

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

GaSe İNCE FİLMLEİNİN FARKLI TABANLAR ÜZERİNDE SİLAR
YÖNTEMLİYLE BÜYÜTÜLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Yunus ALKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

EYLÜL-2012
KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Yunus ALKAN'ın Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT'un danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "GaSe İnce Filmlerinin Farklı Tabanlar Üzerinde SILAR Yöntemiyle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

10.09.2012

Adı ve Soyadı

İmza

Başkan : Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

Üye : Prof. Dr. Hasan MAMMADOV

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kıvılcım ŞENDİL

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 GaSe ince filmi, SILAR (Modifiye Kimyasal Banyo Depolama) yöntemiyle farklı alt tabanlar üzerinde büyütüldü. GaSe ince filmlerinin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri araştırıldı.

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

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

Kars, 2012

Yunus ALKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. III-VI GRUBUNA AİT BİLEŞİK YARIİLETKEN İNCE FİLMLER	3
3. DENEYSEL YÖNTEMLER	5
3.1 GaSe Alt Tabanların Elde Edilmesi.....	5
3.1.1 Eriyikten Kristal Büyütme.....	5
3.1.1.1 Dikey Bridgman (Bridgman-Stockbarger) Metodu.....	6
3.2 İnce Filmlerin Elde Edilmesi.....	7
3.2.1 Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD) Yöntemi (SILAR).....	7
3.3 Elektriksel ve Optiksel Karakterizasyon.....	10
3.3.1 I-V Ölçüm Sistemi.....	10
3.3.2 Optik Soğurma ve GaSe İnce Filmlerinin Yasak Enerji Aralığının Belirlenmesi.....	10
3.4 Yapısal ve Yüzey Morfolojik Özellikler.....	13
3.4.1 X-Işını Kırınımı.....	14
3.4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	15
3.4.3 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	16
4. MATERYAL METOT	19
4.1 Galyum Selen İnce Filminin M-CBD Metoduyla Büyütülmesi.....	19
4.1.1 Alt tabanların hazırlanması.....	19
4.1.2 Anyonik çözeltinin hazırlanması.....	19
4.1.3 Katyonik çözeltinin hazırlanması.....	20
4.1.4 GaSe ince filminin büyütülmesi.....	20
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
5.1 Yapısal Özellikler.....	22
5.2 Morfolojik Özellikler.....	23

5.3 GaSe İnce Filmlerinin Kalınlıklarının Hesaplanması	25
5.4 GaSe İnce Filmlerinin Optik Soğurma Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları	26
5.5 Elektriksel Ölçümler.....	29
5.5.1 GaSe Kristalinde Elektrolüminesans ve Fotolüminesans Etkileri	32
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

ÖZET

Bu çalışmada GaSe ince filmleri, Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (M-CBD) kullanılarak farklı alt tabanlar üzerinde elde edildi. GaSe, III-VI tabakalı yarıiletken ailesine ait olup geniş yasak enerji aralığından dolayı optoelektronikte ve fotovoltaik aygıt üretiminde oldukça önemlidir.

M-CBD yarıiletken filmlerin her bir elementinin iyonlarını içeren çözeltiler içerisine, belli bir sıra ile taban malzeme daldırılarak, taban üzerine depolanmasıdır. Bu çalışmada GaSe ince filmleri, 60 daldırma döngüsü kullanılarak 75mm x 26mm x 2mm boyutlu cam alt taban ve GaSe tek kristal üzerinde elde edildi. Cam üzerinde büyütülen ince filmlerin kalınlığı yaklaşık 180 nm olarak bulundu. Cam ve GaSe tek kristal tabanlar üzerinde büyütülen filmler 35°C' de 1 saat tavlandı. Tavlanmış ve tavlınmamış filmlerin yapısal ve yüzey morfolojik özellikleri, XRD ve AFM yöntemi ile çalışıldı. XRD spektrumundan filmlerin kristal yapıda büyüdüğü gözlemlendi. Tavlama sonucunda parçacık boyutunun arttığı görüldü. Filmlerin elektriksel özellikleri I-V karakteristikleri elde edilerek çalışıldı. Normal ortam, karanlık ortam ve aydınlık ortamlarda yapılan elektrik ölçümlerinde, tavlınmış filmlerin elektriksel iletkenliğinin tavlınmamış filmlere göre biraz arttığı görüldü. Filmlerin optik özellikleri UV-VIS spektrometre ile çalışıldı. Soğurma spektrumundan cam taban ve GaSe tek kristal üzerine büyütülen GaSe ince filmlerinin optik bant aralığı sırasıyla 2,01 eV ve 1,96 eV olarak bulundu.

2012, 39 sayfa

Anahtar Kelimeler: GaSe, M-CBD, İnce film

ABSTRACT

In this study, GaSe thin films were grown on different substrate by the Modified Chemical Both Deposition (M-CBD) method. Being a member of the III-VI layered semiconductor family, GaSe is an important material in optoelectronics and photovoltaic devices due to its relatively large band gap. The M-CBD method is the deposition of films on appropriate substrates by dipping the substrates into the solutions that contain the respective ions in a sequence.

In this thesis, GaSe thin films were grown on GaSe single crystal substrates and on glass substrates of 75mm x 26mm x 2mm dimension with a 60 dipping cycles. The thickness of the film grown on glass substrates were determined to be around 180 nm. GaSe films grown on both substrates were annealed at 35⁰ C for 1h. The structural and morphological properties of as grown and annealed films were studied by XRD and AFM. From the XRD spectra, it was observed that GaSe films grew as crystalline form. The particle size was found to increase in annealed samples. The electrical properties of films were studied by obtaining the I-V characteristics. Measurements conducted in normal, dark and illuminated environments showed that the conduction of annealed samples was slightly higher than that of as grown films. The optical properties of GaSe thin films were studied by UV-VIS spectrometer. From the optic absorption spectra, the band gaps of GaSe thin films grown on glass substrate and GaSe crystalline substrate were 2,01 eV and 1,96 eV, respectively.

2012, 39 page

Key Words: GaSe, M-CBD, Thin film

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

α	Soğurma katsayısı
E_g	Yasak enerji aralığı
k	Dalga vektörü
h	Plank sabiti
n	Kırılma indisi
Γ	Gama fonksiyonu
M	Molar
ν	Frekans
T	Sıcaklık
N	Durum yoğunluğu
k_b	Boltzmann sabiti
σ	İletkenlik

2. Kısaltmalar

M-CBD	Modifiye Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi
XRD	X-Işını Kırınımı
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CBD	Kimyasal Banyo Depola Yöntemi
MBE	Moleküler Demet Epitaksi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
STM	Taramalı Tünelleme Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Bridgman fırınının şematik gösterimi ve sıcaklık gradyanı.....	6
Şekil 3.2 (a) Bridgman metodunda katılaşma süreci (b) Isı dağılımı.....	7
Şekil 3.3 M-CBD deney düzeneği.....	8
Şekil 3.4 M-CBD metodunun büyütme aşamaları.....	9
Şekil 3.5 Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi.....	11
Şekil 3.6 X-Işınının bir kristalde kırınımı.....	14
Şekil 3.7 Taramalı elektron mikroskobunun şematik yapısı.....	16
Şekil 3.8 AFM'nin çalışma prensibi.....	17
Şekil 3.9 Uç-numune arasındaki van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi.....	18
Şekil 4.1 GaSe filminin büyütülmesindeki kimyasal mekanizma.....	21
Şekil 4.2 GaSe ince filminin M-CBD yöntemiyle elde edilmesi.....	21
Şekil 5.1 Cam taban üzerine büyütülen tavllanmış ve tavlınmamış GaSe ince filminin XRD spektrumları.....	22
Şekil 5.2 GaSe tek kristali ve bu kristal üzerinde büyütülmüş GaSe ince filminin XRD spektrumu.....	23
Şekil 5.3 Cam alt taban üzerine büyütülmüş GaSe ince filminin AFM görüntüsü.....	24
Şekil 5.4 Cam alt taban üzerine büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüsü.....	24
Şekil 5.5 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin AFM görüntüsü.....	25
Şekil 5.6 GaSe kristali üzerine büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüsü.....	25
Şekil 5.7 Cam taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.....	27
Şekil 5.8 Cam taban üzerinde büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.....	27
Şekil 5.9 Alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristalinin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.....	28

Şekil 5.10 GaSe tek kristali üzerinde büyütülen GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.....	28
Şekil 5.11 GaSe tek kristali üzerinde büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.....	29
Şekil 5.12 Cam üzerinde büyütülen GaSe ince filminin I-V karakteristiği.....	30
Şekil 5.13 Cam üzerinde büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin I-V karakteristiği...	30
Şekil 5.14 Cam üzerine büyütülen GaSe ince filminin 94–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.....	31
Şekil 5.15 Cam üzerine büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin 124–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.....	32
Şekil 5.16 GaSe tek kristalinin I-V karakteristiği.....	33
Şekil 5.17 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin I-V karakteristiği.....	33
Şekil 5.18 GaSe kristalinin 152–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.....	34
Şekil 5.19 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin 194–275 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.....	34
Şekil 5.20 GaSe kristali için $\log \sigma - 10^3/T$ grafiği.....	35
Şekil 5.21 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filmi için $\log \sigma - 10^3/T$ grafiği.	35

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa No

Resim 3.1 I-V ölçüm sistemi.....	10
Resim 3.2 Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sistemi .	13
Resim 3.3 D8 Advanced XRD cihazı.....	14

1. GİRİŞ

Yarıiletken tarihi, 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Yarıiletken fiziğinin gelişimi uygulamadaki ihtiyaçlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yarıiletken fiziği ile ilgili bilgiler bu konu ile uğrasan fizikçilerin yanı sıra diğer uzmanlara, özellikle mühendislere gereklidir. Günlük yaşantımızda hemen her alanda kullandığımız yarıiletken aygıtlar içerisinde önemli bir yere sahip olan ince filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel analizlerinin yapılması bilimsel açıdan son derece önemlidir. Yarıiletkenler, gerçekleşen gelişmelerle birlikte endüstride, uzay araçlarında ve tıp gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yarıiletken malzemelerin renkli televizyon tüpünde kullanılmasından dolayı büyük ilgi toplamıştır. Günümüzde yarıiletken malzemelerin fotodiyod, transistör, lazer, sensör, güneş pili, gösterim cihazları, optik iletişim sistemleri ve askeri savunma teknolojisinde kullanımları oldukça yaygındır. Ayrıca yarıiletken ince filmlerin; manyetik film, mikro elektronik aygıt, girişim filtre gibi birçok alanda uygulamaları vardır. 20. yüzyıl insanoğlunun enerji kaynaklarına bakış açısının değişmeye başladığı bir yüzyıl olmuştur. Petrol ve diğer fosil yakıtların tükenmeye başlaması; çevre kirliliği ve buna paralel olarak gelişen çevre bilinci gibi etkenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Yeni enerji kaynağı arayışına giren insanoğlu, mevcut diğer enerji kaynaklarına göre kıyaslanamayacak kadar uzun ömürlü, bitmek tükenmek bilmez bir kaynak olarak gözükken güneşi keşfetmiş ve bu kaynaktan yararlanabilmek için yoğun bir araştırma temposuna girmiştir. Bu arayışın sonucunda, güneş enerjisinin günlük hayatta kullanılması isteği ile güneş pilleri bulunmuştur. Bir güneş pili, güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren bir p-n eklemidir. Güneş pillerinin yapımı bir ölçüde kolay olup, kullanımına bağlı olarak uzun ömürlü olmaları, yüksek verim için sıcaklık gerektirmemeleri, verdikleri enerjiye göre kütlelerinin küçük olması, atıkları ve çevreye zararlarının olmaması ve çok kolay taşınabilme gibi özellikleri güneş pillerinin kullanım alanını gün geçtikçe arttırmaktadır[1].

19. yüzyıldan bu yana birçok metotla üretilen yarıiletken ince filmler, teknolojinin ve bilimin bugünkü seviyeye gelmesinde önemli bir yer tutmuştur. Başlarda metal ince filmler cam ve seramik üzerinde dekorasyon amaçlı kullanılmıştır. Daha sonraları gümüş tuzları kullanılarak cam yüzeyler üzerinde gümüş filmleri elde edilmiştir. İlk metal filmler 1838' de elektroliz yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra, 1852' de

Grove “glowe-discharge sputtering” yöntemi ile elde etmiş, 1857 yılında Faraday asal gaz içerisinde buharlaştırma yöntemi ile elde etmiştir. 1887’ de Nahrwald vakum oluşturmak için “Joule ısıtması” kullanarak platin ince filmleri elde etmiş ve Kundt bir yıl sonra aynı yöntemle ince filmler elde etmiştir[2]. Teknolojinin gelişmesiyle beraber günümüzde bazı modern cihazlar yapılmıştır. Bu modern cihazların kullanılmasıyla çeşitli ince filmler elde edilmiş, elde edilen filmlerin optiksel ve elektriksel özellikleri araştırılmaya başlanmıştır. İnce filmlerin kullanım alanları gelişen teknolojiyle beraber çok çeşitlenmektedir. İnce filmler elektronik ve optoelektronik endüstrisinin belkemiğini oluşturmuştur. Bu alanlarda kullanılan diyotlar ve diğer birçok cihaz yarıiletkenlerin ya da elektroluminesans özelliği gösteren maddelerin ince tabakalarından oluşturulmuştur. Böylece, bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar günlük hayatımızda sıkça kullandığımız cihazların yapımında ince filmler önemli bir yere sahip olmuşlardır. İnce filmler ayrıca, medikal, askeri ve daha birçok amaç için kullanılan sensörlerin de temelidir. Yarıiletken ince filmler üç temel yöntemle elde edilmektedirler.

- 1) Tek katlı epitaksiyel (homoepitaksiyel) filmler; aynı cins taban üzerine tek kristal formunda büyütülür.
- 2) Çok katlı epitaksiyel (heteroepitaksiyel) filmler; farklı cins tek kristal taban üzerine büyütülürler.
- 3) Polikristal filmler; genellikle amorf (cam, mika vs.) tabanlar üzerine büyütülürler.

Homoepitaksiyel ve heteroepitaksiyel filmler ileri teknolojinin kullanımı ile elde edilen maliyeti yüksek filmlerdir. Birçok çalışmada bu yüzden daha düşük maliyetli ve pratik olarak elde edilen polikristal filmler tercih edilmektedir. Polikristal filmler optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle güneş pili, yarıiletken detektör gibi birçok uygulama alanı olan basit ve farklı yöntemlerle elde edilen yarıiletken materyallerdir. Yapılan çalışmalarda kalınlığı 1 μm ’ den küçük olan filmler ince film, büyük olanlar ise kalın film olarak adlandırılmaktadır[2].

