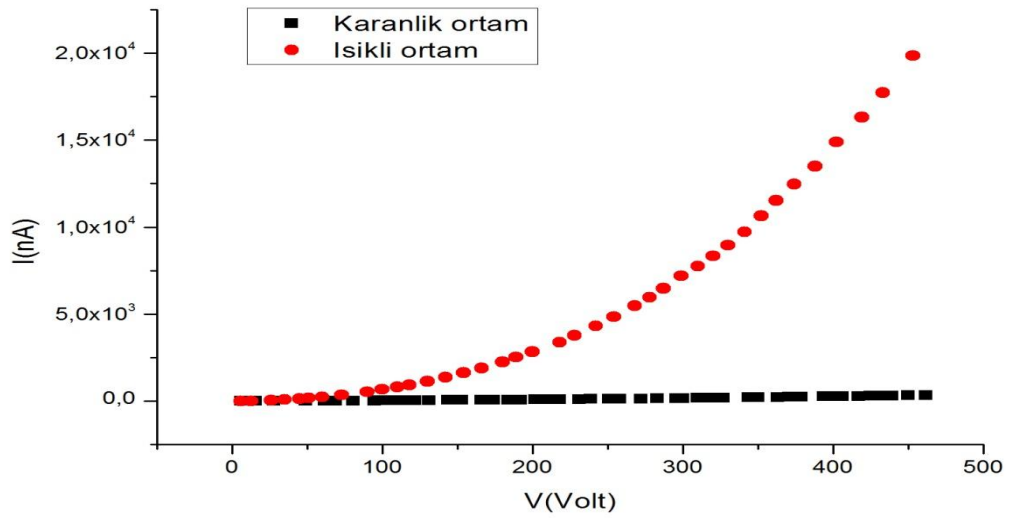
Cam+CdS alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinde kontaklar aşağıdaki gibi alınmıştır. Lehimler arası uzaklık yaklaşık 0,5mm ve lehimlerin ortalama alanları yaklaşık  $1,5\text{mm}^2$  dir.



Cam+CdS alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin tavllanmış ve tavlamanmış örneklerinin karanlık ortam ve ışıklı ortamda I-V karakteristikleri incelenmiştir. Tavlama işlemi  $80^\circ\text{C}$  de 1 saat hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5.9-10 da bu grafikler verilmiştir.



Şekil 4.5.9 Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği.

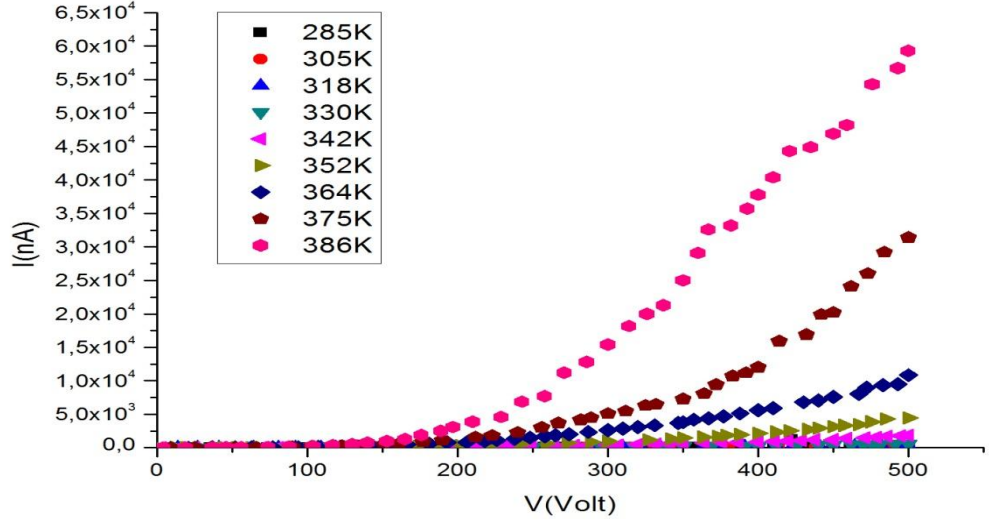


Şekil 4.5.10 Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği.

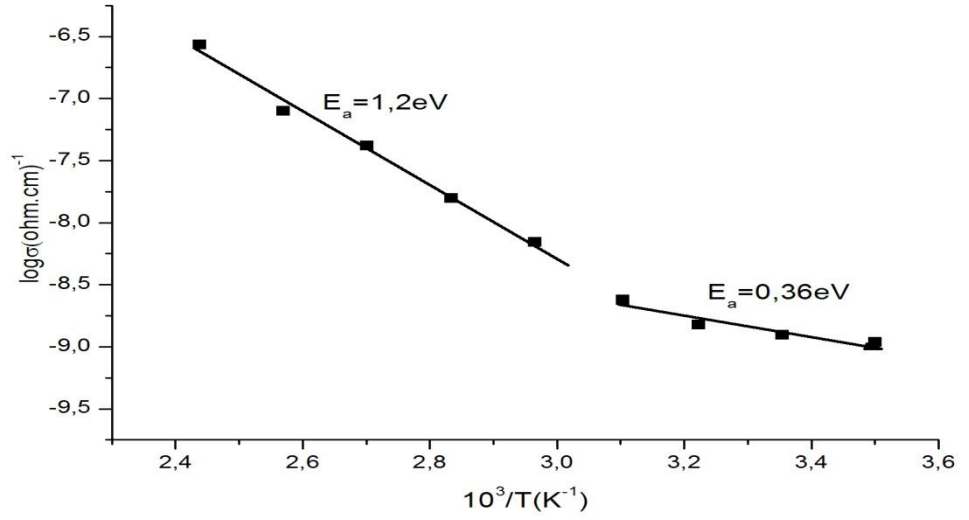
Tavlanmamış ve tavlanmış numelerin ışığa duyarlılığı oldukça yüksek olduğu tespit edilmiş ve tavlanmış numunenin ışığa duyarlılığı tavlanmamış numunenin ışığa duyarlılığından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yine aynı numunenin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği ve bu sıcaklıklara karşı  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği Şekil 4.5.11-12 de verilmektedir.





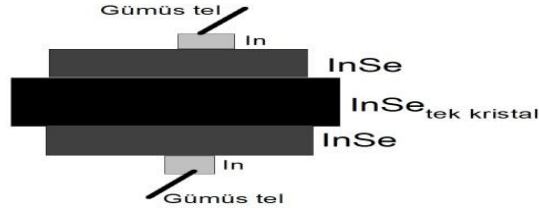
Şekil 4.5.11 Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.



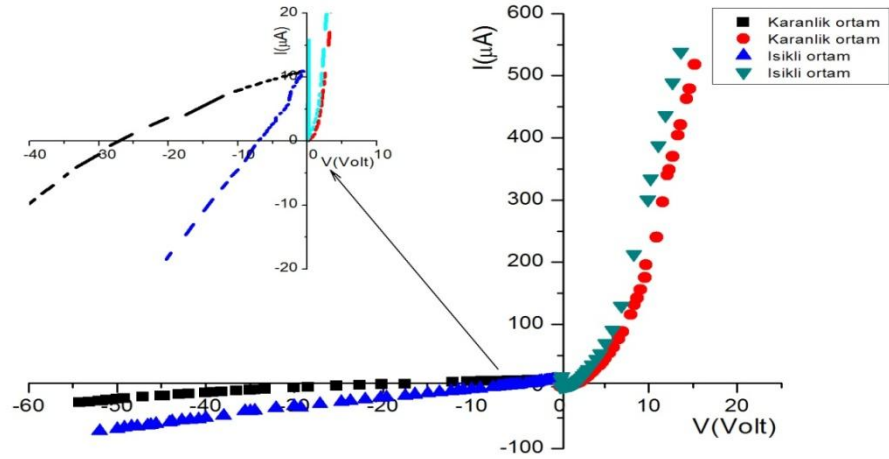
Şekil 4.5.12 Cam+CdS ince film alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.

Numunenin sıcaklığı artırıldıkça direncinin düştüğü ve elektriksel iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 0,36eV, yüksek sıcaklık bölgesinde 1,2eV olarak hesaplanmıştır.

InSe tek kristal alt tabanı üzerine InSe ince filmi büyütülmüş ve indiyum ile şekilde görüldüğü gibi sandwich kontaklar alınmıştır. Kontaklar arası uzaklık 0,25mm ve lehimlerin ortalama alanı ise  $2,3\text{mm}^2$ 'dir.



InSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin karanlık ve ışıklı ortamlarda I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil4.5.13'te bu grafik verilmiştir.

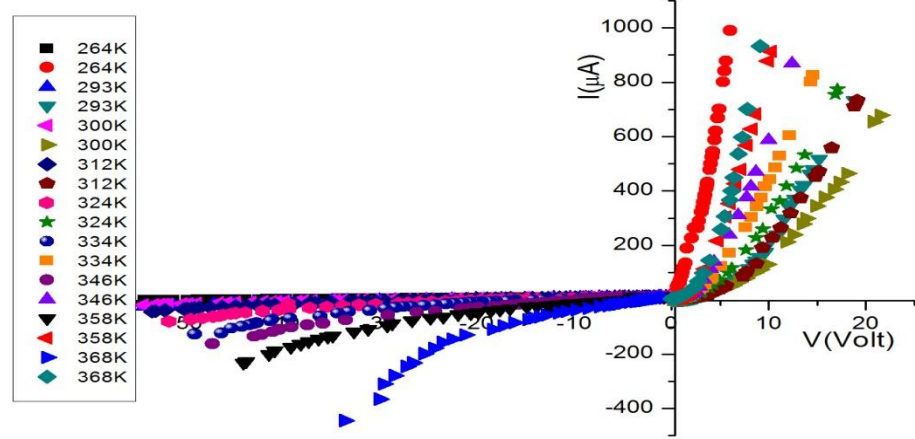


Şekil 4.5.13 InSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği.

