

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

**GaS İNCE FİLMLERİNİN CBD YÖNTEMİYLE BÜYÜTÜLMESİ  
VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tarık BAYDAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT**

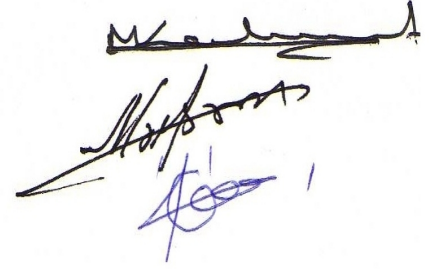
**HAZİRAN – 2011  
KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Tarık BAYDAR'ın Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT'un danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "GaS İnce Filmlerinin CBD Yöntemiyle Büyütülmesi ve Özelliklerinin Araştırılması" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

24 / 06 / 2011

	Adı ve Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT
Üye	: Prof. Dr. Hasan MAMMADOV
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Temel ÖZTÜRK

İmza



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 ilk kez GaS ince filmi, Kimyasal Banyo Depolama yöntemiyle cam alt taban üzerinde büyütüldü. GaS ince filmlerinin fiziksel, optiksel ve elektriksel özellikleri araştırıldı.

Öncelikle çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT'a, değerli hocam Prof. Dr. Hasan MAMMADOV'a, Arş. Gör. Hüseyin ERTAP'a ve Yüksek Lisans arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca hem Lisans hem de Yüksek Lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Kars, 2011

Tarık BAYDAR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖZET</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	ix
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	x
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. III-VI GRUBUNA AİT BİLEŞİK YARIİLETKEN İNCE FİMLER</b>	5
<b>3. GALYUM SÜLFÜR (GaS) TEK KRİSTALİ</b>	12
<b>4. İNCE FİMLER</b>	14
4.1 Günümüz Güneş Pili Teknolojisi	17
4.1.1 Monokristal Silisyum Güneş Pilleri	18
4.1.2 Polikristal Silisyum Güneş Pilleri	19
4.2 İnce Film Büyümesine Etki Eden Faktörler	19
4.2.1 Taban Sıcaklığının Etkisi	19
4.2.2 Çözelti pH'ının Etkisi	20
4.2.3 Alt Tabanın Etkisi	20
4.3 İnce Film Depolama Teknikleri	21
4.3.1 Fiziksel Süreçler	21
4.3.1.1 Vakumda Buharlaştırma	21
4.3.1.2 Püskürtme	22
4.3.2 Kimyasal Süreçler	23
4.3.2.1 Kimyasal Buhar Depolama (CVD)	23
4.3.2.2 Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (M-CBD)	24

4.3.2.3 Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (CBD)	26
<b>5. MATERYAL ve METOT</b>	<b>28</b>
5.1 Galyum Sülfür İnce Filminin CBD Metoduyla Büyütülmesi	28
5.1.1 Alt Tabanların Hazırlanması	28
5.1.2 Anyonik Çözeltinin Hazırlanması	28
5.1.3 Katyonik Çözeltinin Hazırlanması	28
5.1.4 GaS İnce Filminin Büyütülmesi	29
5.2 GaS İnce Filmlerinin Karakterizasyonu	33
5.2.1 Morfolojik Özellikler	33
5.2.1.1 Taramalı Elektron Mikroskobu ve Atomik Kuvvet Mikroskobu	33
5.2.2 Yapısal Özellikler	34
5.2.3 Kalınlığının Hesaplanması	35
5.2.4 Optik Soğurma ve Yasak Enerji Aralığı	37
5.2.5 I-V Karakteristiği	40
5.2.6 Yarıiletkenlerde İletkenlik Tipinin Belirlenmesi	40
<b>6. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>42</b>
6.1 GaS İnce Filminin Morfolojik Özellikleri	42
6.2 GaS İnce Filminin Kristal Yapı Özellikleri	43
6.3 GaS İnce Filminin Kalınlığının Hesaplanması	45
6.4 GaS İnce Filminin İletkenlik Tipi	45
6.5 GaS İnce Filminin Soğurma Spektrumu ve Yasak Enerji Aralığı	45
6.6 GaS İnce Filminin I-V Karakteristiği	49
<b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>52</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>59</b>

## ÖZET

III-VI tabakalı yarıiletken ailesine mensup olan GaS yarıiletken kristali p-tipi iletken olup sahip olduğu yasak enerji aralığı ve lineer olmayan optik özelliklerinden dolayı optoelektronikte ve IR uygulamalarında oldukça önemlidir. Bu çalışmada GaS ince filmleri Kimyasal Banyo Depolama (CBD) yöntemi kullanılarak cam alt taban üzerinde elde edildi. Temel olarak bir kimyasal çözüldüden depolama tekniğı olan CBD ile yarıiletken ince filmlerin her bir elementinin iyonlarını içeren çözüldüler içine, taban malzeme daldırılır ve taban üzerine film depolanır. İnce film büyütme metodları arasında düşük maliyet, kısa zaman ve diğere metotlara göre filmlerin büyütülmesinin daha kolay olması gibi özelliklerinden dolayı CBD yöntemi tercih edilen bir yöntemdir.

GaS ince filmleri, 75mm×10mm×2mm boyutlu cam alt tabanların hazırlanan çözüldülere daldırılmaları sonucu elde edildi. Büyütme işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirildi ve daldırma işlemleri üç kez art arda tekrarlandı. Her bir daldırma süresi 1 saat olarak belirlendi. Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filmi sarı renkteydi ve kalınlığı 0,2  $\mu\text{m}$  olarak bulundu. Filmlerin yüzey morfolojik ve elektriksel özellikleri sırasıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve iki nokta prob yöntemi kullanılarak araştırıldı. GaS ince filminin SEM görüntüsünden, filmin GaS nanoparçacıklarından oluşan adacıklardan meydana geldiğı gözlemlendi. İnce filmlerin yapısal karakterizasyonu X-ışını kırınım (XRD) ile gerçekleştirildi. XRD analizinden, GaS ince filminin kristal yapıda büyüdüğü görüldü. GaS ince filminin iletkenliğinin p-tipi olduğu bulundu. GaS ince filmlerinin optik soğurma spektrumundan yasak bant aralığı 2,53 eV olarak bulundu. Soğurma spektrumunun uzun dalga boyu kuyruğunun Urbach-Mathiensen kuralına göre gelen foton enerjisi ile üstel değıştiğı bulundu. Urbach enerjisi 1.93 eV olarak hesaplandı.

**2011, 59 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** GaS, CBD, İnce film

## ABSTRACT

GaS crystal belongs to III-VI layered semiconductor family and due to its p-type conductivity, band gap and non-linear properties it is important in optoelectronics and IR applications. In this study, GaS thin films were obtained on glass substrates by using Chemical Bath Deposition (CBD) method. CBD is a deposition technique from a chemical solution and semiconducting thin films are deposited on substrates by inserting the substrates into the solutions containing the ions of each element. Due to its superior properties like low cost, relatively shorter deposition times, relatively easy growth of films compared to other techniques, CBD is one of the most preferred film deposition methods.

GaS thin films were grown on by inserting the glass substrates of  $75\text{mm} \times 10\text{mm} \times 2\text{mm}$  dimensions into the solutions prepared. Film growth process were conducted at room temperature and insertion was repeated three consecutive times. The insertion times were determined as 1 h. The GaS films grown on glass substrate had yellow color and the thickness of GaS thin film is found to be  $0,2 \mu\text{m}$ . Surface morphological and electrical properties of the thin films were investigated by scanning electron microscopy (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM) and two point probe method, respectively. From the SEM images of GaS thin film, it is observed that the thin films are composed of islands consisting of GaS nanoparticles. The structural characterization of the thin films was done by X-ray diffraction (XRD). From the XRD analysis, GaS thin film was shown to grow in crystalline form. GaS thin film exhibited p-type electrical conductivity. The band gap of GaS films was found to be 2.53 eV from the optic absorption spectrum. The long wavelength tail of absorption spectrum was found to vary exponentially with incident photon energy according to the Urbach-Martiensen rule. The Urbach energy was calculated to be 1.93 eV.

**2011, 59 page**

**Key Words:** GaS, CBD, Thin film

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

$E_g$	Yasak enerji aralığı
$\lambda$	Dalga boyu
$\alpha$	Soğurma katsayısı
$\nu$	Frekans
$k_b$	Boltzmann sabiti
H	Planck sabiti
c	Işık hızı
T	Sıcaklık
$E_p$	Foton enerjisi
M	Molar

### 2. Kısaltmalar

CBD	Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi
M-CBD	Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi
CD	Kimyasal Depolama
MBE	Moleküler Demet Epitaksi
CVD	Kimyasal Buhar Depolama
PVD	Fiziksel Buhar Depolama
RF	Reaktif Püskürtme
LPE	Sıvı Faz Epitaksi
MOCVD	Metal Organik Kimyasal Buhar Depolama
SP	Kimyasal Püskürtme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
XRD	X - Işını Kırınımı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Hegzagonal GaS yapısı	13
Şekil 4.1 Temel büyütme işlemleri (a) Island (b) layer (c) Stranski-Krastanov tipi	16
Şekil 4.2 İnce film depolama tekniklerinin sınıflandırılması	21
Şekil 4.3 M-CBD deney düzeneği	25
Şekil 4.4 M-CBD metodunun büyütme aşamaları	25
Şekil 5.1 Bragg yansımasının gösterimi	35
Şekil 5.2 Elipsometri ölçümlerinde kullanılan deneysel düzenek	36
Şekil 5.3 Yarıiletkenlerde temel soğurma spektrumu	37
Şekil 5.4 Termal EMK yöntemiyle (a) n-tipi (b) p-tipi yarıiletkenin iletkenlik tipi	41
Şekil 6.1 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin SEM görüntüleri	42
Şekil 6.2 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin AFM görüntüsü	43
Şekil 6.3 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin XRD spektrumu	44
Şekil 6.4 GaS kristalinin oda sıcaklığı X- ışını spektrumu	44
Şekil 6.5 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin $(absorbance) \sim (\lambda)$ spektrumu	46
Şekil 6.6 GaS kristalinin $(absorbance) \sim (\lambda)$ spektrumu	46
Şekil 6.7 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$ spektrumu	47
Şekil 6.8 GaS kristalinin $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$ spektrumu	48
Şekil 6.9 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin $(absorbance) \sim (h\nu)$ spektrumu	48
Şekil 6.10 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin I-V karakteristiği	50

## RESİMLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Resim 5.1</b> Elektromagnetik ısıtıcı ve titreştirici üzerinde çözeltilerin çözünmesi	31
<b>Resim 5.2</b> Cam alt tabanın çözelti içindeki konumu	32
<b>Resim 5.3</b> Daldırma sonucunda cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filmi	32
<b>Resim 5.4</b> Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sistemi	39
<b>Resim 5.5</b> I~V ölçüm sistemi	40

## 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisindeki hızlı gelişmeler, büyük oranda yarıiletkenlerin özelliklerinin anlaşılması ve yeni bileşik yarıiletkenlerin büyütülmesine paralel olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, ortaya çıkan bu durum yarıiletkenlerin önemini arttırmakta ve her geçen gün daha fazla araştırmacının bu konu üzerine eğilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yarıiletken teknolojisi, yüzyılımıza damgasını vuran ve yaşam koşullarının gelişimine pek çok yönde katkılar sağlayan, bilim ve teknolojinin gelişimine ön ayak olan öğelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır[1].

21. yüzyıla girdiğimizde yarıiletken nanoyapılar elektronik, optoelektronik ve fotovoltaik alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[2]. Özellikle optoelektronik uygulamalarda; doğrudan geçişli bant yapısına sahip olan yarıiletken elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde ışık yayan ve dedekte eden uygulamalarda yasak enerji aralıklarının büyüklükleri tüm görünür bölgede kullanılabilmelerine izin verir[3]. Günümüzde yarıiletken teknolojisi, detektörler, lazerler, gaz analiz sensörleri, termal kameralar, gece görüş sistemleri, cep telefonları, bilgisayarlar, aydınlatma sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır[4]. Ayrıca yarıiletken teknolojisinde, fotovoltaik olarak adlandırılan güneş pilleri günümüzde oldukça çok araştırılmakta ve her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Teknolojideki gelişmeler ve bilimin ilerlemesi, yeni malzemelerin gelişmesi için itici gücü oluşturmaktadır. Malzemelerde yenilikler ve icatlar, bilim adamlarının yüksek kalitede malzemelerin gelişimine odaklanmasına neden olmaktadır[5].

Yarıiletken teknolojisini araştırmak ve geliştirmek katıhal fiziğinde önemli bir yer tutar. Günümüzde katıhal fiziğinin en fazla araştırma dalları arasında ince film teknolojisi ve bu filmlerin özellikleri önemini korumaktadır[6].

Tek ve polikristal halde gruplandırılan yarıiletkenler, Si, Ge gibi element halinde bulunurken, değişik yöntemlerle ikili ve üçlü bileşikler halinde de elde edilmektedir[3]. IV. grup elementlerinden olan Si ve Ge diğer gruptaki yarıiletken malzemelere göre üzerinde en fazla araştırma yapılmış ve dolayısıyla özellikleri en iyi bilinen yarıiletken

malzemelerdir. Periyodik tablonun III. ve VI. grup elementlerinden oluşan III-VI bileşikleri ise IV. grup elementlerine göre daha yeni yarıiletken malzemelerdir. Mevcut ve ucuz hammaddelerden yüksek saflıkla elde edilebilmesi, uygun metotlarla kaliteli polikristal tabakalar halinde üretilebilir olması, diğer gruptaki yarıiletkenlere göre üstünlük sağlamaktadır[7].

Son yıllarda periyodik cetvelin III-VI grubu bileşiklerinden olan tek kristallerin optik lüminesans ve iletkenlik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu bileşikler geniş bir bant aralığına sahip olup, mor üstünden kırmızı altı spektrumuna kadar olan görünür bölgede ışımaya yaparak çok iyi bir lüminesans özelliği göstermektedir. Bu nedenle foto ve katodolüminesans ölçümleri için çok elverişli malzemelerdir. Ayrıca, III-VI grubuna dâhil bileşiklerin çoğu elektrik enerjisini oldukça iyi iletmekte olup, enerji bant aralığında çok miktarda taşıyıcı iyon sürüklenmesine sahip olmaktadır[7].

Yarıiletken teknolojisinde, klasik Si, GaAs, InP gibi külçe yarıiletkenler dışında, gerek optoelektronik, gerekse yarıiletken aygıt üretiminde ihtiyaca uygun yeni yarıiletken incefilmlerin üretilmesi ve bu filmlerin üretim teknikleri konusundaki çalışmalar önem kazanmıştır. Yarıiletken ince film büyütme metotları basitçe gaz fazında ve sıvı fazda büyütme metotları olarak gösterilebilir. Gaz fazındaki büyütme metotları olarak Moleküler Beam Epitaksi (MBE), Metal Organik Kimyasal Buhar Depolama (MOCVD), Reaktif Püskürtme (RF) gibi büyütme metotları gösterilebilir. Bunun yanında sıvı fazındaki büyütme metotları olarak Kimyasal Banyo Depolama (CBD), Sıvı Faz Epitaksisi (LPE), Kimyasal Püskürtme (SP), Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) gibi büyütme teknikleri gösterilebilir. Gaz fazındaki büyütme tekniklerinin diğerlerine göre oldukça pahalı sistemler içermesi, daha ucuz ince film üretilmesi amacıyla uzak olması nedeniyle pratik anlamda tercih edilmemektedir. Sıvı fazda büyütme teknikleri ise geniş alanlı ince film üretilmesi, üretilen ince filmlerin maliyetlerinin düşük olması gibi önemli avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Bu büyütme metotları arasında CBD ve SILAR daha ucuz, daha basit ve az zaman harcanması gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda oldukça tercih edilmektedir. SILAR

metodu ilk olarak 1980'li yılların ortalarında Y.F. Nicolau tarafından polikristal ve epitaksiyel ince filmlerin büyütülmesinde kullanılmıştır[8]. Bu metot bir kimyasal çözeltiden katkılama tekniğidir. Bileşik yarıiletken ince filmlerin, her bir türünün iyonlarını içeren sulu çözeltiler içerisine taban malzemenin belli bir sıra ile daldırılarak, taban malzeme üzerine çökmesi ile oluşmasını sağlayan basit bir tekniktir. Ayrıca bu tekniğin en önemli avantajı, büyüme boyunca bazı parametrelerin örneğin zaman, kalınlık, tur sayısı, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve çözelti pH'nin kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Bununla birlikte, ince filmler taban malzeme yüzeyinde iyonların reaksiyonu ve katkılanması ile elde edilirken, atomik seviyede film kalınlığının kontrolü elektrodepolama tekniği ile zorken CBD ve SILAR tekniği ile daha kolay sağlanmaktadır. Bu metotla III-VI grubu bileşik yarıiletkenlerden özellikle InSe ve InS büyütülmektedir[8].

CBD ve SILAR yöntemiyle geniş yüzeylere kaliteli ince filmler üretmek mümkündür. Seçilen uygun geniş tabanlar, hazırlanan çözeltiler içine daldırılarak kimyasal olarak yüzeye ince filmler oluşturulur. Kaliteli filmler üretmek için seçilen tabanın yüzeyinin çok temiz ve pürüzsüz olması gerekmektedir. En önemlisi hazırlanan çözeltinin ideal katkı oranlarında ve uygun oluşum şartlarında olması gerekir[9].

Büyütülecek eklemler için yarıiletkenlerin kristalleşme ve kristal yapısı gibi yapısal özellikleri belirlenmelidir. Çünkü yapısal özellikler yarıiletkenlerin elektrik ve optik özelliklerini etkilemektedir. Üretilen filmlerin kristal yapılarını belirlemek için X-ışını kırınım (XRD) analizleri yapılmaktadır[10].

Büyütülen numunelerin yüzey yapısını belirlemek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) metotları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzeyden alınan SEM ve AFM görüntüleri bize yarıiletkenlerin yapısal oluşumları hakkında bilgiler vermektedir. Özellikle nano ölçeklerde alınan SEM ve AFM görüntüleri elektriksel iletkenliğe etki eden parçacık boyutlarının yarıiletken yapı içinde nasıl şekillendiğini bize göstermektedir.

Yarıiletken numunelerin içyapısını, katkı atomlarının olup olmadığını ve yarıiletkeni oluşturan elementlerin hangi oranlarda olduğunu belirlemek için elementel analizler (EDX) yaygın olarak yapılmaktadır. Özellikle sulu çözeltilerden üretilen yarıiletkenlerin içinde çözüldüğü gelen katkılar olup olmadığını belirlemek için EDX analizleri yapmak gerekmektedir.

