

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇÖZELTİ TABANLI SnS YARIİLETKENİN HAZIRLANMASI VE
KARAKTERİZASYONU**

Ferit ARSLAN

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Doç. Dr. Ferhat ASLAN'ın danışmanlığında, Ferit ARSLAN'nın hazırladığı “Çözelti Tabanlı SnS Yarıiletkenin Hazırlanması ve Karakterizasyonu” konulu bu çalışma 07/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

imza

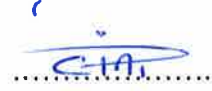
Danışman: Doç. Dr. Ferhat ASLAN



Üye: Doç. Dr. Şerife YALÇIN



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Cihat ÖZAYDIN



Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylım.

Prof. Dr. İrfan ÖZBERK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:17045

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Yarıiletkenlerin Genel Özellikleri.....	3
2.1.1. Katkısız (saf) yarıiletkenler.....	5
2.1.2. Katkılı yarıiletkenler.....	6
2.2. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri.....	8
2.2.1. Özdirenç.....	8
2.2.2. Mobilite.....	10
2.3. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri.....	10
2.4. p-n Eklemi.....	12
2.5. Sol-jel Yöntemi.....	14
2.6. Sol-jel Oluşumu ve Oluşan Yapılar.....	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Giriş.....	17
3.2. SnS Çözeltilerinin Hazırlanması.....	17
3.2.1. Kalay (II) 2-etilhekzaonat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanması.....	18
3.2.2. Kalay (II) kolrür dihidrat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanması.....	19
3.3. Cam Altlıkların Temizlenmesi.....	19
3.4. Sol-jel Daldırarak Kaplama (Dip Coating) Yöntemi.....	20
3.5. Tavlama Yöntemi.....	21
3.6. Kristal Yapı Analizi.....	22
3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	24
3.8. İnce Filmlerin Optiksel Özelliklerin İncelenmesi.....	25
3.9. İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerin İncelenmesi.....	26
3.9.1. Termal buharlaştırıcı.....	26
3.9.2. Hall etkisi ve dört nokta yöntemi.....	26
3.9.3. Yarıiletken türünün belirlenmesi.....	27
3.10. Raman Spektroskopisi.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	30
4.1. Giriş.....	30
4.2. X-Işını (XRD) Sonuçları.....	30
4.3. Raman Spektrometresi Sonuçları.....	33
4.4. SEM Sonuçları.....	34
4.5. EDX Sonuçları.....	37
4.6. UV-Sonuçları.....	39
4.7. Elektriksel Özellikler.....	43
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	50
EKLER.....	51
EK 1.....	51

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇÖZELTİ TABANLI SnS YARIİLETKENLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Ferit ARSLAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ferhat ASLAN
Yıl:2019, Sayfa:54

Bu tez çalışmasında güneş hücreleri için önemli bir bileşik olan kalay sülfür (SnS) ince filmlerin sol-jel yöntemiyle üretilmesi amaçlanmıştır. SnS filmlerin oluşturulması için kalay (II) etil hekzanoat ve kalay klorür dihidrat olmak üzere iki farklı başlangıç kimyasalı kullanılmıştır. Sülfür kaynağı olarak da her iki çözelti de tiyoüre kullanılmıştır. Tüm filmler 300 °C sıcaklıkta daldırarak kaplama yöntemiyle kaplanmış ve 350 °C sıcaklıkta vakum ortamında 45 dakika süre ile ısıl işleme tabi tutulmuştur. Sn/S molar oranı 1/(1/2), 1/1, 1/2 ve 1/4 olan çözeltiler hazırlanmıştır. Sn/S molar oranının ve başlangıç kimyasalının ince filmlere etkisi XRD, Raman spektrometresi, SEM, EDX, UV-Vis spektrometresi ve termoelektrik yöntemleriyle incelenmiştir. XRD ve Raman spektrometresi sonuçlarına göre kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile elde edilmiş filmler SnS yapıda kristalleşmektedir. Kalay klorür dihidrat çözeltisi ile üretilmiş filmlerde ise SnS ile birlikte SnS₂ fazı oluşmaktadır. Termoelektrik ölçümler yüksek oranda SnS₂ fazı içeren filmlerin n-tipi yarıiletken özellikte olduğunu göstermektedir. Diğer örnekler p-tipi özellik göstermiştir. Üretilen bazı örnekler üst üste kaplanarak p-SnS/n-SnS₂ heteroeklem yapı elde edilmiş ve I-V eğrisi ölçülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: SnS, SnS₂, İnce film, Sol-jel

ABSTRACT

MSc Thesis

PREPARATION and CHARACTERISATION OF SOLUTION BASED SnS SEMICONDUCTOR

Ferit ARSLAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ferhat ASLAN
Year: 2019, Page:54**

In this thesis, it is aimed to produce tin sulfide (SnS) thin films by sol-gel solution method which is an important compound for solar cells. Two different starting chemicals, tin (II) ethyl hexanoate and tin chloride dihydrate, were used to form SnS films. Thiourea was used as the source of sulfur in both solutions. All films were coated by dip coating at a temperature of 300 °C and heat treated for 45 minutes in vacuum at 350 °C. Solutions with Sn / S molar ratio of 1 / (1/2), 1/1, 1/2 and 1/4 were prepared. The effect of Sn / S molar ratio and starting chemical on thin films was investigated by XRD, Raman spectrometer, SEM, EDX, UV-Vis spectrometer and thermoelectric methods. According to the results of XRD and Raman spectrometry, films obtained with tin (II) ethylhexanoate solution crystallize in the SnS structure. In the films produced with tin (II) chloride dihydrate solution, SnS₂ phase is formed with SnS. Thermoelectric measurements show that the films that containing a high rate of SnS₂ phase exhibit n-type semiconductor properties. Other samples showed p-type properties. Some samples were overlaid and p-SnS / n-SnS₂ heterojunction structure was obtained and the I-V curve was measured.

KEY WORDS: SnS, SnS₂, Thin film, Sol-gel

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın gerçekleőmesi sũresince bilimsel katkılarını gũrdũğũm, tecrũbelerinden yararlandığım ve ũđrencisi olmaktan onur duyduğum, her anlamda destek olan ve ilđisini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ferhat ASLAN'a sonsuz sayđı ve teőekkũrlerimi sunarım. Aynı zamanda Harran Őniversitesinde yapmıő olduğum XRD ve SEM ۆlũmlerinde değerli vaktini ayırıp yardımcı olan, Őđr.Gör.Dr. Ahmet TUMBUL'a őukranlarımı sunarım. Ayrıca lisans ve yũksek lisans dũnemlerinde ders aldığım tũm değerli hocalarımdın bana ۆđretmiő olduğu değerli bilgilerinden dolayı hepsine ayrı ayrı teőekkũrlerimi sunarım. Bugũnlere gelmemi sağlayan aileme de teőekkũrũ borç bilirim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. (a) iletken, (b) yarıiletken, (c) yalıtkan malzemelerin bant diyagramı.....	5
Şekil 2.2. Silisyum kristalinin (a) arsenik atomuyla, (b) bor atomu ile katkılandırılması.....	7
Şekil 2.3. Yarıiletkenlerde temel soğurma spektrumu.....	12
Şekil 2.4. p-n eklem diyotuna ait I-V karakteristiği.....	13
Şekil 2.5. Çeşitli sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.1. Kalay (II) 2-etilhekzaonat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanış şeması....	18
Şekil 3.2. Kalay (II) klorür dihidrat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanış şeması....	19
Şekil 3.3. Plazma yüzey temizleme cihazı.....	20
Şekil 3.4. PLT-HT- Dip Coating kaplama cihazı	21
Şekil 3.5. VBF-1200X Gaz kontrollü tavlama fırını	22
Şekil 3.6. X-ışını difraktometresi	23
Şekil 3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
Şekil 3.8. UV-VİS spektrometresi	25
Şekil 3.9. Termal buharlaştırıcı	26
Şekil 3.10. (a) Ecopia HMS-300 Hall ölçüm sistemi ve (b) Numune probu	27
Şekil 3.11. Termoelektrik yöntemin şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.12. Raman spektrometresi	28
Şekil 4.1. Kalay (II) 2-etilhekzanoat ile üretilmiş ince filmlerin farklı molar oranlara göre XRD grafikleri	31
Şekil 4.2. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş SnS filmlerin farklı oranlara göre XRD sonuçları	32
Şekil 4.3. Kalay (II) 2-etilhekzaonat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin molar oranına göre Raman spektrumları.....	33
Şekil 4.4. Kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile elde edilmiş farklı Sn/S molar oranlara sahip filmlerin Raman spektrumları.....	34
Şekil 4.5. Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı (a) 1/(1/2), (b) 1/1, (c) 1/2 ve (d) 1/4 olan ince filmlerin SEM görüntüleri.....	35
Şekil 4.6. Kalay (II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı (a) 1/(1/2), (b) 1/1, (c) 1/2 ve (d) 1/4 olan ince filmlerin SEM görüntüleri.....	36
Şekil 4.7. Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin EDX sonuçları.....	37
Şekil 4.8. Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile elde edilmiş örneklerin UV-vis grafikleri	39
Şekil 4.9. Kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile hazırlanan örneklerin Sn/S molar oranına göre yasak bant aralıkları.....	40
Şekil 4.10. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş örneklerin UV-vis grafikleri	41
Şekil 4.11. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş filmlerin yasak bant aralığı grafikleri.....	42
Şekil 4.12. SnS ₂ /SnS p-n eklem cihazın şematik gösterimi	44
Şekil 4.13. Hazırlanan SnS ₂ /SnS katmanın I-V eğrisi.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Bazı element ve bileşik yarıiletkenler.....	4
Çizelge 3.1. SnS çözeltisinde kullanılan kimyasallar.....	17
Çizelge 4.1. Bu çalışmada hazırlanan tüm örneklerin EDX sonuçları.....	38



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

E_g	Band Aralığı
E_c	İletkenlik Bandı Enerji Seviyesi
E_v	Değerlik Bandı Enerji Seviyesi
k_B	Boltzman Sabiti
n	Elektron Yoğunluğu
p	Boşluk Yoğunluğu
N_v	Değerlik Bandındaki Etkin Durum Yoğunluğu
n_i	Saf Taşıyıcı Yoğunluğu
E_i	Saf Yarıiletkenin Fermi Seviyesi
N_D	Verici Yoğunluğu
N_A	Alıcıların Yoğunluğu
N_c	İletkenlik Bandındaki Etkin Durum Yoğunluğu
v_n	Sürüklenme Hızı
μ_n	Elektron Mobilitesi
μ_p	Boşlukların Mobilitesi
J_n	Elektron Akım Yoğunluğu
J_p	Boşluk Akım Yoğunluğu
ρ	Özdirenç
E_F	Fermi Enerjisi
V_{bi}	Built-in Potansiyeli
V_F	Doğru Besleme Voltajı
V_R	Ters Besleme Voltajı
N_B	Hafif Katkılı Bulk Konsantrasyonu
E_i	Katkısız yarıiletken Fermi Enerji Seviyesi
N_b	Hafif Katkılı Bulk Konsantrasyonu
J_s	Doyma Akım Yoğunluğu
ν	Fotonun Frekansı
T	Mutlak Sıcaklık
eV	Elektrovolt
λ	Dalga Boyu
I_n	Elektron Akımı
I	Elektromanyetik Dalga Şiddeti
K	Kelvin Cinsinden Sıcaklık
α	Lineer Absorbsiyon Katsayısı