2. III-VI GRUBUNA AİT BİLEŞİK YARIİLETKEN İNCE FİMLER

G.B Sakr tarafından yapılan çalışmada, GaSe ince filmleri termal buharlaştırma tekniği ile oda sıcaklığında karbon ve cam alt taban üzerine büyütülmüştür. X-Işını spektrumundan tavlınmamış ve 475°C sıcaklıkta vakum altında tavlınmış filmlerin amorf yapıda olduğu görüldü. Karbon taban üzerinde büyütülmüş $Ga_{0.98}Se_{1.02}$ filmlerinin saniyede 1,8 nm oranında biriktiği belirlenmiştir. Filmlerin optiksel ve yansıma spektrumu 600–3000 nm aralığında normal ışıpta elde edilmiştir. Metal-Yarıiletken-Metal sisteminin I-V karakteristiklerinin omik davranış gösterdiği fakat Al-GaSe-In sisteminin omic davranış göstermediği gözlenmiştir. Filmlerin dolaylı optiksel geçiş verilerinden optik bant aralığı 1,8 eV olarak bulunmuştur. Ayrıca ince filmlerin 350 K' nin altındaki sıcaklıklarda düşük iletkenlik gösterdiği fakat 350–475 K aralığındaki sıcaklıklarda ise iletkenliğin arttığı görülmüştür[3].

Masanori Ohyama ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada polikristal GaSe filmler silika alt taban üzerinde 723–873 K' de, amorf GaSe ise 720 K ' nin altında püskürtme yöntemiyle elde edilmiştir. Amorf GaSe kötü iletkenlik gösterirken polikristal GaSe ise "p" tipi iletkenlik göstermiştir. Optik soğurmada amorf GaSe dolaylı geçişe uyup optik bant aralığı 1.8 eV olarak bulunmuş, polikristal GaSe ise direk bant geçişine sahip olup yasak enerji aralığı 1.83–1.96 eV aralığında bulunmuştur. Püskürtme yöntemiyle elde edilen GaSe ince filmlerinin XRD analizinde 353 K ve 573 K sıcaklığında hazırlanan numunelerinin dağınım piki olmaksızın amorf yapıda olduğu görülüp, bunların 723 K ve 873 K sıcaklığındaki polikristal yapılarının ise güçlü bir dağınım pikine sahip olduğu görülmüştür[4].

M.Thamilselvan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada GaSe ince filmlerini vakum buharlaştırma tekniği ile elde etmişlerdir. Optik soğurmada tekli GaSe filminin dolaylı izinli ve yasaklı direk geçişe uyduğu görülmüştür. Tekli GaSe'nin düşük elektrik alandaki deneysel sonuçlarının analizinde Mott tipi bir iletimin yaygın olduğu görülmüştür. GaSe ince filmlerinin durum yoğunluğu $N(E_f) = 1,686 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$, aktivasyon enerjisi ise 0,317 eV olarak bulunmuştur. I-V karakteristiğinde SCLC (Uzay Yük Sınırlı Akım) bölgesinde durum yoğunluğu $N(E) = 1,04 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$ olarak bulunmuştur[5].

M.Thamilselvan ve arkadaşları yaptıkları diğer bir çalışmada, vakum buharlaştırma tekniği ile elde ettikleri GaSe ince filmlerinin yapısal, lineer soğurma ve durum yoğunluğu üzerine alt taban sıcaklığının etkilerini araştırmışlardır. XRD analizinden, yüksek alt taban sıcaklığında (573 K) büyütülmüş filmlerde amorf-polikristal dönüşümünün meydana geldiği görülmüştür. Film kalınlığı çoklu ışın spektrometresi yardımıyla 175 nm olarak bulunmuştur. GaSe ince filminin foton enerji aralığı 1.0–4.0 eV olarak bulunmuştur. Optik soğurma ölçümlerinde GaSe ince filmlerinin dolaylı izinli geçişe ve yasaklı direk geçişe sahip olduğu görülmüştür. Düşük elektrik alanda amorf GaSe ince filminin durum yoğunluğu $N(E_f) = 1.86 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$, çok kristalli GaSe ince filminin ise $N(E_f) = 1.257 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$ olarak bulunmuştur[6].

M.Thamilselvan ve arkadaşları yaptıkları başka bir çalışmada, vakum buharlaştırma tekniği ile elde edilen amorf ve çok kristalli GaSe ince filmlerinin, Al-GaSe-Al sandviç yapılar kullanılarak dc elektrik iletimi üzerine çalışmışlardır. Düşük elektrik alanda ($2.2 \times 10^5 \text{ V cm}^{-1}$) 250–310 K sıcaklık aralığında amorf filmlerde ve 190–250 K sıcaklık aralığında polikristal filmlerde Mott tipi iletim olduğunu gözlemlemişlerdir. Amorf ve polikristal GaSe ince filmlerinin durum yoğunluklarını sırasıyla $N(E_f) = 1.686 \times 10^{17}$ ve $1.257 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Amorf ve Polikristal GaSe ince filmlerinin aktivasyon enerjileri ise sırasıyla 0.317 ve 0.087 eV olarak bulunmuştur. Yapılan I-V ölçümlerinde, amorf ve çok kristalli GaSe ince filmlerinin Fermi seviyesine doğru iletim bandının ucundan itibaren durum yoğunluğunun eksponansiyel olarak azaldığını görmüşlerdir[7].

3. DENEYSEL YÖNTEMLER

3.1 GaSe Alt Tabanların Elde Edilmesi

Yarıiletken bileşikler üzerinde yapılan araştırmaların ilk basamağını istenilen bileşiğe ait tek kristallerin sentezlenmesi oluşturur. Kristal büyütme işlemi olarak adlandırılan bu süreç, yüksek saflıkta ya da istenilen kirlilik konsantrasyonunu ihtiva edecek özel bir katılama düzeyinde kristalin büyütülmesini amaçlar. GaSe tek kristallerini birkaç değişik yöntemle elde etmek mümkündür. Bu yöntemlerden bir tanesi Eriyikten Kristal Bytmedir[8].

3.1.1 Eriyikten Kristal Büyütme

Eriyikten kristal büyütme metotları temel olarak iki biçimde yapılır: (a) Normal katılama ve (b) Bölgesel büyütme metotları. Özel büyütme tekniğinin seçimi, buharlaşabilme veya ayrılabilme, kimyasal etkileşme ve malzemenin erime noktası gibi faktörlere dayanır. Normal katılama metotlarında, katılama sürecinde üretilen ısı uzaklaştırılarak ilk çekirdeğin kontrollü katılama sağlanır. Isının uygun bir havzadan uzaklaştırılması ile sıvı-katı ara yüzeyinde yönelimli bir katılama meydana gelir. Bölgesel büyütme metotlarında, polikristal külçe boyunca erimiş bölgenin hareketi sağlanır. Bölgesel eritme teknikleri, hem kristal büyütme hem de kirliliklerin uzaklaştırılması için kullanılır. Eriyikten kristal büyütme metotları ana hatları ile aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir[8].

A: Normal Katılama Metotları

1. Dikey Bridgman (Bridgman-Stockbarger) Metodu
2. Yatay Bridgman (Bot-Büyütme) Metodu
3. Stockbarger Metodu
4. Czochralski Metodu
5. Kyropoulos Metodu
6. Verneuil Metodu

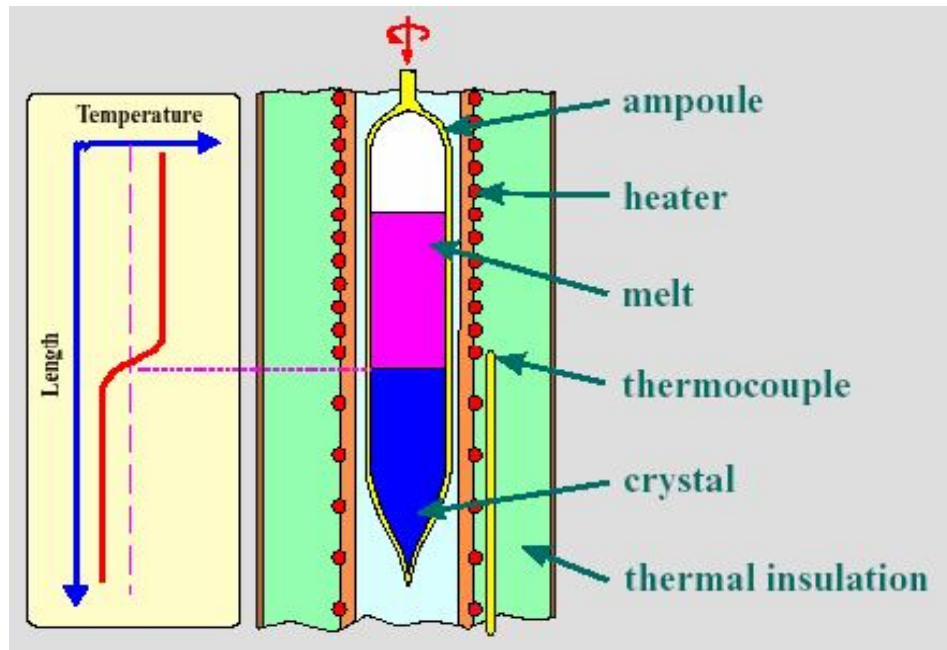
B. Bölgesel Büyütme Metotları

1. Yüzer Bölge Metotları
2. Bölgesel Eritme Metotları

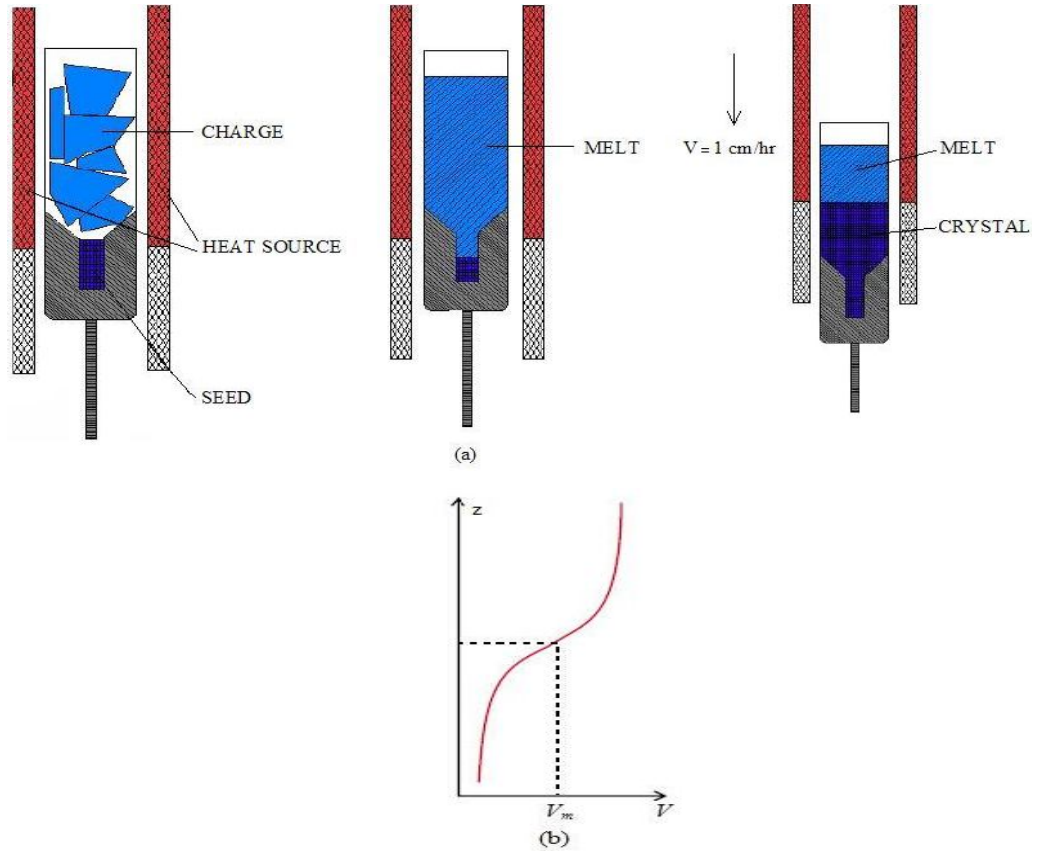
Bu çalışmada eriyikten kristal büyütme tekniklerinden biri olan ve bu tez çalışmasında ince film büyütme için alt taban olarak kullanılacak olan GaSe kristalinin büyütülmesinde kullanılacak olan Dikey Bridgman (Bridgman-Stockbarger) yöntemi[8] üzerinde durulacaktır.

3.1.1.1 Dikey Bridgman (Bridgman-Stockbarger) Metodu

Dikey Bridgman-Stockbarger metodu oldukça kolay olmasından dolayı külçe kristal büyütme için geniş olarak kullanılmaktadır. Bu metotta iyi belirlenmiş bir sıcaklık gradyanına sahip, iki veya üç bölgeli düşey durumda sabit bir büyütme fırını kullanılır. Büyütülecek malzeme kuartz ampul içerisine yerleştirilir. GaSe ve GaS bileşiklerinin çok iyi kristalleri sivri ve düz uçlu ampuller kullanılarak büyütülebilmektedir. Ampul içerisine yerleştirilen malzeme kristal büyütme fırınının sıcak bölgesinde eriyik halindedir. Kristalleşme sürecinin başlaması için fırın ile ampul arasında büyütme ampulünün alt ucunda sıcaklık azalmasıyla sonuçlanan göreceli bir hareket başlar. Dipteki sıcaklık, erime sıcaklığının altına düştüğünde kristalleşme süreci başlar. Sonuç olarak tüm kristal oluşuncaya kadar daha fazla hareketle çok daha fazla materyal katılır. Bu süreç süresince en önemli parametre fırın ve ampuldeki sıcaklık dağılımıdır. Şekil 3.1’de Bridgman fırınının şematik gösterimi ve sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Şekil 3.2 ise Bridgman fırınında ampul içerisindeki katılma sürecini göstermektedir[8].



Şekil 3.1 Bridgman fırınının şematik gösterimi ve sıcaklık gradyanı[8].



Şekil 3.2 (a) Bridgman metodunda katılaşma süreci (b) Isı dağılımı[8].

3.2 İnce Filmlerin Elde Edilmesi

Yarıiletken ince filmlerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler; Termik Buharlaştırma Yöntemi, Püskürtme Yöntemi, Moleküler Demet Epitaksi (MBE) Yöntemi, Daldırma (Dip) Büyütme Yöntemi, Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi ve Modifiye Kimyasal Banyo Depolama(M-CBD) Yöntemi 'dir [9]. Bu tez çalışmasında GaSe ince filmleri Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD) Yöntemi ile büyütüldü.