Optik özellikleri belirlemek için gelen ışığın dalga boyuna karşılık geçirgenlik veya soğurma ölçümleri yapılmaktadır. Yapılan ölçümlerden yarıiletkenin optik band aralığı hesaplanmaktadır. Optik ölçümler aynı zamanda yapısal oluşumlar hakkında da bilgiler edinmemizi sağlamaktadır. Yarıiletken yapı hakkında tam bir bilgi edinmek için optik özellikler XRD, SEM, AFM ve EDX ölçümleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Özellikle kuantum noktaların belirlenmesinde optik özellikler büyük önem taşımaktadır. Optik özellikler yarıiletkende kristalleşme ve yapı homojenliği hakkında da bize bilgiler vermektedir. Elektriksel özellikler optik özelliklere bağlı olarak değerlendirilmekte ve yarıiletkenlerin elektro-optik etkileri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır[9-11].

Yarıiletkeni karakterize eden en temel özelliklerden birisi elektrik iletkenliği ve serbest taşıyıcı yoğunluğudur. Elektriksel iletkenlik ölçümleri yapmak için en basit yöntem iki nokta metal kontak ile Akım-Gerilim ölçümleri yapmaktır. Akım-Gerim ölçümlerinden hesaplanan direnç değerinden öz direnç değeri hesaplanmaktadır[9].

Yaptığımız literatür araştırmalarında III-VI grubundan InTe, InSe, InS, GaSe bileşiklerinin ince filmleri üzerinde çalışmalar bulunduğu ancak, CBD yöntemiyle büyütülen GaS ince filmleri üzerinde herhangi bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında ilk kez GaS ince filmleri cam alt taban üzerinde CBD yöntemiyle büyütülerek yapı, optik ve elektrik özellikleri incelenmiştir.

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

Bu kısımda III-VI grubundaki yarıiletken ince filmleri üzerinde yapılan çalışmaların literatür özeti verilmektedir

Pahtan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, modifiye edilmiş kimyasal banyo çökeltmesi (M-CBD) yöntemiyle nanokristal indiyum selen ince filmler büyütülmüştür. İndiyum selen ince filmleri elde etmek için konsantrasyon, katyonik öncüllerin pH'ı, soğurma, reaksiyon ve durulama zamanı gibi hazırlık parametreleri optimize edilmiştir. Katyonik çözelti olarak tartarik asitle kompleks hale getirilmiş 0.08 M indiyum sülfat ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ve anyonik çözelti olarak 0.05 M sodyum selenosülfür ( $\text{Na}_2\text{SeSO}_3$ ) çözeltileri kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında ve hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Filmlerin yapısal, yüzey morfolojik, düzensel, optik ve elektronik özelliklerinin incelenmesi için XRD (X-ışını difraksiyonu), SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), RBS (Rutherford Geri Saçılma Spektroskopisi), optik soğurma, elektriksel özdirenç ve termo elektromotor ölçümleri yapılmıştır. Yapılan kalınlık ölçümlerinden, döngü sayısının artmasıyla kalınlığın da arttığı, ancak 80 turdan sonra tortu oluşumu nedeniyle kalınlığın azaldığı belirlenmiştir. Filmin kalınlığı, filmi hidroklorik asit içerisinde çözmek ve oluşan ağırlık farkını hesaplamak suretiyle her bir kristal için 6.8 nm olarak bulunmuştur. XRD spektrumlarından, filmlerin  $\text{InSe}$ ,  $\text{In}_2\text{Se}_3$  ve  $\text{In}_6\text{Se}_7$  fazlarından ve monoklinik, kübik ve hekzagonal kristal yapıların karışımından oluştuğu bulunmuştur. Yüzey morfolojisini incelemek için kullanılan SEM görüntülerinden film yüzeylerinin çatlaklarla kaplı olduğu görülmüştür. RBS spektrumundan, taban malzeme üzerindeki filmin homojen olmadığı, kaplanmamış bölgelerin bulunduğu ve filmin yüzeyinin pürüzlü olduğu belirlenmiştir. Soğurma spektrumundan, filmin soğurmasının yüksek ve optik bant aralığı 2,5 eV olarak bulunmuştur. Elektriksel özdirenç ölçümleri için, 300K–500 K sıcaklık aralığında iki nokta prob metodu kullanılmış ve artan sıcaklıkla özdirençin azaldığı gözlenmiştir. Elektriksel özdirenç 300 K'de  $10^6 \Omega\text{cm}$  olarak bulunmuştur. Numunenin iki ucu arasında bir sıcaklık gradyenti oluşturmak suretiyle termo elektromotor ölçümleri yapılmış ve ölçülen gerilimin polaritesinden n-tipi iletkenlik tespit edilmiştir[12].

Gopal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, indiyum selen (InSe) ince filmler indiyum tin oksit (İTO) kaplanmış cam altlıklar üzerine, elektrodepolama tekniğiyle, indiyum klorit ve selenyum dioksit sulu çözeltileri kullanılarak çökeltmiştir. Çökeltme esnasında akım yoğunluğu, çökeltme potansiyeline karşı civa klörür elektrotun konsantrasyonu, pH değeri, kaynak materyal konsantrasyonu gibi parametreler incelenmiştir. Filmlerin yüzey alanı yaklaşık olarak  $1,0 \text{ cm}^2$ 'dir. 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  $\text{InCl}_3$  ve 25 mM  $\text{SeO}_2$ . Çözeltinin pH değeri hidroklorik asitle sulandırmak suretiyle 1,45'te, sabit tutulmuştur. Çökeltme işleminin tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, çökeltme süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir.  $2 \text{ mA/cm}^2$  ve  $20 \text{ mA/cm}^2$ 'lik akım yoğunlukları uygulanmıştır. Çökeltme işleminden önce İTO kaplanmış cam altlıklar deterjan, aseton ve distile su ile temizlenmiştir. Filmlerin kalınlığı, tek tek yüzey profilometre kullanılarak ölçülmüş ve kalınlığın, 800-1100 Å aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kristal yapı Cu  $K\alpha$  radyasyonu kullanan X-ışını kırınımı yardımıyla incelenmiş, rombohedral InSe ve  $\text{In}_2\text{Se}_3$  fazlarının olduğu gözlenmiştir. Çözeltideki  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonunun artması, X-ışını difraksiyon desenindeki piklerin keskinleşmesine ve kristalleşmenin artmasına neden olmuştur. Filmlerin yüzey morfolojisini ve kompozisyonunu incelemek için SEM, X-ışını enerji dispersiv analiz ile birlikte kullanılmıştır. SEM resimlerinde çözeltideki  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonunun artması ile kristalleşmenin arttığı görülmüştür. 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 taneciklerin hacminin arttığı tespit edilmiştir. Raman spektrumu filmlerin InSe ve  $\text{In}_2\text{Se}_3$  fazlarının karışımından oluştuğunu göstermiştir. İndiyum selen ince filmlerin bant aralığını çökeltme parametrelerine bağlı olarak belirlemek için oda sıcaklığında, 300–1100 nm dalga boyu aralığında optik 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 1,83 eV ve 1,66 eV bulunmuş, artan  $\text{InCl}_3$  konsantrasyonu ile bant aralığının daraldığı tespit edilmiştir. Bant aralığındaki bu daralma, tanecik büyüklüğünün artmasına ve zorlanma ve dislokasyon yoğunluğunun azalmasına bağlanmıştır[13].



M. Dönmez tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde, M-CBD yöntemiyle büyütülen GaSe ince filmleri cam alt taban üzerinde büyütülmüştür. Galyum Selen ince filmlerini elde etmek için konsantrasyon, katyonik öncülleri, pH'ı, durulma zamanı gibi hazırlık parametreleri ayarlanmıştır. Katyonik çözelti olarak tartarik asitle kompleks haline getirilmiş 0.75 M Galyum Sülfat ( $Ga_2(SO_4)_3$ ) ve anyonik çözelti olarak ise 0.05 M Sodyum Selenosülfür ( $Na_2SeSO_3$ ) çözeltileri kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında ve normal ortamda gerçekleştirilmiştir. Hava kaması yöntemiyle ölçülen GaSe ince filmlerinin kalınlığı 80 devirlik bir daldırma periyodunda yaklaşık 900 nm bulunmuştur. Devir başına kalınlığın ise 11 nm olduğu gözlenmiştir. Yapılan kalınlık ölçümlerinde döngü sayısının artmasıyla kalınlığın arttığı, 80 devirden sonra ise tortu birikimi nedeniyle kalınlığın azaldığı belirlenmiştir. Filmlerin yapı, yüzey morfolojik, optik ve elektronik özelliklerinin incelenmesi için XRD, EDX, SEM, optik soğurma ve elektriksel özdirenç ölçümleri yapılmıştır. X-ışını kırınımı desenleri, filmlerin amorf yapıda olduğunu göstermiştir. Cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin SEM görüntüsünden, filmlerin nano parçacıklardan oluşan adacıklar içerdikleri ve GaSe nanoparçacıklardan oluşan bu adacıkların yüzeye homejen dağılmadığı görülmüştür. Cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin EDX spektrumunda Ga ve Se' nin element yüzdelerine göre GaSe ince filminin  $Ga_{0,06}Se_{0,03}$  yapısında olduğu belirlenmiştir. Optik soğurma ölçümleri sonucunda, cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin yasak enerji aralığı  $E_g=1.82$  eV, GaSe kristali üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin yasak enerji aralığı ise  $E_g= 1.6$  eV olarak bulunmuştur. Ayrıca GaSe'nin iki prob yöntemi ile ölçülen elektrik iletkenliği p tipi olarak bulunmuştur[14].

Mangalam, Bhattacharya ve Pramanik çalışmalarında talyum selen (TlSe)'in yasak band aralığının 0.8 eV olduğunu ve 0.75  $\mu m$ 'den 1.5  $\mu m$  aralığında uzanan foto duyarlılığın 1.1  $\mu m$ 'de bir pike sahip olduğunu göstermişlerdir[15].

Pathan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, III-VI grubu yarıiletken materyallerinin bir üyesi olan indiyum tellür (InTe) bileşiğinin ince filmleri M-CBD yöntemiyle büyütülmüştür. Büyütülen filmlerin  $In_2Te_3$  tek fazında olduğu görülmüştür. InTe ince filmlerini elde etmek için konsantrasyon, katyonik öncülleri,

pH'ı, durulma zamanı gibi hazırlık parametreleri ayarlanmıştır. Katyonik çözelti olarak pH'ı 5 olan 0.08 M indiyum sülfat ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ve anyonik çözelti olarak ise pH'ı 3 olan 0.05 M sodyum telenoksit ( $\text{Na}_2\text{TeO}_3$ ) çözeltileri kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında ve hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Filmlerin mavi-gri renkte olduğu görülmüştür.  $\text{In}_2\text{Te}_3$  yüzey merkezli kübik yapıda olup InTe ise tetragonal ve kübik kristal yapıya sahiptir. Yapılan ölçümlerden InTe ince filmlerinin elektriksel öz direncinin  $10^{-1} \Omega\text{cm}$  olduğu ve n tipi elektriksel iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur[16].

Pathan ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada, M-CBD yöntemiyle cam alt taban üzerinde büyütülen indiyum selen (InSe) ince filmler amorf ya da InSe,  $\text{In}_2\text{Se}_3$   $\text{In}_6\text{Se}_7$  fazlarında oluşmuştur. InSe ince filmlerini elde etmek için konsantrasyon, katyonik öncülleri, pH'ı, durulma zamanı gibi hazırlık parametreleri ayarlanmıştır. Katyonik çözelti olarak pH'ı 3 olan 0.1 M indiyum sülfat ( $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ve anyonik çözelti olarak ise pH'ı 12 olan 0.05 M sodyum selen sülfat ( $\text{Na}_2\text{SeSO}_3$ ) çözeltileri kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında ve hava ortamında gerçekleşmiştir. Filmin optik band aralığı 2.6 eV olarak bulunmuştur[16].

Barreau ve arkadaşları  $\text{In}_2\text{S}_3$  yarıiletken ince filmlerini fiziksel buharlaştırma metoduyla cam,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$  ve ZnO taban malzemeler üzerine büyütmüşlerdir. Bu filmlerin yasak enerji aralığı 2.8 eV olarak bulunmuş ve oksijen gazı altında 673 K' de yapılan tavlama sonucunda yasak enerji aralığının oksijenin varlığından dolayı 2.9 eV' a arttığı bulunmuştur[17].

Bhira ve arkadaşları  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  yarıiletken ince filmlerini kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak büyütmüşlerdir. Optik soğurma ölçümleri sonucunda filmin yasak enerji aralığı 2.1 eV olarak bulunmuştur [18].

N. Barreau ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada,  $\text{In}_2\text{S}_3$  ince filmleri vakum altında buharlaştırma tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Büyütülen bu filmler sırasıyla

623 K ve 723 K sıcaklıklarında tavllanmış ve direk yasak enerji aralığı yaklaşık olarak 2.8 eV bulunmuştur. Bulunan bu yasak enerji aralığının,  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  tek kristalinin yasak enerji aralığından yüksek olması oksijenin varlığına dayandırılmıştır. Yasak enerji aralığının ve kırılma indisinin tavlama sıcaklığından bağımsız olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu filmlerin optik özelliklerinden dolayı CdS, Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> güneş pilleri için çok uygun bir malzeme olacağı ifade edilmiştir[19].

Seyam tarafından yapılan çalışmada, indiyum sülfür ince filmleri 473 K taban sıcaklığındaki quartz ve cam taban malzemeler üzerine termal buharlaştırma tekniği ile büyütülmüştür. Filmlerin amorf yapıda ve indirek yasak enerji aralığına (1.94 eV) sahip olduğunu belirtmişlerdir[20].

Theresa ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, indiyum sülfür ince filmlerini kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Farklı taban malzemelerinin kullanılmasının amacı büyütülen filmlerde farklı In/S oranları elde etmektir. Aldıkları optik soğurma ölçümleri sonucunda, yasak enerji aralığının In/S oranı 2/1'den 2/8'e değiştiğinde 2.81 eV'den 2.64 eV'ye azaldığını ve bunun In/S oranı azken oksijenin fazlaca etkili olmasından dolayı olduğunu belirtmişlerdir[21].

Pahtan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada,  $\text{In}_2\text{S}_3$  ince filmleri SILAR metoduyla cam alt taban üzerine büyütülmüştür. İnce filmlerin yasak enerji aralığı optik soğurma ölçümleri ile 2.7 eV olarak bulunmuştur[22].

Timoumini ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada,  $\text{In}_2\text{S}_3$  yarıiletken ince filmlerini termal buharlaştırma tekniği kullanılarak cam alt taban üzerine büyütülmüştür. Yaptıkları optik ölçümler sonucunda yasak enerji aralığının 2.0 eV ile 2.2 eV arasında olduğunu bulmuşlardır[23].

Calixto-Rodriguez ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kimyasal püskürtme tekniği ile büyüttükleri indiyum sülfür ince filmlerinin fotovoltaiik uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmak için optoelektronik özelliklerini araştırmışlardır. X-ışını kırınım verilerinden taban malzeme sıcaklığının kristalleşmeyi etkilediğini ve In/S=1/8 ve taban malzeme sıcaklığı 523 K'den 723 K'e arttırıldığında yasak enerji aralığı  $E_g$ 'nin 2.2 eV den 2.67 eV'a arttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte In/S=1 ve alt taban sıcaklığı 723 K olduğunda filmlerin n-tipi elektriksel iletkenlik gösterdiğini, karanlıkta alınan elektriksel iletkenliğin  $1 (\Omega\text{cm})^{-1}$  ve yasak enerji aralığının 2.04 eV olduğunu bulmuşlar ve böylece büyütölen bu filmlerin bu şartlar altında fotovoltaiik heteroeklem cihazlar için pencere malzemesi olarak büyük bir kullanım potansiyeline sahip olduklarını belirtmişlerdir[24].

Yoosuf ve arkadaşları  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  ince filmleri  $\text{H}_2\text{S}$  gazı altında metalik indiyumun buharlaştırılmasıyla elde etmişlerdir. Sülfürizasyon zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak bu filmlerde yapısal, optik ve elektriksel özellikler incelenmiştir. Sülfürizasyon sıcaklığı 573 K'den 873 K' e arttırıldığında yasak enerji aralığının 1.9 eV'dan 2.5 eV' a arttığını tespit etmişlerdir[25].

Jayakrishnan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kimyasal püskürtme tekniği ile büyütölen  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı 2.67 eV olarak bulunmuştur[26].

Chen Xi-ying ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, mikrodalga ışıltılı boşalım yöntemiyle GaS ince filmi büyütölmüştür. Büyütme işlemi 30 dk ile 60 dk aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ince filmlerin kalınlığını yaklaşık olarak 50 ile 100 nm arasında bulmuşlardır. GaS' ün dielekrik sabitini ve kırılma indisini ölçmüşlerdir. Elde edilen GaS ince filminin XRD deseninde 4 tane keskin kırınım piki görölmektedir. Bu piklerden sorumlu yansıma düzlemleri sırasıyla (0 0 6) (1 0 6) ( 3 0 4) (1 0 1 1) olarak verilmektedir. GaS'ün kristal yapısını polikristal hegzagonal olarak tanımlamışlardır[27].

Mike R.Lazell ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, düşük basınç metal organik kimyasal buhar depolama yöntemiyle galyum sülfür ince filmi büyütülmüştür. Filmin EDAX analizinde  $Ga_2S_3$  formunda büyüdüğü gösterilmiştir. Büyütülen GaS ince filminin XRD spektrumundan GaAs (111) taban üzerinde büyütülen filmin  $\alpha$ -  $Ga_2S_3$  (JCPDS 30-577) olduğu ve (002) düzleminde güçlü yönelime sahip olduğunu bulmuşlardır. Filmin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi sonucunda ortalama parçacık boyutu 2  $\mu m$  olarak bulunmuştur[28].

E. Cuculescu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, laser ışığı darbeleriyle ITO cam alt taban üzerinde GaS ince filmleri büyütmüşlerdir. Büyütülen ince filmlerinin fotovoltaik uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmak için optoelektronik özelliklerini araştırmışlardır. 78 K ve 293 K de GaS ince filmlerinin optiksel ve fotoelektrik özelliklerini araştırmışlardır. GaS'ün indirek band geçişine sahip olduğu ve yasak enerji aralığının 2.4 eV olduğu belirtilmektedir[29].