1. GİRİŞ

İnce film güneş hücrelerine olan ilgi son 20 yılda önemli oranda artmıştır. Tamamı ince film katmanlardan oluşan güneş hücrelerinin geleneksel silisyum tabanlı güneş hücrelerine göre önemli avantajları bulunmaktadır. Tipik bir silisyum tabanlı güneş hücresinin kalınlığı 200 ile 500 µm aralığında iken, ince film güneş hücresinin toplam kalınlığı 2 µm civarındadır. Bunun nedeni ince film güneş hücrelerinde kullanılan yarıiletkenlerin doğrudan bant geçişli yapıya sahip olmasıdır. $CuInS_2$ ve $CdTe$ gibi ince film yarıiletkenlerle % 20 civarında oldukça yüksek verim elde edilmiştir. Fakat bu tür yarıiletkenlerin de bazı dez avantajları bulunmaktadır. Yapılarında oldukça yüksek maliyetli ve çevreye zararlı zehirli elementler içermeleri örnek olarak verilebilir. Bu tür malzemelere alternatif olarak son yıllarda Cu_2ZnSnS_4 dördü bileşiği araştırma konusu olmuştur. Bu yarıiletken malzeme ile % 12 civarında verim elde edilmiştir. Bu malzemenin en önemli avantajı yapısında zehirli ve yüksek maliyetli element bulundurmamasıdır. Bununla birlikte dördü bir bileşik olması karmaşık bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır ve bu yüzden yüksek verim elde edilememektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için ikili bileşikler kullanılabilir. Güneş hücrelerinde kullanılan ikili bileşikler arasında SnS yarıiletkeni son yıllarda ilgi çekmeye başlamıştır. Genel olarak yarıiletken malzemeler fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki farklı yolla üretilebilmektedir. Her iki yöntemin kendine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Fakat geniş yüzeyli ve düşük maliyetli uygulamalar için kimyasal yöntemler revaçtadır. Kimyasal yöntemler arasında sol-jel tekniği, seramik ve ince film malzemelerin üretimi gibi birçok teknolojik alanda kendini kanıtlamıştır. Bu tez çalışmasının amacı sol-jel tekniği ile SnS yarıiletkeninin üretilmesi ve karakterizasyonudur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Silisyum tabanlı güneş hücrelerine alternatif olarak 1970' li yıllardan beri ince film yarıiletken malzemelere yönelik önemli araştırmalar yapılmıştır. CdTe, Cu(In,Ga)S₂ ve Cu(In,Ga)Se₂ tabanlı ince film güneş hücrelerinde laboratuvar koşullarında % 20 ve üzeri oldukça yüksek verimler elde edilmiştir (Chen ve ark., 2016; Green ve Emery, 2015). Silisyumunun aksine bu malzemelerden sadece birkaç mikron kalınlığında film oluşturulması bile yüksek verim elde etmek için gerekli olan ışığı soğurmaya yetmektedir. Fakat bu tür bileşiklerin yapısında kullanılan kadmiyum (Cd) ve selenyum (Se) gibi oldukça zehirli elementlerin olması, çevreye zarar verme riski doğurmaktadır. Diğer taraftan bu tür bileşiklerdeki indiyum (In), tellür (Te) ve galyum (Ga) gibi elementlerin doğadaki azlığından dolayı araştırmacıları yeni alternatif malzemelerin araştırılmasına sürüklemiştir. Çevre dostu olan ve diğer elementlere göre rezerv problemi az olan bileşiklerden biri Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) yarıiletkenidir. Schokley-Queiser limitine göre CZTS yarıiletkeninden elde edilebilecek maksimum verim % 28 civarındadır (Dhakal ve ark., 2014). Bu yarıiletkene selenyum katkılanmasıyla elde edilen Cu₂ZnSnS_xSe_{4-x} (CZTSSe) bileşiğine ait maksimum verim literatürde % 12.6 olarak kaydedilmiştir (Wang ve ark., 2013). En yüksek verimin elde edildiği CZTSSe tabanlı güneş hücresinde CZTSSe bileşiği, geleneksel vakuma dayalı yöntemlerin aksine çözelti yöntemiyle üretilmiştir. Buradan çözelti tabanlı yöntemlerin güneş hücresi üretimi için oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Fakat bu yöntemde çözücü olarak oldukça zehirli bir kimyasal olan hidrazin kullanılmıştır. Bu yüzden çözültide kullanılan kimyasallarında alternatifleri araştırılmalıdır. Yukarıda bahsedilen yarıiletkenlere alternatif olabilecek diğer bir soğurucu katman da kalay sülfür (SnS) yarıiletkenidir. SnS bileşiğinin yapısında zehirli ve rezerv problemi olan element bulunmamaktadır. SnS, 1.1 -1.5 eV bant aralığına sahip doğrudan ve dolaylı bant özelliği gösterebilen ve görünür bölgede > 10⁴ cm⁻¹ yüksek soğurma katsayılı oldukça umut verici p-tipi bir yarıiletkendir (Park ve ark., 2014). SnS ince filmleri termal buharlaştırma (Steinmann ve ark., 2014), sprey piroliz (Sajeesh ve ark., 2010), RF saçırma (Hartman ve ark., 2011) ve Sn katmanın sülfürizasyonu (Sugiyama ve

ark., 2008) gibi farklı yöntemlerle üretilmiştir. Süfürizasyon yöntemiyle üretilmiş SnS bileşiğinin doğrudan geçişli yasak bant aralığı 1.2 eV olarak belirlenmiştir (Caballero ve ark., 2016). SnS bileşiği kendiliğinden p-tipi elektriksel özellik göstermektedir (Reddy ve ark., 2006). Atomik katman büyütme (ALD) yöntemiyle üretilmiş bu yarıiletken için güneş hücresinin verimi literatürde maksimum % 4.36 olarak kaydedilmiştir (Sinsersuksakul ve ark., 2014). Teorik çalışmalar ise bu yarıiletkenle elde edilebilecek güneş hücresinin verimini % 32 olarak göstermektedir (Sinsersuksakul ve ark., 2014).

Bu tez çalışmasının amacı kimyasal yöntemlerden biri olan sol-jel tekniği ile SnS bileşiğinin cam altlıklar üzerine oluşturulmasıdır. SnS bileşiğinin oluşturulması için kalay (II) etilhekzanoat ve kalay klorür dihidrat olmak üzere iki farklı başlangıç kimyasalı kullanılmıştır. Her iki çözelti için de çözeltideki Sn/S molar oranları sırasıyla 1/(1/2), 1/1, 1/2 ve 1/4 olarak değiştirilmiştir. Bu şekilde SnS yapısına hem başlangıç kimyasallarının etkisi hemde Sn/S molar oranının etkisi araştırılmıştır. Tüm filmlerin XRD, SEM, EDX, Raman spektrometresi, UV-Vis ve termoelektrik ölçümleri yapılmış sonuçlar tartışılmıştır.

2.1. Yarıiletkenlerin Genel Özellikleri

Elektriksel ve optiksel özellikleri göz önünde bulundurularak katı haldeki malzemeler sınıflandırıldığında üç gruba ayrılır. Bunlar; yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenlerdir. Yeryüzünde bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Atom ise ortada bir çekirdek ve bunun etrafında değişik yörüngelerde hareket eden elektronlardan oluşmaktadır. Elektronların her madde içerisindeki hareketi aynı değildir. Elektron hareketine göre maddeler iletkenlik, yalıtkanlık ve yarı iletkenlik gösterir. Alüminyum ve gümüş gibi iletkenler 10^4 ile 10^6 S/cm arasında yüksek iletkenlik gösterirken; kuartz ve cam gibi yalıtkanlar 10^{-18} ile 10^{-8} S/cm arasında çok düşük iletkenlik gösterirler. Yarıiletkenler ise iletkenlerle yalıtkanlar arasında iletkenlik göstermektedirler. Yarıiletkenlerin iletkenliği ışığa, sıcaklığa, manyetik alana ve bünyesindeki yabancı atomların miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İletkenliklerindeki bu özellik yarıiletkenleri elektronik uygulamalarında

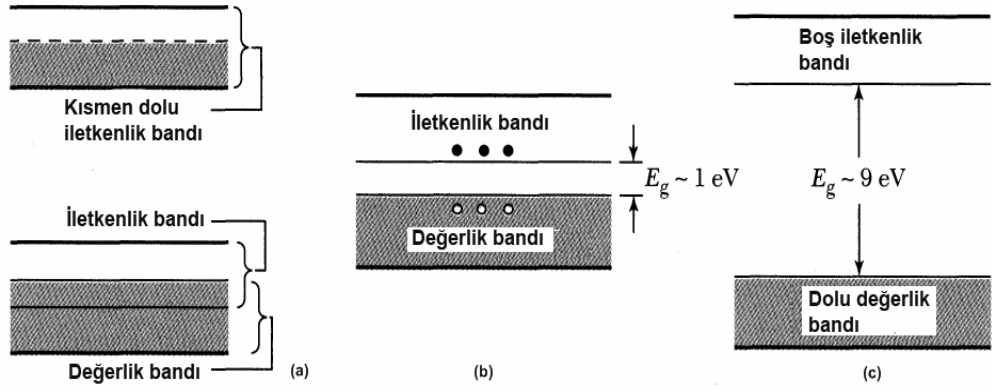
daha önemli bir malzeme haline getirmektedir. Çizelge 2.1.'de bileşik ve element yarıiletkenler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı element ve bileşik yarıiletkenler (Sze, 2001)

Element	IV-IV bileşikleri	III-V bileşikleri	II-VI bileşikleri	IV-VI bileşikleri
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnT	
		InAs		
		InP		
		InSb		

Bir yarıiletken, mutlak sıfırda (0 K) tamamen dolu elektronik durumlar bandı, yine mutlak sıfırda dolu banttan yasak bir enerji aralığı ile ayrılmış tamamı boş olan bir banda (iletkenlik bandı) sahip olan kristal malzemedir. Yarıiletken mutlak sıfırda (0 K) mükemmel bir yalıtkan gibi davranır. Çünkü orda kısmen dolu bant yoktur. Bantlar tamamen boş veya tamamen doludur. Ancak sıcaklık artınca elektronlardan bir kısmı valans bandından yasak enerji aralığını aşabilecek kadar enerji elde ederek, boş iletkenlik bandına geçebilmektedirler. Bu elektronlar elektriksel iletkenliğe katkı sağlayabilirler. Bu elektronların daha düşük enerji bandı olan valans bandında bıraktıkları pozitif kabul edilen boşluklar yada hollerde iletkenliğe katkı sağlayabilirler. İletkenlik, elektronların ve hollerin sayıları artan sıcaklık ile artar ve bu sayede iletkenliği de artıracığı açıktır.