Görüldüğü gibi düz ve ters beslemelerde numunenin ışığa duyarlılığı oldukça belirgindir. Ters beslemede potansiyel engelin karanlık ortamda 25V ile 30V

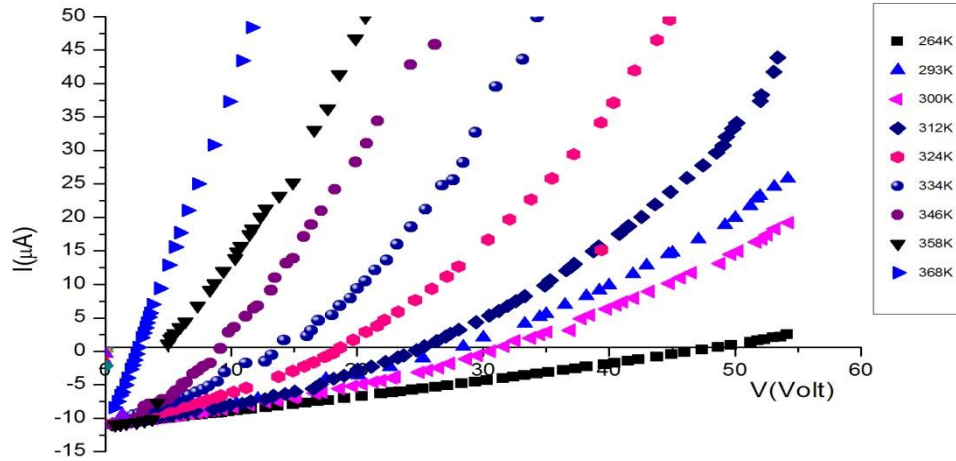
arasında aşıldığı görülürken ışıklı ortamda potansiyel engelin aşılması 5V ile 10V arasında gerçekleşmiştir.

Aynı numunenin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği Şekil 4.5.14'te verilmiştir. Sıcaklık 264K ile 368K arasında değişmektedir. Ölçümler karanlık ortamda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5.14 InSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.

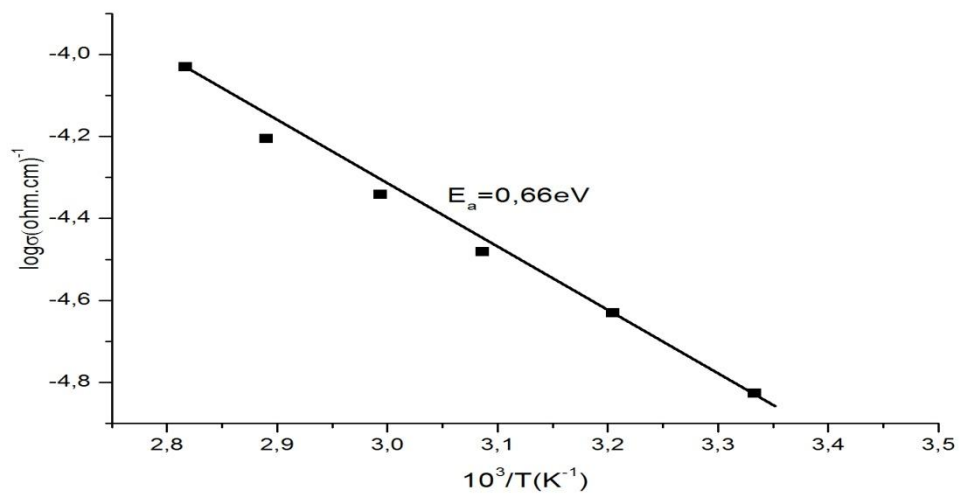
Numunenin sıcaklığın artmasıyla direncinin düştüğü görülmektedir, direnç azaldığından dolayı elektriksel iletkenlik artmaktadır. Farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması Şekil 4.5.15'te verilmektedir.



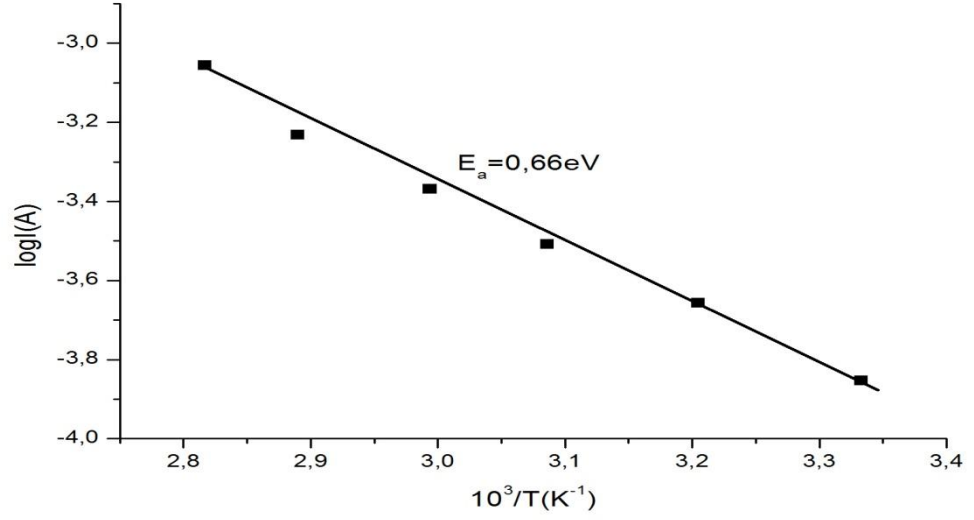
Şekil 4.5.15 InSe kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması.

Şekil 4.5.15'te de görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması yüksek sıcaklıkta potansiyel engelin aşılmasından oldukça zor olmuştur.

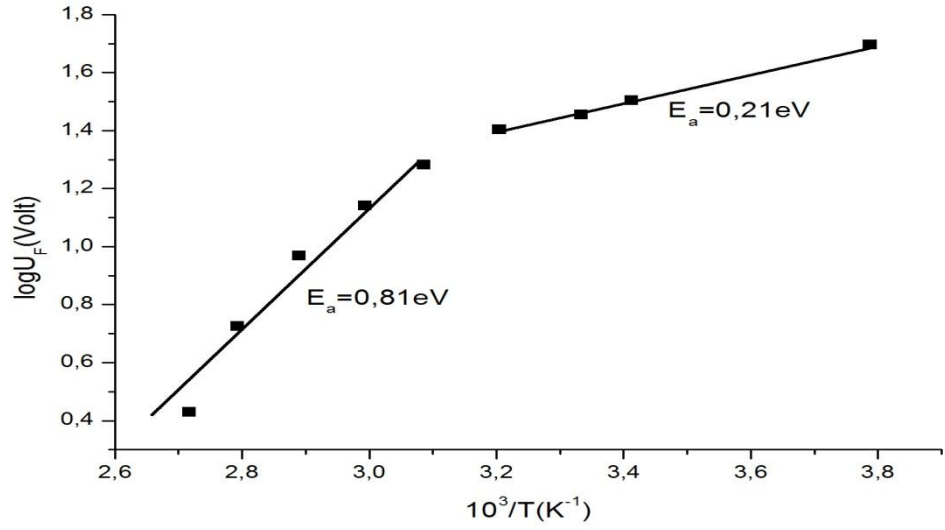
Aynı numunenin  $\log\sigma-10^3/T$ ,  $\log I-10^3/T$  ve numunenin potansiyel engeli aştığı noktalarda  $\log U_F-10^3/T$  grafikleri çizilmiştir ve 264K ile 368K arasında aktivasyon enerjileri hesaplanmış.  $U_f$  potansiyel engelin aşıldığı yerlerdeki gerilim değerleridir. 264K'de  $U_f$  değeri yaklaşık 50V iken 368K'de  $U_f$  değeri 2,5V'tur. Bu grafikler Şekil 4.5.16-18 de verilmiştir.



Şekil 4.5.16 Inse tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.



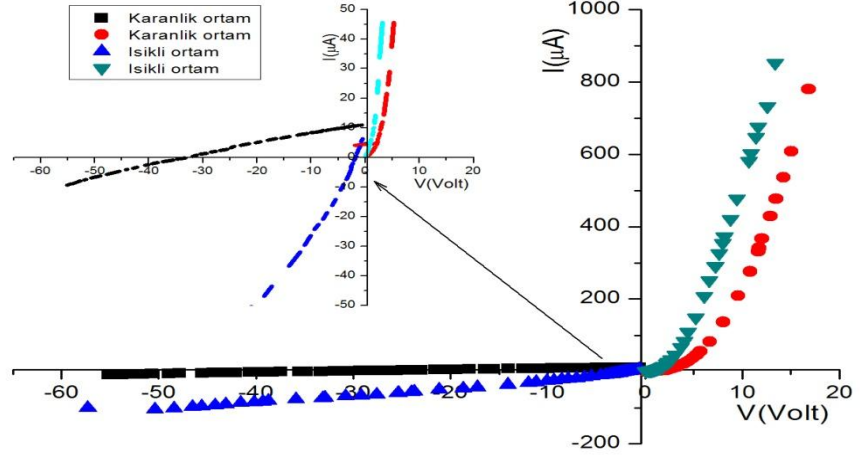
Şekil 4.5.17 Inse tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log I-10^3/T$  grafiği.