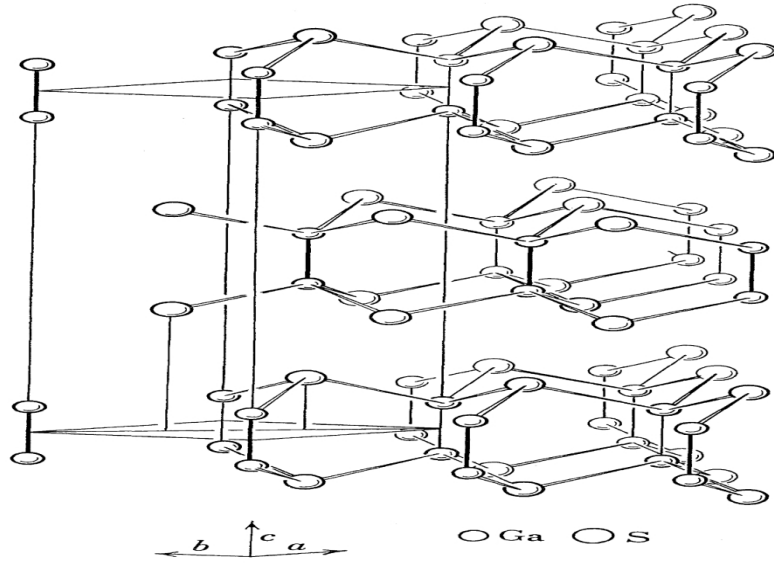
A.A.Attia tarafından yapılan çalışmada, temel buharlaştırma tekniği ile cam alt taban üzerinde GaS ince filmleri büyütülmüştür. Elde edilen filmlerin kalınlıklarının 500 ile 1400 nm arasında olduğunu belirtmişlerdir. Temel buharlaştırma tekniği elde edilen filmlerin X-ışını kırınımı sonucundan amorf yapıda ve EDX analizleri sonucunda yaklaşık olarak  $Ga_{0.482}S_{0.518}$  formunda olduğu bulunmuştur. İletkenlik tipinin ise n-tipi olduğu belirtilmektedir. Buharlaştırılmış GaS ince filminde uzay yük sınırlı akımların (SCLC) hesaplamaları oda sıcaklığında yapılmıştır[30].

### 3. GALYUM SÜLFÜR (GaS) TEK KRİSTALİ

Galyum Sülfür (GaS) tek kristali  $A^{III}B^{VI}$  tabakalı yarıiletken ailesine aittir. GaS tek kristalleri genellikle bridgman yöntemi ile büyütülür. Literatürde GaS'ün X-ışını kırınımı (XRD) sonuçlarına göre atom dizilişlerinin hegzagonal yapıda olduğu bulunmuştur. Ayrıca birim hücre parametrelerinin  $a=b=0.359$  nm  $c=1.549$  nm,  $c/a=4.32$  olduğu belirlenmiştir[31,32].

Tabakalı yarıiletkenlerden olan GaS yapılar, doğal p-tipi oluşumundan dolayı p-n eklemlerinin elde edilmesinde taban olarak kullanılmaya uygun yapılardır. Bu yüzden görünür bölgede optoelektronik devre elemanlarının yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca doğrusal olmayan optik özellik gösteren bu numuneler kızılötesi (IR, Infrared) uygulamalarda da kullanılmaktadır[14]. İndirek band geçişine sahip olan GaS'ün yasak enerji aralığı için farklı çalışmalarda 2.31 eV - 3.3 eV arasında değerler verilmektedir[30,31,35]. İki Ga ve iki S içeren GaS 'ün bir tabakası S-Ga-Ga-S'ün birimlerinin tekrarlanması ile c-ekseni boyunca 4 tabakalı dilimlerin istif edilmesiyle oluşur. GaS kristalinde tabakalar arasında zayıf Van deer Waals kuvvetleri etkindir[34]. Tabakalar arası zayıf etkileşmeden dolayı GaS kristali kolayca tabakalarına ayrılabilir. S-Ga, Ga-Ga, S-S zincirleri arasında ise kuvvetli kovalent bağ vardır[30].

GaS bileşiğinin erime sıcaklığı 1373 K olup, GaS bileşiğini oluşturan Ga ve S elementlerinin yüzdeleri % 68.5 Ga ve % 31.5 S'dür[34]. Ayrıca farklı bir çalışmada GaS bileşiği için % 45.723 Ga ve % 54.270 S element yüzdelerine sahip olduğu bulunmuştur. GaS, S oranına bağlı olarak rengi yeşilden hafif sarıya kadar değişmektedir[32]. GaS'ün yapısı Şekil 3.1'de verilmiştir.



**Şekil 3.1** Hegzagonal GaS yapısı [36].

GaS kristal yapısı c-eksenine paralel tabakalarla merkezi simetrik  $\beta$  politipi  $D_{6h}^{4-}$ - $P6_3mmc$  uzay grubunun bir üyesidir. Ayrıca, GaS'ün merkezi simetrik olmayan Rombohedral politipi  $C_{3v}^5$ - $R3m$  uzay grubunun bir üyesi olduğu belirtilmektedir[35].

GaS tek kristali son yıllarda katıhal fiziği araştırmalarında ümit verici olarak dikkat çekmekte ve elektronikteki sayılı uygulamalardaki uygunluğundan dolayı araştırmacıların oldukça fazla ilgisini çekmektedir. Aynı zamanda optik parametrik osilatörlerde kullanılan  $AgGaS_2$  için bir ana madde olarak bilinmektedir[31].

#### 4. İNCE FİLMLER

İnce film, altlık olarak katı bir malzeme üzerine atomik, moleküler ya da iyonik türlerin yoğunlaştırılmasının kontrol edilerek hem doğrudan bir fiziksel işlemle hem de kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla oluşturulur. Yalnız başına atomik, moleküler ya da iyonik durumlar hem buharlaştırma hem de sıvı formunda oluşturulabilir. İnce filmler oluşurken bunu oluşturan maddelerin özellikleri ile ince film oluştuktan sonraki özellikleri arasında sapmalar görülür[6].

İnce filmin oluşumu çekirdek büyütme işlemi şeklinde gerçekleşir. Genel olarak çeşitli deneylerle ve teorik çalışmalarla büyütme işlemlerinin ortaya çıkması aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1-) Altlık ile etkileşecek olan madde, hız bileşenlerini altlıkta normale düşürürler (çarpışma enerjisinin çok yüksek olmaması sağlanır) ve bu maddeler fiziksel olarak altlık yüzeyinde soğurulurlar.

2-) Soğurulmuş malzemeler başlangıçta altlık ile ısısal dengede değildirler ve altlığın yüzeyine doğru hareket ederler. Bu işlem sırasında birçoğu birbirleriyle etkileşime girer. Böylece düzenlenir ve daha büyük kümeleri oluşturur.

3-) Kümeler yada çekirdek olarak isimlendirilen düzenlenim termodinamik olarak kararlı değildir ve katkılama parametrelerine bağlı olarak bir süre sonra yüzeyden ayrılma eğilimindedir. Şayet katkılama parametrelerine bağlı olarak böyle bir küme ile yüzeyden ayrılmaya başlamamış soğurulmuş türler çarpışma yapıyorsa, kümenin büyüklüğü artmaya başlar. Belli bir kritik büyüklüğe ulaştıktan sonra küme termodinamik olarak kararlı olmaya başlar ve çekirdek sınırlarına ulaştığı söylenir. Kararlı, kimyasal olarak soğurulmuş, kritik büyüklüklü çekirdek oluşumunu içeren bu basamak, çekirdek evresi olarak adlandırılır[6].

4-) Kritik çekirdek, bir çekirdek doyurma yoğunluğuna ulaşmaya kadar sayısı kadar büyüklüğü bakımından da büyür. Çekirdek yoğunluğu ve ortalama çekirdek büyüklüğü,



türlere etki eden enerji, etkinin oranı, soğurma aktivasyon enerjisi, ayrılma, ısısız difüzyon, sıcaklık ve altyapının kimyasal doğası gibi parametrelerine bağlıdır. Bir çekirdek hem altlık yüzeyine paralel olarak soğurulmuş türlerin difüzyonuyla büyütüldüğü gibi altlığa dik olarak direk çarpışan türlerin etkileşmesi ile de büyür. Buna rağmen, genellikle bu evredeki yanal (paralel) büyüme oranı dik olan büyümeden daha yüksektir. Bu büyütülmüş çekirdekler adalar olarak adlandırılır[6].

5-) Film oluşumu için bundan sonraki evre birleşme evresidir. Bu evre, küçükadaların birbirleriyle yüzey alanını küçültmek üzere birleşmeye çalıştıkları evredir. Büyük adaları oluşturma eğilimi "topluluk" olarak adlandırılır ve topluluk soğurulmuş türlerin yüzeydeki mobilitesini iyileştirir. Örnek olarak, altlık sıcaklığı artırılarak bu iyileştirme sağlanabilir. Bazı durumlarda yeni çekirdeğin oluşumu bir birleşme sonucu temiz bir alanda meydana gelebilir.

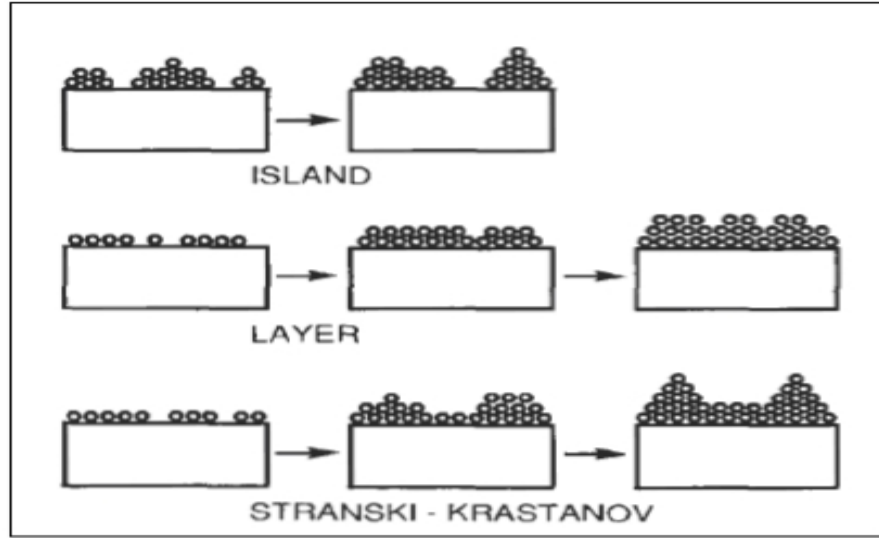
6-) Daha büyük adalar, kaplanmamış altlıkların delikleriyle ve kanalların ayrılmasıyla birlikte büyür. Bu evredeki filmlerin yapısı sürekli film deliklerinin ve kanalların doldurulması şartıyla sürekli olmayan ada tipilerinden gözenekli ağ tiplerine kadar değişir. Büyütme işlemi çekirdeğin bir istatistiksel üretimine dayandırılarak yüzey difüzyonunun üç boyutta taneciklerin büyütülmesinin kontrol edilmesi, bir ağ yapısının oluşturulması ve sürekli bir film vermesi için bunun en sonunda doldurulması olarak özetlenebilir. Şayet katkılanmanın ve altlığın yüzeyinin termodinamik parametrelerine, başlangıçtaki çekirdeğe ve büyütme evrelerine bağlı olarak temel büyütme işlemleri

a-) tabaka (layer) tipi

b-) adacık (island) tipi

c-) karışık(Stranski-Krastanov ) tip

olmak üzere üç grupta betimlendirilebilir. Bu evreler Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Hemen hemen bütün pratik durumlarda, büyütme ada oluşumunu meydana getirerek oluşur[6].



**Şekil 4.1** Temel büyütme işlemleri (a) Island (b) layer (c) Stranski-Krastanov tipi [6].

Özel durumların dışında kristalografik ve farklı adaların topografiksel ayrıntıları rastgele dağıtılmıştır. Böylece, büyütme esnasında adaların birbirine temas etmesi, geometriksel şekillenimlerin ve kristalografik düzenlenimlerin yanlış eşleşmesinden dolayı tane sınırları, çeşitli nokta ve çizgi bozuklukları oluşur. Eğer taneler rasgele düzenlenirlerse, bir halka tipi kırınım örneği gösterir ve buna polikristal denir. Ancak, eğer tane genişliği  $20 \text{ \AA}$  dan küçükse, bu filmlerin kırınım desenleri halo tipi (ışık halkası) olan çok fazla düzensiz yani amorf (kristal olmayan) yapıya benzer. Eğer farklı adaların düzenlenimleri uygun tek kristalli altlık üzerinde özel katkılama içererek aynı devam ediyorsa, bu filmin bir tek kristali içermeyeceğine dikkat edilmelidir. Bunun yanında tek kristal filmini oluşturan taneler birbirlerine paralel olarak yerleşirler ve birbirlerine düşük açılı tane sınırlarıyla bağlanırlar. Bu filmlerin kırınım desenleri tek kristalin kırınım deseniyle benzerdir ve epitaxial/tek-kristal film olarak adlandırılır. Tane sınırları yanında, epitaxial filmlerde ayrılma hattı, istifleme hatası, mikro çiftler ve çift sınırlar, çoklu yer alan sınırlar ve nokta hatalarının toplamından oluşmuş önemsiz hatalar (örneğin ayrılma halkaları, istifleme hatası, tetrahedra ve küçük nokta hataları) gibi diğer yapısal bozukluklar bulunabilir. İstifleme hatası ve çift sınırlar gibi bozukluklar aşağı yukarı polikristallerde de oluşmaktadır. İnce filmde boşlukların artmasına neden olabilecek diğer mekanizmalar;

- 1-) Altlık- film yapısının uygun olmaması
- 2-) İnce filmin doğasında olan büyük gerilimler
- 3-) Filmin altlık yüzeyine kadar boşlukların devam etmesi.

Sürekli bir film oluşturulduktan sonra, izotropik olmayan büyüme altlığın normalinde silindirik kolonlar şeklinde yer alır. Her şeyden önce filmin yanal tane büyüklüğüne (ya da kristal kalınlığına) başlangıç çekirdek yoğunluğuna bakılarak karar verilir. Ancak yeniden kristalleşme, birleşme evresi boyunca oluşuyorsa, yanal tane büyüklüğü başlangıçtaki çekirdekten ortalama ayırımından büyük olur ve altlık üzerindeki tane büyüklüğü (film kalınlığı) küçük kalınlıklar için filmin kalınlığına eşittir. Daha kalın filmler için, yeniden çekirdek oluşumu öncelikle büyütülmüş tanelerin yüzeyinde oluşur ve her bir dikey sütun normal büyütmeden mümkün olan sapmalarla birlikte çoklu tanelerle büyür[37].

#### **4.1 Günümüz Güneş Pili Teknolojisi**

Güneş pilleri, üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Bu aygıtlara fotovoltaiik hücreler de denilmektedir. İlk fotovoltaiik etki, 1839 yılında Becquerel tarafından gözlenmiştir. Becquerel, bir elektrolit çözelti içerisindeki elektrot üzerine ışığın düşmesi durumunda bir foto gerilimin oluştuğunu gözlemiştir. 1873 yılında, Selenyum (Se)'un fotoiletkenlik özelliği gösterdiği Smith tarafından ortaya çıkarılmış ve 1877 yılındaise Adams ve Day bir katı olan selenyumda da benzer bir fotovoltaiik etki gözlemlemiştir. İlk güneş pili ise 1954 yılında Bell laboratuvarlarında D. M. Chapin, L. Pearson ve C. S. Fuller tarafından yapılmıştır[37].

Güneş pilleri başlangıçta sadece uzay programlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden sonra, konvansiyonel (alışılmış) enerji kaynaklarından alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi ve güneşin önemli bir alternatif enerji kaynağı olmasından dolayı, güneş pillerindeki araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız verilmiştir. Bu çalışmalarda temel amaç, daha ekonomik ve daha yüksek verim değerlerine sahip güneş pillerinin planlanması olmuştur. Bu çalışmalar günümüzde de aynı hızla devam etmektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda hem

maliyet hem de verimlilik yönünden önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Başlangıçta, fotovoltaik hücrelerin watt maliyetleri 350 dolar iken, 1966 yılında 100 dolara, 1977 yılında 15 dolara ve 1983'lerde 3-4 dolara düşmüştür. İlk fotovoltaik güneş pillerinin verimi %1-2 iken bugün %25'lere varan dönüşüm verimine sahip güneş pilleri geliştirilmiştir.

Güneş pilleri, hem bulk (hacimli) hem de ince film şeklinde büyütülmüş yarıiletken malzemelerden yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalar, ideal bir güneş pili malzemesinin şu özellikleri taşıması gerektiğini göstermiştir:

- 1) 1-1,7 eV arasında band aralığına sahip olması,
- 2) Direkt band aralıklı olması,
- 3) Kolaylıkla elde edilebilmesi,
- 4) Zehirsiz maddeler içermesi,
- 5) İyi bir fotovoltaik dönüşüm verimine sahip olması,
- 6) Yüksek soğurma katsayısına sahip olması,
- 7) Uzun süreli dayanıklılık göstermesi.

İnce film güneş pili yapımı için önerilen malzemelerin fiziksel özellikleri (kristal yapısı, elektriksel ve optik özellikleri) ince film büyütme tekniklerine önemli bir bağımlılık göstermektedir[37].

#### **4.1.1 Monokristal Silisyum Güneş Pilleri**

Czochralski yöntemi ile büyütülen yaklaşık 10 cm çaplı 100-150 cm uzunluğunda ve % 99,9999 saflıktaki Si kristal kütüğünden yaklaşık 3 mm kalınlığında dilimler kesilerek elde edilir. Dilimin bir tarafı p, diğer tarafı n-tipi katkılanır. Elektrikçi toplayıcı gümüş hatlar serigrafisi yoluyla basılır ve böylece güneş pili hücreleri elde edilir. Daha sonra gerekli sayıda hücre seri bağlanıp bir panele dizilerek bir güneş pili modülü oluşturulur. Bu modül genellikle 12 V aküleri şarj edebilecek gerilim ve akım değerindedir[38].