Bir kristal oluştuğunda N tane atom bir araya gelerek enerji seviyeleri birbirine çok yakın N farklı enerji seviyesine bölünür ve sürekli enerji bandını oluşturur. Elektronların bulunmayacağı bant aralığı, yasak yasak bant aralığıdır. E_g ile gösterilir. Alt banda değerlik, üst banda ise iletkenlik bandı denir. Üst bant ile alt bandın farkı yarıiletkenin yasak enerji bant genişliğini karakterize eder. Şekil 2.1.'de yalıtkan, iletken ve yarıiletkenlerin enerji bant diyagramları verilmiştir.



Şekil 2.1. (a) iletken, (b) yarıiletken, (c) yalıtkan malzemelerin bant diyagramı (Sze, 1985)

Şekil 2.1(a).’da görüldüğü gibi metallerde değerlik bandı ile iletim bandı birbirlerine temas edecek düzeyde yakındırlar. Bundan dolayı metallerin yasak bant aralığı yok denecek kadar az olduğundan elektrik akımını iletirler. Şekil 2.1(c).’de görüldüğü gibi yalıtkanların yasak enerji aralığı 9 eV civarındadır. Bu yüzden oda sıcaklığında elektrik akımını iletmezler. Yarıiletken atomlar arası bağlar kısmen de olsa güçlüdür. Bundan dolayı oda sıcaklığında termal titreşim bazı bağları kırabilir. Bir bağın kırılması sonucunda serbest elektronla beraber serbest bir boşluk oluşur. Şekil 2.1(b).’de görüldüğü gibi yarıiletkenin bant aralığı yalıtkanın bant aralığı ile kıyaslandığında o kadar büyük değildir. Bu yüzden bazı elektronlar geride boşluklar bırakarak değerlik bandından iletkenlik bandına geçebilir. Bir elektrik alan uygulandığında elektronlar ve boşluklar kinetik enerji kazanma ile elektrik akımını iletirler.

2.1.1. Katkısız (saf) yarıiletkenler

Katkısız yarıiletkenlerde termal titreşim sonrasında elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına eşit oranda boşluk bırakır. Elektron konsantrasyonu,

$$n = N_c \exp \left[-\frac{E_c - E_F}{kT} \right] \quad (2.1)$$

denklem 2.1 ile verilir. Burada E_F Fermi enerji seviyesini, E_c iletkenlik bandındaki enerji seviyesini göstermektedir. T kelvin cinsinden sıcaklık, k Boltzman sabiti ve N_c

ise iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur. Denklem 2.2'den değerlik bandındaki boşluk yoğunluğu p olmak üzere,

$$p = N_V \exp \left[-\frac{E_F - E_V}{kT} \right] \quad (2.2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada N_V değerlik bandındaki etkin durum yoğunluğu, E_V ise değerlik bandındaki enerji seviyesidir. Denklem 2.3'deki boşlukların yoğunluğu p ve elektronların yoğunluğu n olmak üzere katkısız yarıiletkenlerde,

$$n = p = n_i \quad (2.3)$$

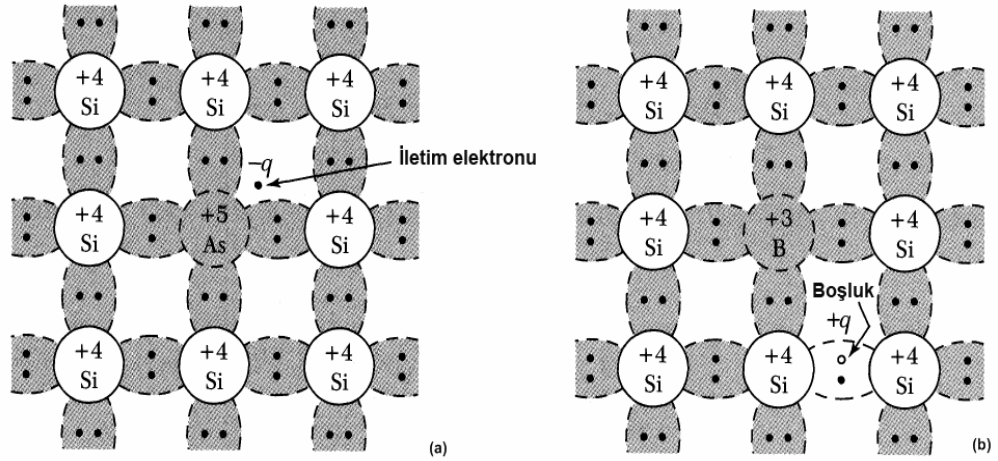
şeklinde yazılabilir. Buradaki n_i saf taşıyıcı yoğunluğu olup, katkısız yarıiletkenlerin Fermi enerji seviyesi denklemi 2.1 ve 2.2'deki denklemlerden;

$$E_F = E_i = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{kT}{2} \ln \left[\frac{N_V}{N_C} \right] \quad (2.4)$$

elde edilir. Burada E_i katkısız yarıiletkenin Fermi enerji seviyesidir. Bu enerji oda sıcaklığında yasak bant aralığının ortasına çok yakındır (Sze, 1985).

2.1.2. Katkılı yarıiletkenler

Katkılı yarıiletkenler elektronların sayısı ile boşlukların sayısının eşit olmadığı durumlara sahip yarıiletkenlerdir. Bir yarıiletken yabancı atomlarla katkılıdırıldığında, yarıiletken katkılı duruma gelmekte ve safsızlık enerji seviyesini oluşturmaktadır. Yarıiletkenlerin büyük çoğunluğu oda sıcaklığında iletkenlik katkı atomlarının etkisiyle değişmektedir. Şekil 2.2(a)'da bir silisyum atomunun bir arsenik atomu ile yer değiştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Silisyum kristalinin (a) arsenik atomuyla, (b) bor atomu ile katkılandırılması (Sze, 1985)

Şekil 2.2(a).’da beş değerlik değerine sahip olan silisyum atomunun bir arsenik atomuyla yer değiştirilmesi gösterilmiştir. Beş değerlik değerine sahip olan arsenik atomu, dört elektronunu komşu olan dört silisyum atomu ile ortaklaşa kullanarak kovalent bağ oluşturmaktadır. Beşinci olan elektron serbest kalması sonucunda iletkenlik bandına geçtiğinde iletim elektronuna dönüşür. Bu arsenik atomuyla katkılandırılmış olan silisyum yarıiletkenine n-tipi yarıiletken denir. Burada arsenik atomu verici olarak adlandırılır. Diğer yandan silisyum yarıiletkeni üç değerliğe sahip olan boron atomuyla katkılandırıldığında yukarıda şekil 2.2(b).’de görüldüğü gibi boron atomu dördüncü kovalent bağını oluşturmak için bir elektronu silisyum atomundan almaktadır. Buda bir boşluğun oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle boron atomu elektron aldığından alıcı olarak; boron ile katkılandırılan silisyum yarıiletkende p-tipi yarı iletken olarak isimlendirilir. Verici atomları düşük bağlanma enerjisine sahip olduklarından genellikle oda sıcaklığında tamamen iyonlaşacak enerjiye sahiptirler. Tamamen iyonlaşma durumunda elektron yoğunluğu;

$$n \cong N_D \quad (2.5)$$

$$p \cong \frac{n_i}{N_D} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. N_D verici yoğunluğu, Fermi seviyesi, iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu N_C ve verici konsantrasyonu N_D cinsinden yazarsak (denklem 2.7);

$$E_C - E_F = kT \ln \left[\frac{N_C}{N_D} \right] \quad (2.7)$$

elde edilir. Aynı şekilde boşluk konsantrasyonu (denklem 2.8)

$$p = N_A \quad (2.8)$$

olarak yazılabilir. Burada N_A alıcıların konsantrasyonudur. Bu durumda denklem 2.9'dan Fermi enerji seviyesi

$$E_F - E_C = kT \ln \left[\frac{N_V}{N_A} \right] \quad (2.9)$$

şeklinde olur. Denklem 2.6.'dan anlaşıldığı gibi verici konsantrasyonu arttığında $E_C - E_F$ durumunda Fermi enerji seviyesi iletkenlik bandına yakın olacaktır. Benzer şekilde yüksek alıcı konsantrasyonu Fermi seviyesini değerlik bandına doğru kaydıracaktır (Sze, 1985).

2.2. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri

2.2.1. Özdirenç

Uzunluğu L , kesit alanı A ve taşıyıcı yoğunluğu n olan bir yarıiletken elektrik alana tabi tutulduğunda numuneden geçen akım yoğunluğu J_n ,

$$J_n = \frac{I_n}{A} = \sum_{i=1}^n (-qv_i) = -qn v_n = qn \mu E \quad (2.10)$$

şekilde yazılabilir. Burada I_n elektron akımıdır. Benzer şekilde boşluk için akım yoğunluğu (denklem 2.11);

$$J_p = qn v_p = qn \mu_p E \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem 2.12'den yarıiletkenin elektrik alan altındaki toplam sürüklenme akım yoğunluğu;

$$J = J_n + J_p = (q\sigma\mu_p)E \quad (2.12)$$

elde edilir. Burada

$$\sigma = qn\mu_n + qp\mu_p \quad (2.13)$$

iletkenlik katsayısı olarak adlandırılır. Denklem 2.14'ten, yarıiletkenin öz direnci ρ iletkenlik cinsinden ifade edilirse,

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir. Genellikle saf yarıiletkenlerde iki taşıyıcı arasındaki büyük farktan dolayı denklem 2.12 veya 2.13'teki bileşenlerden sadece biri kullanılır. Bu nedenle denklem 2.13'deki öz direnç, n-tipi yarıiletken için yazılırsa;

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_n} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilebilir. P-tipi yarıiletken için yazılırsa;

$$\rho = \frac{1}{qp\mu_p} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilebilir.

2.2.2. Mobilite

Bir E elektrik alan altında elektronlar $-qE$ kuvveti altında hızlanır. Buna sürüklenme hızı denir. v_n ile gösterilir. Net termal hız rastgele çarpışmalardan dolayı sıfırdır. Elektrik alan altında sadece net bir sürüklenme hızı vardır. Denklem 2.17'den bu sürüklenme hızı;

$$v_n = - \left[\frac{q\tau_c}{m_n} \right] E \quad (2.17)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan

$$\mu_n = \frac{q\tau_c}{m_n} \quad (2.18)$$

olduğundan μ_n elektronun mobilitesidir. Bu durumda elektronların sürüklenme hızı;

$$v_n = -\mu_n E \quad (2.19)$$

şeklinde olur. Aynı şekilde boşluklar için sürüklenme hızı;

$$v_p = \mu_p E \quad (2.20)$$

şeklinde olur. μ_p boşlukların mobilitesidir.