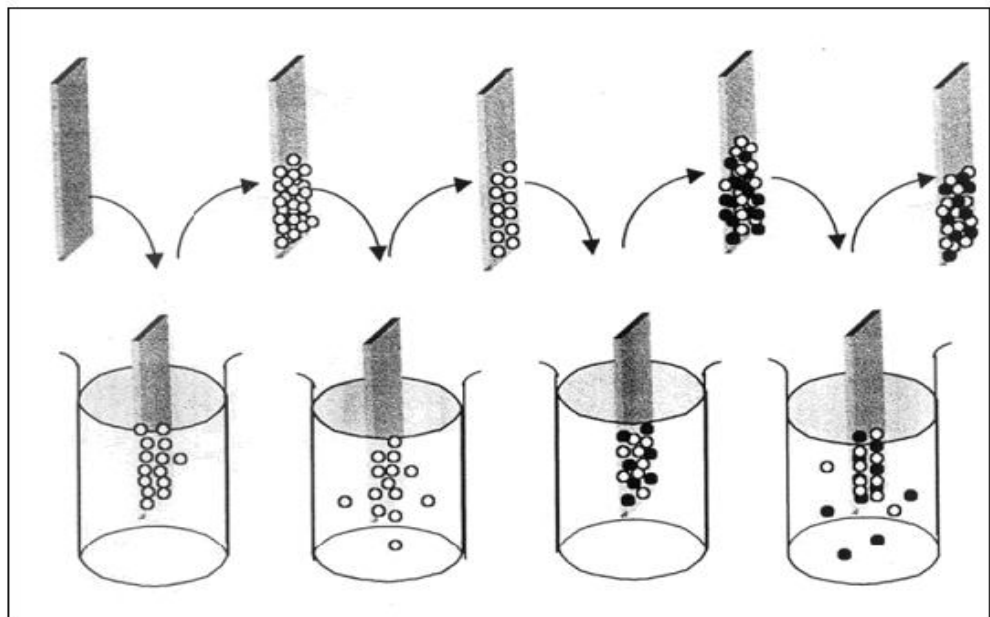
3.2.1 Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD) Yöntemi (SILAR)

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 fazla iyonlar mecburi olarak uzaklaştırılır. Modifiye Kimyasal Banyo Depolama yöntemiyle bir alt taban üzerinde ince film büyötmek için aşağıdaki adımlar gerçekleştirilir:

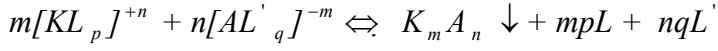
1. Alt taban, katyonik iyon çözeltisine daldırılır. Çözelti içindeki katyon iyonları, alt taban yüzeyine birikir.
2. Alt taban, iki kez distile edilmiş suya daldırılır. Bu esnada fazla katyonlar diğer iyonlarla birlikte uzaklaştırılır.
3. Alt taban, anyon iyon çözeltisine daldırılır. Anyon iyonları daha önce birikmiş 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 büyütölür. M-CBD metodu ile ince film büyütölürken, Şekil 3.3 'de göröldüğü gibi 4 tane beher kullanılır. Birinci beherde katyonik iyon çözeltisi, ikinci ve dördüncü beherlerde iki kez 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[9].

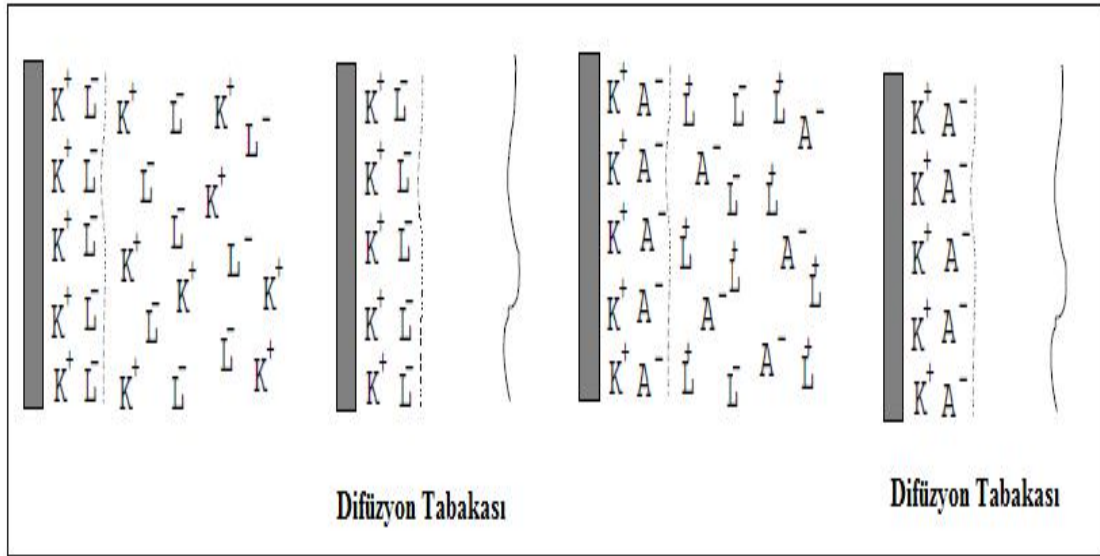


Şekil 3.3 M-CBD deney düzeneği[9].

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, $[KL_p]^{+n}$ kasyonu ve $[AL'_q]^{-m}$ anyonu tepkimeye girer.



M-CBD metodu aşağıda Şekil 3.4 'de görüldüğü gibi dört adımdan oluşur. Bu adımlar, yüzeyde birikme (adsorption), durulama, reaksiyon ve tekrar durulama işlemlerinden oluşur [9].



Şekil 3.4 M-CBD metodunun büyütme aşamaları[9].

Yüzeyde birikme (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 nedenle 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[9].

3.3 Elektriksel ve Optiksel Karakterizasyon

3.3.1 I-V Ölçüm Sistemi

Cam veya farklı bir alt taban üzerinde büyütülen ince filmlerin elektriksel karakteristiklerini anlamamanın en basit ve direkt yolu I-V eğrilerinin elde edilmesidir. Bu tez çalışmasında cam ve GaSe kristali üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin akım-gerilim (I-V) ölçümleri aşağıda resmi verilen ve iki adet Extech Instrument Multiview 110 model multimetre, bir adet Keithley 6486 Picoammeter ve bir adet pasco Scientific SF-9585 A model güç kaynağından oluşan I-V ölçüm sistemi kullanılarak gerçekleştirildi.

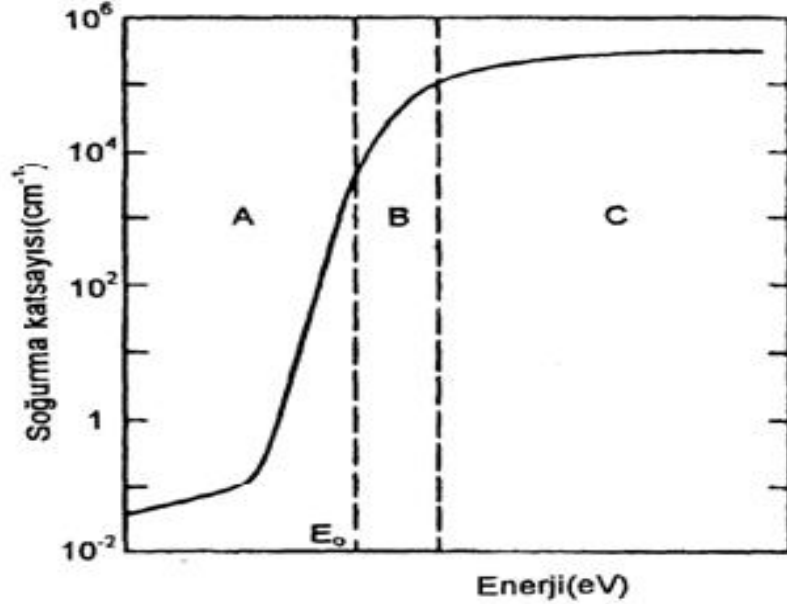


Resim 3.1 I-V ölçüm sistemi.

3.3.2 Optik Soğurma ve GaSe İnce Filmlerinin Yasak Enerji Aralığının Belirlenmesi

Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi Şekil 3.5 de gösterilmektedir. Burada işaretlenen A bölgesi enerji aralığındaki yapı kusurlarının oluşturduğu elektron enerji durumlarına bağlı soğurma olup $\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$ dir. B bölgesi Urbach kuyruğu (urbach tail) denilen valans ve iletim bandı elektron enerji durumlarının uzantılarının oluşturduğu ($1 < \alpha < 10 \text{ cm}^{-1}$) bölgedir. Bu bölgeler arasındaki sınırlar kesin değil, birbirine girmiş haldedir. Yarıiletkenin yasak enerji aralığı B

bölgesine düşer. Ölçülen soğurma katsayısından E_g (optik yasak enerji aralığı) aşağıdaki yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak hesaplanabilir[10].



Şekil 3.5 Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi[10].

1. Türetmenin yapıldığı foton enerjileri aralığında elektron geçiş matrisleri sabittir.
2. k (dalga vektörü) korunumu ya da geçiş kuralı burada geçerli değildir. Amorf yarıiletkenlerde k 'daki belirsizliğin değeri, k 'ya yaklaşır. Bu yaklaşımlarla ω frekansındaki iletkenlik;

$$\sigma(\omega) = \frac{2\pi e^2 \hbar^2}{m^2 \omega} \int N_i(E) N_f(E + \hbar\omega) |D|^2 \quad (3.3.2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $N_i(E)$, başlangıç elektron enerji durumları sayısı $N_f(E)$, $N_i(E)$ 'ye $\hbar\omega$ kadar enerji uzaklığındaki elektron durumlarının sayısı; D , geçiş matrisi; ω , örneğin hacmi; \hbar plank sabiti; m , elektronun kütlesidir. Buna karşılık gelen soğurma katsayısı;

$$\alpha = \frac{4n}{n_0} \sigma(\omega) \quad (3.3.2.2)$$

dir. n_0 kırılma indisini göstermektedir. D matrisi banttan banda geçişin matrisi olduğundan

$$D = n \cdot \left(\frac{\alpha}{n}\right)^2 \quad (3.3.2.3)$$

dir. Burada α ortalama bağ uzunluğudur (atomlar arası uzaklık). Bu tanımlarla (3.3.2.2) eşitliğinden soğurma katsayısı

$$\alpha(\omega) = \frac{8\pi^4 e^2 \hbar a}{n_0 c m} \int \frac{N_i(E) N_f(E + \hbar\omega)}{\hbar\omega} dE \quad (3.3.2.4)$$

şeklinde yazılabilir. İntegrasyon birbirinden $\hbar\omega$ enerjisi kadar farklı enerjideki iletim ve valans (değerlik) bandı elektron enerji durumlarını kapsayacak sınırlarda alınmaktadır. $N_i(E)$ ile gösterilen başlangıç elektron enerji durumları değerlik bandının üst kısmındakiler; $N_f(E)$ 'nin ise iletkenlik bandının alt kısmındakiler olduğu hatırlanır, c bir sabit ve E_A ve E_B örneği özgü iki enerji değeri olmak üzere

$$N_i(E) = N_v(E) = C_1(E_B - E)^p, \quad N_f(E) = N_c(E) = C_2(E - E_A)^s \quad (3.3.2.5)$$

şeklinde yazılabildiği varsayılırsa ve $y = \frac{\vec{E}_A - \hbar\omega - \vec{E}}{\vec{E}_A - \hbar\omega - \vec{E}_B}$ değişken değişmesi ile yukarıdaki eşitlik (3.3.2.4) integrali;

$$\alpha(\omega) = \text{sabit} \left[\int_0^1 (1-y)^p y^s dy \frac{(\hbar\omega - E_0)^{f+s+1}}{\hbar\omega} \right] \quad (3.3.2.6)$$

şeklini alır. Burada $E_0 = E_A - E_B$ 'dir. Parantez içindeki integral, Γ (gama) fonksiyonunu göstermek üzere;

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{(s+1)} \Gamma_{(p+1)}}{\Gamma_{(s+p+2)}} \quad (3.3.2.7)$$

dir. Değerlik bandının üst kesimi ile iletim bandının alt kesimindeki elektron enerji durumları parabolik ise ($s=p=1/2$) soğurma katsayısı integrali;

$$\alpha(\omega) = \frac{\text{sabit}(\hbar\omega - \vec{E}_0)}{\hbar\omega} \quad (3.3.2.8)$$

halini alır. Amorf malzemelerin çoğu, eksponansiyel soğurma kuyrukları dışında olan bölgede bu kurala uyar. Buradan soğurma katsayısının enerji ile çarpımının karekökü, enerjiye göre çizildiğinde kesim noktası E_0 enerjisini verir. Bu ise optik yasak enerji aralığıdır[10].

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 detektörden oluşur. Detektörde elektrik sinyaline çevrilen bir optik sinyal, kaydedici veya bir galvanometre ile ölçülür. Resim 3.2 'de GaSe ince filminin laboratuvarımızda kullandığımız optik soğurma spektrumunun alındığı Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sisteminin resmi verilmektedir.



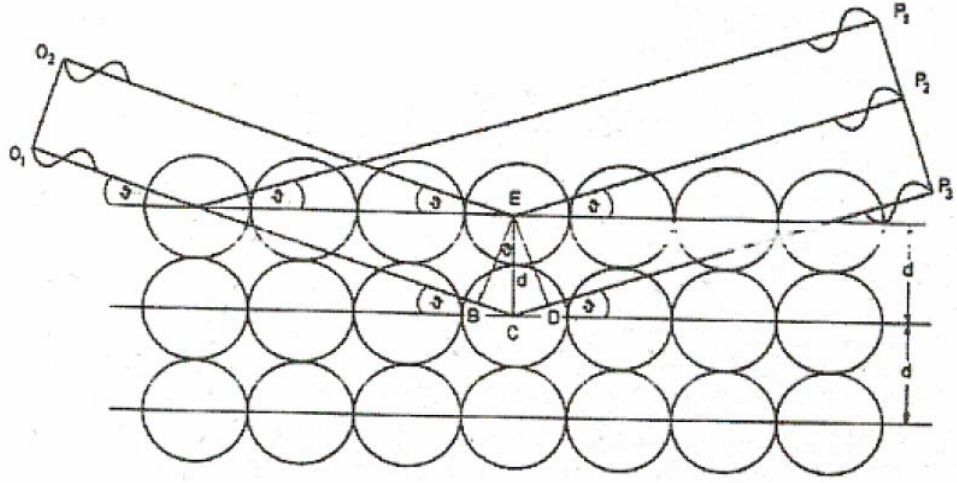
Resim 3.2 Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre sistemi.

3.4 Yapısal ve Yüzeysel Morfolojik Özellikler

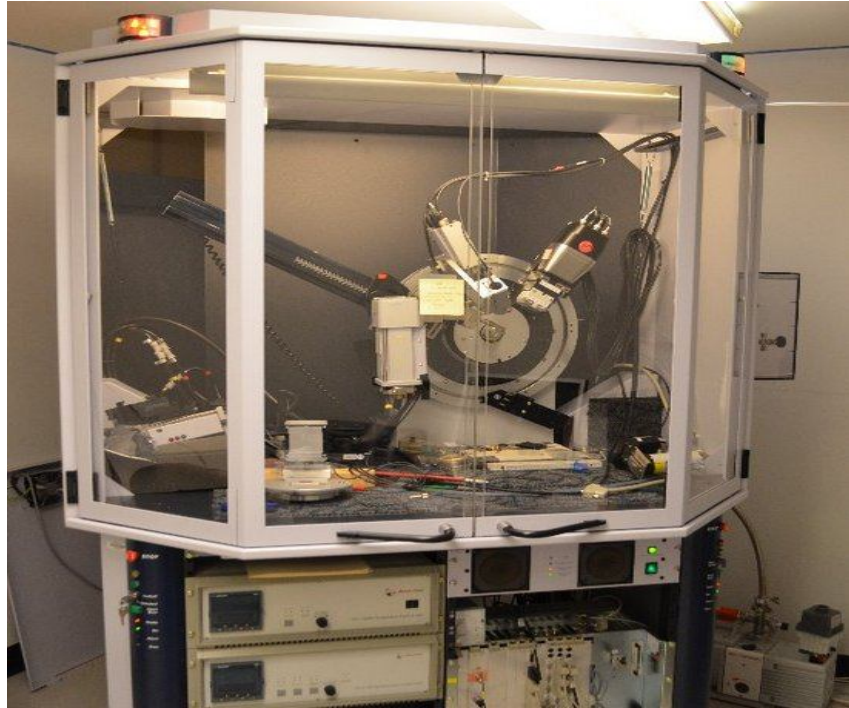
Cam ve GaSe tek kristal üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerin yapısal ve yüzeysel morfolojik ölçümleri; XRD (X Işını Kırınımı), SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) kullanılarak gerçekleştirilir. Aşağıda bu teknikler kısaca verilmektedir.