#### **4.1.2 Polikristal Silisyum Güneş Pilleri**

Güneş pillerindeki yüksek enerji sarfiyatını ve dolayısıyla üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla tek bir kristal büyütmek yerine, geniş dikdörtgen kalıplara, yüksek saflıkta eritilmiş silisyum döküp, katılaşma sürecini kontrol etmek yoluyla polikristal silisyum hücreleri üretilmeye başlanmıştır. Başka bir yöntemle de polikristal silisyum, şeritler halinde elde edilmektedir. Bu yöntemlerle elde edilen polikristal güneş pillerinin maliyetleri bir miktar düşük olmakla beraber, verimlerinin ve düşük ışık şiddetlerindeki performanslarının monokristal güneş pillerine göre daha yetersiz olduğu görülmektedir. Örneğin, 12 V akü şarjı için bir monokristal güneş pili modülünde tipik olarak 30 ile 36 adet güneş pili hücresi seri bağlanırken, aynı güç ve gerilimdeki bir polikristal hücre için, 40 adet hücrenin seri bağlanmasına gereksinim duyulmaktadır. Böylece üretimde elde edilen bir miktar maliyet indirimi, fazla hücre kullanma gereksinimi nedeniyle kaybedilmektedir[38].

#### **4.2 İnce Film Büyümesine Etki Eden Faktörler**

##### **4.2.1 Taban Sıcaklığının Etkisi**

CBD yönteminde kontrol edilebilir ve büyüme işleminde de son derece etkili olan parametrelerden birisi taban sıcaklığıdır. CBD metodunda çözeltiler bir sıcaklık kontrol ünitesinin üzerinde yer almaktadır ve bu sayede taban sıcaklığı istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir. Uygun taban sıcaklığının seçimi son derece önemlidir. Çözeltilere uygun bir taban sıcaklığı uygulanması sonucunda iyonlara belli bir kinetik enerji kazandırılmaktadır. Bu sayede iyonların difüzyon hızları arttığı için taban malzeme yüzeyine tutunmaları daha kolay olmakta ve daha az sürede ve daha düşük daldırma sayılarıyla daha kaliteli ince filmler elde edilmektedir. Taban sıcaklığının fazla olması durumunda iyonların aşırı difüzyonu sonucunda taban yüzeyinde bir anda birikme olacağından dolayı film taban yüzeyinde tortu şeklinde birikecektir[39].

#### 4.2.2 Çözelti pH'ının Etkisi

CBD yönteminde filmlerin büyümesinde etkili olan parametrelerden birisi de çözeltilerin pH'ıdır. pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden bir ölçü birimidir.  $pH = -\log [H^+]$  olup çözelti içerisindeki hidrojen iyonunun eksi logaritması olarak verilir. pH hidrojen iyonunun aktivitesi cinsinden bir asit veya bazın derecesini ifade etme yoluyla ihtiyaç duyulan niceliksel bilgiyi sağlar. pH  $[H^+]$  iyonu ile  $[OH^-]$  iyonlarının konsantrasyonlarının doğrudan oranına bağlıdır. Eğer  $H^+$  konsantrasyonu  $OH^-$  konsantrasyonundan fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7'den düşüktür. Eğer  $OH^-$  derişimi  $H^+$  konsantrasyonundan fazla ise çözelti bazik; yani pH değeri 7'den büyüktür. Eğer  $OH^-$  ve  $H^+$  iyonlarından eşit miktarlarda mevcutsa, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötrdür. Asit ve bazlar her biri serbest hidrojen ve hidroksil iyonlarına sahiptirler. Belli koşullarda ve belli bir çözeltide hidrojen ve hidroksil iyonlarının ilişkileri sabit olduğu için, birini tespit etmek diğerini bilmek ile mümkündür. Bu anlamda, pH tanımsal açıdan hidrojen iyonu aktivitesinin seçici bir ölçümü olsa da, hem alkalinite hem de asitliğin bir ölçüsüdür. pH logaritmik bir fonksiyon olması açısından, pH değerindeki bir birimlik değişim hidrojen iyon derişimin'deki on katlık değişime karşılık gelir [39].

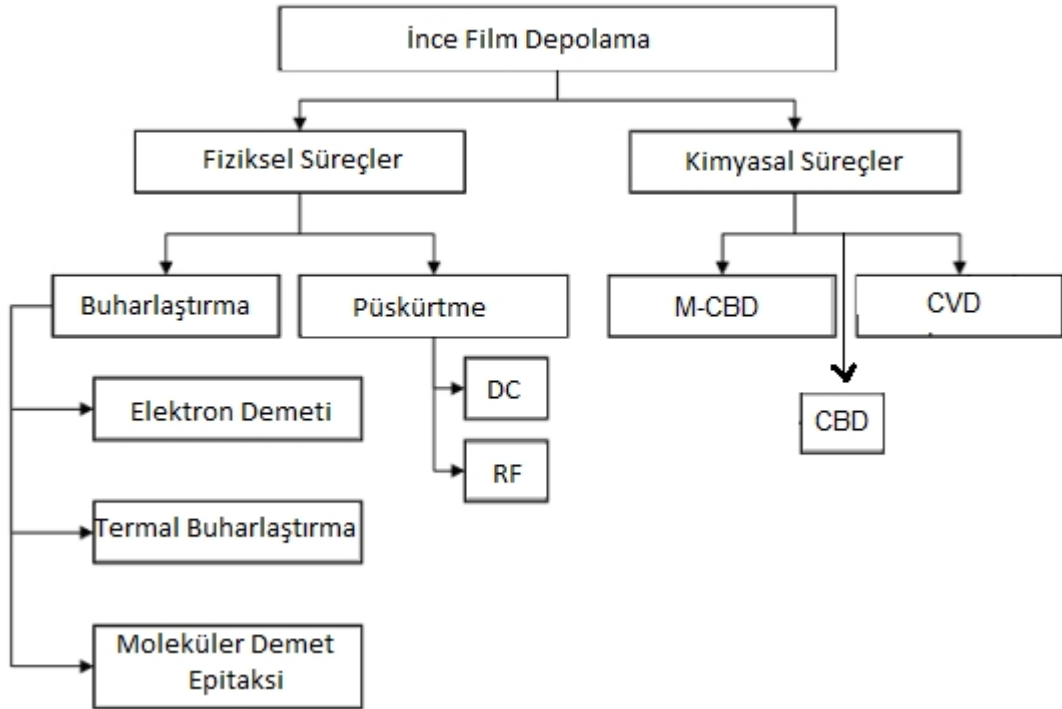
Çözeltiler hazırlanırken pH'ları en uygun seviyeye ayarlanmalıdır. Bu amaçla kullanılacak tampon çözeltiler pH'ın sabit kalmasını sağlayacaktır. Çözeltilerin pH'ı ayarlanırken eklenen çözeltilerin özgün çözeltinin konsantrasyonunu değiştirmemesine dikkat edilmelidir. Uygun pH seçimi film büyümesinde son derece önemlidir[39].

#### 4.2.3 Alt Tabanın Etkisi

Elde edilecek filmin özellikleri alt tabanın temizliği ile yakından ilgilidir. Çünkü alt taban üzerindeki kirlenmeler oluşacak filmin yapısına etki eder. Buda bizim iyi bir sonuç almamızı engelleyebilir. Bu nedenle alt tabanlar hazırlanırken temiz olmalarına dikkat edilir[39].

### 4.3 İnce Film Depolama Teknikleri

Materyal oluşumları için birçok depolama yöntemi vardır. Aslında ince film depolama teknolojileri, ya buhar metotları gibi yalnızca fiziksel ya da gaz-sıvı faz yada kimyasal yöntemler gibi yalnızca kimyasaldır[40]. İnce film depolama teknikleri Şekil 4.2’de gösterildiği gibi iki kategoridedir[41].



Şekil 4.2 İnce film depolama tekniklerinin sınıflandırılması [41].

#### 4.3.1 Fiziksel Süreçler

##### 4.3.1.1 Vakumda Buharlaştırma

Vakumda buharlaştırma en geniş şekilde kullanılan tekniklerden biridir. İsminden de anlaşıldığı gibi bu teknik katı malzemenin yeterince yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla buharlaştırılması ve bir film oluşması için daha soğuk olan altlık üzerine yoğunlaşmasından oluşur. Vakumda buharlaştırmının diğer çok önemli türü molekül haznesinin tabakalaştırılmasıdır (MBE). İsminden de anlaşıldığı gibi MBE, bir yüksek

vakum (UHV) sistemi içinde kontrollü olarak her bir nokta kaynaktan ortaya çıkan bir veya daha fazla atomik yada molekül demetlerinin yönlendirilmesiyle epitaxial (tabaka) filmleri büyütme içerir. MBE, çok karmaşık ve pahalı bir işlemdir. Özellikle bileşik malzemeler örneğin II-IV ve III-V bileşik yarıiletkenler epitaxial büyütme çalışmaları için önemlidir[40].

#### 4.3.1.2 Püskürtme

Isısal buharlaştırma yanında, buhar türleri mekaniksel olarak bir katı malzemenin yüzeyinin reaksiyona girmeyen enerjik iyonlarla bombardıman edilerek atomların ya da moleküllerin düşürülmesiyle de yaratılabilir. Püskürtme olarak bilinen bu dışarı atma işlemi bombardıman edilen iyonların hedef atomlarla etkileşerek momentum transferi yapması sonucunda oluşur. Püskürtülen türler bir ince film formu oluşturmak için bir altlık üzerine yoğunlaştırılır[40]. Bir katılama tekniği olan püskürtme işleminin özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Genellikle, püskürtülen türlerin çoğunluğu nötrdür. Her bir çarpışan iyon başına kaçan türlerin sayısı olarak tanımlanan püskürtülen ürün, bombardıman edilen iyonların kütlesiyle ve enerjisiyle birlikte artar. Hedef altlık sisteminin geometrisine ve iyon geçiş yoluna (tarzına) bağlı olarak çok çeşitli püskürtme şekli vardır.

- 1) Parlamalı boşalımla püskürtme
  - a) Diyot püskürtme
  - b) Ön gerilim püskürtme
  - c) İyonların anot olarak tutulmasıyla püskürtme
  - d) Gaz giderici püskürtme
  - e) Magnetron püskürtme
  - f) Triod püskürtme
- 2) İyon-hazne püskürtme



### 4.3.2 Kimyasal Süreçler

Kimyasal metotlar çok yönlüdür. Dayanıklılık gerektiren direnç uygulamalarında, aşınma ve aşındırmada, genellikle geniş sıcaklık oranları boyunca kullanılır. Bu yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir[41].

- a) Kaplama ve alt tabanlar arasında kimyasal bir bağ üretir. Bu mükemmel bir difüzyon sonucudur.
- b) Kaplama alanları bütün yüzeyleri, girinti alanlarını ve gizli boşlukları içerir.
- c) Kalın depolamalar, ağır dayanıklı uygulamalar için depolanabilir.

Kimyasal metotlar 4 grupta incelenebilir. Bunlar:

- 1) Kimyasal Buhar Depolama (CVD).
- 2) Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD).
- 3) Kimyasal Banyo Depolama (CBD).
- 4) Kaplama yöntemidir.

#### 4.3.2.1 Kimyasal Buhar Depolama (CVD)

Depolama için altlık yüzeyinde vakum gerekmeden homojen olmayan bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi CVD tekniğinin en önemli özelliğidir. CVD tekniğinin en önemli avantajları vardır[6]. Bunlar:

- 1) Genellikle, düşük vakum içeren düzenekler istenir ve böylece nispeten basit düzenekler kurulur ve hızlı geri dönüşüm mümkün olur.
- 2) Yüksek  $\sim\mu\text{m}/\text{min}$  katkılama oranı mümkündür.
- 3) Katkılama bileşiklerini stokimetri ile kolayca kontrol etmek mümkündür.
- 4) Safsızlıkların miktarı kontrol edilerek katkılanmaları nispeten kolaydır.
- 5) Çoklu bileşik alaşımları katkılamak mümkündür.
- 6) Kırılgan malzemeler vakumda buharlaştırma ile kıyaslandığında nispeten daha düşük sıcaklıkta katkılanabilir.
- 7) Çok iyi ve düşük safsızlıklar içeren epitaxial tabakalar kolaylıkla büyütülebilirler.

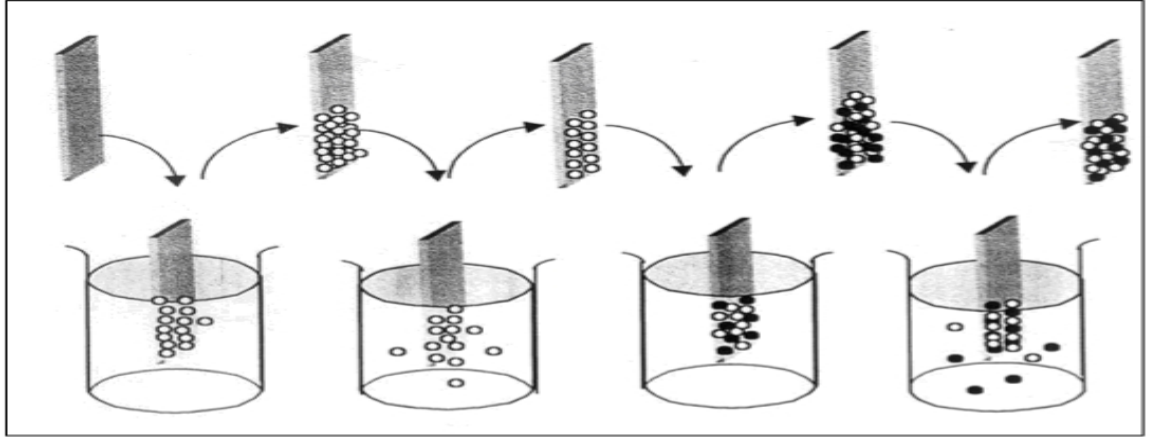
#### 4.3.2.2 Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (M-CBD)

Modifiye Kimyasal Banyo Depolama yöntemi (Modified Chemical Bath Deposition, M-CBD), alt taban yüzeyleri üzerinde ardışık reaksiyonlara dayanır. Her bir reaksiyon, çözeltideki katı faz ve çözülmüş iyonlar arasındaki heterojen reaksiyona olanak sağlarken, bunu durulama işlemi takip eder. Bu nedenle bir ince film, tabakalar halinde büyütülebilir ve film kalınlığı, depolama reaksiyonundaki döngü sayısı ile belirlenebilir.

M-CBD metodu, iki farklı katyonik ve anyonik iyon çözeltileri içine, bir alt taban daldırılmasına dayanır. Her daldırmadan önce yüksek saflıktaki sudan geçirilerek sınırlandırılmış türler, mecburi olarak uzaklaştırılır. Modifiye Kimyasal Banyo Depolama yöntemiyle bir alt taban üzerinde ince film büyütmek için aşağıdaki adımlar yapılır.

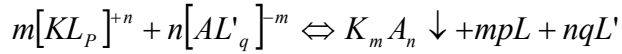
1. Alt taban, katyonik iyon çözeltilisine daldırılır. Çözelti içindeki katyon iyonları, alt taban yüzeyinden soğurur.
2. Alt taban, yüksek saflıktaki suya daldırılır. Bu esnada fazla katyonlar diğer iyonlarla birlikte uzaklaştırılır.
3. Alt taban, anyonik iyon çözeltilisine daldırılır. Anyon iyonları önceki soğurulmuş katyon iyonları ile reaksiyona girer ve yapı katı bileşiğe tutunur.
4. Alt taban, sonuçta yüksek saflıktaki suda tekrar yıkanır ve fazla iyonlar uzaklaştırılır. Bu adımlar tekrarlanarak ince filmler kontrollü bir şekilde büyütülebilir[42].

M-CBD metodu ile ince film büyütülürken, Şekil 4.3'de görüldüğü gibi 4 tane beher kullanılır. Birinci beherde katyonik iyon çözeltisi, ikinci ve dördüncü beherlerde distile edilmiş su, üçüncü beherde ise anyonik iyon çözeltisi bulunur. Alt tabanlar temizlendikten sonra, dik bir şekilde her behere belli bir süre daldırılır. Bu işlem belli bir döngü sayısında yapılır.

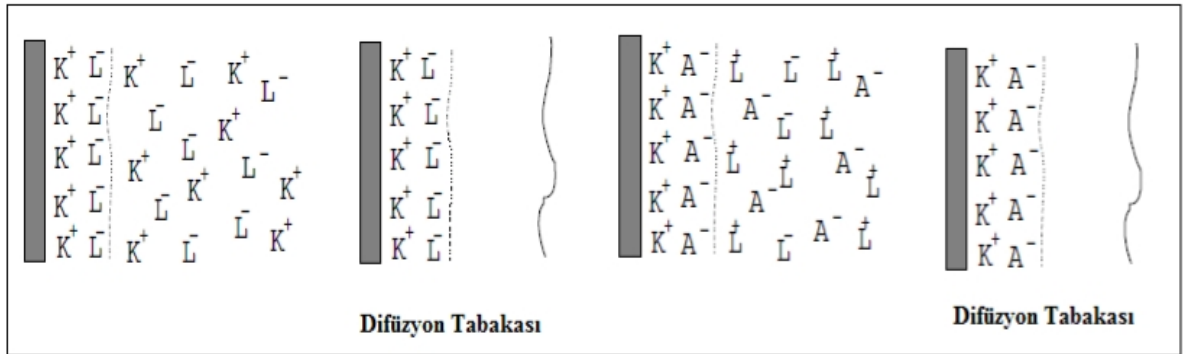


Şekil 4.3 M-CBD deney düzeneği [43].

SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) olarak da bilinen M-CBD metodu ile bir alt taban üzerinde  $K_m A_n$  bileşiği oluşumu için,  $[KL_p]^{+n}$  katyonu ve  $[AL'_q]^{-m}$  anyonu tepkimeye girer.



M-CBD metodu aşağıda Şekil 4.4'de görüldüğü gibi dört adımdan oluşur. Bu adımlar, soğurma (adsorption), durulama (rinsing), reaksiyon (reaction) ve tekrar durulama (rinsing) işlemlerinden oluşur [44].



Şekil 4.4 M-CBD metodunun büyütme aşamaları [44].

Soğurma (adsorption), taban malzemenin yüzeyi ile iyonlar arasında gerçekleşen bir ekzotermik yüzey işlemidir ve çözeltideki iyonlarla taban malzemenin yüzeyi arasındaki

çekici kuvvetlerden kaynaklanır. Bu kuvvetler bağlayıcı kuvvetler, Van der Waals kuvvetleri veya kimyasal çekim kuvvetleri olabilir. Taban malzeme yüzeyindeki atom veya moleküller, başka atom veya moleküller tarafından her yönden sarılmış durumda değildirler. Bu nedenden dolayı taban malzemenin parçacıklarına tutunan dengelenmemiş veya artık kuvvetler mevcuttur. Dolayısıyla atomlar taban malzeme yüzeyine tutunabilirler. Önceden taban malzeme yüzeyine yapışan madde (katyonlar) ile sonradan yapışan madde (anyonlar) arasında meydana gelecek reaksiyon, istenilen ince filmi oluşturur[39].