2.3. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

Yarıiletkenlerin bant yapılarını belirlemek için en yaygın kullanılan metotlardan birisi optik soğurma metodudur. Yarıiletkene gelen elektromanyetik dalga ile numunedeki elektrik yüklerinin birbiriyle etkileşmesi sonucunda meydana gelen enerji kaybı olayına soğurma denir. Soğurma olayında enerjisi bilinen bir foton, bir elektronu düşük enerji seviyesinden daha üst bir enerji seviyesine uyarır. Bu nedenle bu spektrumdan mümkün olan tüm geçişler, yarıiletkenin yasak enerji ve

bant tipi hakkında bilgi verebilir. Denklem 2.21'deki kalınlığı x olan bir numune üzerine elektromanyetik dalganın etkisi sonucunda soğurma,

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.21)$$

bağıntısı ile verilmektedir. I_0 , numuneye gelen elektromanyetik dalga şiddetidir. I , kalınlığı x olan numuneden geçen elektromanyetik dalganın şiddetidir. α ise lineer absorpsiyon katsayısını ifade eder. Eğer bu absorpsiyon $L(h\nu)$ ışık şiddetindeki azalma hızına göre tanımlanırsa $\alpha(h\nu)$ katsayısı (denklem 2.22),

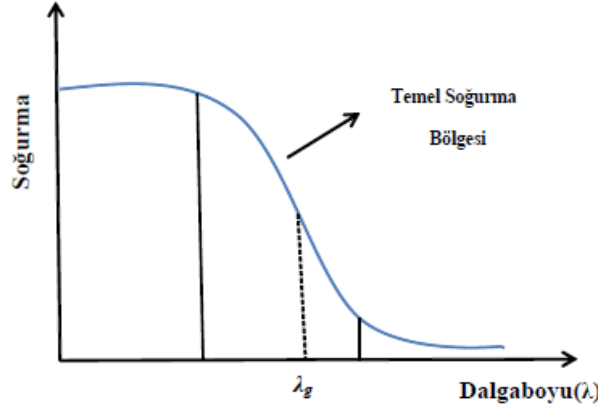
$$\alpha(h\nu) = \frac{1}{L(h\nu)} \frac{d[L(h\nu)]}{dx} \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilir. Absorpsiyon katsayısı ne kadar büyürse numuneden geçen ışının şiddeti de orantılı olarak azalacaktır (Pankove, 1971).

Temel soğurma olayı ise banttan geçişi ifade eder. Temel soğurmada hızlı bir artış olarak kendini göstererek yarıiletken enerji aralığının belirlenmesinde kullanılır. Temel soğurmada bir elektron numuneye gelen ışıdan bir foton soğurarak valans bandından iletim bandına geçer. Bundan dolayı fotonun enerjisi yasak enerji aralığına eşit veya yasak enerji aralığından büyük olmalıdır. Bu nedenle gelen fotonun frekansı ν (denklem 2.23),

$$\nu \geq \frac{E_g}{h} \text{ veya } \nu \geq \nu_0 \quad (2.23)$$

şeklinde olmalıdır. $\nu \geq E_g/h$ frekansı soğurma sınırı olarak isimlendirilir (Özaydın, 2012). Yarıiletkenler için temel soğurma spektrumu Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yarıiletkenlerde temel soğurma spektrumu
(Özaydın, 2012)

Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi λ_g dalga boyuna yakın olan dalga boylarından itibaren soğurmada artış görülmektedir. λ_g den sonra denge değerine ulaşmıştır (Özaydın, 2012).

Yarıiletken numune λ_g dalga boyundan küçük dalga boylarında güçlü bir soğurucu, güçlü dalga boylarında özellik gösterir. Bu iki bölgenin ayrıldığı sınıra temel soğurma sınırı denir (Özaydın, 2012).

2.4. p-n Eklemi

p ve n tipi yarıiletkenler uygun koşullarda bir araya getirilirse p-n birleşimi veya p-n eklemi meydana gelir. p-n eklemde bir dış elektrik alan olmadığında dahi difüzyon ve sürüklenme akımları bulunur. Bu akımlar ters yönlü olduklarından net akım sıfırdır. Eklem bölgesine p tipi yarıiletken tarafından bir elektrik alan uygulandığını varsayarsak, dış elektrik alanın etkisiyle eklem denge durumunu kaybetmiş olur. İleri besleme durumunda eklem bölgesindeki elektrostatik potansiyel farkı $V_{bi} - V_f$ şeklinde olur. Bu potansiyel farkının azalması nedeni ile p tipi bölgedeki boşluklar difüz ederlerken, n tipi bölgeden p tipi bölgeye doğru elektronların difüzyon hareketi gerçekleşir. Potansiyel farkın uygulandığı bölge V_f kadar azalacağından buna bağlı olarak eklem genişliği de küçülecektir. Termal dengede p-tipi ve n-tipi bölgeler arasındaki toplam elektrostatik fark V_{bi} ($V_{built-in}$) olarak gösterilir. V_R ters besleme voltajı, V_f ise ileri besleme durumunda voltajı ifade eder.

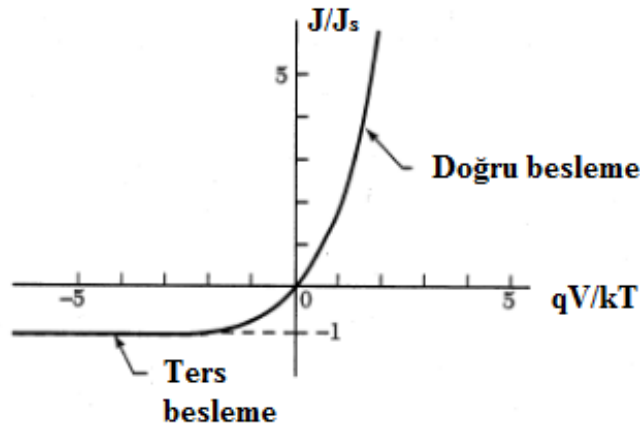
Bu eklem bölgesine n tipi bölgeden bir voltaj uygulandığında p-n bileşimi ters beslenmiş olur. Burada toplam elektrostatik potansiyel $V_{bi}+V_R$ şeklinde olur. Eklem bölgesindeki genişliğin artması sebebi ile difüzyon akımlarında azalma görülecektir. Bu nedenle ters besleme durumunda p-n bileşiminde küçük bir akımın meydana geldiği görülür. Bir p-n eklemde eklem genişliği (depletion width) uygulanan voltajla orantılı olarak (denklem 2.24),

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s(V_{bi}-V)}{qN_b}} \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N_b hafif katkılı bulk konsantrasyonunu, ϵ_s yarıiletken malzemenin dielektrik sabitini, V ters besleme ve doğru besleme için sırasıyla negatif ve pozitif değerler alan voltajı ifade etmektedir. Bir p-n bileşiminin I-V karakteristiği denklem 2.25'deki diyot denklemi ile elde edilir.

$$J = J_s(e^{qV/kT} - 1) \quad (2.25)$$

Burada J_s doyma akım yoğunluğunu ifade etmektedir. Şekil 2.4.'te boşlukların çoğunluk yük taşıyıcıları olduğu p- tipi bir yarıiletken ile elektronların çoğunluk yük taşıyıcıları olduğu n- tipi bir yarıiletkenin kontak yapılması halinde p-n eklemi oluşturması ve p-n eklemine uygulandığı voltaja bağlı olarak elde edilen akım gerilim grafiği aşağıda verilmiştir (Sze, 2001; Tumbul, 2018).



Şekil 2.4. p-n eklem diyotuna ait I-V karakteristiği (Sze, 2001)

2.5. Sol-Jel Yöntemi

Sol-jel, toz, fiber, ince film formlarında cam ve seramik malzemelerin üretiminde kullanılan bir kimyasal çözelti prosesidir. Sol-jel yönteminde altlık (substrate) üstüne çözeltinin kolay bir şekilde kaplanması ve bu yöntemin pürüzsüz, pürüzlü yüzeylere ve geniş yüzeylere sahip alanlara da uygulanabilir olmasından dolayı tercih edilen bir kaplama yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak herhangi bir geometrideki numuneler çok ince kalınlıkta kaplanabilmektedir. Aynı zamanda numunelere birden fazla yani üst üste kaplama yapılabilmektedir (Alam ve Cameron, 2001).

Bu metot malzemenin kimyasal kompozisyonu üzerinde iyi bir kontrol sağlama imkanı vermektedir. Bu metotla elementlerin alkoksit yada tuzları kullanılarak seramik, cam ve cam-seramikleri çok bileşenli oksit karışımları yolu ile elde edilmesi mümkündür. Metot basit olarak kompleks oluşturma, hidroliz ve polikondensasyon şeklinde kimyasal reaksiyon kademesinden oluşmaktadır. Birinci kademe oksit karışımını oluşturacak bileşiklerin başlangıç maddeleri ile bir çözelti hazırlanır. Ardından çözeltide meydana gelen hidroliz ve polikondensasyon kimyasal reaksiyonları sonucunda elde edilen malzeme ısıtılarak oksit yapıya ulaşılır. Malzeme ince film, elyaf, seramik, cam vb. yapılarından herhangi birisi olabilir. Bu metotla hazırlanan malzemeler saf ve homojendirler. Başlangıç maddeleri ile çözelti meydana getirebilen tüm maddeler bu metotta kullanılabilir. Çözeltide kimyasal türler kararlı halde bulunur. Sistemin çözünüm ve süspansiyon durumu değiştiğinde çözeltinin kararsızlığı da kaçınılmazdır. Bunun en önemi nedenlerinden biri çözelti oluşumunda başlangıç koşulu çözücünün doğası olan koloit çökeltinin oluşumu yada jel oluşumu için uygulanan yöntemdir.

Sol-jel yöntemi laboratuvar şartlarında güzel uygulanabilen bir yöntemdir ve bu yöntemin geniş ölçekli üretimler için de kullanımı artış göstermektedir (Schubert ve Pierre, 1998).

Sol-jel yöntemi genel olarak bu basamaklardan oluşmaktadır:

1. Ön başlatıcı hidrolizi
2. Sol-jel aktif türlerinin alkol veya kondenzasyonu
3. Jelleşme
4. Yaşlanma
5. Kurutma
6. Yüksek sıcaklık işlemi

Sol-jel metodunun kapsadığı genel kimyasal reaksiyonlar, gerekli dizaynın yapılması ve kararlı fazın üretilmesi için ilk başlangıç materyalden son materyale kadar bütün proste kontrole imkan verilmesinden dolayı büyük ölçüde öneme sahiptir (Li ve ark., 2004).