3.4.1 X-ışını Kırınımı

Bir kristal üzerine gelen X ışınları kristaldeki atomlar tarafından saçılır. Bu girişim ve kırınım olaylarına yol açar. Örneğin; X ışınlarının eşit aralıklarla sıralanmış paralel örgü düzlemleri üzerine θ açısıyla geldiğini varsayalım (Şekil 3.6). Bu durumda ardışık iki düzlemden yansıyan ışınlar arasındaki yol farkı $2d\sin\theta$ olur. Burada “d” düzlemler arası mesafedir. Yapıcı girişim oluşması için, bu yol farkları dalgaboyunun tam katları şeklinde olmalıdır ($2d\sin\theta=n\lambda$, $n=0, 1, 2, 3\dots$). Bu Bragg yasası olarak bilinir[10].



Şekil 3.6 X-ışınının bir kristalde kırınımı[10].

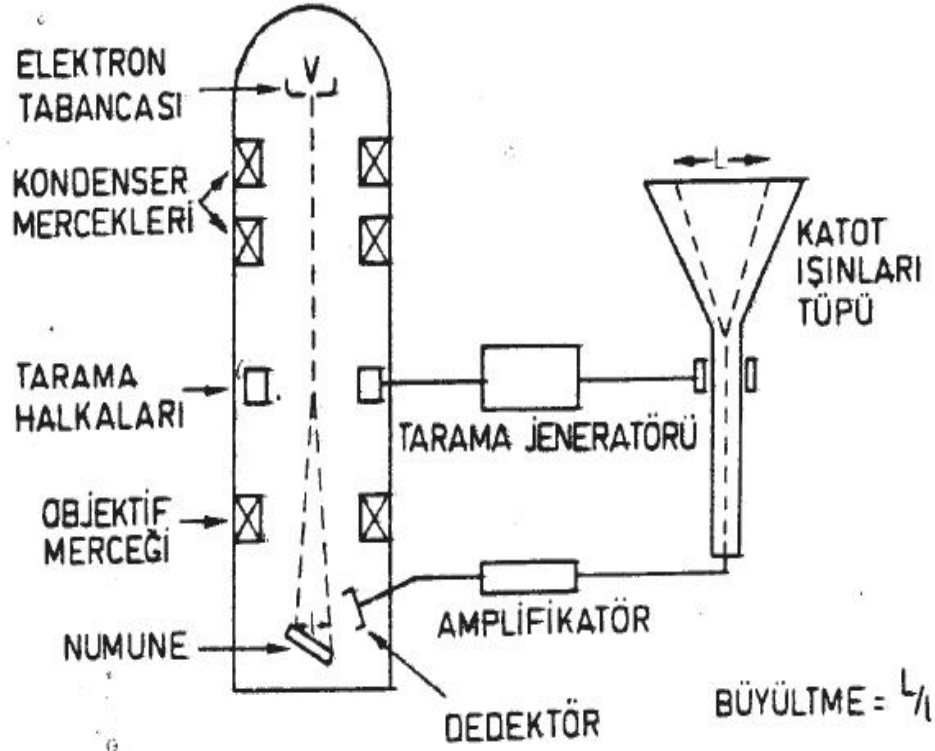


Resim 3.3 D8 Advanced XRD cihazı.

Bu tez çalışmasında ince filmlerin yapısal analizinde kullanılan X-Işını Difraktometresi Resim 3.3' de verilmektedir. Kaynaktan gelen demet göebel ve monokromatör yardımıyla ayrıştırılır. Örneğin, bakır (Cu) tüp için $K_{\alpha 1}$ ışını yüksek çözünürlükte ayırt edilir ve numune düzlemlerine gönderilir. θ - 2θ ve ω - 2θ taramaları ile düzlemlerden gelen girişim desenleri sodyum iyot (NaI) dedektörü tarafından toplanır[11]. Genel olarak malzemelerin XRD spektrumunun analizinden, çalışılan örneğin amorf olup olmadığı, kristal yapılı ise kristal yapısının ne olduğu ve parçacık boyutu gibi bilgiler elde edilebilmektedir.

3.4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarının mercekle değiştirilerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlar geliştirilmiştir. Ancak bu cihazlar, gerek büyütme miktarlarının sınırlı oluşu gerekse elde edilen görüntü üzerinde işlem yapma imkânının olmayışı nedeniyle araştırmacıları bu temel üzerinde yeni sistemler geliştirmeye itmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek büyütmelerde üzerinde işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği cihazlar geliştirilmiştir. Elektrooptik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı elektron mikroskobunun yapısı şematik olarak Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Elektron tabancasının V-şeklindeki tungsten filamanı vakum içerisinde yaklaşık 2800°C 'lik sıcaklığa kadar ısıtılır. Termoiyonik olayla tungstenden elektronlar salınır ve bunlar ~ 30 kV'luk negatif bir potansiyel yardımıyla filamandan itilirler. Havası boşaltılmış tüp içerisinde geçen elektronlar, tüpün etrafına yerleştirilmiş olan elektromanyetik mercekler (2 veya 3 tane) yardımıyla numune üzerine odaklanırlar. Tarayıcı bobinler odaklanmış elektron demetinin, numuneyi bir baştan bir başa taramasını sağlar. Numuneden yayınlanan elektronlar detektörler tarafından toplanarak, gelen demet ile eş zamanlı olarak taranan, katot ışınları tüpü üzerinde görüntü oluştururlar. Görüntü kontrastı, elektronik kontrol düğmelerinin ayarlanması ile geniş ölçüde değiştirilebilir[12].

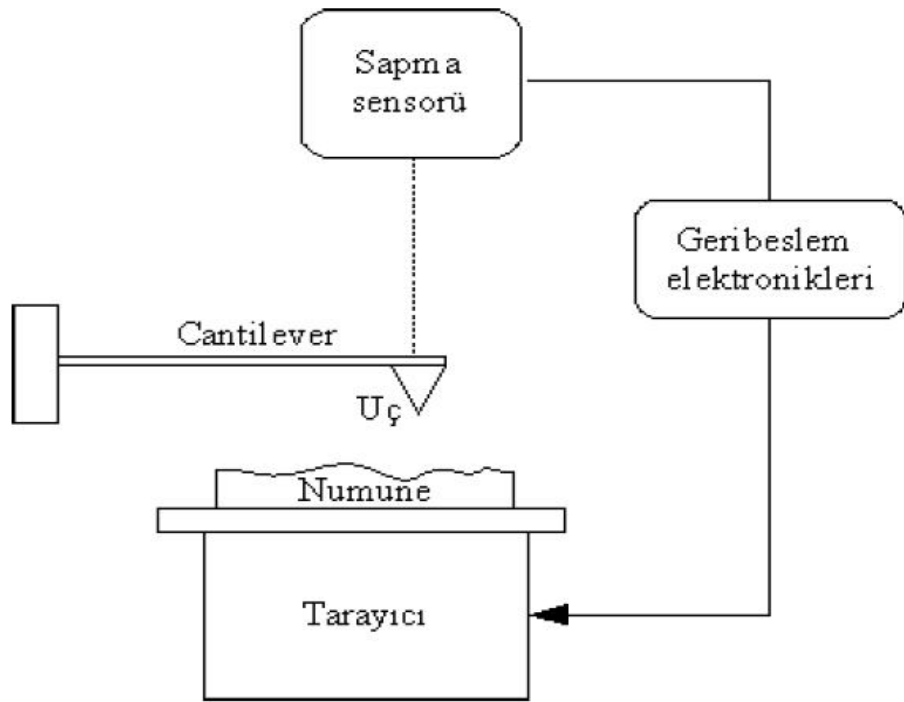


Şekil 3.7 Taramalı elektron mikroskobunun şematik yapısı[12].

3.4.3 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Taramalı tünelleme mikroskobu (STM) sayesinde çok sayıda iletken malzemenin yüzeyi atomik ölçekte başarılı bir biçimde araştırılabilmektedir. STM'nin başarıları yeni taramalı uç (*probe*) mikroskoplarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bunlardan biri olan AFM, yüzey topografisini angstrom seviyesinden 100–150 mikrona kadar ölçebilen bir tekniktir. AFM 1986'da Binnig, Quate ve Gerber tarafından icat edilmiştir. Teknik, uç-yüzey arasındaki atomlar arası etkileşmeleri esas alır. Tipik bir AFM'nin çalışma prensibi oldukça basittir. Şekil 3.8 'de görüldüğü üzere 'cantilever'ın sonuna yerleştirilmiş birkaç mikron uzunluğunda atomik sivrilikte bir uç ile numune yüzeyi taranır. Tarama esnasında uç-yüzey arasındaki atomlar arası kuvvetler ($10^{-11} - 10^{-6}$ N) 'cantilever'ın sapsmasına sebep olur. Bu sapma bir sensörle ölçülerek numune yüzeyinde taranan alanın yüzey topografisi elde edilir. AFM ile incelenen numunenin yüzey topografisinden büyüme modu, numunenin yüzey pürüzlülüğü, numune yüzeyindeki kusur tipleri ve kusur yoğunluğu hakkında bilgi edinilebilir. Tekniğin en büyük avantajı STM'nin aksine incelenecek malzemenin elektriksel iletken olmasını

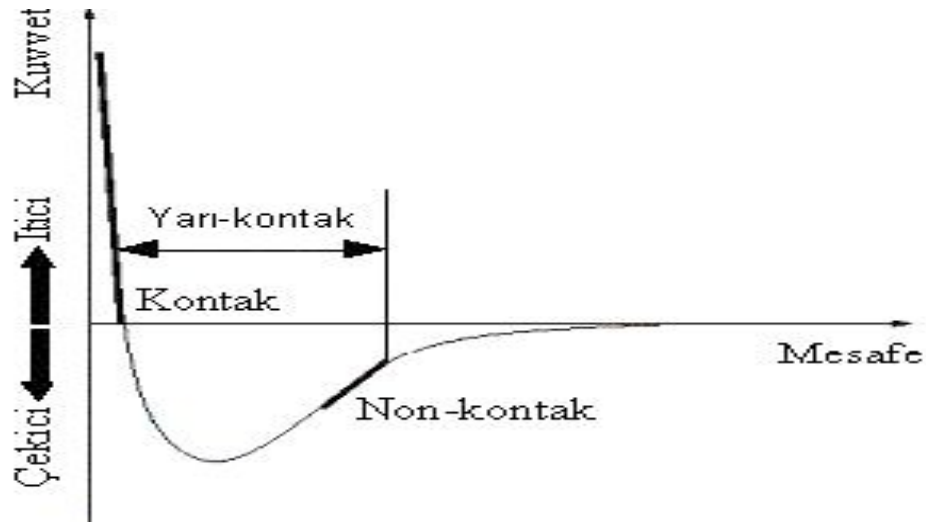
gerektirmemesidir. AFM; benzer amaçlar için kullanılan diğer teknikler (SEM, TEM, STM) gibi vakum gerektirmez, hava ve sıvı içerisinde çalışabilir. Ayrıca kaplama vb. numune hazırlığı gerektirmediğinden yüzeye zarar vermez. Bu nedenle çok yönlü, hızlı ve düşük maliyetli bir tekniktir. AFM'nin çözünürlüğü SEM'den daha iyidir, uygun şartlar sağlandığında STM ve TEM ile karşılaştırılabilecek düzeydedir. Görüntü boyutları (tarama alanı ve derinlik), görüntü kalitesinin ucun eğrilik yarıçapıyla sınırlı olması ve piezoelektrik malzemeden etkilenmesi AFM tekniğinin önemli dezavantajlarıdır[11].



Şekil 3.8 AFM'nin çalışma prensibi[11].

AFM ölçümleri *kontak*, *non-kontak* ve *yarı-kontak* (*semicontact or tapping*) olmak üzere üç farklı modda gerçekleştirilir. İşlemin modu uç-numune mesafesine göre belirlenir. Bunun için öncelikle uç ve numune yüzeyi arasındaki kuvvetlerin mesafeye bağlı değişiminin verildiği Şekil 3.9'u göz önüne alalım. Ucun numuneye yaklaştırıldığı ilk durumda uç, numune yüzeyi tarafından zayıf bir biçimde çekilir (eğrinin sağ tarafı). Uç-numune mesafesinin azalmasıyla bu çekim, uç ve numune yüzeylerindeki atomların elektron bulutlarının birbirlerini elektrostatik olarak itmeye başladığı mesafeye kadar artar. Mesafenin biraz daha azalması durumunda itici kuvvet artar ve net kuvvet kimyasal bağ uzunluğu mertebesinde (birkaç Å) bir mesafede sıfır olur. Bu noktada uç

ile numune yüzeyi arasında fiziksel temas başlar. Bundan sonraki daha yakın mesafelerde ise itici kuvvet baskındır (eğrinin sol tarafı). Temas modda uç-numune mesafesi birkaç Å mertebesindedir. Bu yüzden uç numune yüzeyi ile hafif fiziksel temas halindedir ve itici kuvvetlere (10^{-9} N) tabiidir. Bu modda yüzey topografisi, sabit yükseklikte tarama sonucu cantilever sapmasından veya cantilever sapması sabit tutularak yüzey yükseklik değişiminden olmak üzere iki değişik şekilde elde edilebilir. Non-kontak modda ise uç-numune mesafesi yaklaşık 50–150 Å mertebesindedir. Bu durumda uç zayıf çekici kuvvetlere tabiidir. Bu çekici kuvvet temas moddaki kuvvetlerden daha zayıftır ve kuvvet-mesafe eğrisinden de görüleceği üzere yüzey yükseklik değişimine daha az duyarlıdır. Bu yüzden bu modda yüzey topografisini elde etmek için temas moddakinden farklı bir mekanizma kullanılır. Cantilever, rezonans frekansına yakın bir frekansta titreştirilir. Uç numuneye yaklaştırıldığında frekans veya genlikteki değişimler saptanır. Non-kontak ölçümler dış titreşimlerden, uç ve cantilever kalitesinden çok etkilenir. Yarı-kontak mod non-kontak modun biraz değişik şeklidir. Bu modda cantilever kendi rezonans frekansında titreştirilir. Uç her bir salınımında numune yüzeyi ile anlık fiziksel temas sağlar. Numuneye yaklaşma durumunda salınımın şiddetinde meydana gelen değişim esas alınır. Ancak bu modda kuvvetler non-kontak moddakinden daha yüksek olduğundan ölçüm ucun kalitesine veya dış titreşimlere karşı duyarsızdır[11].



Şekil 3.9 Uç-numune arasındaki van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi[11].

4. MATERYAL METOT

4.1 Galyum Selen İnce Filminin SILAR (M-CBD) Metoduyla Büyütülmesi

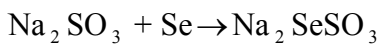
Galyum Selenide ince filmlerinin M-CBD metoduyla büyütülmesi için önemli ve izlenmesi gereken işlemler alt taban hazırlanması, anyonik ve katyonik çözeltilerin hazırlanması, deney düzeneğinin hazırlanması ve ince filmlerin büyütülmesi şeklinde sıralanabilirler.