Şekil 4.5.18 Inse tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log U_F-10^3/T$  grafiği.

Numunenin aktivasyon enerjisi 0,66eV olarak hesaplanmış ve  $\log U_F-10^3/T$  grafiğinde görülmüştür ki yüksek sıcaklık bölgesinde aktivasyon 0,81eV iken düşük sıcaklık bölgesinde 0,21eV'tur.

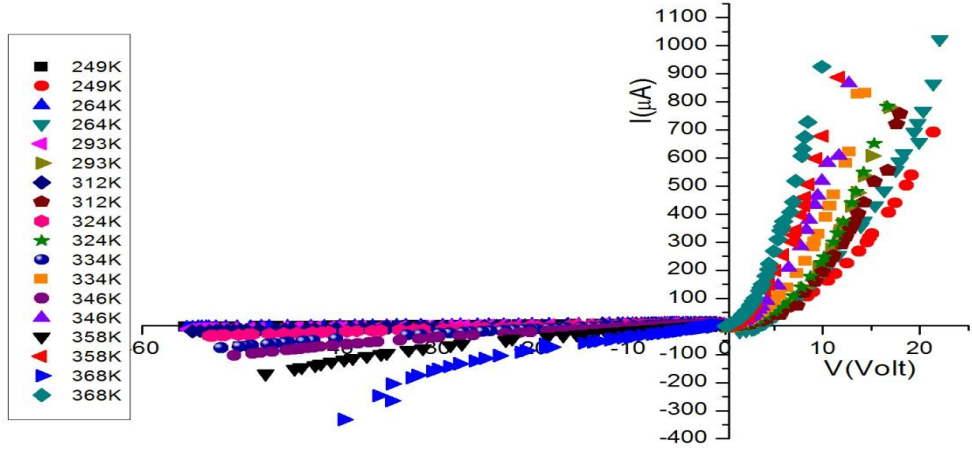
InSe tek kristali üzerine büyütülen ve 100 °C de hava ortamında bir saat tavlanan InSe ince filmlerinin karanlık ve ışıklı ortamda I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil 4.5.19 da bu grafik verilmektedir.



Şekil 4.5.19 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği.

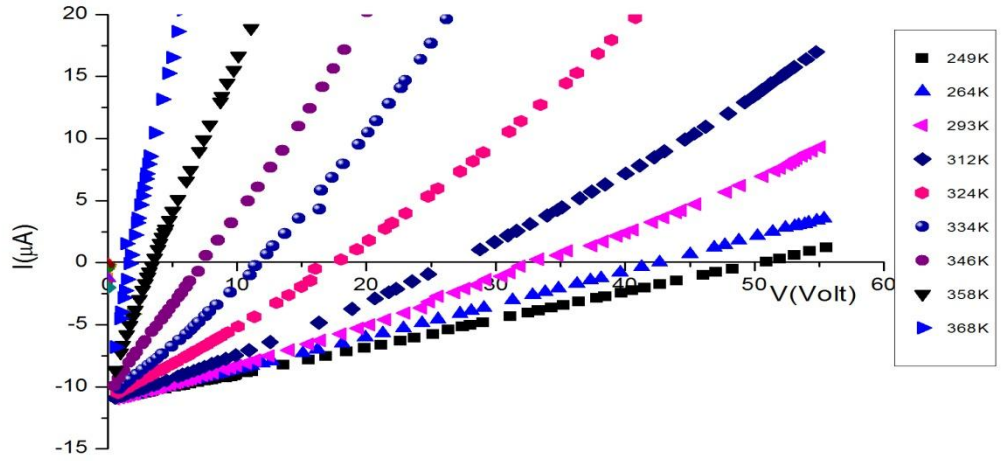
Numunenin tavlannmamış halinde olduğu gibi tavlannmış halinde de ışığa duyarlılığın var olduğu belirgindir. Potansiyel engelin aşılması tavlannmamış numuneye göre hem karanlık hem de ışıklı ortamda daha da kolay olmuştur. Karanlık ortamda potansiyel engelin aşılması yaklaşık olarak 30V değerindeyken ışıklı ortamda bu değer 3V a kadar düşmüştür. Hem tavlannmanın etkisi hem de ışığın numune üzerinde etkisi net olarak görülmektedir.

Aynı numunenin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği Şekil 4.5.20'de verilmektedir. Sıcaklık 249K ile 368K arasında değişmektedir. Ölçümler karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5.20 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.

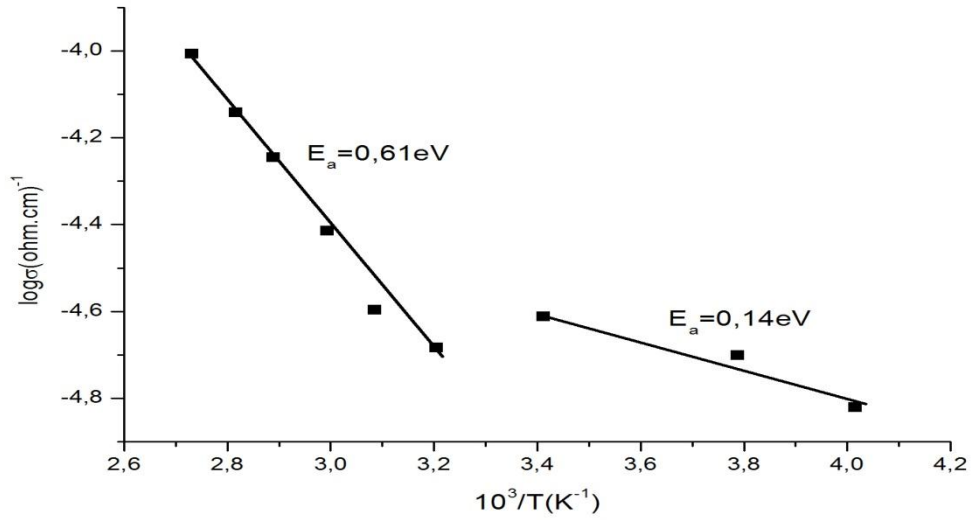
Sıcaklığın artmasıyla direncin azaldığı ve elektriksel iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması Şekil 4.5.21’de verilmektedir.



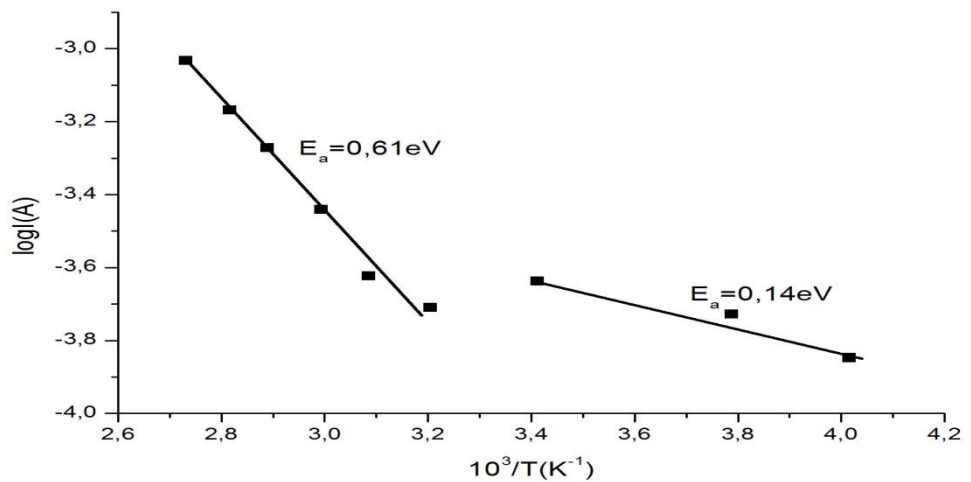
Şekil 4.5.21 InSe kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması.

Tavlanmamış numuneye benzer olarak düşük sıcaklık değerlerinde potansiyel engelin aşılması zor olmuşken yüksek sıcaklık bölgesine doğru gidildikçe potansiyel engeli aşmak daha kolay hale gelmiştir.

Aynı numunenin  $\log\sigma-10^3/T$ ,  $\log I-10^3/T$  ve numunenin potansiyel engeli aştığı noktalarda  $\log U_F-10^3/T$  grafikleri çizilmiştir 249K ile 368K arasında aktivasyon enerjileri hesaplanmış. Bu grafikler şekil 4.5.22-24'te verilmektedir.