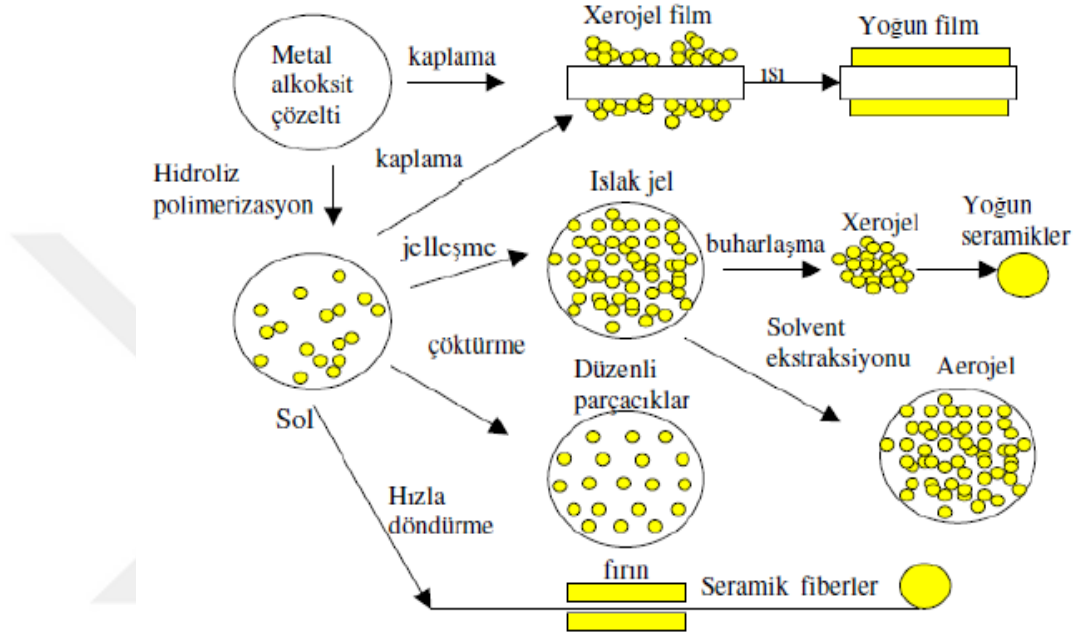
2.6. Sol-jel Oluşumu ve Oluşan Yapılar

Sol-jel prosesinde ilk aşama solün oluşumudur. Sol; sıvı içerisinde katı partiküllerin koloidal bir süspansiyonudur (Siouffi, 2003). Buradaki katı tanecikleri yerçekiminden büyük dispersiyon kuvvetlerinden sorumlu olduğundan dolayı yeterince küçük olmalıdır. Kolloid şeklinde tanımlanan tanecikleri nano boyutlu taneciklerdir.

Jel; nano boyutlardaki parçacıkların birbirleriyle bağ kurması sonucunda elde edilen ve sol fazına oranla daha yoğun bir fazdır. Bu faz solun kondensasyonu ile başlar.

Jel, sıvı bileşen içeren içyapısı yüksek yoğunlukta sıvı ve katı dağılımına sahip, gözenekli ve üç boyutlu durumdur. Bütün sollar jel olmayabilirler. Jelin oluşması için önemli kriter, en küçük çözücü parçacıkları ile çözünen parçacıklar arasında bağ kurulmasıdır. Şayet sıvı bağları koloidal sol partüküllerinden meydana gelmişse jele koloidal denilmektedir. Jeli meydana getiren moleküller birbirine kuvvetli yada zayıf bağlarla bağlanarak, aralarındaki boşluklarda sıvı bulunan iskelet doku oluşturulur. Bu yüzden sıvı bağlarıyla sıvı ortamının birleşmesi sonucunda oluşan akıcı olmayan ortam jel oluşturmaktadır (Schubert ve Pierre, 1998). Jel sıvı

katmanı, katı gibi görünse de ıslak bir çözeltilidir. Jel, sıvı içerisindeki gözenekli bir yapı olarak düşünülebilir. Islak jelde su ve alkol gibi maddelerde mevcuttur. Jel ısıtılması sonucunda organik çözücüler ve su gibi maddeler uzaklaştırılabilir (Brinker ve Scherer, 2013; Schubert ve Pierre, 1998). Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi solün farklı prosesleri ile malzemelerin değişik formları oluşturulmaktadır.



Şekil 2.5. Çeşitli sol-jel türevli ürünlerin şematik gösterimi (Zuhail, 2011)

Sol-jel diğer proseslerden farklı olarak çok ılımlı koşullarda oluşan bir prosesdir. Bu yüzden proses, fiberler, filmler, partiküller ve monolitler gibi çeşitli boyut, şekil ve biçimlerde ürünler üretmede uygulanabilir (Locher ve ark., 2008; Keshmiri ve ark., 2006).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Yarıiletken ince filmlerin üretiminde kullanılan bir çok fiziksel ve kimyasal yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada SnS yarıiletken malzemeleri üretmek için pratik ve çözeltiliye dayalı bir teknik olan sol-jel metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada kalay(Sn) ve kükürt(S) elementlerinin oranları değiştirilerek farklı oranlarda SnS çözeltileri elde edilmiştir. 24 saat oda sıcaklığında manyetik karıştırıcılar yardımıyla karıştırılan çözeltiler aşağıdaki yollar izlenerek ince film haline getirilmiştir. Elde edilen bu ince filmlerin kristal yapılarının incelenmesinde X-ışınları kırınım cihazı (XRD), yüzey morfolojilerini ve kalınlıklarını belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM), örneklerin optik özellikleri belirlemek için UV-vis spektrometresi, elektriksel özelliklerini belirlemek için termoelektrik, yapısal olarak hangi fazda olduğunu anlamak için ise Raman Spektrometresi kullanılmıştır.

3.2. SnS Çözeltilerinin Hazırlanması

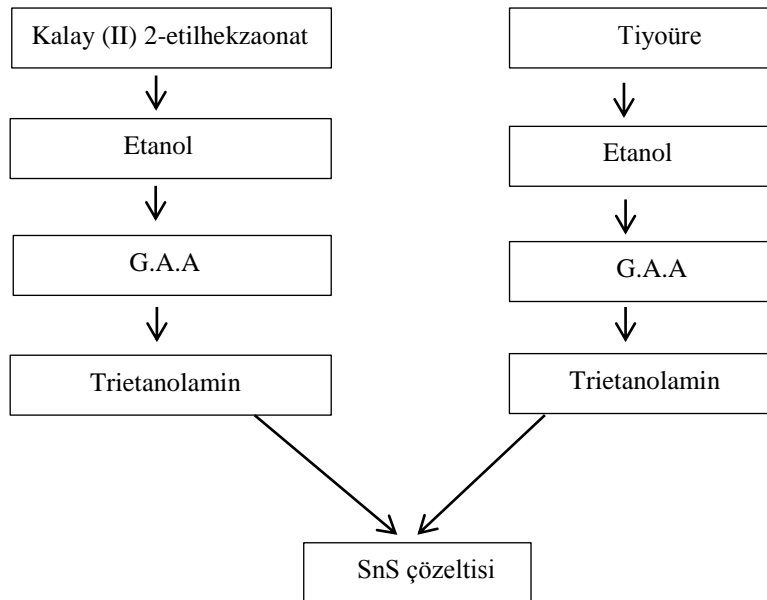
Bu tez çalışmasında 8 adet SnS çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltilerin hazırlanması için iki farklı kalay kimyasalı kullanılmıştır. SnS çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan kimyasalların listesi çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. SnS çözeltisinde kullanılan kimyasallar

Kimyasal	Formülü
Kalay (II) 2-etilhekzaonat	$C_{16}H_{30}O_4Sn$
Kalay (II) klorür dihidrat	$SnCl_2 \cdot 2H_2O$
Etanol	C_2H_6O
2-Metoksietanol	$CH_3OCH_2CH_2OH$
Glasiel asetik asit	CH_3COOH
Trietanolamin	C_2H_7NO
Tiyüre	H_2NCSNH_2
Etanolamin	C_2H_7NO

3.2.1. Kalay (II) 2-etilhekzaonat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanması

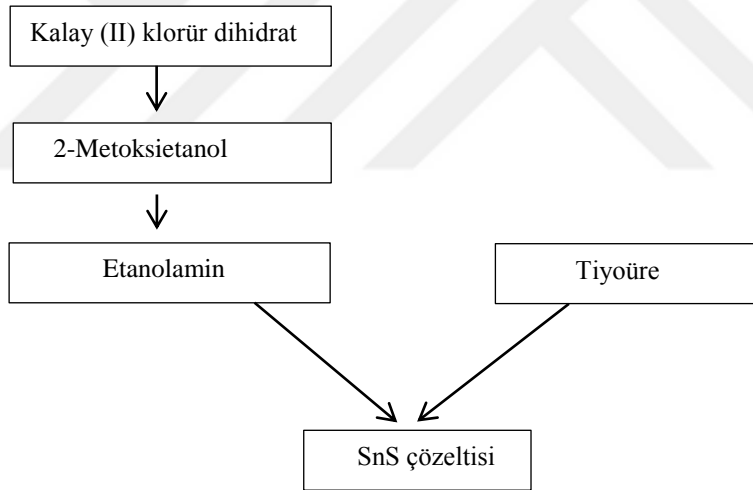
Burada SnS çözeltilerin hazırlanmasında kalay (II) 2-etilhekzaonat kimyasalı kullanılmıştır, kükürt kaynağı olarak ise tiyoüre kullanılmıştır. Ayrıca SnS çözeltilerinin hazırlanış şeması Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Kalay (II) 2-etilhekzaonat kimyasalı ile 4 adet çözelti hazırlanmıştır. Burada kullandığımız kalay (II) 2-etilhekzaonat kimyasalını çözmek için manyetik karıştırıcıda 15 dakika ara ile önce etanol eklenerek 15 dakika manyetik karıştırıcıda bekletilir, sonra glasiel asetik asit eklenir, tekrar 15 dakika manyetik karıştırıcıda bekletilir, daha sonra trietanolamin eklenir ve manyetik karıştırıcıda bekletilir. Kükürt kaynağı olarak kullanılan tiyoüre kimyasalını çözmek için de yine sırasıyla etanol, glasiel asetik asit ve trietanolamin 15 dakika ara ile eklenir. Daha sonra bu ayrı ayrı hazırladığımız Kalay (II) 2-etilhekzaonat ve tiyoüre çözeltileri birbirine karıştırılır ve manyetik karıştırıcıda 24 saat bekletilir. Bu işlemler sonucunda çözelti kaplamada kullanılmak üzere hazır olur. Hazırlanmış olan çözelti oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı yardımı ile 24 saat karıştırılarak elde edilmiştir. Bu çözeltideki Sn/S molar oranları sırasıyla 1/(1/2), 1/1, 1/2, 1/4 olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1. Kalay (II) 2-etilhekzaonat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanış şeması