4.1.1 Alt tabanların hazırlanması

GaSe ince filmleri cam ve tek kristal GaSe alt tabanlar üzerinde büyütüldüler. Tek kristal GaSe alt tabanlar Bridgman metoduyla büyütülen kristalden elde edildi. Cam alt tabanların (75mm x 26mm x 2mm) büyütme işleminden önce çok iyi bir şekilde temizlenmeleri gerekir. Bunun için cam alt tabanlar, ilk önce kromik asitte kaynatılıp, sonra hidroklorik asitle, ardından sıcak deterjanlı suyla yıkandıktan sonra asetonla geçirilip iki kez distile edilmiş su ile temizlendi. Böylece alt tabanlar büyütme işlemi için hazır hale getirilmiş oldu.

4.1.2 Anyonik çözeltinin hazırlanması

GaSe ince filmlerini elde etmek için anyonik çözelti olarak sodyum selenosülfat (Na_2SeSO_3) çözeltisi gerekir. İlk olarak pH~9, 0,05 M'lık sodyum selenosülfat çözeltisini hazırlamak için, 0,632 gr sodyum sülfat (Na_2SO_3 , Merck), 0,3948 gr Se (toz haline getirilmiş) 100 ml' lik balon jöjeye konuldu. Kimyasalları tartma işlemi Electronic Balance type BX-320H Shimadzu modelindeki hassas tartı cihazı ile yapıldı. Daha sonra 100ml' lik balon jöje saf su ile doldurularak karıştırıldı. Bu işlemde eşitlik 4.1.2.1'deki reaksiyon meydana gelir. Elektromac M22 (Heater-stirrer) ısıtıcı yardımıyla biraz çözdükten sonra 70°C'de 12 saat Hot Air Sterilizer Laboratory Oven M-420P Electromac modelindeki fırında bekletildi.



(4.1.2.1)

12 saat sonra sodyum selenosülfat çözeltisi fırından çıkarılıp soğumaya bırakıldı. Soğuma işlemi bittikten sonra çözelti, süzgeç kâğıdıyla süzüldü ve koyu renkli şişelere konularak kısa süre içerisinde kullanıldı. Koyu şişelere konulmasındaki amaç ışıklardan çözeltiyi koruyarak selen iyonlarının çökmesinin önlemesidir. Sodyum selenosülfat çözeltisini 3–4 gün içinde kullanmak gerekir.

4.1.3 Katyonik çözeltinin hazırlanması

GaSe ince filmlerinin elde edilmesi için katyonik çözelti olarak galyum klorür (GaCl_3) çözeltisi kullanıldı. 0,05 M'lık GaCl_3 çözeltisini hazırlamak için, 100 ml'lik balon jode, 0,3486 gr galyum (toz haline getirilmiş), 0,531 gr hidroklorik asitte (HCl, Fluka) çözüldü. Daha sonrada 100 ml su ile tamamlandı. Bu işlemde eşitlik 4.1.3.1'deki reaksiyon meydana gelir.



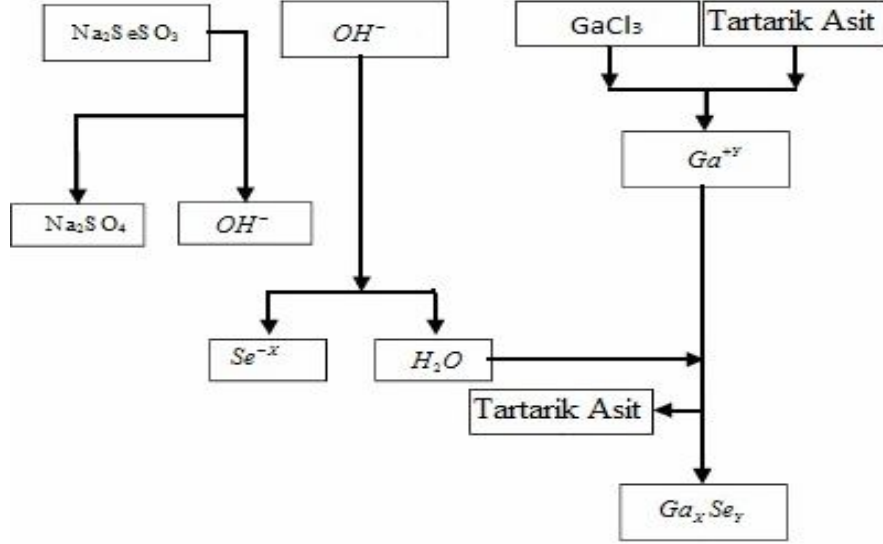
0,05M'lık GaCl_3 çözeltisinin pH~2'e ayarlamak için 1 M'lık tartarik asit kullanıldı. Tartarik asit çözeltisi hazırlamak için, 2,6 gr tartarik asit (Merck) 25 ml'lik balon jodeye konulup 25 ml su ile tamamlandı ve manyetik ısıtıcı yardımı ile iyice çözüldü.

4.1.4 GaSe ince filminin büyütülmesi

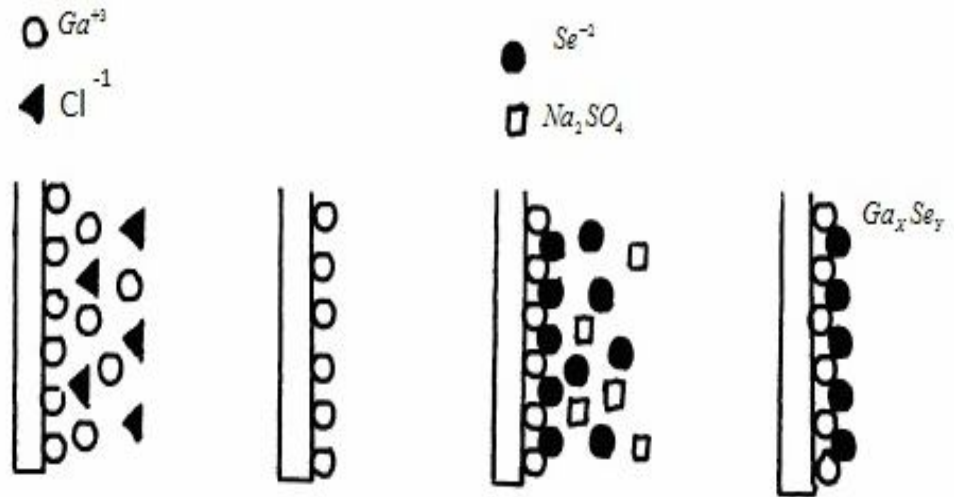
Oda sıcaklığında GaSe ince filmlerini büyütme için, ilk önce 25 ml'lik 4 tane behere sırasıyla;

1. 20 ml, 0,05M'lık galyum klorür (GaCl_3) çözeltisi konuldu. pH~2'ye ayarlamak için 1 M, 4 ml tartarik asit çözeltisi eklendi.
2. 20 ml iki kez distile edilmiş su konuldu.
3. 20 ml, 0,05 M sodyum selenosülfat (Na_2SeSO_3) çözeltisi konuldu.
4. 20 ml iki kez distile edilmiş su konuldu.

İyice temizlenmiş cam alt taban veya GaSe alt taban dik bir şekilde, 4 behere sırasıyla 20 saniye, 10 saniye, 15 saniye ve 10 saniye süresince daldırıldı. Bu işlem 60 defa yapılarak alt taban üzerinde GaSe depolanması sağlandı. GaSe' nin oluşma mekanizması Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1 GaSe filminin büyütülmesindeki kimyasal mekanizma[9].



Şekil 4.2 GaSe ince filminin M-CBD yöntemiyle elde edilmesi[9].

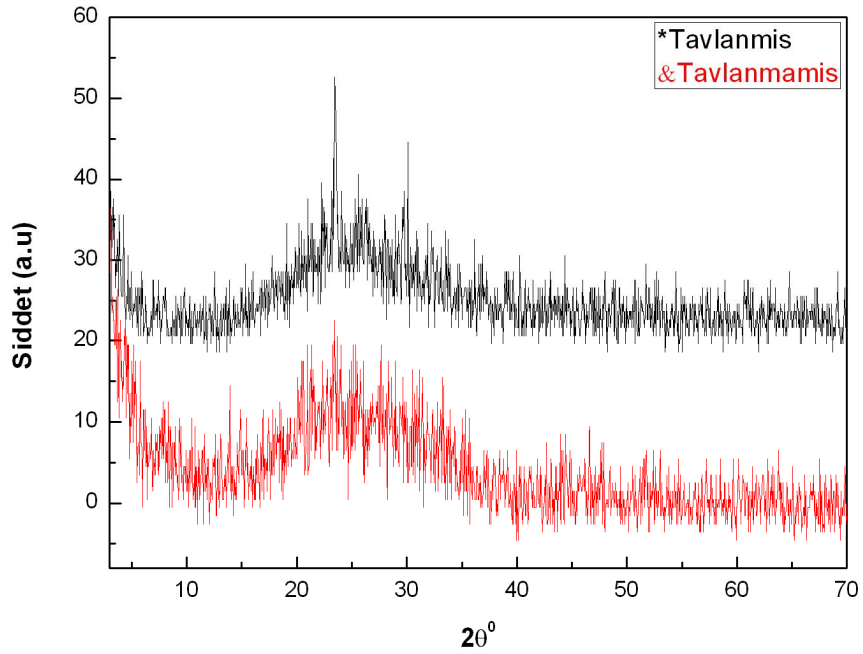
Modifiye kimyasal banyo depolama yöntemiyle (M-CBD), yukarıdaki 4 işlemin sırasıyla yapılması sonucunda filmin depolanması şematik olarak Sekil 4.2'de gösterilmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Yapısal Özellikler

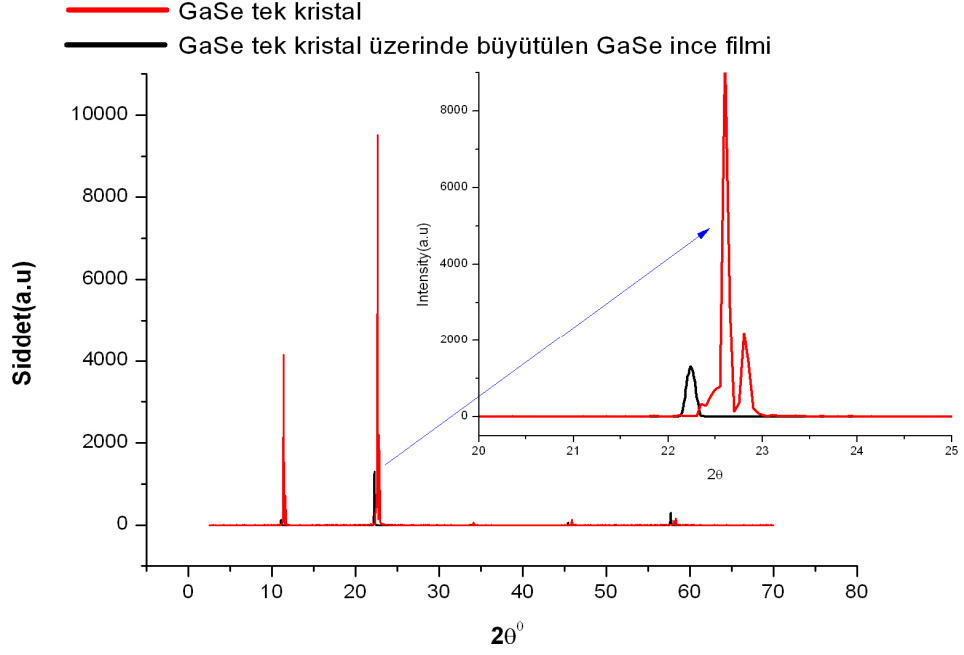
GaSe ince filmleri cam ve GaSe tek kristal alt tabalar üzerinde M-CBD yöntemiyle ardışık 60 daldırma sonucu elde edildi. İnce filmlerin açık kırmızıya yakın mat renklerde olduğu görüldü. Tavlamanın etkisini görmek için elde edilen filmler ısı işleme tabi tutuldular. Her iki taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin 40°C ve üzerinde ısı işleme tabi tutulduklarında filmlerin buharlaştığı gözlemlendi. Bu nedenle tavlama sıcaklığı olarak 35°C seçildi ve büyütülen ince filmler bu sıcaklıkta birer saat hava ortamında tavlандılar.

Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin XRD ölçümleri Ankara MTA' da gerçekleştirildi. Şekil 5.1'de cam taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmi ve bu filmin 35°C' deki tavllanmış halinin XRD spektrumları, Şekil 5.2' de ise GaSe tek kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin XRD spektrumu verilmiştir. Şekil 5.2' de alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristalinin XRD spektrumu da karşılaştırma için verilmiştir.



Şekil 5.1 Cam taban üzerine büyütülen tavllanmış ve tavlansmamış GaSe ince filminin XRD spektrumları.

Şekil 5.1’ den görüldüğü gibi cam taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmi tavlama yapılmadığında kristalleşme zayıf iken tavlama yapılmış numunede daha belirgin olmaktadır. GaSe tek kristalinin XRD spektrumu ile bu taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin XRD spektrumu karşılaştırıldığında (Şekil 5.2) pik konumlarının yaklaşık 0.56° düşük açılara kaydığı görülmektedir. Bu kaymaların ince filmlerdeki kusur ve düzensizliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



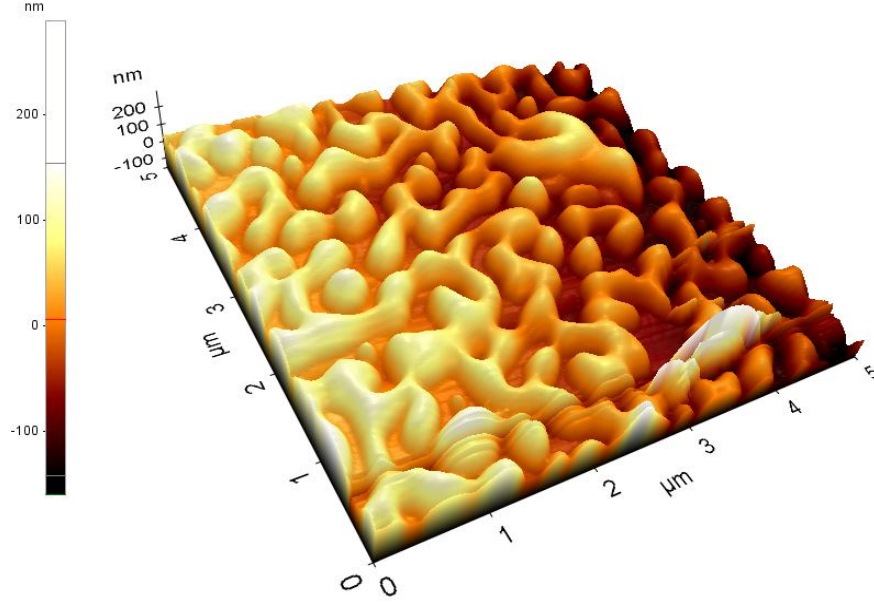
Şekil 5.2 GaSe tek kristali ve bu kristal üzerinde büyütülmüş GaSe ince filminin XRD spektrumu.