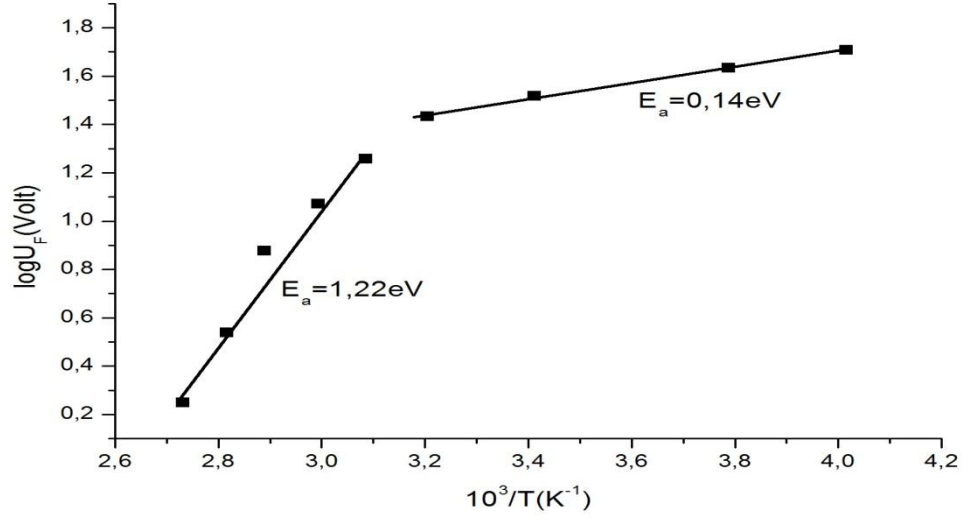


Şekil 4.5.22 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.



Şekil 4.5.23 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin  $\log I-10^3/T$  grafiği.

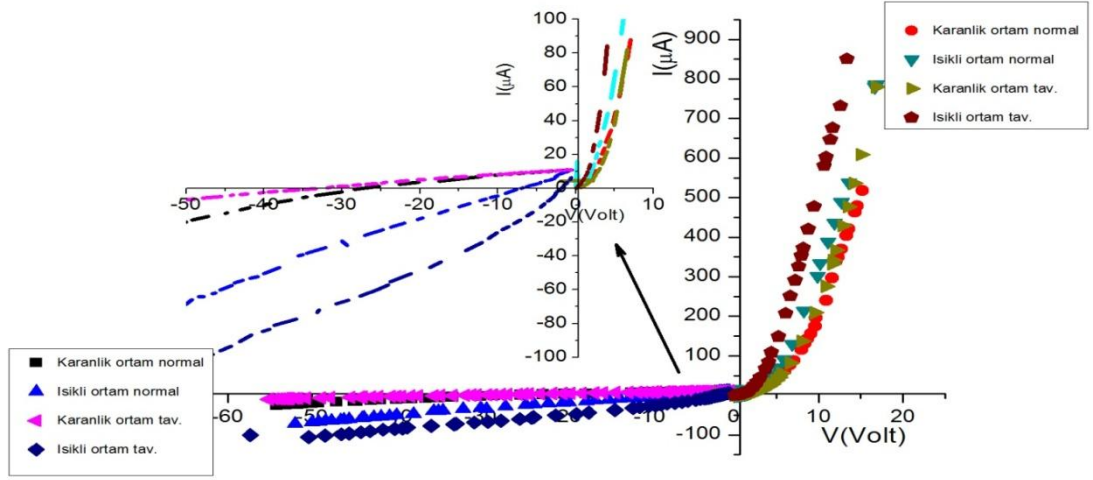




Şekil 4.5.24 InSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin  $\log U_F - 10^3/T$  grafiği.

Numunenin düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 0,14eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde bu değer 0,61eV olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5.24'te ise düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon 0,14eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde 1,22eV olarak hesaplanmıştır.

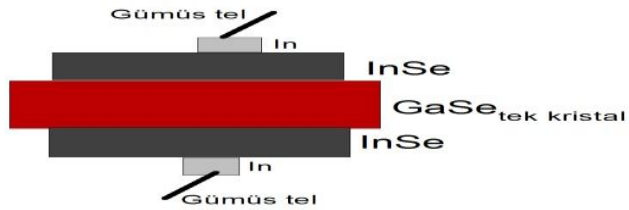
Şekil4.5.25'te InSe tek kristali üzerine büyütülmüş tavlınmamış ve tavlınmış InSe ince filmlerine hem tavlınmanın etkisi hem de ışığın etkisi gösterilmektedir.



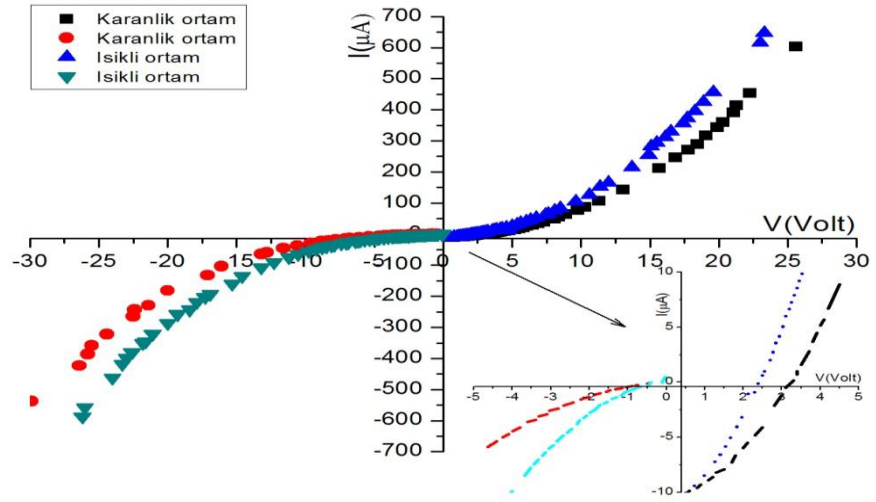
Şekil 4.5.25 InSe tek kristali üzerine büyütülen, tavlannmamış ve tavlannmış InSe ince filmlerinin I-V karakteristiği.

Her iki durumda da ışığa duyarlılık var olup tavlannmış numunenin ışığa duyarlılığının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Potansiyel engelin aşılmasında da ışığın ve tavlamanın etkisi belirgin şekilde görülmektedir.

GaSe tek kristal alt tabanı üzerine InSe ince filmi büyütülmüş ve indiyum ile şekilde görüldüğü gibi sandwich kontaklar alınmıştır. Kontaklar arası uzaklık 0,14mm ve lehimlerin ortalama alanı ise 6,8mm<sup>2</sup>'dir.

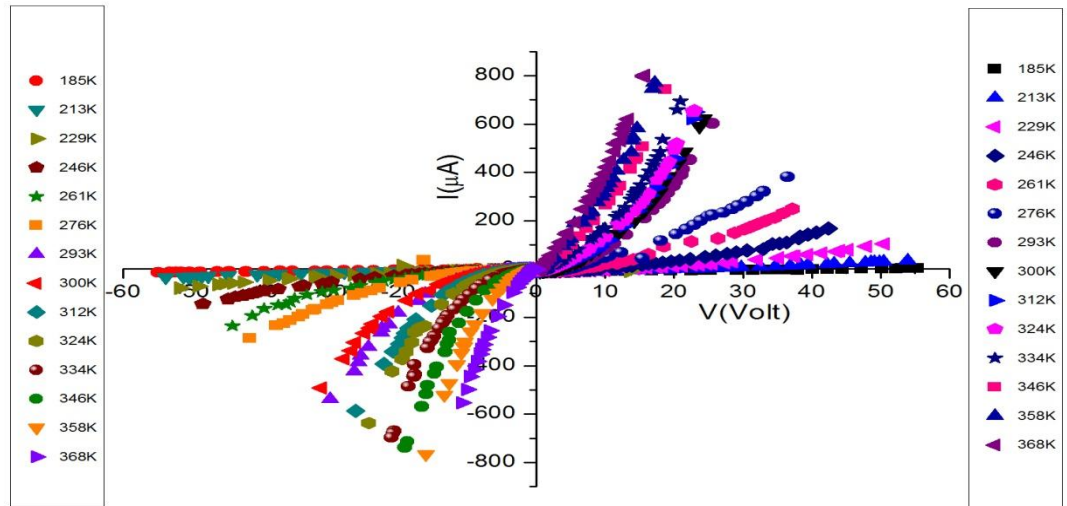


GaSe tek kristali üzerine büyütülmüş InSe ince filminin karanlık ve ışıklı ortamda I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil 4.5.26'te bu grafik verilmektedir.



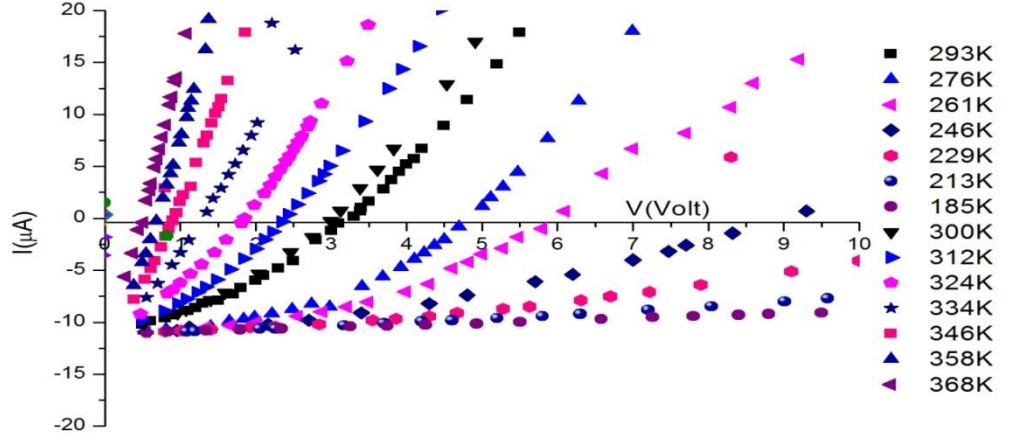
Şekil 4.5.26 GaSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin I-V karakteristiği.