3.2.2. Kalay (II) klorür dihidrat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanması

Bu SnS çözeltisinin hazırlanması bir önceki çözeltilerden farklı olarak kalay (II) klorür dihidrat kimyasalı kullanılarak ve tiyoüre kimyasalında kullanılan çözücülerin değiştirilmesi ile hazırlanmıştır. Yine aynı şekilde manyetik karıştırıcıda çözücüler sırasıyla 15 dakika ara ile kalay (II) klorür dihidrat kimyasalı üzerine eklenir. Daha sonra tiyoüre ayrı bir kaptaki hassas terazide tartılarak kalay (II) klorür dihidrat kimyasalının üzerine eklenir ve manyetik karıştırıcıda 24 saat karıştırılması sağlanır. 24 saatlik süre sonunda çözelti kaplamaya hazır hale gelir. Çözeltiler oda sıcaklığında hazırlanmıştır. Ayrıca SnS çözeltisinin de hazırlanış şeması Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Yine aynı şekilde bir önceki çözeltideki gibi Sn/S molar oranları değiştirilmeyerek sırasıyla 1/(1/2), 1/1, 1/2, 1/4 olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2. Kalay (II) klorür dihidrat başlangıç kimyasallı SnS çözeltisinin hazırlanış şeması

3.3. Cam Altlıkların Temizlenmesi

Literatürde verilen çalışmaların bir kısmında cam altlıkları kullanılmıştır. Bu cam altlık malzemeler ne kadar temiz olursa o oranda kaliteli ince film üretilir. Yaptığımız bu çalışmada yüzey kusurları minimuma yakın olan mikroskobik camlardan kullanıldı. Camların boyutları 5cm x 1.5cm şeklinde elmas kalem ile kesildi. Kullanılacağımız bu cam altlık malzemelerini temizlemek için ilk önce

yumuşak bir sünger kullanılarak deterjanlı su ile temizlendi ve ardından kısa bir süre saf suda bekletildi. Daha sonra cam altlık önce ultrasonik banyoda asetonun içinde 10 dakika bekletildi ve hava komperasörü ile kurutuldu. Bu işlemten sonra 2-propanolun içine koyularak ultrasonik banyoda 10 dk bekletildi. Daha sonra aynı şekilde hava komperasörü ile kurutuldu. Son olarak şekil 3.3.'te görülen plazma yüzey temizleyici cihazı ile cam altlıklar, plazma ortamında 5 dakika bekletildi ve kaplama için hazır duruma geldi.



Şekil 3.3. Plazma yüzey temizleme cihazı

3.4. Sol-jel Daldırarak Kaplama (Dip Coating) Yöntemi

Bu çalışma daldırarak kaplama (dip coating) cihazından faydalanılarak kaplamalar elde edilmiştir. Dip coating cihazı farklı sıcaklıklarda (1000 °C'ye kadar) kaplama yapabilen, daldırma ve çekme hızı dk/mm bazında ayarlanabilen, istenilen sayıda kaplama yapabilen çok amaçlı yarı otomatik bir cihazdır. Dip coating cihazı Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. PLT-HT- Dip Coating kaplama cihazı

Daha önce hazırlamış olduğumuz ve temizlediğimiz ince filmde kullanılacak olan cam altlık malzemeler kaplamaya hazır duruma getirilmişti. Ardından cam altlık üzerine sol-jel yöntemlerinden dip coating (daldırarak kaplama) yöntemi ile SnS ince filmlerin kaplanması aşamasına geçilmiştir.

İnce SnS filmleri 300 °C’de çözeltinin içine daldırma ve çekme hızı 15 cm/dk olacak şekilde 3,5,7,10 kat (dip) sayıda kaplamalar elde edilmiştir.

3.5. Tavlama İşlemi

Kaplama sonrası numuneler amorf yapıda olduklarından bunların kristal yapıya dönüşmesi için belirli sıcaklıkta tavlama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Tavlama süresi, tavlama sıcaklığı, vakumlu veya açık havada tavlama filmlerin kristal yapısını çok yakından etkilemektedir. Bu çalışmadaki numuneler 350 °C’de 45 dk vakum ortamında (40 m Torr basınç ortamında) tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Vakum ortamını tercih etmemizin sebebi numunelerin

oksitlenmesini önlemektir. Vakum pompası yardımı ile içerdeki oksijen çekilip dışarı salınmıştır ve tavlama işlemi bitene kadar (fırının iç sıcaklığı oda sıcaklığına inene kadar) vakum pompası içerdeki havayı çekmeyi sürdürmektedir. Şekil 3.5.'te gösterilen gaz kontrollü VBF-1200X çok fonksiyonlu tavlama fırını kullanılmıştır.



Şekil 3.5. VBF-1200X Gaz kontrollü tavlama fırını

3.6. Kristal Yapı Analizi

Kristal yapı 3 boyutlu uzayda düzenli atom dizilimine sahip malzemelerde görülen yapıdır. Katıların kristal yapısı, yapısında bulunan atom gruplarının veya moleküllerin katıya özgü olacak şekilde geometrik düzende bir araya gelmesi ile oluşur. X-ışını kırınımı kristallerin yapı tayininde kullanılan yöntemdir. Malzemenin kristal yapıda olup olmadığı, kristal yönelimleri, ortalama tanecik boyutları gibi malzeme hakkında bilgiler verir. Karakteristik X-ışınlarının üretilmesi ilk olarak bombardıman yapan elektronun hedef atomunun bir elektronunu iç kabuğundan koparmasıyla başlar. Atomun kopan elektronunun kabukta bıraktığı boşluk üst

kabukta yani daha yüksek enerjili bir elektronun boş olan seviyeye inmesiyle doldurulur. Kuantum mekaniksel olarak bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçen elektron bir foton soğurur yada salar. Bir düşük seviyeye inen elektron bir foton yayar. Böyle durumlarda geçişlerin enerji seviyeleri 100 eV'tan daha büyüktür ve ortama salınan x-ışını fotonlarının dalga boyu 0.01 nm ile 1 nm arasındadır. Şekil 3.6.'da X-ışını difraktometresi cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. X-ışını difraktometresi (HÜBTAM)

İnce filmlerin yapı analizleri Harran Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezi (HÜBTAM)'da bulunan Rigaku Ultima III X-ışını kırınım cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.6). CuK_α ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$) ışınımı kullanılarak ince filmlerin kristal yapı analizi $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ aralığında 0.02° 'lik adımlarla elde edilmiştir. Elde edilen X-ışını spektrumunda ince filmlere ait pikler bilgisayara yüklenmiş olan JADE yazılımı yardımı ile analiz sonuçları elde edilmiştir.

3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Üretilmiş olan ince film yarıiletken malzemelerin morfolojik yapısı HÜBTAM'da bulunmakta olan Zeiss EVO50 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir. Yine üretilmiş olan ince film yarıiletken malzemelerin kimyasal yapısı ve malzeme içindeki elementlerin oranları ise aynı cihaza bağlı bulunan Bruker AXS Microanalysis GmbH marka EDX dedektörü kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (ZEISS)

Taramalı elektron mikroskobu araştırılmak istenen yapıya hasar vermeden, incelenecek materyal ve yüzeylerin morfolojik yapıları ve bileşimleri hakkında bilgi aktaran çok amaçlı tekniklerden birisidir.

Yüksek enerjili elektronların hedef malzemenin atomlarının dış yörünge elektronları ile temasa geçmesi sonucunda Auger elektronları oluşur. Bu oluşan elektronlar malzemenin yüzeyi hakkında bilgi taşır. Asıl morfolojik özellikler yörünge elektronuna sahip olan ve malzemenin 10 nm yada daha düşük derinliklerinden gelmekte olan ikincil elektronların cihaz içinde bulunan sistem sayesinde (Photomultiple tube) sinyale çevrilmesiyle üretilir.

3.8. İnce Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

İnce filmlerin optiksel geçirgenlik ve soğurma spektrumları, görünür bölgede 200 nm-1100 nm dalga boyu aralığında Şekil 3.8.'de gösterilen Perkin Elmer 45 UV-Vis spektrofotometre kullanılarak elde edilmiştir. İnce filmlerin yasak enerji aralığı soğurma spektrumundan faydalanılarak Tauc yönteminden hesaplanmıştır (Tauc, 1974) (Denklem 3.1).

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^x \quad (3.1)$$

Burada x değeri doğrudan bant geçişleri için $x=1/2$ değerindedir. α soğurma katsayısı, A ise bir sabittir ve hv foton enerjisidir. Bu bağıntıda $(\alpha hv)^2$ 'nin $(\alpha hv)^2 - hv$ 'ye göre çizilen grafiğin teğeti ince film yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığının değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.8. UV-VİS spektrometresi (Pekin Elmer 45 UV-VIS)

3.9. İnce filmlerin Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

3.9.1. Termal buharlaştırıcı

Ürettiğimiz SnS ince filmlerin elektriksel özelliklerini daha pratik bir yolla ölçülebilmesi için ince filmler, elektriksel kontaklar için maskelenerek termal buharlaştırıcı ile yüksek vakum altında ($\sim 10^{-6}$ Torr) omik kontak yapılmıştır. Termal buharlaştırıcı ile yüksek vakum altında 5 dakika boyunca 2.5 amperlik akım verilerek gümüşün buharlaşması sağlanmıştır. Termal buharlaştırma cihazı Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Termal buharlaştırıcı (Qrep 500)

3.9.2. Hall etkisi ve dört nokta yöntemi

Yarıiletken ince filmlerin fiziksel özelliklerinin incelenmesinde kullanılan yöntemlerden biriside Hall etkisi ve dört nokta yöntemidir. Şekil 3.10.'da Hall etkisi ölçüm cihazı gösterilmiştir.

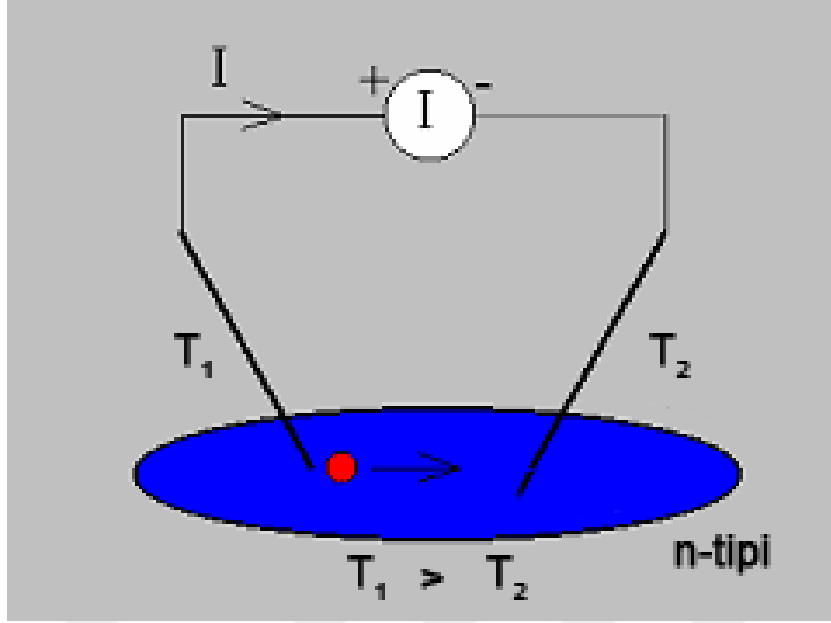


Şekil 3.10. (a) Ecopia HMS-300 Hall ölçüm sistemi ve (b) Numune probu (URL-4)

İnce filmlerin hacim, yüzey yoğunluğu, öz direnç, mobilite ve Hall katsayısı değerleri gösterilen Hall ölçüm sistemi ile ölçülmeye çalışılmıştır. Fiziksel yapısı Van der Pauw dört nokta tekniğine dayanan bu sistemde ise kontak alanları yaklaşık 0.5 mm^2 ve kontaklar arası uzaklık sabit ve 2 mm şeklinde alınmıştır.