5.2 Morfolojik Özellikler

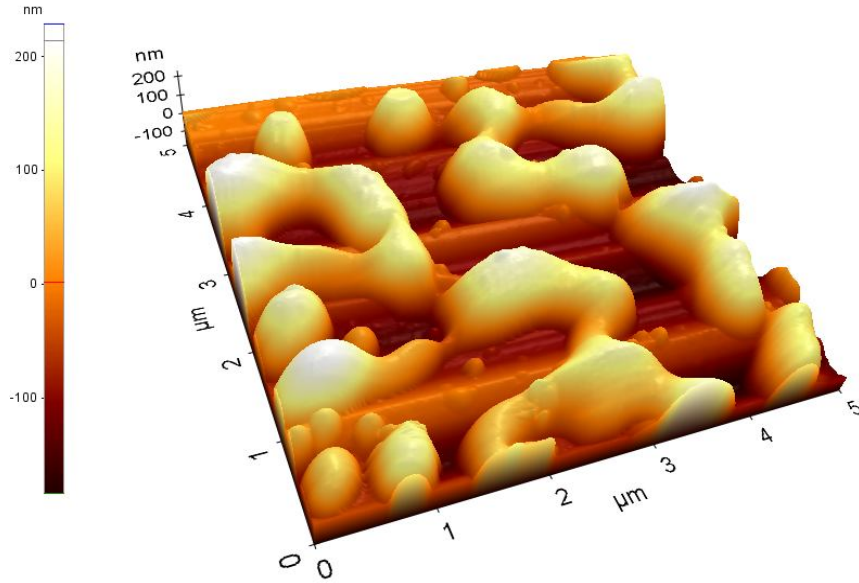
İnce filmlerin morfolojik özelliklerini belirlemek için görüntüleme yöntemi olarak Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanıldı. GaSe ince filmlerinin AFM görüntüleri Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) bulunan PSIA marka XE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobuyla gerçekleştirildi. Şekil 5.3-5.6’ da cam ve GaSe alt tabanlar üzerine büyütülen GaSe ince filmlerinin tavlama yapılmadan önceki ve tavlama yapılmadan sonraki AFM görüntüleri verilmektedir. Bu şekillerde görülen AFM görüntülerinin analizlerinden ince filmlerin parçacık boyutları ve parçacık boyutlarının tavlama ile değişimi incelendi. Bu analizlerden cam taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmde parçacık boyutu 164 nm iken tavlama yapılmış numunede parçacık boyutu 211 nm

olarak belirlendi. Benzer şekilde GaSe tek kristal üzerine büyütülen GaSe ince filminin parçacık boyutu 149 nm olarak belirlenirken tavllanmış örneklerin parçacık boyutu 185 nm olarak bulunmuştur.

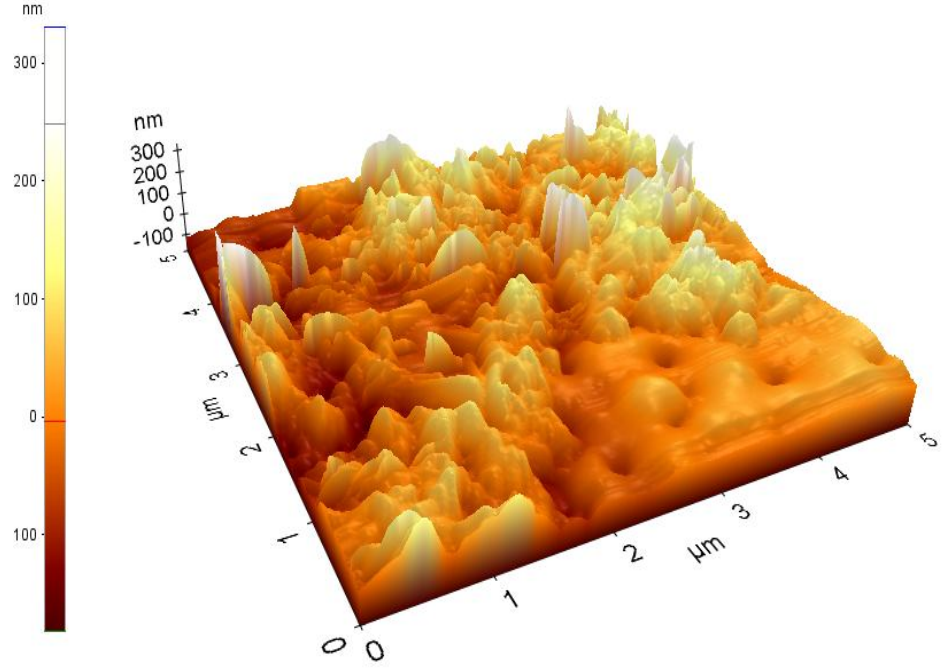
Tavlama sonucu hem cam hem de GaSe taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin parçacık boyutunun arttığı gözlenmiştir. Bu tavlamanın beklenen sonucudur.



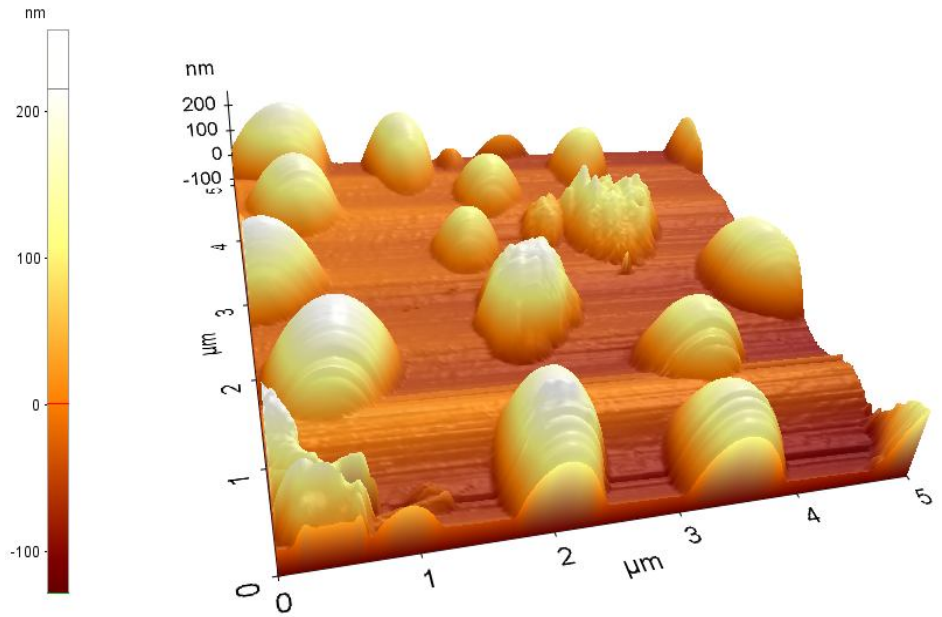
Şekil 5.3 Cam alt taban üzerine büyütülmüş GaSe ince filminin AFM görüntüsü



Şekil 5.4 Cam alt taban üzerine büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüsü.



Şekil 5.5 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin AFM görüntüsü



Şekil 5.6 GaSe kristali üzerine büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüsü

5.3 GaSe İnce Filmlerinin Kalınlıklarının Hesaplanması

M-CBD yöntemiyle büyütülen ince filmlerde kalınlık, elipsometre, hava kaması yöntemi veya alt tabanlar üzerinde depolanan film miktarı ile belirlenebilmektedir. Filmin son kalınlığı devir sayısına bölünerek, ortalama büyüme oranı tespit

edilebilmektedir. Bu çalışmada ince filmlerin kalınlıkları depolan film miktarı belirlenerek, eşitlik 5.3.1 yardımıyla hesaplandı [9].

$$t = \frac{m}{\rho_s \cdot A} \quad (5.3.1)$$

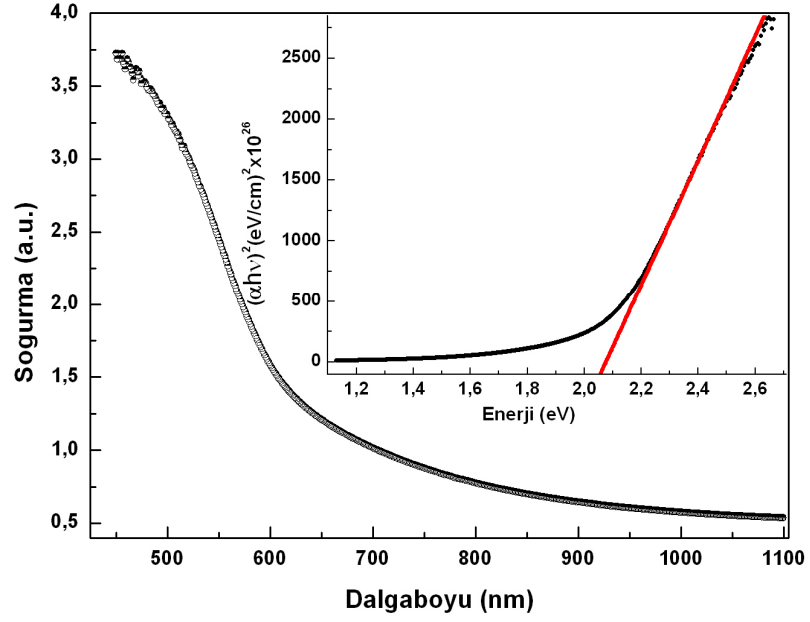
Burada; t kalınlık, m alt taban üzerinde depolanan madde miktarı, ρ_s ise maddenin yoğunluğudur. Cam taban üzerinde 60 devirde büyütülen GaSe ince filminin kalınlığı yaklaşık 180 nm olarak hesaplandı. Buradan her döngüde alt taban üzerine ortalama 3 nm film biriktiği anlaşılmaktadır.

5.4 GaSe İnce Filmlerinin Optik Soğurma Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları

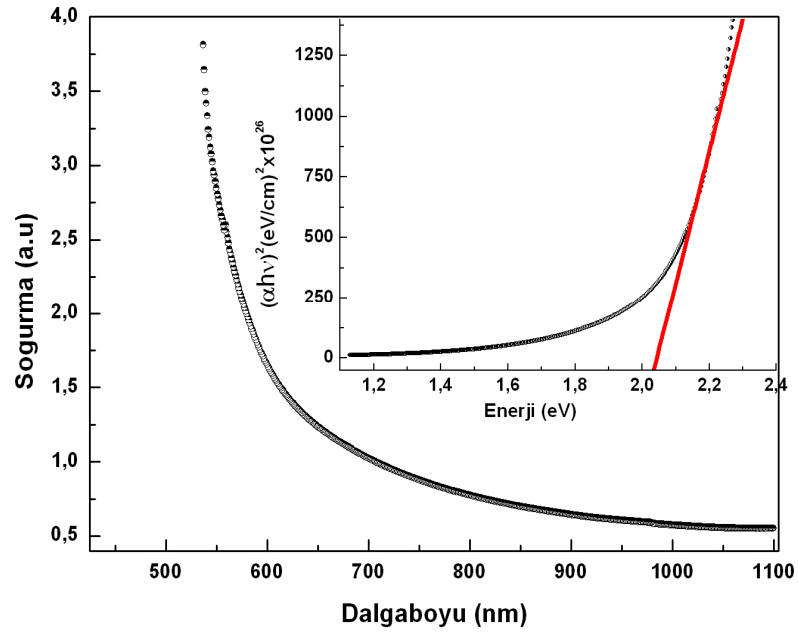
Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin optik soğurma spektrumları Perkin Elmer marka UV-VIS Lambda 25 model spektrofotometre ile ölçüldü. Bu tabanlar üzerinde büyütülen ince filmlerin tavllanmış ve tavlınmamış örneklerinin soğurma spektrumları Şekil 5.7–11’ de verilmektedir. Karşılaştırma için alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristalinin soğurma spektrumunda Şekil 5.9’ da verilmektedir.

GaSe ince filmlerinin yasak enerji aralıkları $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$ ifadesi kullanılarak hesaplandı[3,4,6,10,13]. Burada A bir sabit olup direk aralık yarıiletkenler için $n=1/2$ dir. Şekil 5.7–11 de soğurma spektrumlarının üzerinde küçük grafiklerde yasak enerji aralıklarının hesaplandığı $(\alpha h\nu)^2 (eV/cm)^2 \sim \text{Enerji}(h\nu)$ grafikleri verilmektedir. Soğurma spektrumlarının lineer olduğu kısmın enerji eksenini kestiği nokta incelenen numunenin yasak band aralığını vermektedir. Bu grafiklerin analizinden cam alt taban üzerinde büyütülen tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerinin yasak enerji aralıkları sırasıyla 2,01 eV ve 2.04 eV olarak hesaplandı. GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerin yasak enerji aralıkları ise sırasıyla 1,96 eV ve 1,95 eV olarak bulundu. Karşılaştırma için Şekil 5.9 da alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristalinin soğurma spektrumu ve yasak band aralığı verilmektedir. Bu kristalin yasak enerji aralı 1,98 eV olup buradan her iki taban üzerinde büyütülen ince filmlerin band aralıkları GaSe tek kristalinin yasak band aralığına yakın olduğu ancak cam üzerinde büyütülen ince filmin yasak enerji aralığı

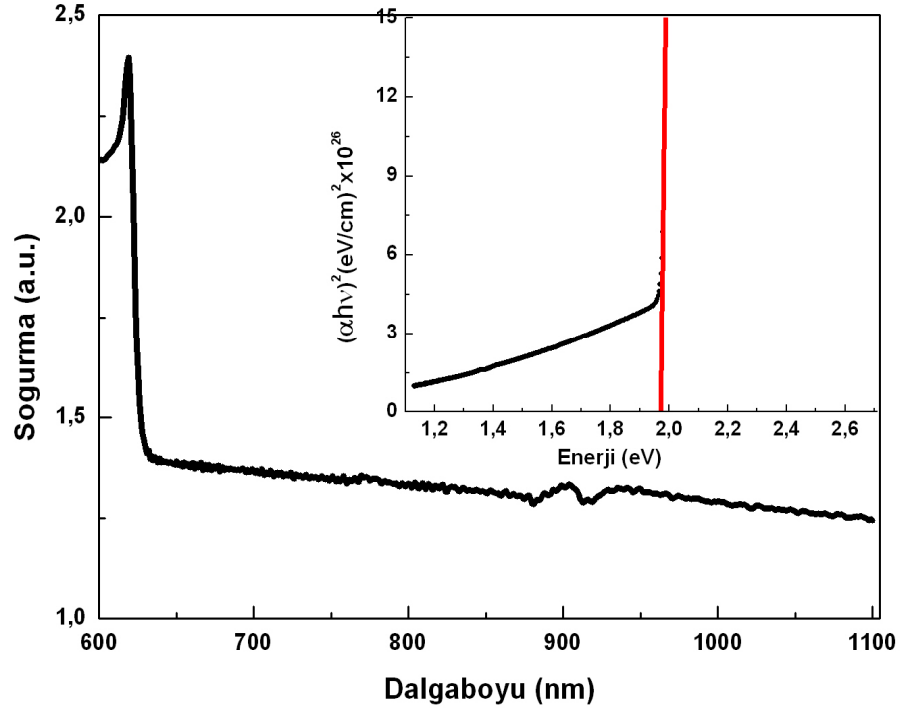
bulk kristalin yasak enerji aralığının üzerinde iken GaSe taban üzerinde büyütülen ince filmin yasak enerji aralığı ise altındadır.