#### **4.3.2.3 Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (CBD)**

Kimyasal Banyo Depolama tekniği uygun alt tabanlar üzerine bir bileşiğin çözeltilen kontrollü olarak çökmesini kapsar[45]. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) olarak bilinen Kimyasal Çözelti Depolama (CSD), optoelektronik uygulamalar için filmler hazırlamada genişçe kullanılan kimyasal buhar depolama (CVD) benzeri bir çözeltilidir. CBD, çözeltilerde çökme ve elektroliz yöntemleri üzerine kuruludur. Elektronik materyallerin büyütülmesi, CBD uygulamaları için (IR dedektörleri için PbS ve PbSe) bir süredir bilinmektedir. CBD yöntemi ile sayısız kalkonit filmlerin depolanması sağlanmıştır.

CBD yöntemini geliştirmek, bu zamana kadar oldukça sınırlı kaldı. Son yıllarda bu metot ilgi gördü. Çoğunlukla ince film fotovoltaik hücrelerde, yarıiletken tabakalardaki birikiminde olağanüstü başarıları ile bütünleşti. CBD yöntemi, optoelektronik uygulamalarda, pasif tabakalarda, güneş kontrol levhalarında, nanokristaller ve oksit depolamalarında ayrıca araştırıldı. CBD araştırmaları, doğruluğunu böylece ortaya çıkardı[46].

CBD yönteminin birçok bilimsel ve teknolojik alandaki esas önemi, materyallerin katı üzerinde büyütülmesidir. Büyütülen materyal, ince film biçiminde, birkaç mikron kalınlığında, yoğun bir yapıda ya da geçirgen yapıda serbest olabilir. Birbirinden ayrı sınırlar farklı biçimde ya da aynı biçimde olabilir. Filmler kristal ya da amorf, tek faz ya

da çoklu fazda, farklı kimyasal birleşme ya da hibrit veya karma materyaller biçiminde kompleks bünyedeki yapı parçaları olabilir.

Sıvılar ve su içeren çözeltilerdeki özelliği çıkartan bu alandaki mükemmel uygunluktur. Katı yüzeydeki ince filmlerin doğrudan üretimi, metaller ve metalik alaşımlar için elektro depolama ve elektroliz depolama olarak adlandırılır. Bununla birlikte çözeltilerdeki kimyasal reaksiyonlar dizisini daha ileri uzatarak, kalkonitler, oksitler, tuzlar, karbanotlar gibi çoğu metal olmayan ince film bileşenleri depolanabilir[47].

Kimyasal banyo depolamalarda su, çözücü olarak genellikle kullanılır. CBD yöntemi, metal oksitler ve sülfürlerin birçok çeşidini hazırlamada fayda sağlar. CBD metodu üç kimyasal reaksiyon aşaması üzerine kuruludur. Bunlar:

1. Çözünen iyonik metal-legand komplekslerinin oluşması / ayrışması,
2. Komplekslerin hidrolizi,
3. Katı faz biçimleridir.

CBD yöntemindeki en önemli husus, aşırı doymanın düşük derecede sağlanmasıdır. Aşırı doymanın yüksek dereceleri, film oluşmadan homojen çekirdeklenmeye neden olur. Böylece CBD yöntemi, ılımlı tarzda nano yapılı filmlerin üretimi için iyi bir şekilde kimyaya yol göstererek gelecek vaat eder. Elde edilen nano yapılı filmlerin morfolojik kontrolü, CBD içinde sıcaklık kullanılarak organik ya da inorganik, iyon katkılanarak veya yüzeye etkin madde eklenerek yapılabilir[48].

## **5. MATERYAL ve METOT**

### **5.1 Galyum Sülfür İnce Filminin CBD Metoduyla Büyütülmesi**

Galyum Sülfür ince filmlerinin CBD metoduyla büyütülmesi, alt tabanların hazırlanması, anyonik çözelti hazırlanması, katyonik çözeltinin hazırlanması ve filmlerin büyütülmesi olmak üzere dört adımdan oluşur.

#### **5.1.1 Alt Tabanların Hazırlanması**

GaS ince filmini elde ederken cam alt tabanlar kullanıldı. Cam alt tabanlar (75mm×10mm×2mm) daha önce belirtildiği gibi çok iyi bir şekilde temizlenmelidir. Cam alt tabanlar, ilk önce kromik asitte kaynatılıp, sonra hidroklorik asitle, ardından sıcak deterjanlı suyla yıkandıktan sonra asetondan geçirilip distile edilmiş su ile iyi bir şekilde temizlendi. Böylece alt tabanlar büyütme işlemi için hazır hale getirildi.

#### **5.1.2 Anyonik Çözeltinin Hazırlanması**

GaS ince filmini elde etmek için anyonik çözelti olarak sodyum tiyosülfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) çözeltisi gerekir. 0.25 M'lık sodyum tiyosülfat çözeltisini hazırlamak için, 1,551 gr  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 25 ml'lik balon jøjeye konulup karıştırılarak 25 ml tamamlayana kadar su eklendi. ELECTROMAG M22 (Heater- stirrer) ısıtıcı ve titreştirici yardımıyla hızlı bir şekilde çözüldü. Kimyasalları tartma işlemi OHAUS Pioneer modelindeki hassas tartı cihazı ile yapıldı.

#### **5.1.3 Katyonik Çözeltinin Hazırlanması**

GaS ince filmini elde etmek için katyonik çözelti olarak galyum sülfat  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  çözeltisi gerekir. 0.5 M'lık galyum sülfat çözeltisini hazırlamak için, 25 ml'lik balon jøjeye, 1.743 gr % 99.999 galyum koyup üzerine 3.832 gr sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , FLUKA) eklenerek çözüldü. Bu işlemde aşağıdaki reaksiyon meydana gelir. Daha sonrada 25 ml' ye kadar su ile tamamlandı.



0.5 M'lık galyum sülfat  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  çözeltisinin pH~2'e ayarlamak için 1 M'lık tartarik asit kullanıldı. Tartarik asit çözeltisi hazırlamak için, 3.78 gr tartarik asit (tartaric acid, MERCK) 25 ml'lik balon jöjeye konulup 25 ml'ye kadar su ile tamamlandı ve manyetik ısıtıcı ve titreştirici yardımı ile iyice çözüldü.

#### 5.1.4 GaS İnce Filminin Büyütülmesi

Galyum Sülfür (GaS) ince filmlerini elde etmek için galyum sülfat, galyum nitrat galyum klorür, tiourea, tiyoasetamid, sodyum tiyosülfat ve tartarik asit çözeltileri kullanıldı. Yapılan deneylerde galyum kaynağı olarak galyum sülfat, galyum nitrat ve galyum klorür, sülfür kaynağı olarak ise tiourea, tiyoasetamid, sodyum tiyosülfat kullanıldı. Tartarik asit ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ ) (MA=150.09 g/mol) ise çözeltinin pH'ını düzenlemek için kullanıldı. Yaklaşık olarak iki yıl boyunca farklı molaritelerde, daldırma sürelerinde, sıcaklıklarda ve pH değerlerinde kimyasal banyolar hazırlandı. Hazırlanan kimyasal banyoların galyum ve sülfür kaynakları sabit tutulur. Banyonun pH, sıcaklık ve daldırma süresi, kaynakların ise molarite değerleri değiştirildi. Hazırlanan kimyasal banyolar aşağıda verilmiştir.

1)

- Galyum kaynağı: Galyum sülfat
- Sülfür kaynağı: Tiyoasetamid
- Tartarik asit

2)

- Galyum kaynağı: Galyum sülfat
- Sülfür kaynağı: Tiourea
- Tartarik asit

3)

- Galyum kaynağı: Galyum nitrat
- Sülfür kaynağı: Tiyoasetamid
- Tartarik asit

4)

- Galyum kaynağı: Galyum nitrat
- Sülfür kaynağı: Tiourea
- Tartarik asit

5)

- Galyum kaynağı: Galyum klorür
- Sülfür kaynağı: Tiyoasetamid
- Tartarik asit

6)

- Galyum kaynağı: Galyum klorür
- Sülfür kaynağı: Tiourea
- Tartarik asit

Yukarıda verdiğimiz kimyasal banyolar sonucunda GaS ince filmini elde edemedik. Son olarak aşağıda molarite ve madde miktarları verilen çözeltilerden oluşturulan kimyasal banyoların pH, sıcaklık ve daldırma süreleri değiştirilerek GaS ince filmi elde etmede başarıya ulaştık.

1) 0.5 M'lık Galyum Sülfat ( $Ga_2(SO_4)_3$ ) çözeltisi

2) 1 M'lık Tartarik Asit ( $C_4H_6O_6$ ) çözeltisi

3) 0.25 M'lık Sodyum Tiyosülfat ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) çözeltisi

Çözeltiler aşağıdaki formülden yararlanılarak ihtiyaca göre yeterli miktarlarda hazırlandı.

$$M=n/V, n=m/MA \quad (5.1.4.1)$$

1) 0,5 M 25 ml'lik galyum sülfat çözeltisi için;

$$M=n/V, 0.5=n/0.025 \text{ ise } n = 0.0125 \text{ mol}$$

$$n=m/MA, 0.0125 \text{ mol}=m/427.44 \text{ gr /mol olduğundan } m=5.343 \text{ gr bulunur.}$$

2) 1 M 25 ml'lik tartarik asit çözeltisi için;

$$M=n/V, 1=n/0.05, n=0.025 \text{ mol}$$



$n=m/MA$ ,  $0.025 \text{ mol} =m/150.09 \text{ gr/mol}$  olduğundan  $m=3.75225 \text{ gr}$  bulunur. Tartarik asit %99,5 saflıkta olduğundan;  $m=3.75225 \text{ gr} \times 0.995 = 3.7371 \text{ gr}$  olur.  $3.7371 \text{ gr}$  tartarik asitsaf su ile  $25 \text{ ml}$ 'ye tamamlandı

3)  $0.25 \text{ M}$   $25 \text{ ml}$ 'lik sodyum tiyosülfat çözeltisi için;

$M=n/V$ ,  $0.25=n/0.025$  ise  $n=0.00625 \text{ mol}$

$n=m/MA$ ,  $0.00625 \text{ mol} =m/248 \text{ gr/mol}$  olduğundan  $m=1.551 \text{ gr}$  bulunur.

Elde edilen çözeltiler elektromanyetik ısıtıcı ve titreştirici üzerinde Resim 5.1'de görüldüğü gibi 5 dakika bekletilerek çözünmesi sağlandı. Daha sonra iyi çözünmüş olan bu çözeltilerden ince film oluşturmak için yeterli miktarlarda karıştırılarak ince film büyütme işlemi gerçekleştirildi. Çözeltinin hazırlanması ve GaS ince filminin büyütülmesi maddeler halinde aşağıda verilmektedir.



**Resim 5.1** Elektromagnetik ısıtıcı ve titreştirici üzerinde çözeltilerin çözünmesi

- 1) İlk önce hazırlanan galyum sülfat çözeltisinden  $5 \text{ ml}$  alınarak  $10 \text{ ml}$ 'lik beher içerisine aktarıldı.
- 2)  $5 \text{ ml}$  galyum sülfat çözeltisi üzerine  $5 \text{ ml}$  sodyum tiyosülfat eklendiğinde başlangıçta beyaz olan çözeltinin rengi birkaç saniye sonra fıstık yeşili oldu.
- 3) Bu iki çözelti karışımının üzerine  $1 \text{ ml}$  tartarik asit eklendi.

4) Bu çözeltinin içine cam alt tabanımızı yerleştirerek 1 saat süreyle oda sıcaklığında çözeltimizi beklettik (Resim 5.2.) .



**Resim 5.2** Cam alt tabanın çözelti içindeki konumu

5) Bu işlemler 3 kez artarda tekrarlanarak cam alt taban üzerinde GaS ince filmini elde ettik (Resim 5.3) .



**Resim 5.3** Daldırma sonucunda cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filmi

## **5.2 GaS İnce Filmlerinin Karakterizasyonu**

Bu kısımda numunelerin morfolojik, yapısal ve optik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel metotlar anlatılmıştır.

### **5.2.1 Morfolojik Özellikler**

#### **5.2.1.1 Taramalı Elektron Mikroskobu ve Atomik Kuvvet Mikroskobu**

Numunelerin morfolojik özelliklerini belirlemek için kullanılan görüntü yöntemlerinden biri taramalı elektron mikroskobudur. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir[49]. GaS ince filminin SEM görüntüsü Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) bulunan FEI marka Nova Nanosem 430 model Taramalı Elektron Mikroskobuyla gerçekleştirildi.

Numunelerin morfolojik özelliklerini belirlemek için kullanılan görüntü yöntemlerinden biri de Atomik kuvvet mikroskobudur. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) nano boyutta bir probun herhangi bir yüzey ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan kuvvet ilişkilerinin izlendiği bir sistemdir. Genellikle iki moda sahiptir. Bunlar “temas” ve “temas olmayan” modlardır. Genel kullanım amacı, üç boyutlu yüzey görüntüsü eldesi, nanolitografya, yüzey pürüzlülüğünün tespiti, nanoboyutta kalınlık ölçümü olarak sayılabilir[50]. GaS ince filminin AFM görüntüsü Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) bulunan PSIA marka XE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobuyla gerçekleştirildi.

## 5.2.2 Yapısal Özellikler

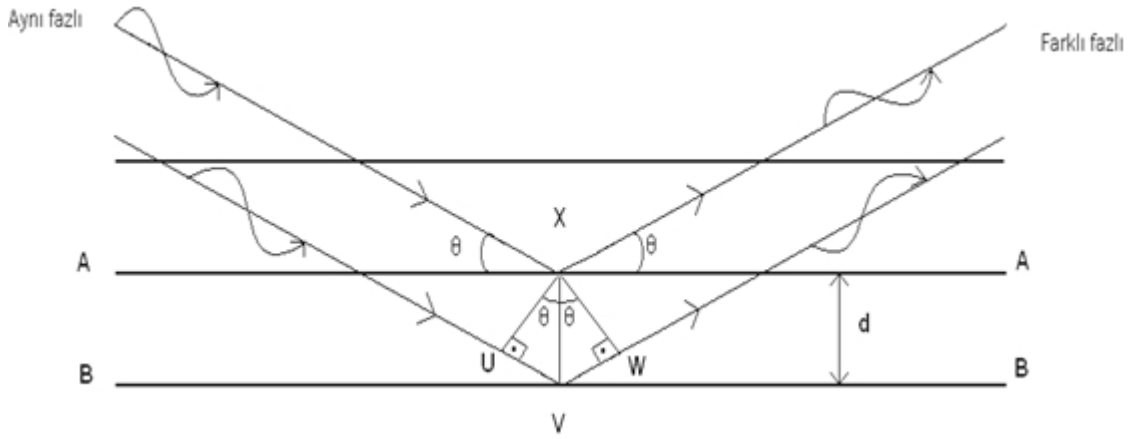
İnce filmlerin yapısal özelliklerinin belirlenmesi için, X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılır. X-ışını kırınım yöntemleri, Laue yöntemi, toz kristal yöntemi ve döner kristal yöntemidir.

Laue Yönteminde genellikle kristallerin büyüme doğrultularını ve yüzlerini indislemek için kullanılır. Kristalin içyapısı hakkında bilgi vermez. Toz Kristal Yönteminde tek dalga boylu ışın kullanılır. Örnek toz haline getirilir. Döner Kristal Yönteminde ise kristal döndürüldüğü için, her düzlem takımında farklı açılar elde edilir[51].

X-ışınlarının Şekil 5.1'deki gibi paralel olarak tek kristale doğru yönlendirildiklerini düşünelim. Bu X-ışınları kristalde ilerleyebildikleri bölgelerdeki tüm atomlar ile etkileşime girerler. Burada X-ışınları belirli bir  $\theta$  açısı yapacak şekilde atomların paralel düzlemleri ile etkileşime girer. İkinci ve bunu takip eden bütün düzlemlerde, yansıtılan enerjinin bileşenleri benzer olarak özel yansıma açılarında oluşacaktır. İkinci düzlemden yansıyan X-ışını, birinci düzlemden yansıyan ışına göre  $2d\sin\theta$ 'lık fazla bir yol alacağı Şekil 5.1'de görülmektedir. Her bir yansıyan bileşen, eğer düzlemler arası mesafe dalga boyunun tam katları ise yapıcı bir girişimle birleşecektir. Sonuç olarak yansıma için gerekli olan şart yani Bragg kanunu;

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (5.2.2.1)$$

olur. Burada  $n$  bir tamsayıdır. Genel olarak tek dalga boylu x-ışınları kristale doğru rastgele bir açıyla geldiklerinde yapıcı bir girişim oluşturmayacakları açıktır. Bragg kanununun gerçekleşebileceği bir durumu elde edene kadar hem dalga boyu hem de açı değiştirilmelidir[39].



**Şekil 5.1** Bragg yansımalarının gösterimi [39].

Numunelerin tanecik büyüklükleri Scherrer formülü ile,

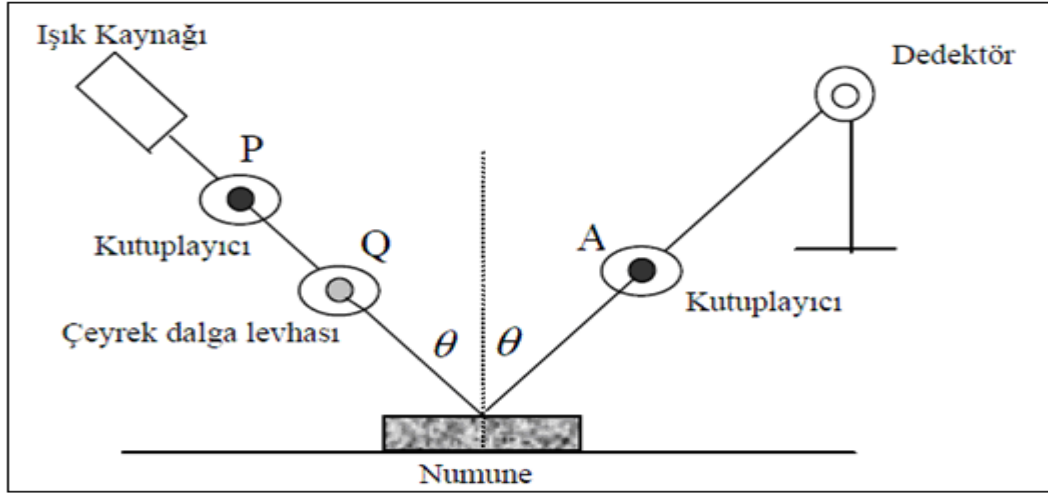
$$D_c = \frac{k \cdot \lambda_x}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (5.2.2.2)$$

hesaplanabilir. Burada  $D_c$  kristal büyüklüğü,  $k$  Scherrer sabiti,  $\lambda_x$  kullanılan X-ışını dalga boyu,  $\beta$  şiddetin yarı yüksekliğinin açısal genişliği,  $\theta$  Bragg kırınım açısıdır[52]. GaS ince filminin XRD ölçümü Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) bulunan Pananalytical marka X'pert Pro MPD model Çok Amaçlı X-Işını Kırınımı (XRD) deney sistemiyle gerçekleştirildi.