3.9.3. Yarıiletken türünün belirlenmesi

Üretilen ince film yarıiletken malzemelerin p- tipi veya n- tipi taşıyıcı türüne sahip olup olmadığı termoelektrik ve Hall etkisi yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Termoelektrik yöntemde malzemeye yapılan iki kontak arasında sıcaklık farkından dolayı oluşan çoğunluk taşıyıcıları akım yoğunluğundan faydalanarak yarıiletkenin türü belirlenebilir. n- tipi bir yarıiletken göz önüne alalım. Bu tür yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardır. Isıtılacak olan kontak bölgesindeki elektronların termal enerjileri diğer kontak bölgesindeki elektronlara göre daha yüksek olacaktır. Bu farktan dolayı sıcak olan bölgeden soğuk olan bölgeye elektron difüzyonu gerçekleşecektir. Eğer iki kontak arasında bir gerilim ölçüm aleti bağlanırsa potansiyel farkın olduğu gözlenecektir. böylece sıcak ucun olduğu bölge – işaretli ise yarıiletken p- tipi, + işaretli ise yarıiletken n- tipi bir yarıiletkendir (Aslan, 2011) (Şekil 3.11).

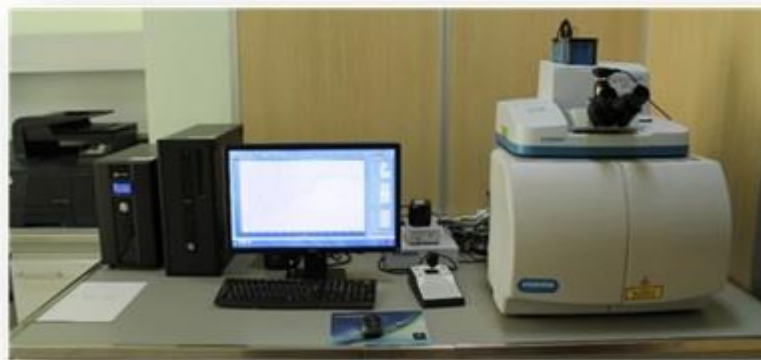


Şekil 3.11. Termoelektrik yöntemin şematik gösterimi (Aslan, 2011)

Hall etkisi yöntemiyle ayrıca Hall etkisi sabitinin işaretine bakılarak yarıiletkenin n veya p tipi olup olmadığı kontrol edilmektedir.

3.10. Raman Spektroskopisi

Raman spektrometresi bir molekülün kimyasal yapısı hakkında bilgi veren titreşimsel bir spektroskopi yöntemidir. Numune üzerinde bozunma ve deformasyona sebep olmadan, seçili bir noktanın tanımlanması yapılmaktadır. Günümüzde ince filmlerin incelenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 3.12.'de Raman spektrometresi cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Raman spektrometresi (MTA)

Moleküllerdeki titreşimleri tespit etmek için kullanılan temel spektroskopiler, infrared absorpsiyonu ve Raman saçılması metotlarına dayanmaktadır. Bu metotlar kimyasal yapılar ve fiziksel formlar üzerindeki bilginin sağlanması, maddeleri karakteristik spektral modellerinden tanımlamak örnekteki maddelerin miktarını kantatif veya yarıkantatif olarak tespit etmede de kullanılmaktadır. Örnekler; madenin sıcak, soğuk, gaz, katı ve sıvı gibi tüm fiziksel durumlarda ve mikroskobik partiküller, yüzey tabakaları veya yığın halinde analiz edilebilmektedirler (Smith ve Dent, 2013).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

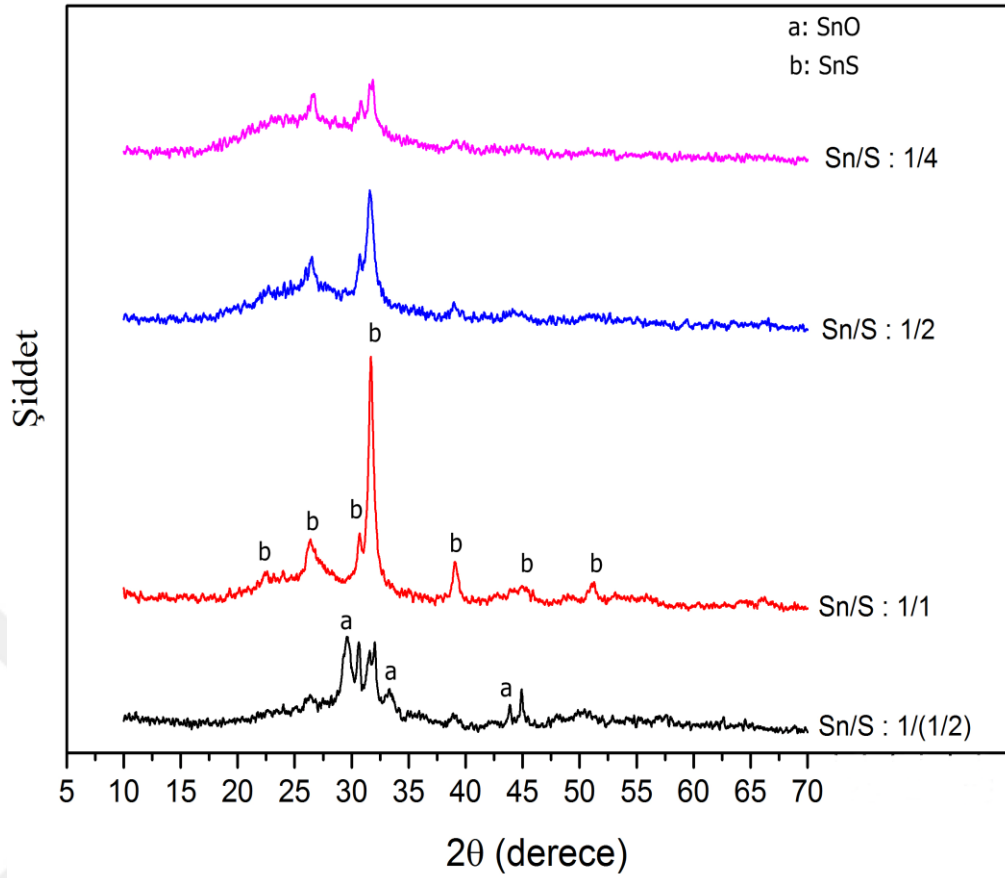
4.1. Giriş

Bu bölümde SnS ince filmlere çözültideki Sn/S molar oranının ve başlangıç kalay kimyasalının etkisi incelenmiştir. Yapısal özelliklerinin incelenmesi için XRD ve Raman spektrometresi, yüzey morfolojisi ve elementel analiz için SEM ve EDX kullanılmıştır. Filmlerin optiksel özellikleri için ise UV-Vis spektrometresinden yararlanılmıştır. Hazırlanan yarıiletkenlerin taşıyıcı türleri termoelektrik yöntemiyle belirlenmiştir. Ayrıca hazırlanan bazı örnekler üst üste kaplanarak p-n eklem yapının oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir.

4.2. X-Işını Kırınımı (XRD) Sonuçları

Bu tez çalışmasında kalay (II) 2-etilhekzaonat ve kalay (II) klorür dihidrat başlangıç kimyasalları ile üretilmiş olan tüm ince filmlerin kristal yapı analiz sonuçları X-ışını kırınım cihazı kullanılarak elde edilmiştir. İnce filmlerin kristal yapı analizi $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 70^{\circ}$ aralığında 0.02° 'lik adımlarla Rigaku Ultima III cihazı ile alınmıştır.

Şekil 4.1.'de kalay (II) 2-etilhekzanoat ile elde edilen SnS filmlerin farklı molar oranlardaki XRD grafikleri verilmiştir.

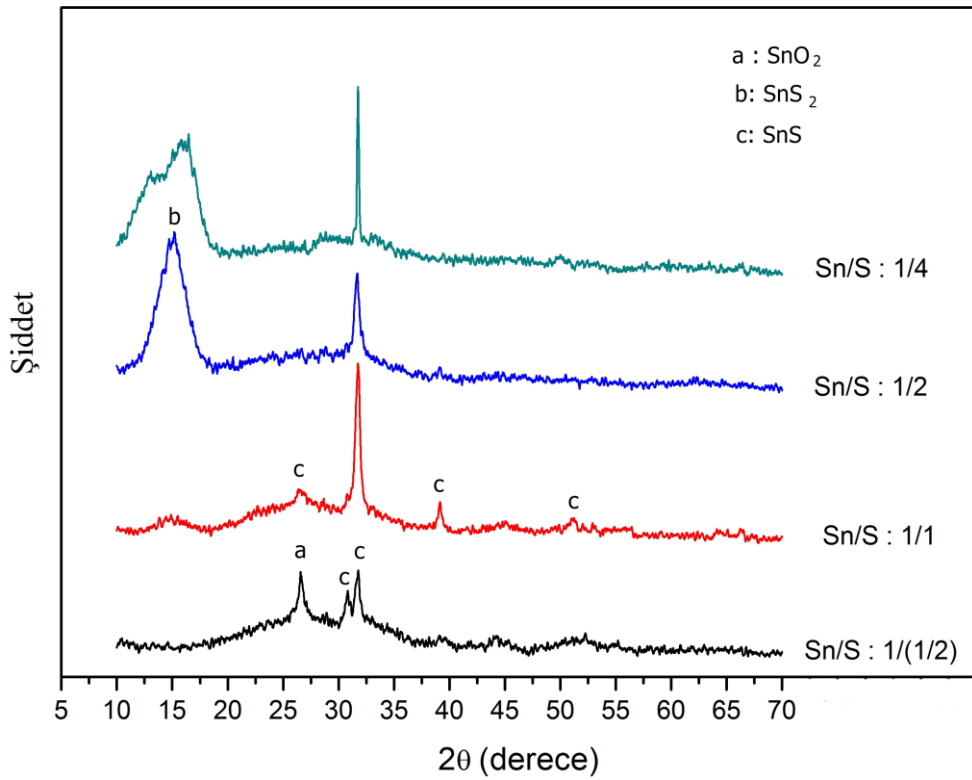


Şekil 4.1. Kalay (II) 2-etilhekzanoat ile üretilmiş ince filmlerin farklı molar oranlara göre XRD grafikleri

Şekil 4.1.'e göre $2\theta = 22.5^\circ$, 26.4° , 30.7° , 31.7° , 39.1° , 44.9° ve 51.3° açılarında çıkan pikler (110), (021), (101), (040), (041), (211) ve (160) Miller indisli ve ortorombik yapılu SnS kristaline aittir (Reddy ve Kumar, 2016). 31.7° deki (040) Miller indisli XRD piki SnS' nin en şiddetli pikidir. Çözeltideki Sn/S molar oranı 1/1 olan örneklerde en şiddetli XRD pikleri gözlenmiştir. Bununla birlikte Sn/S molar oranındaki sülfür miktarı artırıldıkça pik şiddetleri azalmaktadır. Sn/S molar oranı $\frac{1}{4}$ olduğunda pik şiddetlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu durum filmdeki SnS' nin kristal yapısının zayıfladığı göstermektedir. Bu sonuçlara göre en ideal yapı Sn/S molar oranı 1/1 iken ortaya çıkmaktadır. Kalay (II) etilhekzanoat ile elde edilen filmlerin XRD sonuçlarına göre SnS₂ ve Sn₂S₃ gibi farklı fazlar oluşmamıştır. Fakat Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan filmlerde SnS yapısına ait piklerle birlikte 29.6° , 33.4° ve 43.9° de yabancı pikler ortaya çıkmıştır. Yapılan literatür taramasına göre bu pikler (101), (110) ve (200) Miller indisli SnO fazına aittir

(Janardhan ve ark., 2018). Bunun nedenin çözeltideki kalay miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fazla kalay elementi oksijenle reaksiyona girerek SnO fazı oluşturmuştur. Bu beklenen bir durumdur. Öte yandan, çözeltideki kükürt miktarı arttıkça SnO fazına ait pikler ortadan kalkmaktadır.