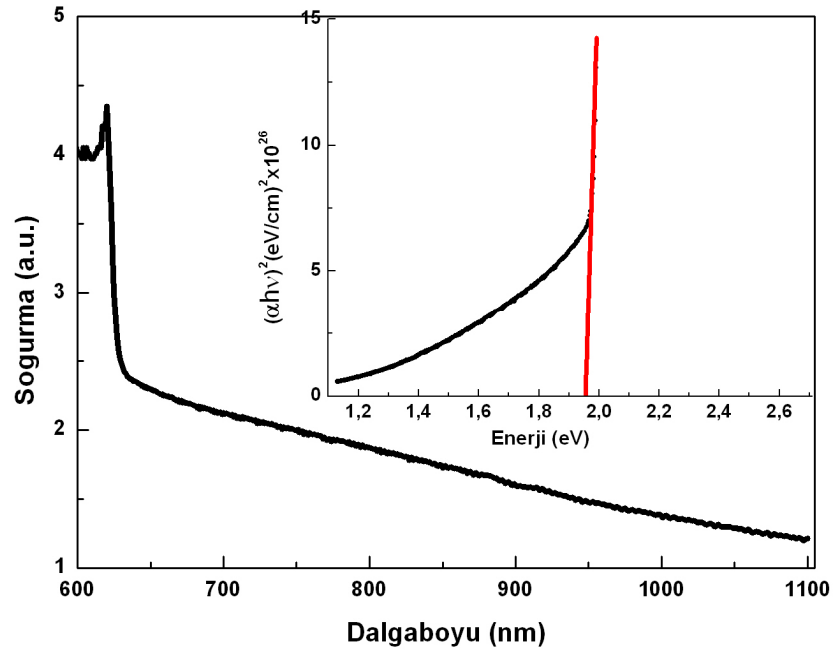
Şekil 5.7 Cam taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



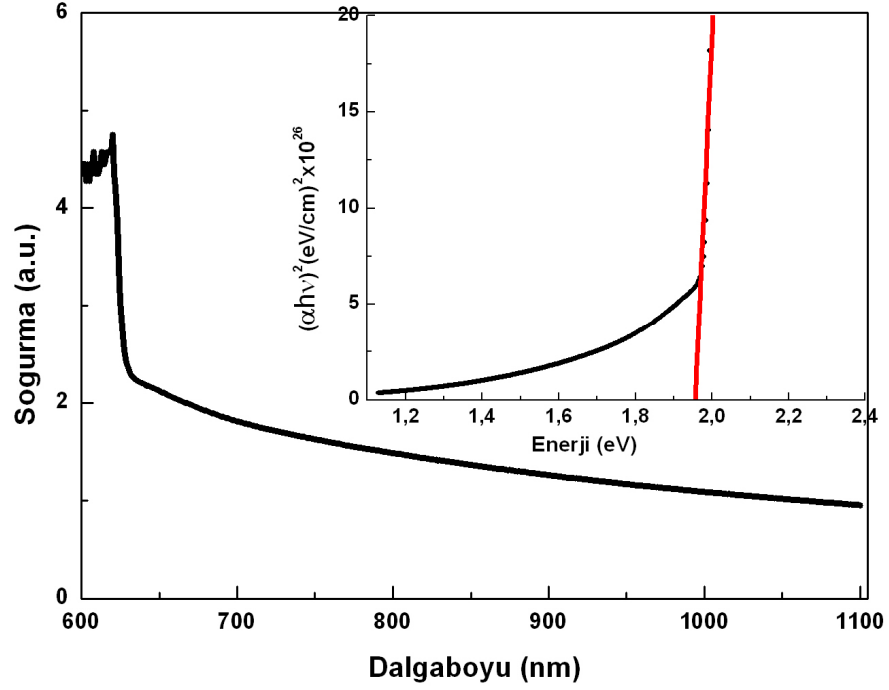
Şekil 5.8 Cam taban üzerinde büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



Şekil 5.9 Alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristalinin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



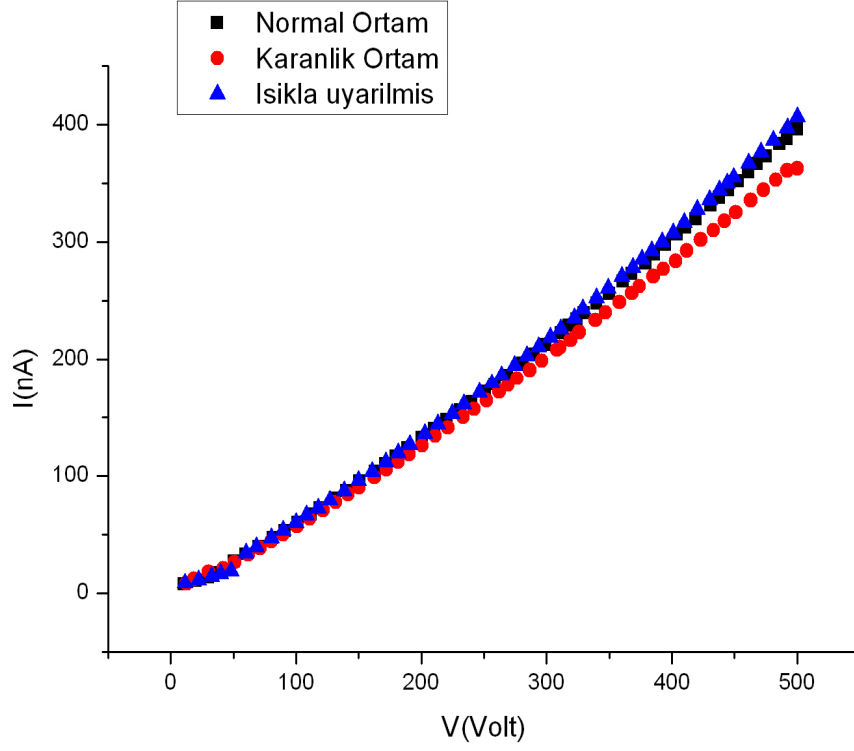
Şekil 5.10 GaSe tek kristali üzerinde büyütülen GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.



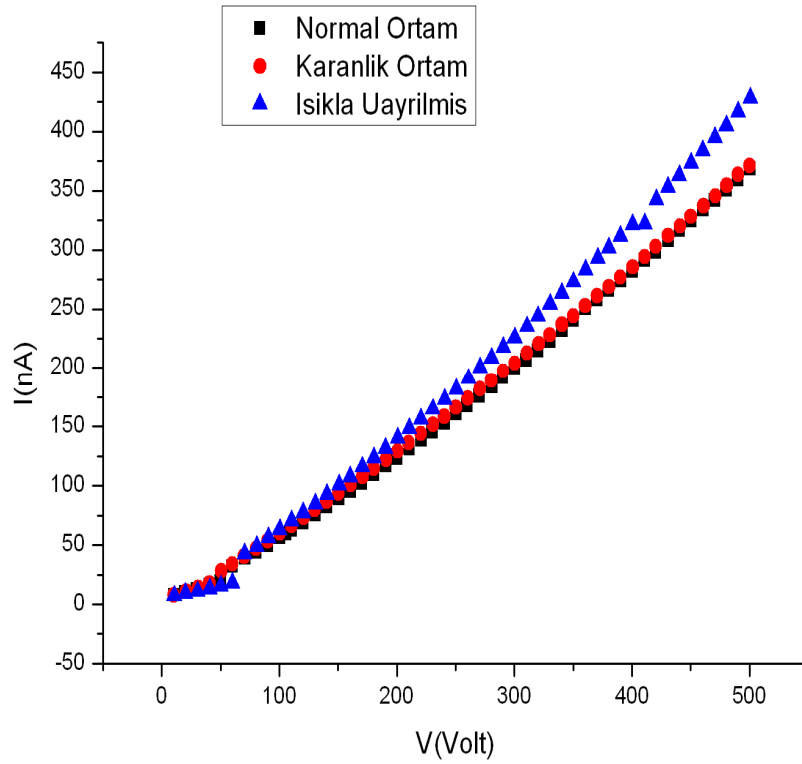
Şekil 5.11 GaSe tek kristali üzerinde büyütülen tavlanmış GaSe ince filminin soğurma spektrumu ve yasak enerji aralığı.

5.5 Elektriksel Ölçümler

Cam üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin I-V ölçümlerinde iki adet Extech Instrument Multiview 110 modelindeki multimetre, bir tane Keithley 6486 model piko-ampermetre, bir adet Pasco Scientific SF-9585 A model güç kaynağı kullanıldı. Deney düzeneği Kısım 3.3.1 de Resim 3.1 de verilmişti. Ölçümler için cam alt taban üzerinde büyütülen tavlanmış ve tavlanmamış GaSe ince filmlerinin birer yüzeyi üzerinde çok küçük bir mesafe aralığında (1 mm) gümüş pasta ile gümüş iletken telleri birbirine paralel olarak kontak yapıldı. Daha sonra kontaklar yapılan tavlanmamış ve tavlanmış numunelerin akım gerilim karakteristikleri normal, karanlık ve ışıkla uyarılmış ortamlarda oda sıcaklığında ölçüldü. Bu ölçümlerden alınan sonuçlar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' te verilmektedir.



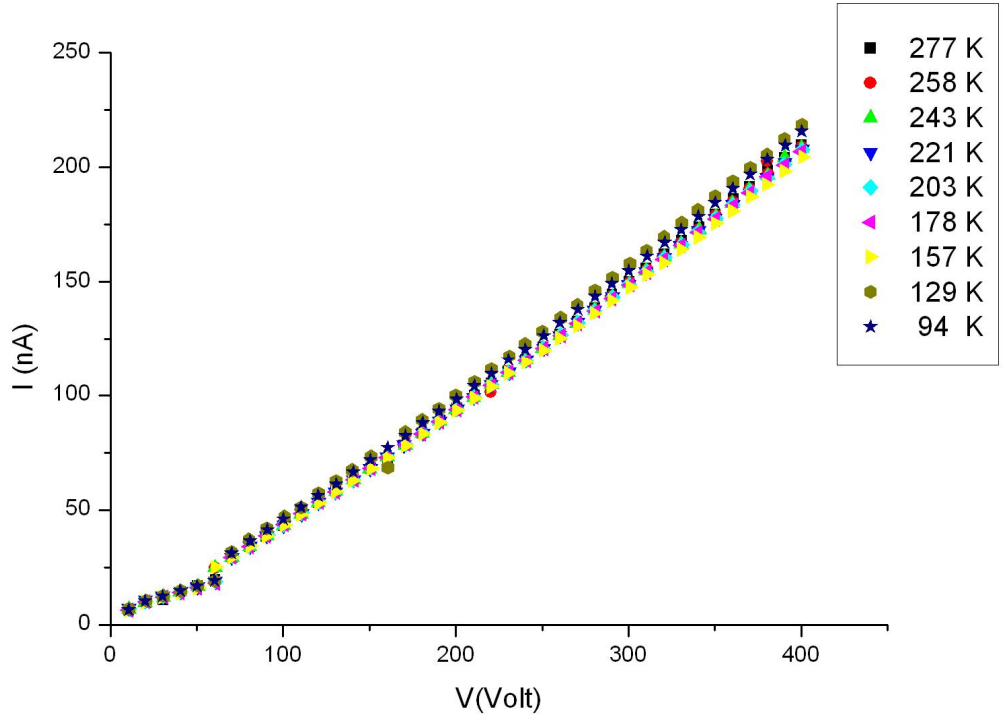
Şekil 5.12 Cam üzerinde büyütülen GaSe ince filminin I-V karakteristiği.



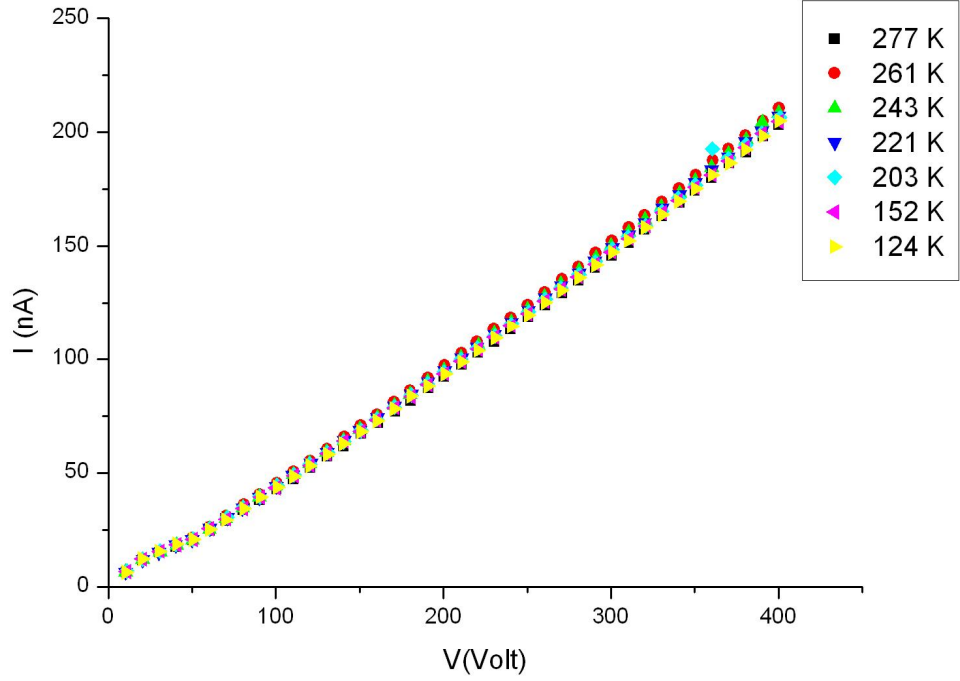
Şekil 5.13 Cam üzerinde büyütülen tavllanmış GaSe ince filminin I-V karakteristiği

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' den görüldüğü gibi tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerin karanlık ve aydınlık ortamdaki I-V karakteristikleri arasında çok az da olsa bir fark olduğu ancak bu farkın tavlınmış numunede daha fazla olduğu görülmektedir. Yani, cam üzerinde büyütülen tavlınmış GaSe ince filminin iletkenliği aydınlık ortamda karanlık ortama göre biraz daha artmaktadır.