Şekil 4.5.26’te görüldüğü gibi düz ve ters beslemede numunenin ışığa duyarlılığı oldukça belirgindir. Karanlık ortamda numunenin potansiyel engeli aşması yaklaşık olarak 3V a denk gelirken ışıklı ortamda 2,5V a denk gelmektedir. Aynı numunenin 185K ile 368K arasında I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil 4.5.27’de bu grafik verilmiştir.



Şekil 4.4.27 GaSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.

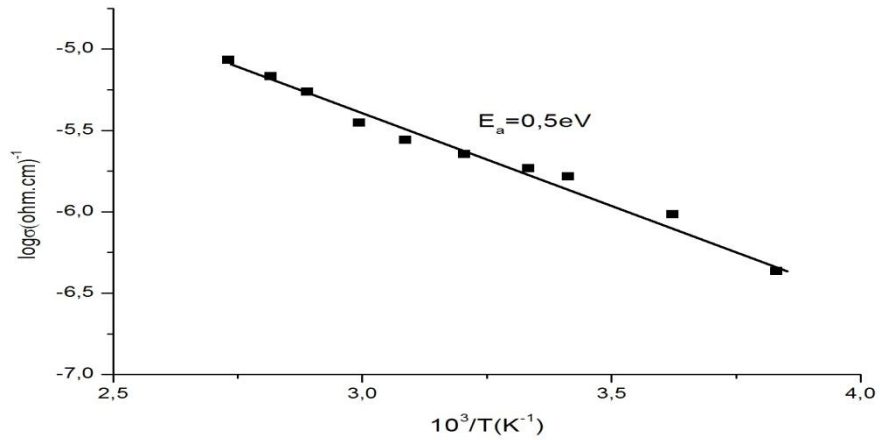
Sıcaklığın artması ile direncin azaldığı ve elektriksel iletkenliğin arttığı görülmektedir. Potansiyel engelin aşımının daha net gösterimi Şekil 4.5.28’de verilmektedir.



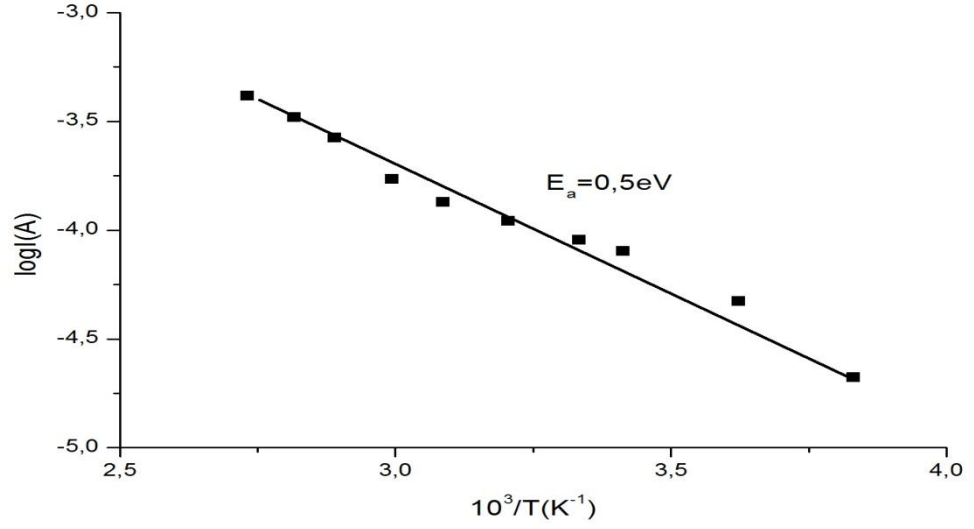
Şekil 4.5.28 GaSe kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda potansiyel engelin aşılması.

Sıcaklığın artmasıyla potansiyel engelin aşılması daha kolay olmuştur. 368K sıcaklığında potansiyel engel yaklaşık olarak 0,5V değerinde aşılmışken 185K de yaklaşık olarak 50V değerinde aşılmaktadır.

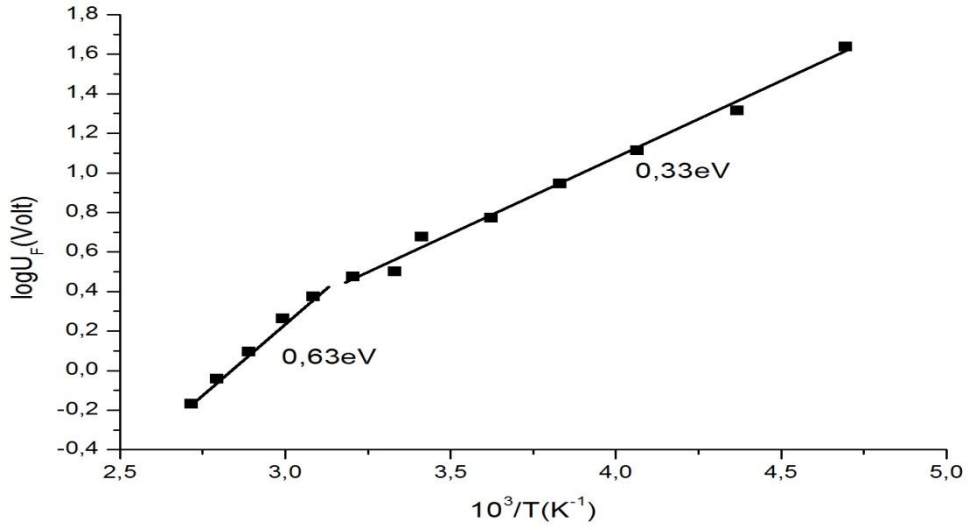
Aynı numunenin  $\log\sigma-10^3/T$ ,  $\log I-10^3/T$  ve numunenin potansiyel engeli aştığı noktalarda  $\log U_F-10^3/T$  grafikleri çizilmiştir. 185K ile 368K arasında aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Bu grafikler şekil 4.5.29-31’de verilmiştir.



Şekil 4.5.29 GaSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.



Şekil 4.5.30 GaSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin logI-10<sup>3</sup>/T grafiği.

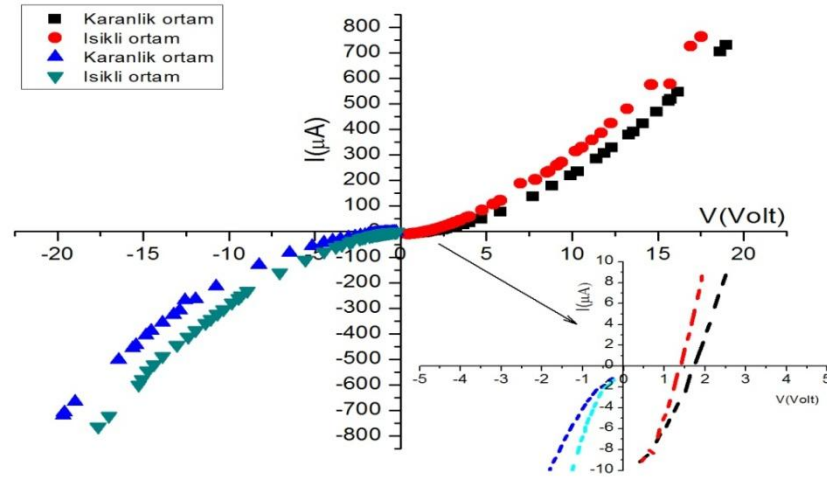


Şekil 4.5.31 Gase tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin logU<sub>F</sub>-10<sup>3</sup>/T grafiği.

GaSe tek kristali üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi hem logσ-10<sup>3</sup>/T ile hem de logI-10<sup>3</sup>/T ile hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi 0,5eV olarak bulunmuştur. Potansiyel engelin aşıldığı noktalarda logU<sub>F</sub>-10<sup>3</sup>/T grafiği çizilmiş ve

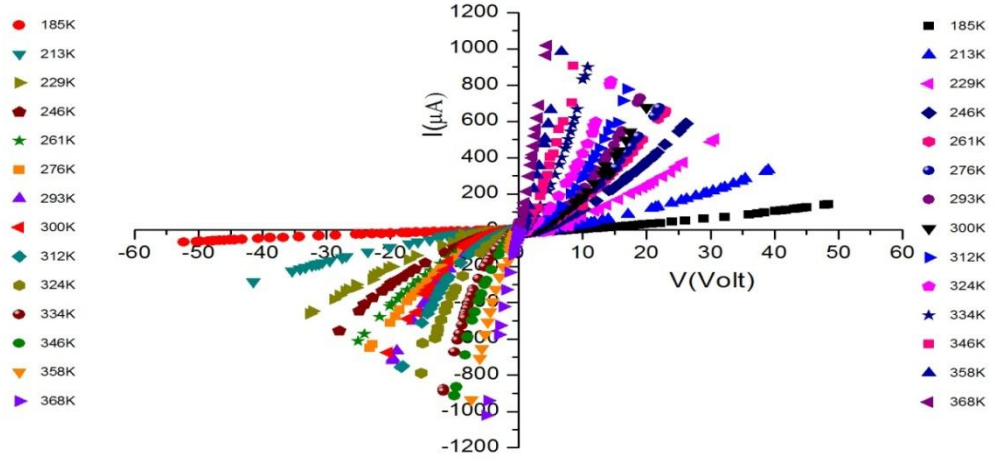
düşük sıcaklıklarda 0,33eV iken yüksek sıcaklıklarda bu değer 0,63eV olarak hesaplanmıştır.