### 5.2.3 Kalınlığının Hesaplanması

Günümüzde yüzey incelemeleri ve soğurucu yada soğurucu olmayan destekler üzerindeki filmlerin polarimetrik yöntemle incelenmesinde, elipsometri yöntemi gittikçe artan bir oranda kullanılmaktadır. Elipsometri eliptik kutuplanmış ışığın ölçümü ve analizine dayalı deneysel bir tekniktir. Yansıma polarimetresi veya polarimetrik spektroskopi gibi adlarla da tanımlanan elipsometri, ışığın kutuplanma durumu üzerinde yansıma etkisinin ölçümüdür. Elde edilen ölçümler malzemenin optik özellikleri hakkında bilgi verir. İnce filmlerin kalınlıklarının ölçülmesi de elipsometri cihazları ile yapılmaktadır.

Elipsometri deney düzeneğini oluşturan elemanlar Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu düzenek bir ışık kaynağı, 2 adet çizgisel kutuplayıcı, bir adet çeyrek dalga geçiktiricisi, (0-360°) dönebilen tabla, numune ve dedektörden oluşmaktadır[53].



Şekil 5.2 Elipsometri ölçümlerinde kullanılan deneysel düzenek [53].

Sistemin temelinde, ışık kaynağından çıkan kutuplanmamış ışık ilk önce bir çizgisel kutuplayıcıdan geçirilerek çizgisel olarak kutuplanır, daha sonra bir çeyrek dalga geçiktiricisinden geçirilerek eliptik olarak kutuplanır. Numune üzerine gelen eliptik kutuplu ışık daha sonra yine bir çizgisel kutuplayıcıdan geçirilerek dedektör üzerine düşürülmektedir. Buradaki kutuplayıcının optik geçirgenlik eksenini ile ışığın gelme düzlemi arasındaki açı bir prizma yardımı ile hassas bir şekilde ayarlanabilir. Eğer bu açı, gelme düzleminden kutuplayıcıya doğru alınırsa pozitif değerdedir. Burada mükemmel bir çeyrek dalga levhası ile ışığın birbirine dik iki bileşeni arasında 90°'lik bir faz kayması oluşturulur.

Bir düzlem dalganın, gelme düzlemi içersinde yer alan ve gelme düzlemine dik olan bileşenlerin arasındaki faz farkı eliptik kutuplanmaya yol açar. Genel olarak yansıma paralel ve dik bileşenlerin bağıl fazlarında ve genliklerinin oranlarında bir değişmeye neden olur. Yansımanın etkisi, bağıl faz değişimi olarak tanımlanan  $\Delta$  açısı ve genlik oranları ile ilişkili  $\Psi$  açısı ile belirlenir[53].

Ayrıca bir alt taban üzerine depolanan ince filmlerin kalınlıkları,

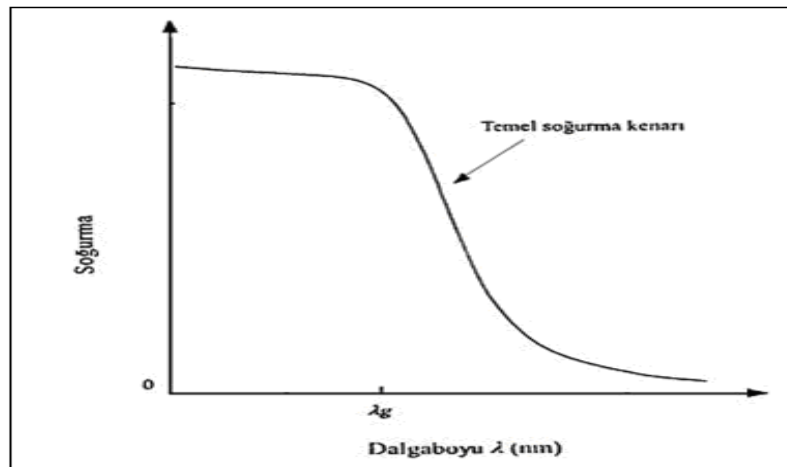
$$t = \frac{m}{\rho_s \cdot A} \quad (5.2.3.1)$$

eşitliği ile de bulunabilir. Burada t kalınlık, m alt taban üzerine depolanan madde miktarı,  $\rho_s$  ise depolanan malzemenin yoğunludur[54]. Bu çalışmada cam alt taban üzerinde CBD yöntemiyle büyütülen GaS ince filminin kalınlığının hesabı eşitlik 5.2.3.1 ile yapılmıştır.

#### 5.2.4 Optik Soğurma ve Yasak Enerji Aralığı

Genel olarak soğurma, bir malzemenin içerisinde elektriksel yüklerin üzerine gelen elektromanyetik dalgalarla etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybı olarak tanımlanır.

Temel soğurma olayında, yarıiletken malzeme üzerine gelen bir fotonun enerjisi, yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan büyük olduğunda, bu foton yarıiletkenin değerlik bandındaki bir elektron tarafından soğurularak bir elektron boşluk çifti oluşturur. Böylece değerlik bandındaki bir elektron iletkenlik bandına geçer. Yarıiletkenlerde temel soğurma spektrumu Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3 Yarıiletkenlerde temel soğurma spektrumu [55].

Temel soğurma olayında frekansı volan bir fotonun enerjisi  $h\nu$  olmak üzere,

$$h\nu \geq E_g \text{ veya } \lambda_g \leq \frac{hc}{E_g} \quad (5.2.4.1)$$

olmalıdır. Burada  $\lambda_g$ , yarıiletkenin yasak enerji aralığının enerji değerine karşılık gelen fotonun dalga boyunu ve  $c$ , ışığın boşluktaki hızını göstermektedir. Soğurma katsayısı  $\alpha$ , doğrudan ve dolaylı enerji bant aralığına sahip yarıiletkenlerde sırasıyla,

$$\alpha = \frac{[A(h\nu - E_g)^{1/2}]}{h\nu} \quad (5.2.4.2)$$

$$\alpha = \frac{[B(h\nu - E_{gi} + E_p)^2]}{\left[ \exp \frac{E_p}{kT} - 1 \right]} \quad (5.2.4.3)$$

gibi olur. Bu ifadelerdeki A ve B fotonun enerjisinden bağımsız sabitler,  $E_p$  fononun enerjisi,  $E_g$  doğrudan bant aralığı genişliği ve  $E_{gi}$  dolaylı bant aralığı genişliğidir.

Yarıiletkenin yasak enerjisi  $E_g$ 'yi hesaplamak için ilk önce optik soğurmada elde edilen soğurma katsayısının bulunması gerekir. Bunun için,

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha d} \quad (5.2.4.4)$$

Beer-Lambert eşitliği kullanılarak,

$$\text{Absorbans} = \text{Log}(I_0/I) \quad (5.2.4.5)$$

$$\alpha = \frac{\text{Absorbans}}{d} \quad (5.2.4.6)$$



eşitliği ile soğurma katsayısı bulunur[56]. Eşitlik 5.2.4.2 kullanılarak, soğurma katsayısı,  $\alpha = \frac{[A(h\nu - E_g)^n]}{h\nu}$  hesaplanabilir. Doğrudan bant geçişlerinde, n=1/2, n=2/3 ve dolaylı bant geçişlerinde ise n=2, n=3 olur.

$$E_g = h\nu - \left( \frac{\alpha h\nu}{A} \right)^{1/n} \quad (5.2.4.7)$$

eşitliği ile yasak enerji değeri bulunur.

Maddenin ışığı soğurmasını incelemek için kullanılan düzeneğe soğurma (absorpsiyon) spektrometresi veya soğurma (absorpsiyon) spektrofotometresi adı verilir. Bir spektrofotometre düzeneği ışık kaynağı, dalga boyu seçicisi ve dedektörden oluşur. Dedektörde elektrik sinyaline çevrilen bir optik sinyal, kaydedici veya bir galvanometre ile ölçülür[57]. Resim 5.4'de GaS ince filminin laboratuvarımızda kullandığımız optik soğurma spektrumunun alındığı Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sisteminin resmi verilmiştir.



**Resim 5.4** Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sistemi

### 5.2.5 I-V Karakteristiği

Örneklerin akım- gerilim (I-V) ölçümlerinde, iki tane Extech Instrument Multiview 110 modelindeki multimetre, bir tane Keithley 6486 Picoammeter modelinde piko- ampermetre, bir tane pasco Scientific SF-9585 A modelinde güç kaynağı kullanıldı (Resim 5.5).



**Resim 5.5** I~V ölçüm sistemi

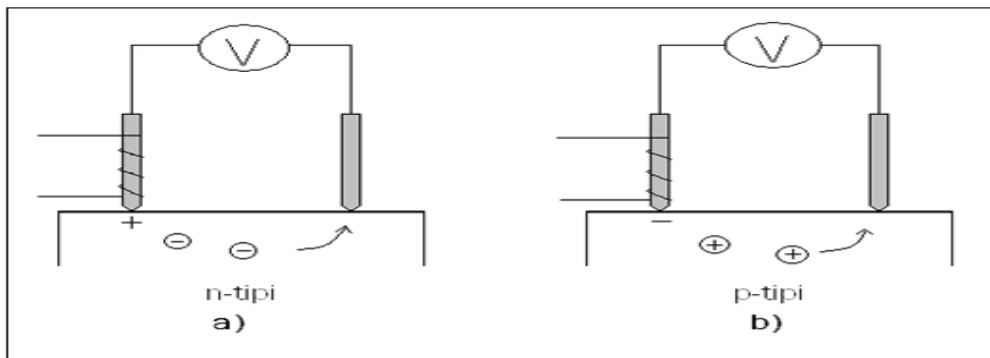
### 5.2.6 Yarıiletkenlerde İletkenlik Tipinin Belirlenmesi

Yarıiletkenlerin iletkenlik tipini (n-tipi veya p-tipi) bulmak için bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri Hall ölçümü yapmak ve taşıyıcı konsantrasyonunun işaretine bakmaktır. Verici veya n-tipi yarıiletken için taşıyıcı konsantrasyonu işareti negatiftir, alıcı veya p-tipi yarıiletken için taşıyıcı konsantrasyonunun işareti pozitifdir. İnce filmlerin “Hall Effect Measurement System” sistemi kullanılarak elektriksel ölçümleri yapılarak iletkenlik tipi belirlenebilir[58].

Yarıiletkenlerde termoelektrik olayı göz önüne alalım. Yarıiletken (örneğin n-tipi yarıiletken) homojen olamayacak şekilde ısıtıldığında elektronların konsantrasyonu daha sıcak bölgede artmaktadır ve bu nedenle elektronlar daha sıcak bölgeden daha

soğuk bölgeye doğru hareketlenmektedirler. Bir n-tipi yarıiletkende elektronların daha sıcak bölgeden soğuk bölgelere difüzyonu sonucunda, daha sıcak bölgede pozitif hacimsel yük (pozitif yüklü donör iyonlarından oluşmuş) ve daha soğuk bölgede elektron konsantrasyonunun fazlalığından oluşmuş negatif yük meydana gelmektedir. Böylece, sıcaklık gradyanı şartında ısınan yarıiletkende termal elektromotor kuvveti (TEMK) oluşmaktadır. Eğer yarıiletkenin bu noktaları kapalı devre haline getirilirse, bu durumda devreden termoelektrik akımı geçecektir. Bir p-tipi yarıiletkende, tersine, pozitif yüklü boşlukların daha sıcak bölgeden daha soğuk bölgeye difüzyonu nedeniyle, daha sıcak bölgede hacimsel negatif elektrik yükü oluşmaktadır. Böylece, sıcaklık gradyanı şartında ısınan yarıiletkende, kapalı devre termoelektrik akımı oluşmaktadır. Bir n-tipi yarıiletkende, elektronlardan oluşmuş akım ve bir p-tipi yarıiletkende, boşluklardan oluşmuş akım daha sıcak bölgelerden daha soğuk bölgeler yönünde hareket etmektedir. n-tipi yarıiletkende daha sıcak bölgenin elektrik kutbu pozitif, p-tipi yarıiletkende ise daha sıcak bölgenin elektrik kutbu negatiftir.

Termal elektromotor kuvveti yöntemiyle yarıiletkenin yük taşıyıcılarının tipini bulmak için kullanılan devreler Şekil 5.4'de gösterildiği gibidir. Bu yöntemde iki prob kullanılır. Probu birisi ısıtılmakta ( $T_1$ ) (yaklaşık  $200-300^{\circ}C$  'ye kadar) ikinci probun sıcaklığı ( $T_2$ ) oda sıcaklığında tutulmaktadır. n-tipi yarıiletkende elektronlar daha sıcak ( $T_1$ ) probu civarından, oda sıcaklığında ( $T_2$ ) tutulan probun yönünde hareketlenmektedirler. Sonuçta, daha sıcak probun civarındaki yarıiletken bölgesinin elektrik kutbu pozitifdir ve bu işaret devredeki voltmetre ile kaydedilmektedir (Şekil 5.4-a). p-tipi yarıiletkende ise tersine, daha sıcak probun elektrik kutbu negatif olmaktadır (Şekil 5.4-b)[55].

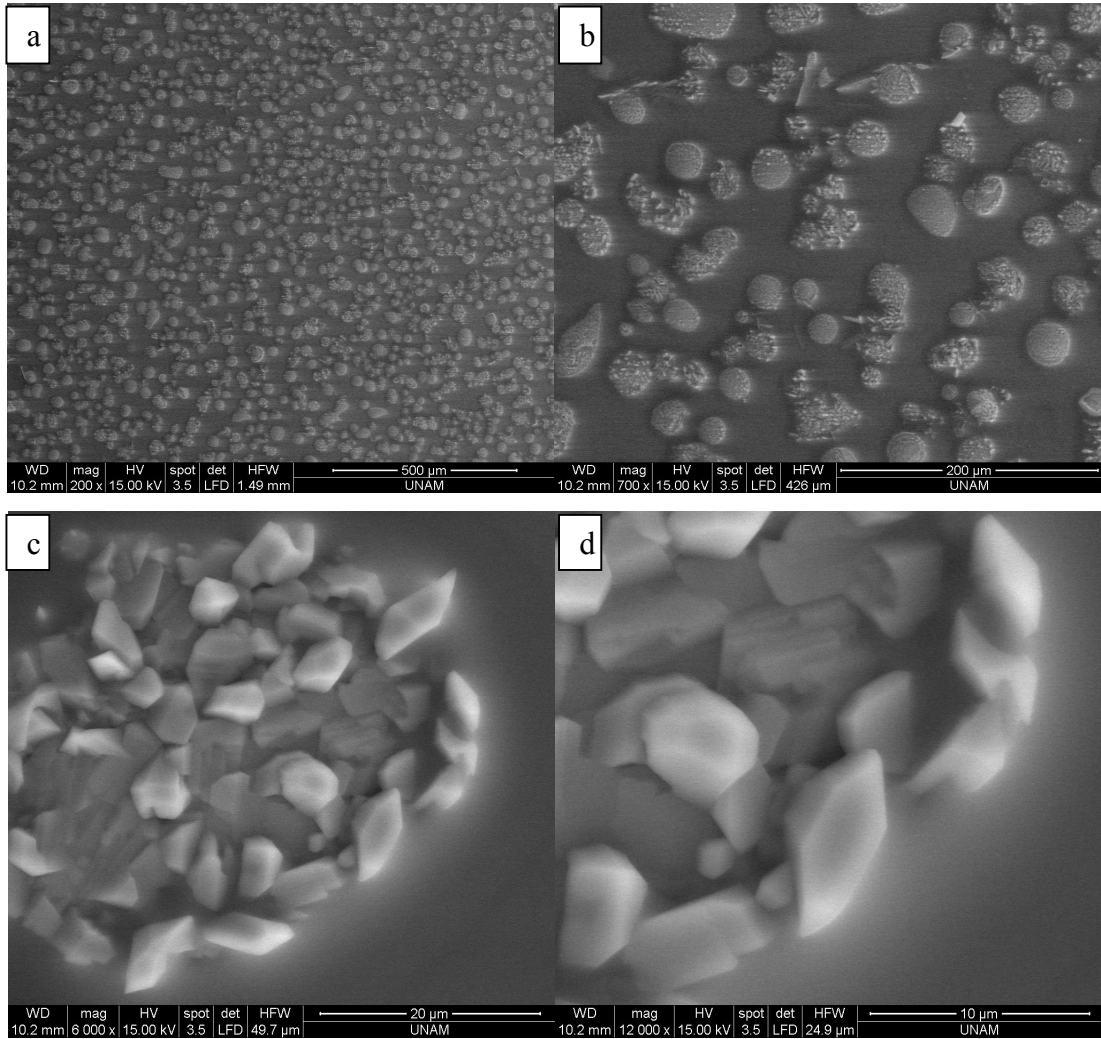


**Şekil 5.4** Termal EMK yöntemiyle (a) n-tipi (b) p-tipi yarıiletkenin iletkenlik tipi [55].

## 6. BULGULAR ve TARTIŞMA

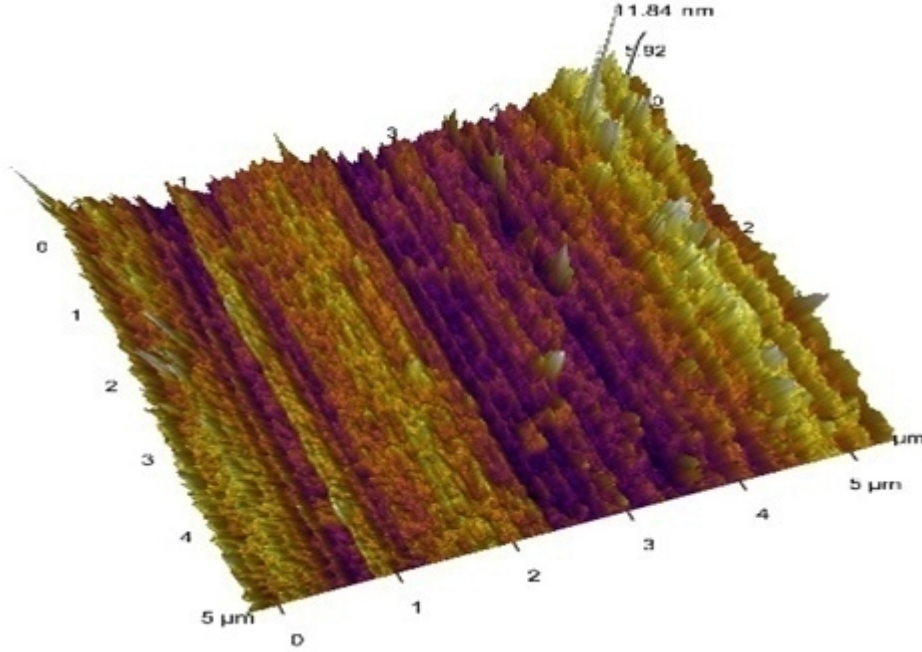
### 6.1 GaS İnce Filminin Morfolojik Özellikleri