Aynı filmlerin akım-gerilim karakteristikleri normal ortamda oda sıcaklığının altında 94 K sıcaklığına kadar olan sıcaklıklarda da ölçüldü ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de verilmektedir. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere hem tavlınmamış hem de tavlınmış ince filmlerin iletkenliklerinde sıcaklıkla önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



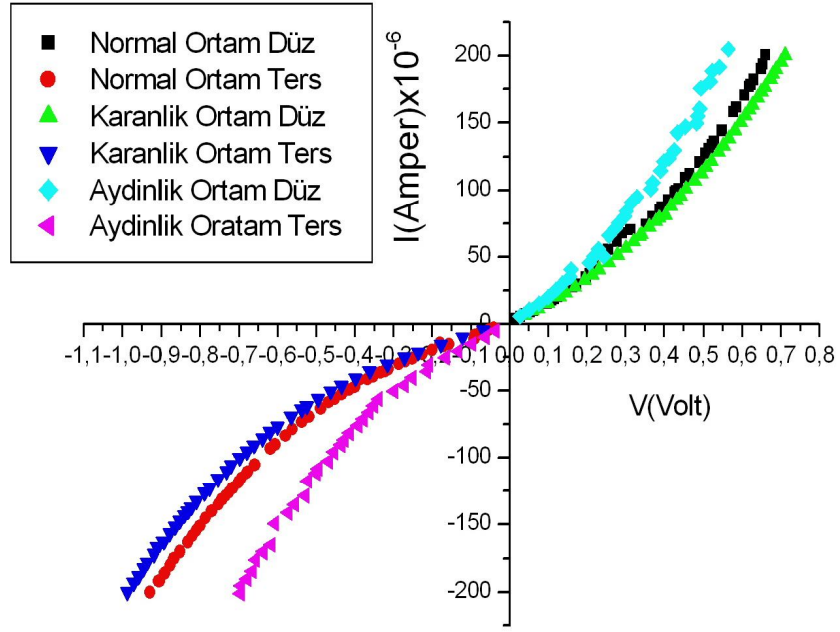
Şekil 5.14 Cam üzerine büyütülen GaSe ince filminin 94–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.



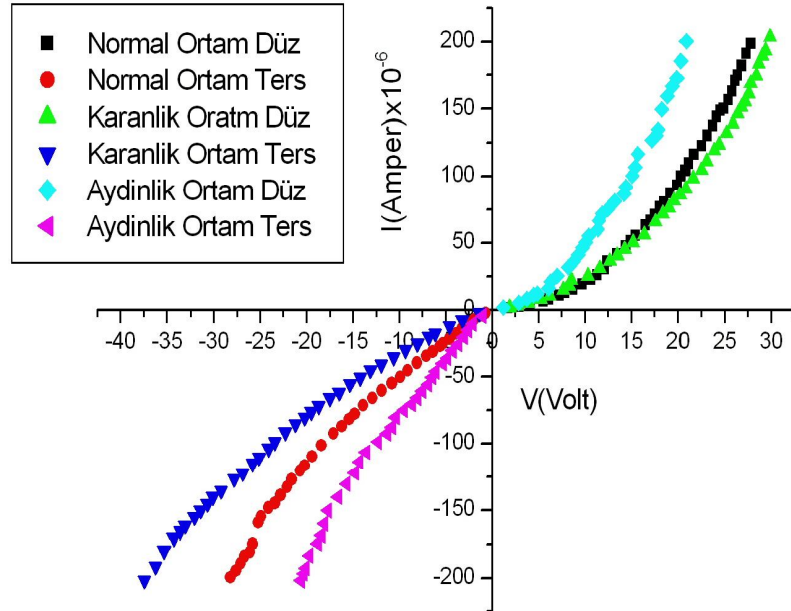
Şekil 5.15 Cam üzerine büyütülen tavlanmış GaSe ince filminin 124–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.

5.5.1 GaSe Kristalinde Elektrolüminesans ve Fotolüminesans Etkileri

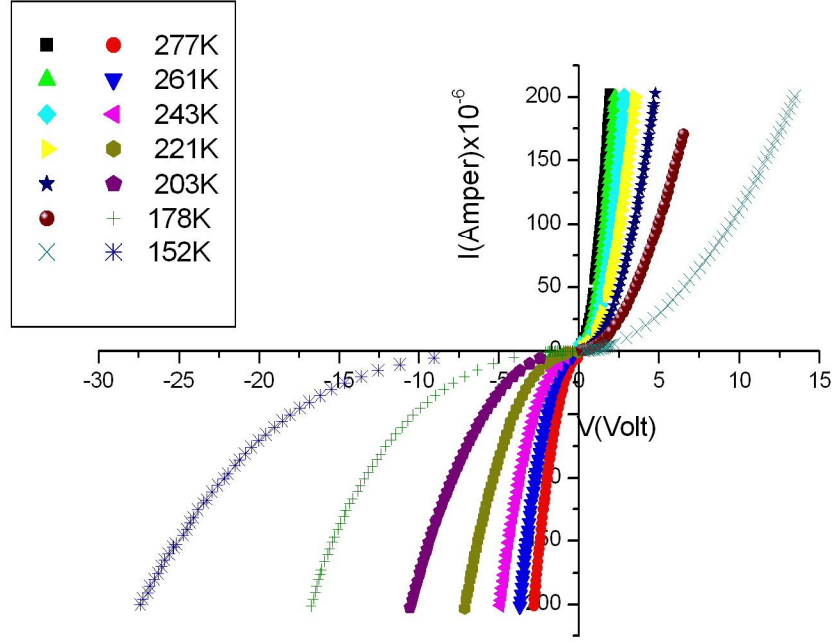
GaSe ince filmleri entegre devrelerde, ışın yayıcı hücre özelliği taşıyabilirler. Aynı zamanda GaSe kristalleri bazında fotolüminesans özellikli hücreler yapılabilir. GaSe kristallerinde olduğu gibi, ince filmlerde lazer etkisi olabilir ve uygulanabilir.[9] Bu nedenle cam ve GaSe kristali üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinde, elektrolüminesans etkileri araştırıldı. Cam üzerinde büyütülen GaSe ince filminin akım gerilim değerlerini ölçmek için kullanılan deney düzeneği, alt taban olarak kullanılan GaSe kristali için de aynen kullanıldı. GaSe kristalinden yapılmış sandviç örneğinin, her iki yüzeyine indiyum (In) kontak yapıldı. Ayrıca düşük sıcaklıklarda ölçüm yapabilmek için bakır termoçift ve sıvı azot kullanıldı. Şekil 5.16–5.19’de GaSe kristali ve GaSe kristali üzerine büyütülmüş ince filmin ışıklı, normal ve karanlık ortamlardaki ölçümleri ile sıvı azot sıcaklığında yapılan I-V ölçümleri görülmektedir.



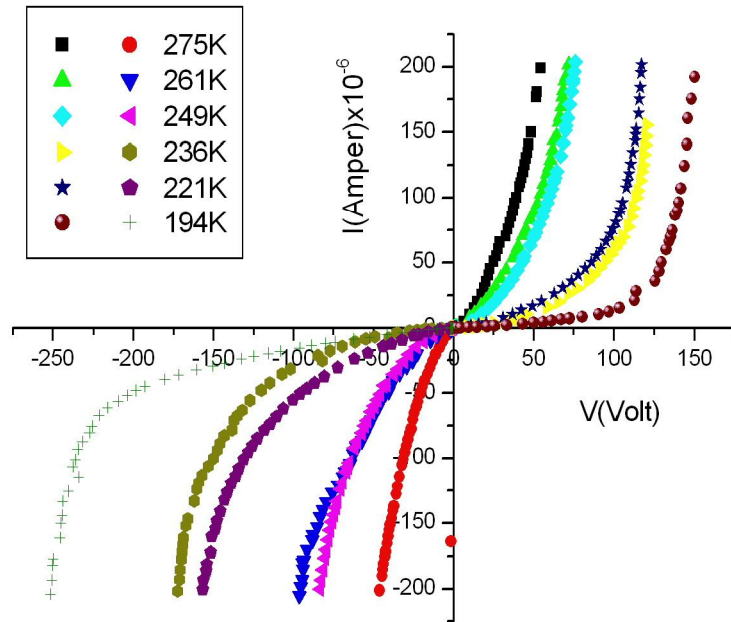
Şekil 5.16 GaSe tek kristalinin I-V karakteristiği.



Şekil 5.17 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin I-V karakteristiği.

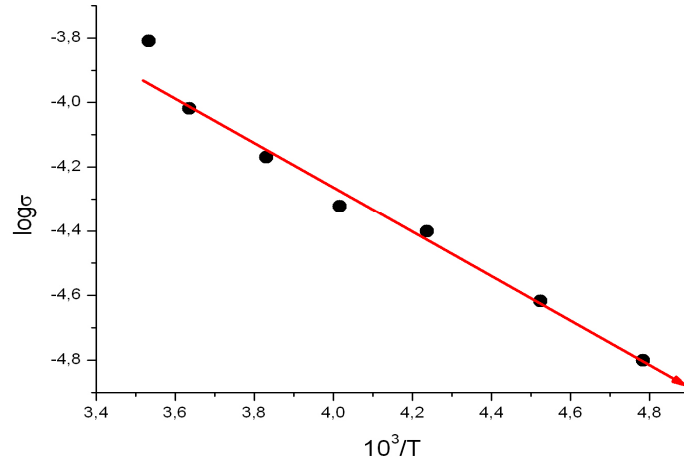


Şekil 5.18 GaSe kristalinin 152–277 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.

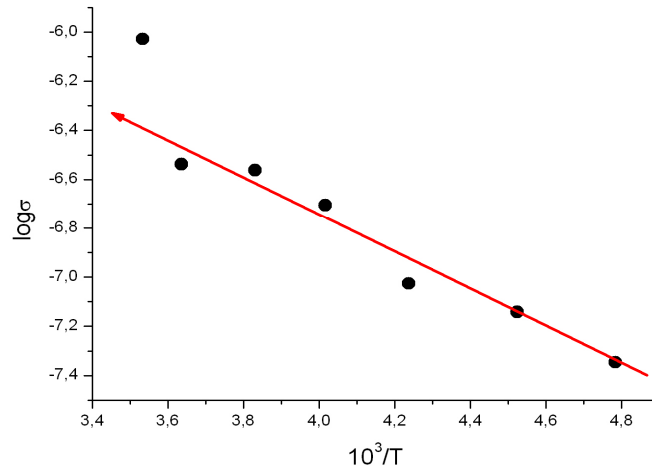


Şekil 5.19 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filminin 194–275 K sıcaklıkları arasındaki I-V karakteristiği.

Alt taban olarak kullanılan GaSe tek kristali ve bu kristal alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin I-V karakteristikleri 208–285 K sıcaklıkları arasında ölçüldü. Omik bölgeden uygulanan elektrik alanlarında $\log \sigma - 10^3/T$ grafikleri elde edildi. Bu sonuçlar Şekil 5.20 ve 5.21 de verilmektedir. İletkenliğin sıcaklıkla $\sigma = \sigma_o e^{-(\Delta E_a)/(k_B T)}$ şeklinde değiştiği görülmektedir. Bu grafiklerin analizinden iletkenlik için aktivasyon enerjileri GaSe kristali ve bu kristal taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmi için sırasıyla 0,34 eV ve 0,30 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.20 GaSe kristali için $\log \sigma - 10^3/T$ grafiği.



Şekil 5.21 GaSe kristali üzerine büyütülen GaSe ince filmi için $\log \sigma - 10^3/T$ grafiği

Yukarıdaki sonuçlardan görüldüğü gibi GaSe taban üzerinde büyütülen ince filmlerin iletkenliği GaSe alt tabana göre daha düşük olmaktadır. Bunun nedeninin ince filmlerde bulunan düzensizlikler olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmektedir.

1. Galyum selen (GaSe) yarıiletken ince filmleri, SILAR yöntemi (M-CBD) ile cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütüldü. M-CBD metodu ucuz, basit ve kontrol edilebilir parametrelere sahip olduğundan dolayı tercih edildi.
2. İnce filmlerin açık kırmızıya yakın mat renklerde olduğu görüldü.
3. Her iki taban üzerinde büyütülen GaSe filmlerinin kristal yapıda olduğu ayrıca, GaSe tek kristalinin XRD spektrumu ile bu taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin XRD spektrumu karşılaştırılarak pik konumlarının yaklaşık 0.56° düşük açılara kaydığı görüldü.
4. Tavlama sonucu hem cam hem de GaSe taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin parçacık boyutunun arttığı gözlemlendi.
5. Cam alt taban üzerinde büyütülen tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerinin yasak enerji aralıkları sırasıyla 2,01 eV ve 2.04 eV, GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerin yasak enerji aralıkları ise sırasıyla 1,96 eV ve 1,95 eV olarak bulundu.
6. Tavlınmamış ve tavlınmış GaSe ince filmlerin karanlık ve aydınlık ortamdaki I-V karakteristikleri arasında çok az da olsa bir fark olduğu ancak bu farkın tavlınmış numunede daha fazla olduğu görüldü. Yani, cam üzerinde büyütülen tavlınmış GaSe ince filminin iletkenliği aydınlık ortamda karanlık ortama göre biraz daha arttığı görüldü.
7. Cam ve GaSe tek kristal tabanlar üzerinde büyütülen filmlerin akım-gerilim karakteristikleri normal ortamda oda sıcaklığının altında 94 K sıcaklığına kadar olan sıcaklıklardaki ölçümlerinde hem tavlınmış hem de tavlınmamış ince filmlerin iletkenliklerinde sıcaklıkla önemli bir değişiklik olmadığı görüldü.
8. GaSe kristali ve bu kristal taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin aktivasyon enerjileri sırasıyla 0,34 eV ve 0,30 eV olarak hesaplandı.

KAYNAKLAR

- [1] Fatma GÖDE , “Kimyasal Banyo Depolama Yöntemiyle Elde Edilen ZnS Yarıiletken İnce Filmlerin Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi” , Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [2] Hakan BAL, “Püskürtme Yöntemiyle Elde Edilen In_2O_3 ’ ün Elektriksel Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [3] G.B. SAKR, “Optical and Elektrical Propoties of GaSe Thin Films”,Materials Science and Engineering B 138 ,1–6, 2007
- [4] Masanori OHYAMA, “Elektrical and Optical Propoties in Sputtered GaSe Thin Films”, Surface and Coating Tecnology 169-170(2003)620-623, 2003
- [5] M.THAMİLSELVAN, “Structure, Optical and DC Conduction Mehanism of Amorphous GaSe Thin Films “, Material Science in Semiconductor Proccessing 7,69–75, 2004
- [6] M.THAMİLSELVAN, “Influence of Density of States on Optical proportis of GaSe Thin Films”, Cryst. Res. Technol. 39,No.2,137–142,2004
- [7] M.THAMİLSELVAN, “Field and Temperature-Dependent Electronic Transport Parameters of Amorphous and Poly Crystalline GaSe Thin Films”, Pysica B 337, 404–412, 2003
- [8] Hüseyin ERTAP, “Tabakalı Galyum Selenit (GaSe) Kristaline Schottky Ekleminin Yapılması ve I-V karakteristiğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [9] Murat DÖNMEZ, “GaSe İnce Filmlerinin Büyütülmesi ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009

- [10] Selma ERAT, “Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilen CdSe İnce Filminin Optik Özellikleri ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [11] Süleyman ÇÖREKÇİ, “Grup III-V Bileşik Yarıiletkenlerde AFM Yüzey Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [12] Mutlu KUNDAKCI, “ In_2S_3 , CdS ve $\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$ Yarıiletken İnce Filmlerinin Sılar Metoduyla Büyütülmesi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [13] S.Prabakar, “ CdS thin films from two different chemical bath-structural and optical analysis”, Journal of Crystal Growth , 285,41-48,2005.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Yunus ALKAN

Doğum Yeri: Arpaçay

Doğum Tarihi: 16.04.1984

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Kars Cumhuriyet Lisesi (2000)

Lisans: Cumhuriyet Üniversitesi (2008)

Yüksek Lisans: Kafkas Üniversitesi (2012)