GaSe tek kristali üzerine büyütülmüş ve 100°C de 1 saat tavllanmış InSe ince filminin karanlık ve ışıklı ortamda I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil 4.5.32’de bu grafik verilmiştir.



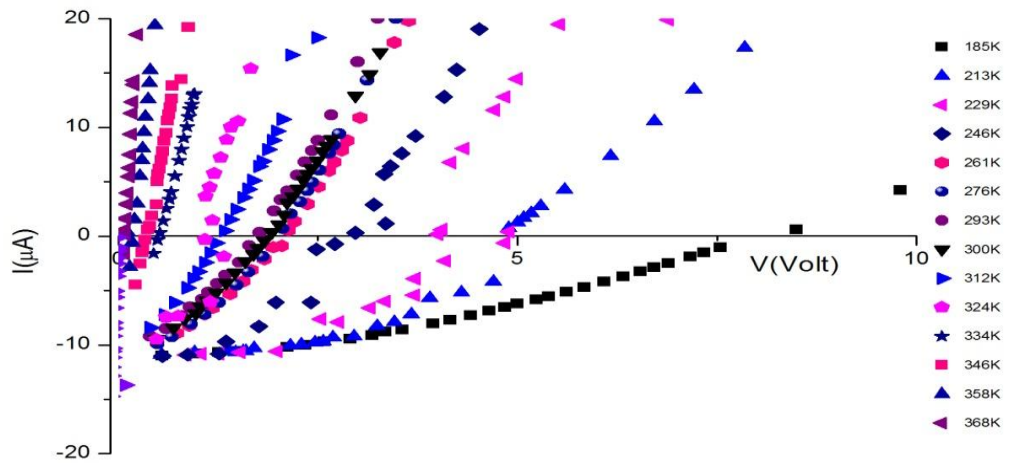
Şekil 4.5.32 GaSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin I-V karakteristiği.

Şekil 4.4.32’de da görüldüğü gibi numunenin hem düz hem de ters beslemelerde ışığa duyarlılığı belirgindir. Karanlık ortamda potansiyel engelin aşılması yaklaşık olarak 1,8V a denk gelirken ışıklı ortamda 1,3V a denk gelmektedir. Aynı numunenin 185K ile 368K arasında I-V karakteristiği incelenmiştir. Şekil 4.5.33 de bu grafik verilmektedir.



Şekil 4.5.33 GaSe tek kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin farklı sıcaklıklarda I-V karakteristiği.

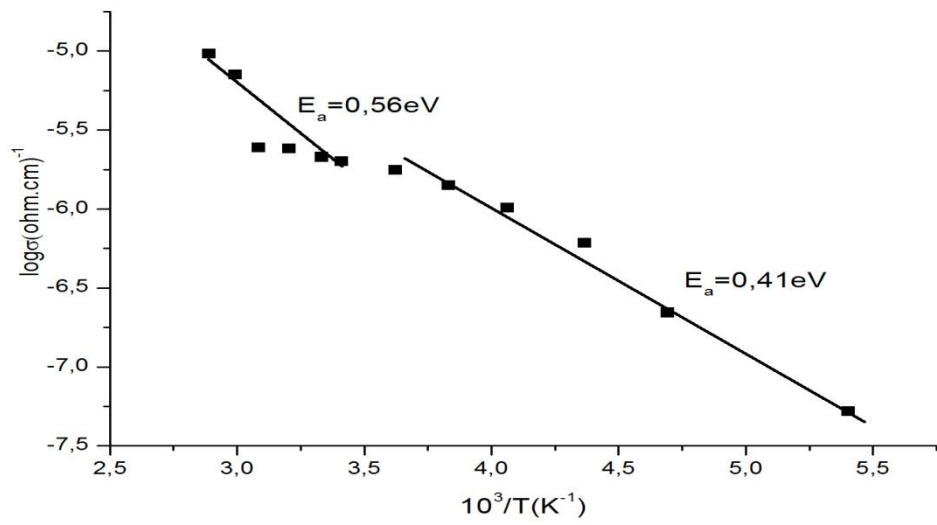
Sıcaklığın artmasıyla hem düz hem de ters beslemelerde direncin azaldığı ve elektriksel iletkenliğin arttığı görülmüştür. Potansiyel engelin aşılması şekil 4.5.34’de daha net bir şekilde gösterilmektedir.



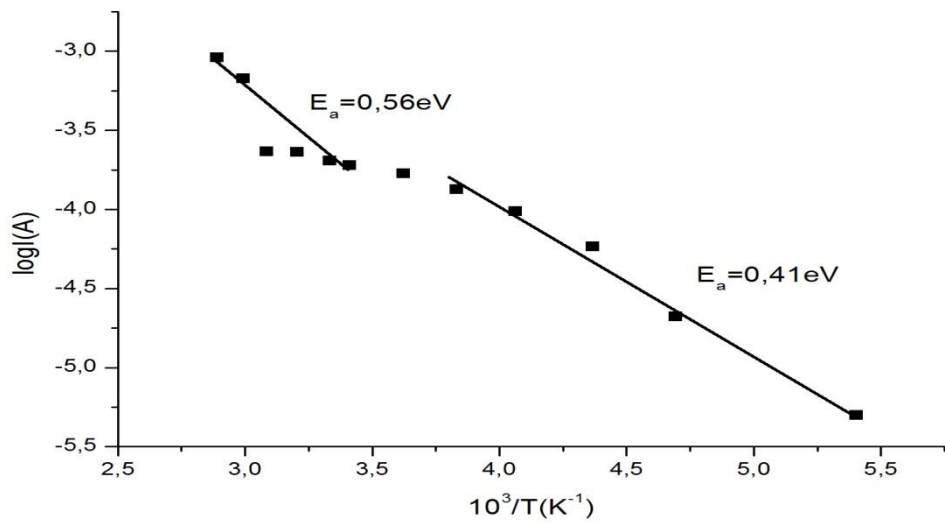
Şekil 4.5.34 GaSe kristali üzerine büyütülen ve tavlanan InSe ince filminin potansiyel engeli aşması.

Şekil 4.5.34'te de görüldüğü gibi 185K de potansiyel engelin aşılması yaklaşık olarak 8V a denk gelirken 368K de bu değer 0,2V a denk gelmektedir. Aynı numunenin tavlama haliyle kıyaslama yaptığımızda potansiyel engelin aşılmasında tavlama etkisinin oldukça büyük rol oynadığı gözden kaçmamaktadır.

Aynı numunenin  $\log\sigma-10^3/T, \log I-10^3/T$  ve numunenin potansiyel engeli aştığı noktalarda  $\log U_F-10^3/T$  grafikleri çizilmiştir. 185K ile 368K arasında aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Bu grafikler şekil 4.5.35-37'de verilmiştir.

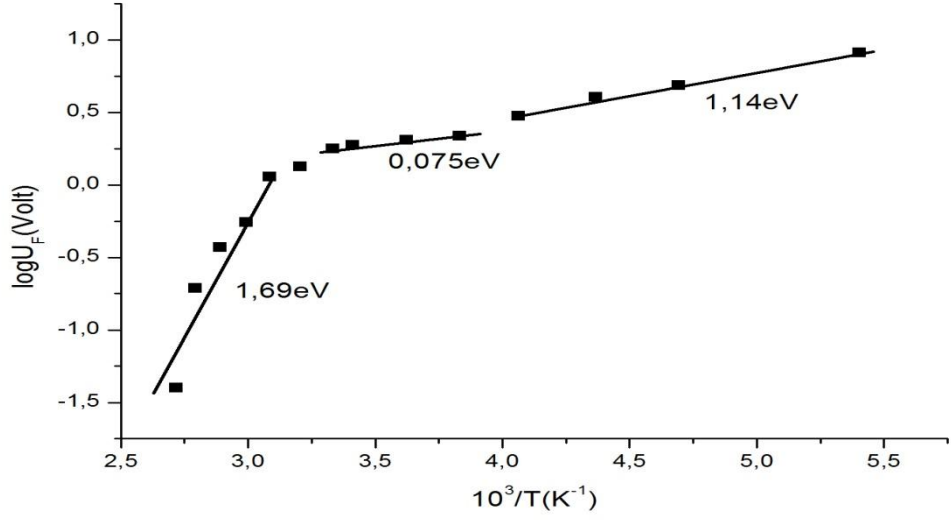


Şekil 4.5.35 Gase tek kristali üzerine büyütülmüş ve tavllanmış InSe ince filminin  $\log\sigma-10^3/T$  grafiği.



Şekil 4.5.36 Gase tek kristali üzerine büyütülmüş ve tavllanmış InSe ince filminin  $\log I-10^3/T$  grafiği.