CBD yöntemiyle cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin SEM ve AFM görüntüleri Bilkent Üniversitesi UNAM'da gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1'de GaS ince filminin farklı büyütme oranlarına sahip Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntüleri verilmiştir. GaS ince filminin Şekil 6.1 (a)'daki SEM görüntüsünden, taneciklerin yüzeyde homojen dağılmadığı görülmektedir. Bu durum Şekil 6.1 (b)'de daha rahat bir şekilde görülmektedir. Şekil 6.1 (c),(d)'de bu adacıkların görüntüsü verilmektedir. Bu görüntüler, adacıkların GaS nano parçacıklarından oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 6.1 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin SEM görüntüleri

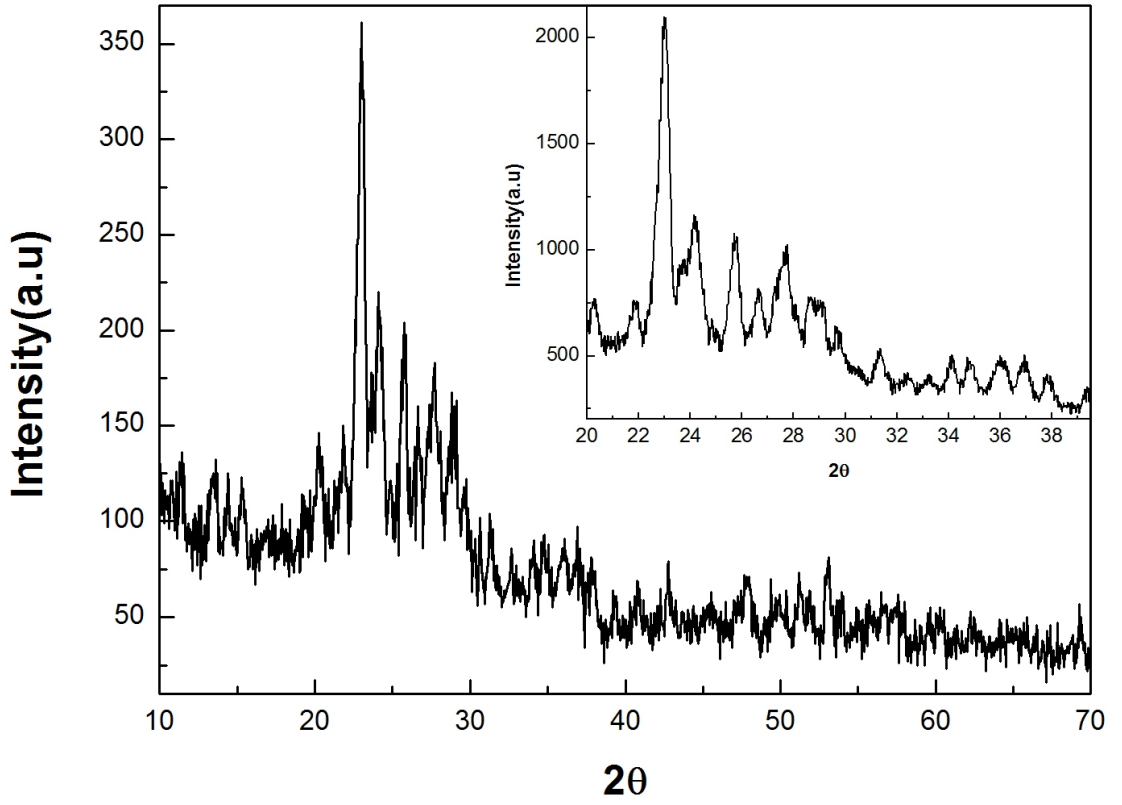
Şekil 6.2’de cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin Atomik Kuvvet Mikroskobundan (AFM) elde edilen görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüden GaS ince filmimizin cam alt taban üzerinde homojen bir şekilde büyümediği görülmektedir.



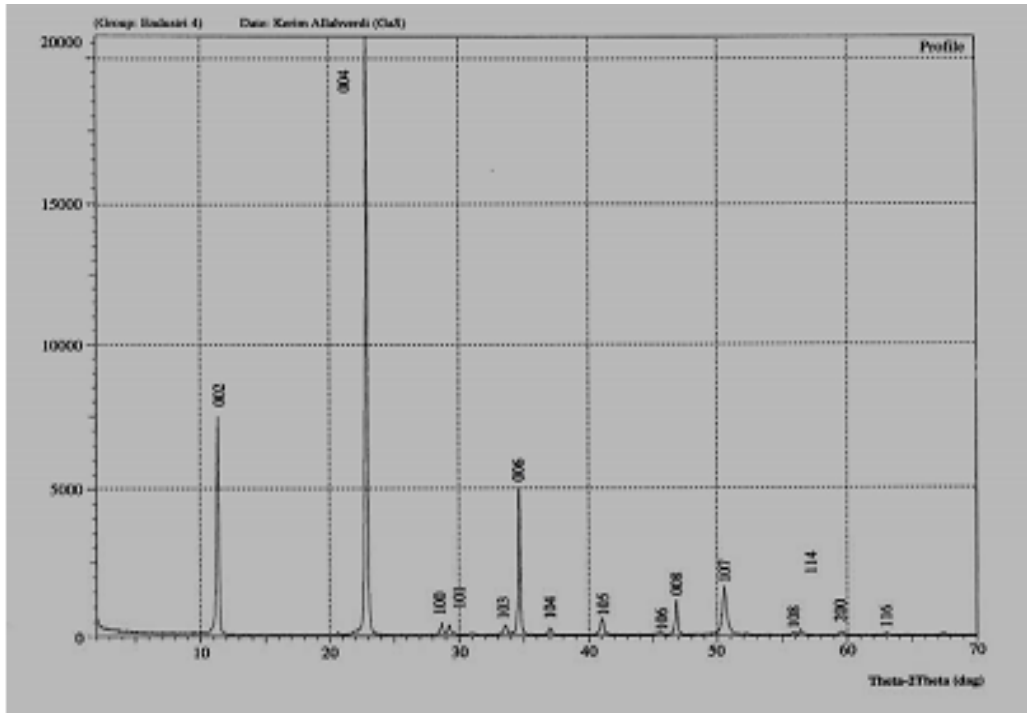
Şekil 6.2 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin AFM görüntüsü

## 6.2 GaS İnce Filminin Kristal Yapı Özellikleri

CBD yöntemiyle cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin XRD spektrumu Bilkent Üniversitesi UNAM’da gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.3’de GaS ince filminin XRD spektrum  $2\theta = 10^\circ - 70^\circ$  aralığında verilmiştir. Şekil 6.4 te ise GaS kristalinin XRD spektrumu verilmektedir[32]. Bu sonuçlar GaS kristalinin X-ışını kırınım verileri ile karşılaştırıldığında  $2\theta = 22.9^\circ, 29.07^\circ, 34.7^\circ$  açılarında örtüşen üç tane kırınım pik görülmektedir. Bu piklerden sorumlu düzlemler sırasıyla (004), (100) ve (006) düzlemleridir. Piklerden baskın olanı şekilde görüldüğü gibi  $2\theta = 22.9^\circ$  açısına karşılık gelen (004) pikidir, diğer pikler düşük şiddete sahiptir. Özellikle  $2\theta=22.9^\circ$  deki XRD piki GaS için temel karakteristik pik olup hegzagonal yapıyı göstermektedir.



Şekil 6.3 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin XRD spektrumu



Şekil 6.4 GaS kristalinin oda sıcaklığı X- ışını spektrumu [32].

### **6.3 GaS İnce Filminin Kalınlığının Hesaplanması**

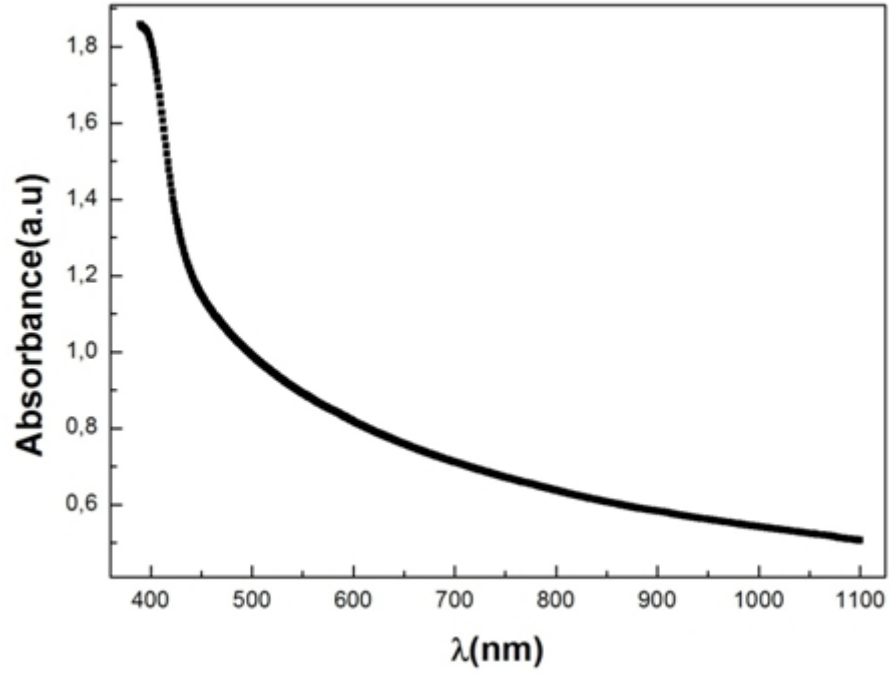
CBD yöntemiyle cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin kalınlığı, depolanan film miktarı ile belirlendi. Buradan cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince film kalınlığı 0,2  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur.

### **6.4 GaS İnce Filminin İletkenlik Tipi**

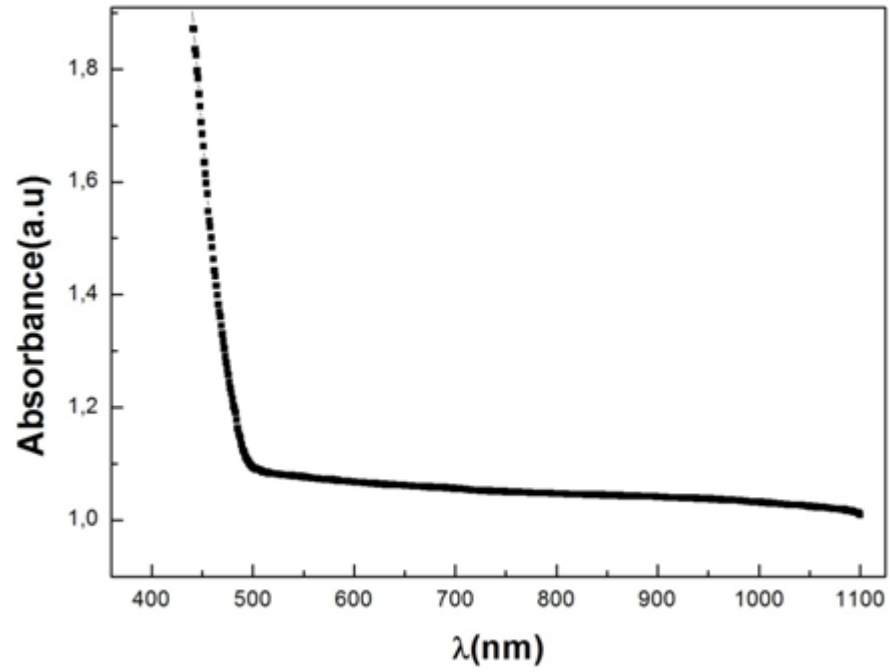
Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin iletkenlik tipi, termoelektrik olayına dayalı iki prob tekniği ile ölçüldü. Bu ölçümler sonucunda GaS ince filminin p tipi iletkenliğe sahip olduğu belirlendi.

### **6.5 GaS İnce Filminin Soğurma Spektrumu ve Yasak Enerji Aralığı**

Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin optik soğurma spektrumları Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre ile ölçüldü. GaS ince filminin optik soğurma spektrumu Şekil 6.5' te verilmektedir. Ayrıca karşılaştırma için GaS kristalinin optik soğurma spektrumu Şekil 6.6' da verilmektedir. GaS'ün ince film formu ile bridgman yöntemiyle büyütülen kristal formunun absorbance – dalga boyu grafikleri örtüşmektedir.

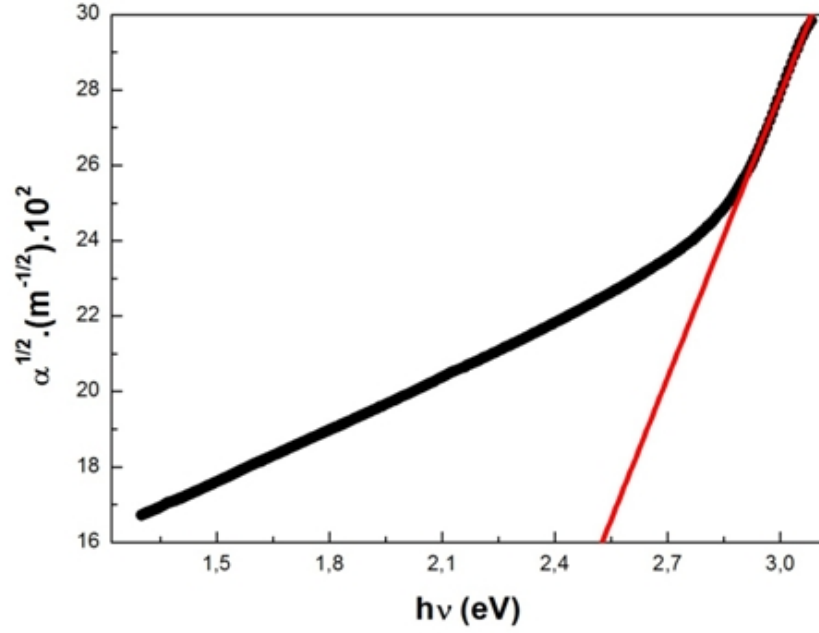


Şekil 6.5 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin (*absorbance*)~( $\lambda$ ) spektrumu



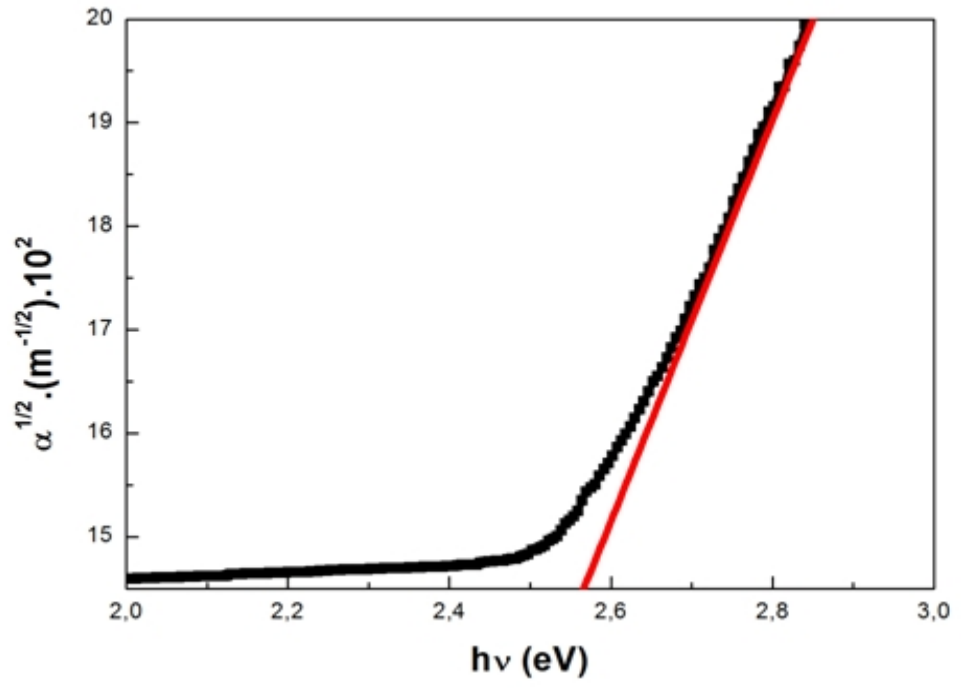
Şekil 6.6 GaS kristalinin (*absorbance*)~( $\lambda$ ) spektrumu



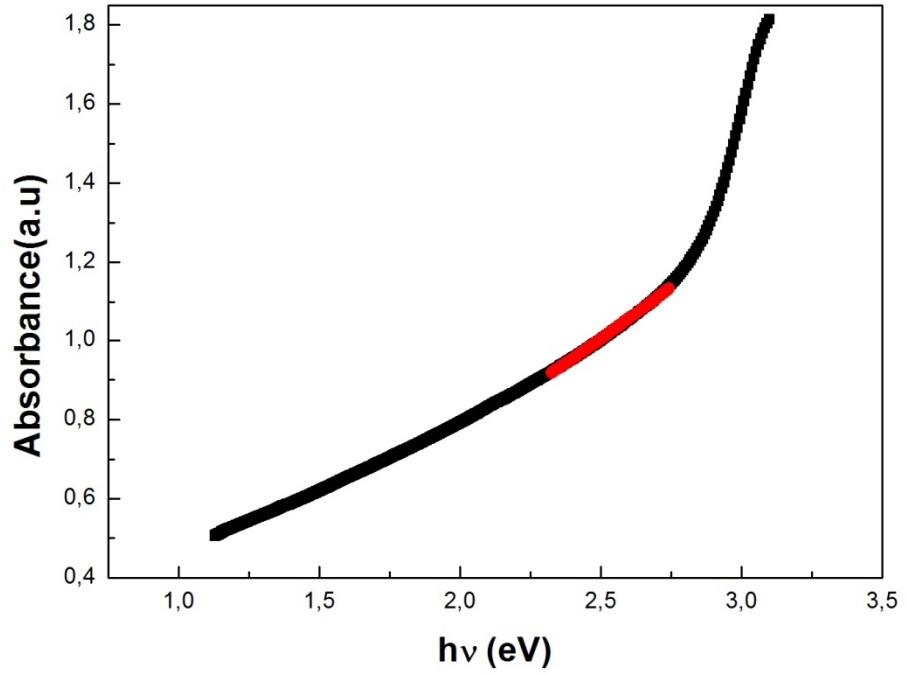


**Şekil 6.7** Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  spektrumu

GaS kristalinin indirek yasak bant aralığına sahip olduğundan dolayı GaS ince filmimizde de indirek bant hesabına karşılık gelen  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  grafiğini çizdik ve  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  spektrumunda soğurmanın lineer olduğu noktalardan, enerji eksenine çizilen doğrunun eksenini kestiği yer, yasak enerji aralığıdır.  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  grafiği ve yasak band aralığını belirlemek için yapılan fit Şekil 6.7’ de verilmektedir. Bu fitten cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin yasak enerji aralığını 2.53 eV olarak bulundu. Karşılaştırma için GaS tek kristaline ait  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  grafiği ve fit Şekil 6.8’ de verilmektedir. Bu grafikten GaS tek kristalinin yasak enerji aralığı 2.57 eV olarak bulundu. Buradan cam üzerinde büyütülen GaS ince filminin yasak enerji aralığının GaS tek kristalin yasak enerji aralığına yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6.8 GaS kristalinin  $(\alpha)^{1/2} \sim (h\nu)$  spektrumu

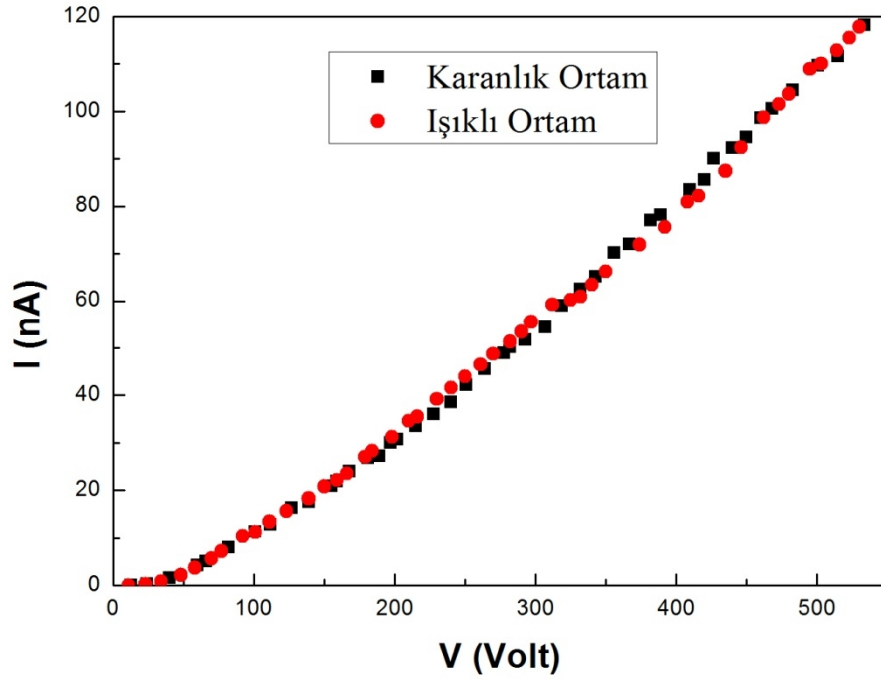


Şekil 6.9 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin  $(absorbance) \sim (h\nu)$  spektrumu

Soğurma spektrumunun yaklaşık olarak 1.2 eV'ta başlayan uzun dalga boyu kuyruğunun foton enerjisi ile değişimine baktık. Uzun dalga boyu kuyruğunun foton enerjisiyle Urbach-Martiensen kuralına uygun olarak  $\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu - E_0}{E_u}\right)$  şeklinde üstel olarak değiştiği görülmektedir. Burada  $E_u$  Urbach enerjisidir. Bu formüle göre soğurma spektrumunun uzun dalga boyu kenarı fit edildi. Elde edilen fit Şekil 6.9'da verilmektedir. Bu fitten cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin Urbach enerjisi 1.93 eV olarak hesaplandı. GaS ince filmi için elde edilen Urbach enerjisinin yüksek olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar PbS ince filmlerinde de gözlenmiştir. Bunun nedeni nanoparçacıkların düzensizliği ve örgü kusurları gösterilir[59,60].

## 6.6 GaS İnce Filminin I-V Karakteristiği

Cam üzerinde büyütülen GaS ince filminin, I-V ölçümlerinde, iki tane EXTECH INSTRUMENT MULTİVIEW 110 modelindeki multimetre, bir tane KEITHLEY 6486 PICOAMMETER modelinde piko-ampermetre, bir tane PASCO SCIENTIFIC SF-9585 A modelinde güç kaynağı kullanıldı. Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filmlerinin bir yüzeyi üzerinde çok küçük bir mesafe aralığında (1 mm) gümüş pasta ile gümüş iletken telleri birbirine paralel olarak kontak yapıldı. Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filmlerinin karanlık ve beyaz ışıkla uyarılmış durumlarda akım-gerilim ölçümleri yapıldı. Bu ölçümlerin sonuçları Şekil 6.10'da verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi karanlık ve ışıklı iletkenliğin arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Buradan cam alt taban üzerinde CBD yöntemiyle büyüttüğümüz bu GaS ince filminin fotoduyarlılığının olmadığını göstermektedir.



Şekil 6.10 Cam taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin I-V karakteristiği

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

- 1) İlk kez Galyum Sülfür (GaS) yarıiletken ince filmi, Kimyasal Banyo Depolama yöntemi (CBD) ile cam alt taban üzerinde büyütüldü. CBD metodu ucuz, basit ve kontrol edilebilir parametrelere sahip olduğundan dolayı tercih edildi.
- 2) Cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin SEM görüntülerinden, taneciklerin yüzeyde homojen dağılmadığını ve bu taneciklerin GaS nanoparçacıklarından oluştuğu görüldü.
- 3) Yapılan XRD analizinde, GaS ince filminin polikristal yapıda olduğu görüldü. Bununla birlikte  $2\theta=22.9^\circ$  deki XRD piki GaS için temel karakteristik pik olup hegzagonal yapıyı göstermektedir.
- 4) Yapılan soğurma ölçümleri sonucunda, cam alt taban üzerinde büyütülen GaS ince filminin yasak enerji aralığı  $E_g=2.53$  eV olduğu bulundu.
- 5) GaS ince filminin optik soğurma sınırında soğurma katsayısının foton enerjisi ile üstel değiştiği gösterir ve Urbach enerji 1.93 eV olarak bulunmuştur.
- 6) Cam alt taban üzerinde CBD yöntemiyle büyüttüğümüz bu GaS ince filminin fotoduyarlılığının olmadığını görüldü.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.teknoturk.org/docking/yazilar/tt000019-yazi>. (Erişim tarihi:15.03.2011).
- [2] Steiner, T., “Semiconductor Nanostructure for Optoelectronic Applications”, Artech House Inc. s2-s3 (2004).
- [3] Akaltun, Y., “ CdSe, ZnSe ve Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub> Yarıiletken İnce Filmlerin SILAR Tekniği ile Büyütülmesi, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [4] <http://www.matokulu.com/index.php/haberler/1-son-haberler/267-turkiyenin-yenigozdesi-yari-iletken-teknolojisi.html>(Erişim tarihi: 15.03.2011).
- [5] Kılınç, T., “Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>S İnce Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [6] Kavgacı, M., “Kimyasal Banyo Yöntemiyle Üretilen XSe (X=Zn,Cu,Mn) İnce Filmlerinde XRF Ölçümler”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [7] Erdoğan, Z.,“Yarıiletken ZnSe İnce Filmlerin Optik ve İletkenlik Özellikleri”,Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.
- [8] Nicolau, Y.F.,“Solution deposition of thin solid compound films by a successive ionic- layer adsorption and reaction process”,Appl. Sur. Sci., s1061-s1074 (1985).
- [9] Türkmen, C., “Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemi ile CdS, ZnS ve PbS Yarıiletken Nano Yapıların Üretilmesi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

- [10] L.Azaroff et al ,“X-Ray Diffraction, McGraw-Hill Book Company”, New York, s664 (1974).
- [11] Basu, P.K. “Theory of Optical Processes in Semiconductors”, Oxford University Press, New York, s448 (1997).
- [12] H.M. Pahtan et al,“Preparation and characterization of indium selenide thin films from a chemical route”, Mater. Chem. and Phys. 93, s16-s20 (2005).
- [13] S.Gopal et al,“Preparation and characterization of electrodeposited indium selenide thin films”, Cryst. Res. Tec., s557-s562 (2005).
- [14] Dönmez, M., “ GaSe ince filmlerinin büyütülmesi ve fiziksel özelliklerinin araştırılması”,Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,2009.
- [15] R.S. Mane et al, Chemical deposition method for metal chalcogenide thin films”, Mater. Chem. and Phys. s1-s31 (2000).
- [16] H.M. Pathan, C.D. Lokhande,“Deposition of Metal Chalcogenide Thin Films by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) Method”, Bull. Mater. Sci., Vol. 27, No. 2, s85–s111 (2004)
- [17] N.Barreau et al,“Investigation of  $\beta$ -In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> growth on different transparent conductive oxides”, Appl. Sur. Sci. 161, s120–s126 (2000).
- [18] L. Bhira et al,“Structural and photoelectrical properties of sprayed  $\beta$ -In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin films”, Phys. Stat. Sol. 181, s427–s435 (2000).
- [19] N.Barreau et al,“Optical properties of wide band gap indium sulphide thin films obtained by physical vapor deposition”, Phys. Stat. Sol. (a) 1, s179–s186 (2001).

- [20] Seyam, M.A.M., "Optical and electrical properties of indium monosulfide (InS) thin films", *Vacuum* 63, s441–s447 (2001).
- [21] J. Theresa et al, "Characterization of spray pyrolysed indium sulfide thin films", *Semiconductive Science and Technol.* 18, s491–s500 (2003)
- [22] H.M. Pahtan et al, "Some studies on successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) grown indium sulphide thin films", *Mater. Res. Bulletin*, s1018-s1023 (2005).
- [23] A. Timoumi et al, "Fabrication and characterization of  $\text{In}_2\text{S}_3$  thin films deposited by thermal evaporation technique", *Thin Solid Films* s124–s128 (2005).
- [24] M. Calixto-Rodriguez et al, "Optoelectronic properties of indium sulfide thin films prepared by spray pyrolysis for photovoltaic applications", *Thin Solid Films* s133–s137 (2005).
- [25] R. Yoosuf et al, "Optical and photoelectrical properties of  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  thin films prepared by two-stage process", *Solar Energy Materials & Solar Cells* 89, s85–s94 (2005).
- [26] R. Jayakrishnan et al, "Defect analysis of sprayed  $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$  thin film using photoluminescence studies", *Semicond. Sci. Technol.* 20, s1162–s1167 (2005).
- [27] Xi-ying C. et al, "Gallium sulfide thin film grown on GaAs (1 0 0) by microwave glow discharge", *Journal of Crystal Growth* 173 s51-s56 (1997).
- [28] Mike R. Lazell et al, "Deposition of thin films of gallium sulfide from a Novel single-Source Precursor,  $\text{Ga}(\text{S}_2\text{CNMeHex})_3$ , by Low-Pressure Metal-Organic Chemical Vapor Deposition", *Chem. Mater.* 11, s3430-s3432 (1999).



- [29] E. Cuculescu et al, “Optical and Photoelectrical Properties of GaS and CdTe Thin Films, Components of GaS/CdTe Heterojunctions”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* Vol.8, No.3, s1077-s1081 (2006).
- [30] A.A. Attia, “Space- Charge- Limited Currents in Evaporated GaS Thin Films”, *Egypt. J. Sol.*, Vol.24, No 2, (2001).
- [31] C.Valentina et al, “On the luminescence of GaS (Cu) single crystals”, *Journal of Luminescence* 101, s71-s77, (2003).
- [32] Durmuş, U., “Yarıiletken Kristallerinin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [33] G.A. Gamal et al, “Photoelectric studies of gallium monosulfide single crystals”, *J. of Phys. and Chem. of Solid* 66 s5-s10 (2005).
- [34] P.A. Hu et al, “GaS multi- walled nanotubes” . *Organic solids laboratory, Institute of chemistry, Chinese* (2007).
- [35] Allakhverdiev, K.R., “Two – photon absorption of femto second laser pulses in GaS crystals”, *Optics Communications* 149 , s64-s66 (1998).
- [36] H. Kamimura, K.Nakao “Band structures and optical properties of semiconducting layered compounds GaS and GaSe”, *Journal of the physical society of japan*, Vol.24, No.6, June (1968)
- [37] K. Chopra et al, “Thin Film Device Applications”, *Plenum Pres, New York*, 244s. (1983)

[38] Sahin, S.,“Geleceğin enerji kaynağı ince film fotovoltaik güneş pilleri”  
[http://www.emo.org.tr/ekler/e05d6f828574fbc\\_ek.pdf?dergi=167](http://www.emo.org.tr/ekler/e05d6f828574fbc_ek.pdf?dergi=167)) (Erişim tarihi:  
18.03.2010)

[39] Kundakçı, M., “ $\text{In}_2\text{S}_3$  , CdS ve  $\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$  Yarıiletken İnce Filmlerin SILAR  
Metodu ile Büyütülmesi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi ,  
FenBilimleri Enstitüsü, 2007.

[40] K. Seshan, “Hand Book of Thin Film Deposition Processes and Techniques”,  
Noyes Publication, USA, (2002).

[41]<http://etd.rau.ac.za/theses/available/etd08172004113758/restricted/Chapter2.pdf>  
(Erişim tarihi: 13.03.2011)

[42] Lokhande C.D. et al, “Modified Chemical Deposition and Physico-Chemical  
Properties of Copper (I) Selenide Thin Films”, Appl. Sur. Sci. 211 s48–s56 (2003)

[43] Pathan H.M., et al, “Preparation and Characterization of Copper Telluride Thin  
Films by Modified Chemical Bath Deposition (M-CBD) Method”, Appl. Sur. Sci. 218  
s290–s296 (2003).

[44] Kannianen,T., “Studies of Zinc and Lead Chalcogenide Thin Films Grown by  
SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) Technique”, University of  
Helsinki, Faculty of Science Department, Inorganic Chemistry, (2001).

[45] <http://www.people.man.ac.uk/~mbdssp02/cbd.html> (Erişim tarihi: 10.03.2011).

[46] D. Lincot, G. Hodes, “Overview of History and Present Trends of Chemical Bath  
Deposition”, Department of Materials and Interface, Weizmann Institute of Science  
Israel, (2006)

[47] Hodes, G., “Chemical Solution Deposition of Semiconductor and Non-Metallic Films”, ISBN 1-56677-433-0 Electrochemical Society NOVA editor (2006)

[48] Reece.J. P., “New nanotechnology research”, ISBN 1-60021-213-1 Nova Science Publisher, Canada,(2006).

[49][http://host.nigde.edu.tr/hytem/YAYINLAR/ELEKTRON%20TARAMALI%20M%20C4%B0KROSK OP%20\\_SEM.pdf](http://host.nigde.edu.tr/hytem/YAYINLAR/ELEKTRON%20TARAMALI%20M%20C4%B0KROSK%20OP%20_SEM.pdf) (Erişim tarihi: 16.05.2011)

[50][http://www.anadolu.edu.tr/emk18/bilgi/MMF.2MKSB\\_Layolayout%201.pdf](http://www.anadolu.edu.tr/emk18/bilgi/MMF.2MKSB_Layolayout%201.pdf)(Erişim tarihi: 16.05.2011)

[51] [http://www.fizik.us/katihaf-fizigi/x-isininlari-kirinimi-deneysel\\_yontemleri.html](http://www.fizik.us/katihaf-fizigi/x-isininlari-kirinimi-deneysel_yontemleri.html) (Erişim tarihi: 14.05.2011)

[52] M. Dhanam et al, “High-Temperature Conductivity in Chemical Bath Deposited Copper Selenide Thin Films”, Journal of Crystal Growth s425-s435, (2005).

[53] Çelik, G., Şafak H., “Bir Cam Malzemenin Kırılma İndisinin Elipsometrik Yöntemle Belirlenmesi”,S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, Sayı 20, s39-s47, Konya, 2002.

[54] R.S. Mane et al,“A Chemical Method For The Deposition of Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Thin Films From A Non-Aqueous Bath”, Thin Solid Films 359 s136-s140, (2000)

[55] Atsam, A., “InSe İnce Filmlerin SILAR Yöntemiyle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu”,Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006

[56] B.R.Sankapal et al, “Preparation and Characterization of Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Thin Films Deposited by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) Method”, Appl. Sur. Sci. 187 s108-s115,(2002).

[57]<http://www.scribd.com/doc/6705910/UvVeGorunurBolgeMolekulerAdsorpsyonu?autodownload=pdf> (Erişim tarihi: 16.05.2011)

[58] Kara, K., “Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi ile P-Tipi ZnO (Çinko Oksit) Üretimi ve Yapısal Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008

[59] B. Pejova, “Analysis of the shape of spectral dependence of absorption coefficient and stationary photoconductivity spectral response in nanocrystalline bismuth(III) sulfide thin films”, Mater. Res. Bull., 43, 2887, (2008).

[60] B. Pejova, “The Urbach–Martienssen absorption tails in the optical spectra of semiconducting variable-sized zinc selenide and cadmium selenide quantum dots in thin film form”, Mater. Chem. Phys., 119, 367, (2010).

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Tarık BAYDAR  
Doğum Yeri :Merkez / Ardahan  
Doğum Tarihi :1984  
Medeni Hali :Bekâr  
Yabancı Dili :İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Orhaneli Anadolu Lisesi- 2003  
Lisans :Kafkas Üniversitesi - 2008  
Yüksek Lisans :Kafkas Üniversitesi - 2011