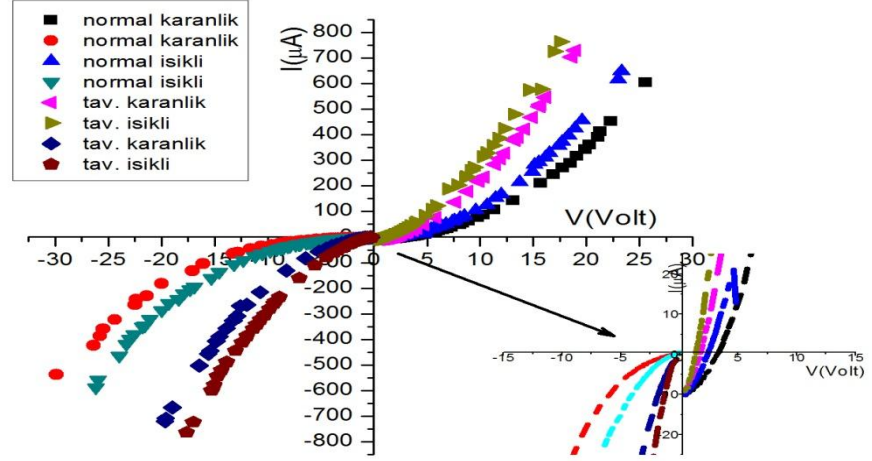




Şekil 4.5.37 Gase tek kristali üzerine büyütülmüş ve tavllanmış InSe ince filminin  $\log U_F-10^3/T$  grafiği.

GaSe tek kristali üzerine büyütülmüş ve tavllanmış numunenin hem  $\log \sigma-10^3/T$  hem de  $\log I-10^3/T$  grafiklerinden aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 0,41eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde bu değer 0,56eV olarak hesaplanmıştır. Potansiyel engelin aşıldığı noktalarda çizilen  $\log U_F-10^3/T$  grafiğinde ise düşük sıcaklık bölgesindeki aktivasyon enerjisinin değeri 1,14eV iken yüksek sıcaklık bölgesinde 1,69eV olarak hesaplanmıştır.

GaSe tek kristal üzerine büyütülmüş tavlammamış ve tavllanmış numunenin karanlık ve ışıklı ortamlardaki I-V karakteristiği Şekil 4.5.38 de verilmiştir.



Şekil 4.5.38 GaSe tek kristali üzerine büyütülmüş tavlınmamış ve tavlınmış InSe ince filmlerinin I-V karakteristiği.

Her iki durumda da ışığa duyarlılık oldukça belirgindir. Tavlınmış numunenin ışığa duyarlılığı tavlınmamış numunenin ışığa duyarlılığından daha yüksektir. Potansiyel engelin aşılmasında da hem ışığın hem de tavlamanın önemli bir etkisinin olduğu bu filmlerde de gözlemlenmektedir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Cam, cam+GaSe ince film, cam+CdS ince film, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerine M-CBD yöntemi kullanılarak InSe ince filmleri büyütüldü.

Cam alt taban üzerine 75 turda yaklaşık 112 nm kalınlığında ince filmin biriktiği hesaplandı.

Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin renginin koyu turuncu, hava ortamında 1 saat 100°C ve 150°C'de tavlanan filmlerin renginin karardığı ve siyaha yakın gri rengini aldığı, cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin renginin kırmızıya yakın turuncu, hava ortamında 1 saat 80°C'de tavladıktan sonra renginin karardığı, cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin sarıya yakın açık turuncu, hava ortamında 1 saat 80°C'de tavladıktan sonra renginin karardığı görüldü. InSe tek kristal alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin InSe tek kristalinin renginde, üzerinde hafif turuncu, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavladıktan sonra renginin karardığı, GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen InSe ince filminin GaSe tek kristalinin rengine yakın, hava ortamında 1 saat 100°C de tavladıktan sonra renginin karadığı görüldü.

Ortalama parçacık boyutu, tüm parçacıkların boyutlarının toplamının toplam parçacık sayısına bölünmesiyle elde edilir. Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin ve bu filmlerin hava ortamında 100°C ve 150°C de 1 saat tavllanmış hallerinin ortalama parçacık boyutları sırası ile 40 nm, 60 nm, 65 nm olduğu, InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülmüş ve hava ortamında 100°C de 1 saat tavllanmış InSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutları 35 nm, 70 nm olduğu, GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülmüş ve hava ortamında 100°C de 1 saat tavllanmış InSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutları 30 nm, 65 nm olduğu hesaplandı. Tavlamanın etkisiyle küçük parçacıkların birleşerek daha büyük yapılar oluşturduğu ve buna bağlı olarak ortalama parçacık boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.1'de hesaplanan parçacık boyutlarının şematik gösterimi verilmiştir.

	Parçacık Boyutu		
	Tavlanmamış	100°C'de tavllanmış	150°C'de tavllanmış
Cam+InSe	40nm	65nm	70nm
InSekristal+InSe	35nm	70nm	–
GaSekristal+InSe	30nm	65nm	–

Şekil 5.1 Farklı alt tabanlar üzerine büyütülen InSe ince filmlerin parçacık boyutunun şematik gösterimi.

Cam, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerinde büyütülen InSe ince filmlerinin kristal yapıda olduğu tespit edildi. Cam alt taban üzerine büyütülen filmin  $a=7,12860\text{\AA}$ ,  $c=19,38200\text{\AA}$  ve  $z=6$  örgü parametrelerine sahip  $P6_1 \gamma\text{-In}_2\text{Se}_3$  hegzagonal yapısında olduğu, 100-150°C'de tavlanan filmlerin  $a=11,74000\text{\AA}$ ,  $b=4,11000\text{\AA}$ ,  $c=4,61000\text{\AA}$  ve  $z=4$  örgü parametrelerine sahip  $C2/m$  InSe monoklinik yapısında olduğu X-ışını difraksiyonu ile belirlendi. Cam alt taban üzerine büyütülen ince filmlerin X-ışını difraksiyon desenlerinde ki piklerle numunenin 1 saat hava ortamında 100°C ile 150°C de tavladıktan sonraki pikleri arasında farkların olduğu ve tavlamanın etkisiyle piklerin daha da şiddetlendiği görüldü. InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanları üzerinde büyütülen filmlerin  $a=4,00200\text{\AA}$ ,  $c=24,94600\text{\AA}$  ve  $z=6$  örgü parametrelerine sahip  $R3_m$  InSe rombohedral yapısında olduğu belirlenmiştir. InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen ince filmlerin XRD spektrumlarında piklerin  $0,1^\circ$  ile  $0,2^\circ$  büyük açılara doğru kaydığı bazı noktalarda piklerin zayıfladığı bazı noktalarda ise piklerin şiddetinin arttığı, tavllanmış numunenin piklerinin her bölgede tavlammamış numunenin piklerinden daha şiddetli olduğu görüldü. GaSe tek kristal alt tabanı üzerinde büyütülen filmlerin XRD spektrumlarında piklerin yaklaşık olarak  $0,2^\circ$  küçük açılara doğru kaydığı ve piklerin GaSe tek kristalinin piklerinden çok daha şiddetli olduğu görüldü.

Cam alt taban üzerine 0,03M katyonik çözelti kullanılarak büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,73eV, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavlanan

numunenin yasak enerji aralığı 1,59eV, hava ortamında 1 saat 150°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı 1,05eV olarak hesaplandı. 0,05M katyonik çözelti kullanılarak büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,63eV, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı 1,45eV, hava ortamında 1 saat 150°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı 1,16eV olarak, 0,07M katyonik çözelti kullanılarak büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,87eV, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı 1,3eV, hava ortamında 1 saat 150°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı 1,12eV olarak hesaplandı. Cam+GaSe ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,89eV, hava ortamında 1 saat 80°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı ise 1,27eV olarak hesaplandı. Cam+CdS ince film alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 2,03eV, hava ortamında 1 saat 80°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı ise 2,02eV olarak hesaplandı. InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,21eV, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı ise 1,2eV olarak hesaplandı. GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,97eV, hava ortamında 1 saat 100°C'de tavlanan numunenin yasak enerji aralığı ise 1,94eV olarak hesaplandı. Şekil 5.2'de hesaplanan yasak band aralıklarının şematik gösterimi verilmiştir.

	Yasak Band Aralığı(eV)			
	Tavlanmamış	80°C'de tavlanmış	100°C'de tavlanmış	150°C'de tavlanmış
Cam+InSe 0,03M K.Ç	1,73	–	1,59	1,05
Cam+InSe 0,05M K.Ç	1,63	–	1,45	1,16
Cam+InSe 0,07M K.Ç	1,87	–	1,3	1,12
Cam+GaSe+InSe	1,89	1,27	–	–
Cam+CdS+InSe	2,03	2,02	–	–
InSekristal+InSe	1,21	–	1,2	–
GaSekristal+InSe	1,97	–	1,94	–

Şekil 5.2 Hesaplanan yasak enerji aralıklarının şematik gösterimi. K.Ç: Katyonik Çözelti.

Bütün numunelerimizde tavlamanın etkisiyle yasak enerji aralığının düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün sebepleri; kristalleşmenin boyutu arttığında yani numunelerin parçacık boyutları arttığında tanecik sınırlarındaki dağılımlar azalabilir ve bu da band aralığının düşmesine sebep olabilir[10].

Kuantum alan etkisinin sonucu olarak, parçacık boyutu arttıkça yasak enerji aralığı azalabilir. Kuantum alan etkisi 20nm ve daha küçük boyutlardaki parçacıklara etki etmektedir ve iç boyutun bir fonksiyonu olarak enerji seviyelerindeki sistematik değişimlerden kaynaklanmaktadır. Parçacık boyutu artarken kuantum olaylar daha zayıf ve enerji seviyeleri arasındaki ayrılmalar daha küçük olmaktadır. Sonuç olarak bu da yasak band aralığı enerjisinin azalmasına sebep olabilir. Parçacık boyutunun artması ile filmlerde bir takım yapısal kusurlar meydana gelir ve bu oluşan yapısal kusurlar, yasak bölgede iletkenlik bandı kenarında izinli durumların oluşmasına neden olabilir. Parçacık boyutunun artması ile bu izinli durumlar iletkenlik bandı ile birleşerek yasak enerji değerinin azalmasına neden olabilir[4].

AFM ölçümlerinden görüldüğü üzere tavlanmamış numunelerin küçük parçacıklara sahip olması ve tavlamanın etkisiyle bu parçacıkların birleşerek daha büyük yapılar oluşturması kuantum alan etkisini azaltmıştır ve buna bağlı olarak yasak band aralığının düşmesine sebep olmuştur.

Yapılan literatür taramasında P. Matheswaran ve ekibinin çalışmalarında, S.Gopal ve ekibinin çalışmalarında ve Aykut ASTAM'ın indiyum selen ince filmleri üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda bizim çalışmalarımıza ve hesaplamalarımıza paralel olarak aynı fiziksel özellikleri görmüşlerdir.

Cam, cam+GaSe ince film, cam+CdS ince film, InSe tek kristal ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerine büyütülen InSe ince filmlerin tamamının ışığa duyarlı olduğu yani soğrulan ışığın elektronları uyarması ile uyarılan elektronların elektriksel iletkenliğe katkı sağladığı ölçülen I-V karakteristiğiyle fark edildi ve tavlamanın etkisiyle bu katkının arttığı görüldü. InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin potansiyel engeli karanlık ortamda 25V ile 30V arasında aştığı görülürken ışıklı ortamda potansiyel engelin aşılması 5V ile 10V arasında gerçekleşmiştir. Aynı numunenin tavllanmış halinde karanlık ortamda potansiyel engelin aşılması yaklaşık olarak tavlammamış numunenin ki ile hemen hemen aynı değerde iken ışıklı ortamda bu değer 3V a kadar düşmüştür. GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filmlerinin potansiyel engeli aşması karanlık ortamda yaklaşık olarak 3V'a denk gelirken ışıklı ortamda potansiyel engelin aşımı yaklaşık olarak 2V'a denk gelmektedir. Aynı numunenin tavlammamış halinde karanlık ortamda potansiyel engelin aşılması 1,8V'a denk gelirken ışıklı ortamda 1,3V'a denk gelmektedir. Sıcaklık değişimine karşı ölçülen I-V karakteristiğinde sıcaklığın artması ile bütün numunelerin öz dirençlerinin azaldığı ve akabinde elektriksel iletkenliklerinin arttığı görülmüştür. Tavlanan numunelerin sıcaklık değişimine karşı elektriksel iletkenlikleri tavlammamış numunelerin elektriksel iletkenliklerinden fazla olduğu yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Potansiyel engellerin aşımı düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara doğru gidildikçe kolaylaşmıştır, tavlanan numunelerde ise tavlammamış numunelere göre potansiyel engelin aşımı daha da kolay olmuştur. Isıl yolla uyarılan elektronların akıma katkı sağlaması olağan yarıiletkenlerde beklenen bir davranıştır ve yarıiletkenleri metallere ayıran önemli bir özelliktir. Cam alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi düşük sıcaklık bölgelerinde 0,03eV, yüksek sıcaklık bölgelerinde ise 0,8eV olarak, cam+GaSe alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi düşük sıcaklık bölgelerinde 0,05eV, yüksek sıcaklık bölgelerinde 0,6eV olarak, cam+CdS alt taban üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi düşük sıcaklık

bölgelerinde 0,36eV, yüksek sıcaklık bölgelerinde 1,2eV olarak hesaplandı. InSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi 0,66eV olarak ve bu numunenin tavllanmış halinin aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklık bölgesinde 0,14eV, yüksek sıcaklık bölgesinde 0,61eV olarak hesaplandı. GaSe tek kristal alt tabanı üzerine büyütülen InSe ince filminin aktivasyon enerjisi 0,5eV olarak ve bu numunenin tavllanmış halinin aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklık bölgesinde 0,41eV, yüksek sıcaklık bölgesinde ise 0,56eV olarak hesaplandı. Hesaplanan aktivasyon enerjilerinin şematik gösterimi Şekil 5.3'te verilmiştir.

	Aktivasyon Enerjisi(eV)	
	Düşük Sıcaklık Bölgesi	Yüksek Sıcaklık Bölgesi
<b>Cam+InSe</b>	<b>0,03</b>	<b>0,8</b>
<b>Cam+GaSe+InSe</b>	<b>0,05</b>	<b>0,6</b>
<b>Cam+CdS+InSe</b>	<b>0,36</b>	<b>1,2</b>
<b>InSekristal+InSe</b>	<b>0,66</b>	
<b>InSekristal+InSe(tav.)</b>	<b>0,14</b>	<b>0,61</b>
<b>GaSekristal+InSe</b>	<b>0,5</b>	
<b>GaSekristal+InSe(tav.)</b>	<b>0,41</b>	<b>0,56</b>

**Şekil 5.3** Hesaplanan aktivasyon enerjilerinin şematik gösterimi.

Yapılan literatür çalışmasında B.Kobbi ve çalışma arkadaşları ile Fatma GÖDE yapmış oldukları çalışmalarda aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklık bölgesinden yüksek sıcaklık bölgesine gidildikçe arttığını tespit etmişlerdir. Bizim aktivasyon enerjisi hesaplamalarımızda yapılmış olan çalışmalarla uyum içerisindedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Fatma GÖDE, “Kimyasal Banyo Depolama Yöntemiyle Elde Edilen ZnS Yarıiletken İnce Filmlerin Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi.”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [2] Mehmet Şah YURTÇİÇEK , “Kimyasal Depolama Yöntemiyle Büyütülen PbS İnce Filminin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması.”, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [3] Yunus AKALTUN , “CdSe, ZnSe ve Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Se Yarıiletken İnce Filmlerinin Büyütülmesi Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi.” Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [4] Aykut ASTAM “InSe İnce Filmlerin Silar Yöntemiyle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı , 2006
- [5] Choi , In.H., Peter Y.Yu., 2003. Properties of phase-pure InSe film prepared by metalorganic chemical vapor deposition with a single-source precursor. Journal of Applied Physics, 93(8), 4673-4677.
- [6] H.M Pahtan S.S Kulkarni R.S Mane C.D. Lokhande 2005. Preparation and characterization of indium selenide thin films from a chemical route, Materials Chemistry and Physics 93 16-20
- [7] B.Kobbi , D.Ouadjaout, N.Kesri . Growth and characterization of In-Se films 2001, Vacuum 62 321-324
- [8] B.Kobbi , N.Kesri , 2004. Physico-chemical and electrical properties of InSe films, Vacuum 75 177-182

- [9] H.Bouzoita , N. Bouguila , S. Dechemin S.Fiechter , A.Dhouib 2000. Preparatim and characterization of In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin films. Renewable Energy 25 131-138
- [10] P.Matheswaran , R.Saravana , R.Sathyamoorthy 2010 . Effect of annealing on te structural and optical properties of InSe bilayer thin films. Vacuum 85 820-826
- [11] S.S.Sen , N.N.Biswas , K.A.Khan 2000. Temperature effect on the electrical and optical properties of induyum-selenide thin films. Applied Energy 65 51-58
- [12] Shuming Yang , Hongjun Wang , Wenhong Fu ,David F.Kelley 2007. The synthesis and optical properties of GaSe/InSe core/shell nanoparticles. Journal of Photochemistry and Photobiology 192 159-165
- [13] O.Lang, A.Klein,C. Pettenkofer , and W.Jaegermann. 1996 . Band lineup of lattice mismatched InSe/GaSe quantum well structures prepared by van der Walls epitaxy:Absence of interfacial dipoles, J. Appl. Phys (S0021-8979 09018-4)
- [14] S.Gopal , C.Viswanathan , B. Karunagaran , Sa.K.Narayandass , D.Mangalaraj and Junsin Yi 2005. Preparation and characterization of electrodeposited induyumselenide thin films, Cryst. Res. Technol. 6 557-562
- [15] Yunus ALKAN, “GaSe İnce Filmlerinin Farklı Tabanlar Üzerinde Sılar Yöntemiyle Büyütülmesi Ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi Kafkas Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü ,2012

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Adı Soyadı:** Fatih ÜNAL

**Doğum Yeri:** Kağızman

**Doğum Tarihi:** 16.07.1987

**Medeni Hali:** Bekâr

**Yabancı Dili:** İngilizce

**Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

**Lise:** Kağızman Lisesi (2003)

**Lisans:** İnönü Üniversitesi (2010)

**Yüksek Lisans:** Kafkas Üniversitesi (2013)