Şekil 4.2.'de kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile elde edilmiş ince filmlerin XRD sonuçları verilmiştir.



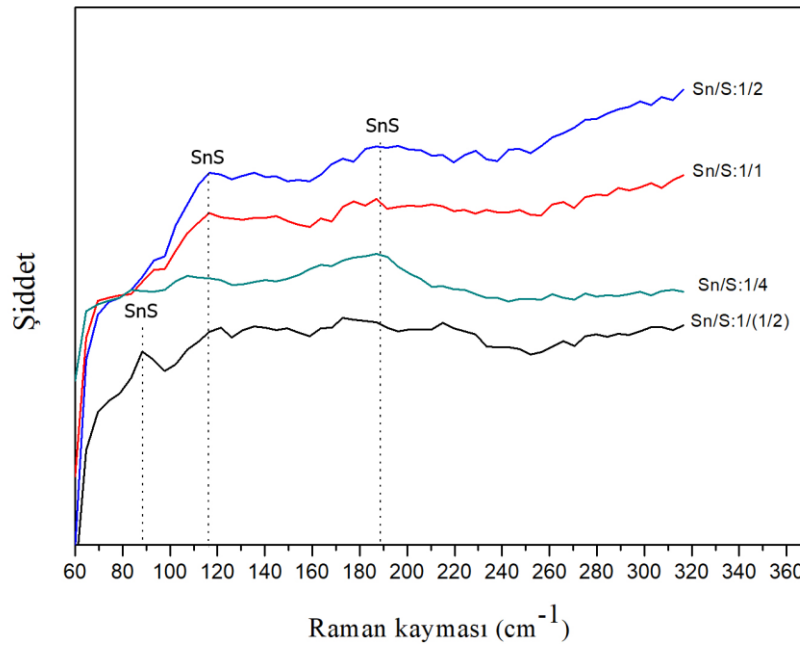
Şekil 4.2. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş SnS filmlerin farklı oranlara göre XRD sonuçları

Şekil 4.2.'deki XRD sonuçlarına göre Sn/S molar oranı 1/1 olan filmlerde $2\theta = 26.4^\circ, 30.7^\circ, 31.7^\circ, 39.1^\circ, 44.9^\circ$ ve 51.3° açılarında XRD pikleri gözlenmiştir. Bu pikler (110), (021), (101), (040), (041), (211) ve (160) Miller indisli ve ortorombik yapılu SnS kristaline aittir (Reddy ve Kumar, 2016). Kalay (II) etilhekzanoat örneklerinden farklı olarak $2\theta = 14.9^\circ$ açısında farklı bir pik oluşmaktadır. Bu pik yapılan literatür taramasına göre SnS₂ yarıiletkenine aittir (Ray ve ark., 1999). $2\theta = 14.9^\circ$ de ortaya çıkan SnS₂ fazının (001) Miller indisli pikinin şiddeti çözeltideki

kükürt miktarı artırıldıkça artmaktadır. Ayrıca çözeltideki Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan çözeltilerden elde edilen filmlerde de kalay fazlalığından dolayı $2\theta = 26.6^\circ$ de (110) Miller indisli SnO₂ fazı oluşmaktadır (Chen ve ark., 2008). XRD sonuçlarına göre kalay klorür dihidrat çözeltisiyle hazırlanmış örneklerde SnS fazı ile birlikte SnS₂ ve SnO₂ fazları da oluşmaktadır.

4.3. Raman Spektrometresi Sonuçları

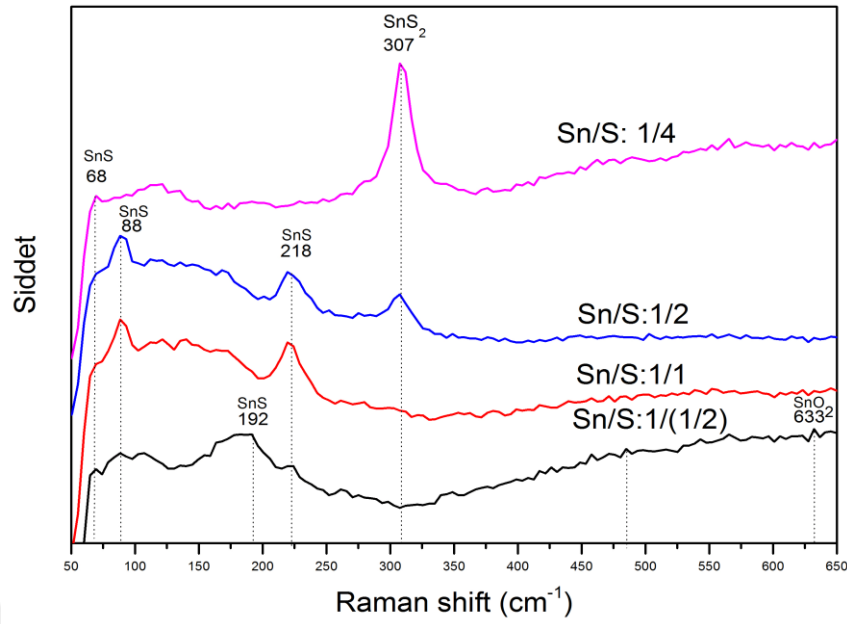
Üretilen filmlerin yapısal olarak hangi fazlara sahip olduğunu daha detaylı anlamak için Raman spektrometresi kullanılmıştır. Şekil 4.3.'te kalay (II) etilhekzanoat kimyasalı ile hazırlanmış çözeltilerden elde edilmiş filmlerin Sn/S molar oranına göre Raman sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.3. Kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin molar oranına göre Raman spektrumları

Yukarıda şekil 4.3' te 89 cm^{-1} , 118 cm^{-1} ve 189 cm^{-1} de çıkan Raman pikleri SnS yapısına aittir (Aksay ve ark., 2009).

Şekil 4.4.'te ise kalay klorür (II) dihidrat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin Sn/S molar oranına göre Raman sonuçları verilmiştir.

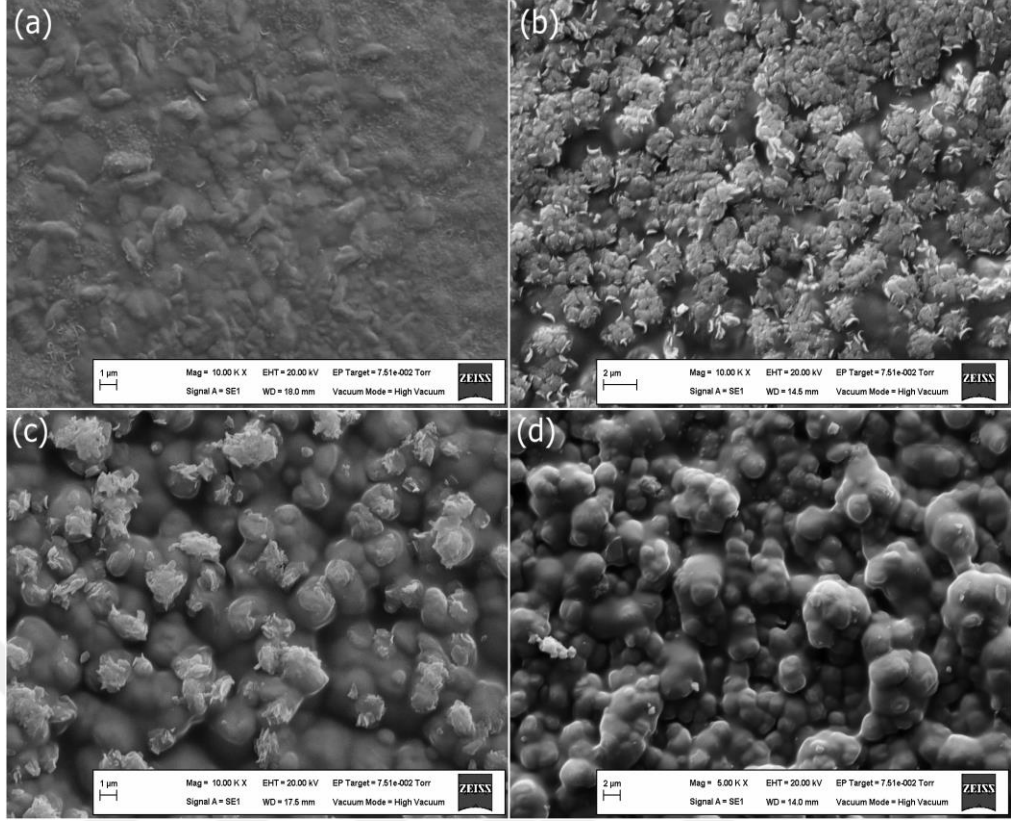


Şekil 4.4. Kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile elde edilmiş farklı Sn/S molar oranlara sahip filmlerin Raman spektrumları

Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan çözeltilerde 633 cm^{-1} de zayıf bir Raman piki görülmektedir. Bu pik SnO_2 fazına aittir (Xu ve ark., 2011). Ayrıca 192 cm^{-1} de de SnS yapısına ait bir Raman piki gözlenmektedir. Çözeltideki Sn/S molar oranı 1/1 olduğunda 88 cm^{-1} ve 218 cm^{-1} de SnS yapısına ait pikler ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olduğunda 307 cm^{-1} de SnS_2 yarıiletkenine ait Raman kayması meydana gelmektedir (Chao ve ark., 2012). Bu sonuç XRD sonuçları ile uyum içerisindedir.

4.4. SEM Sonuçları

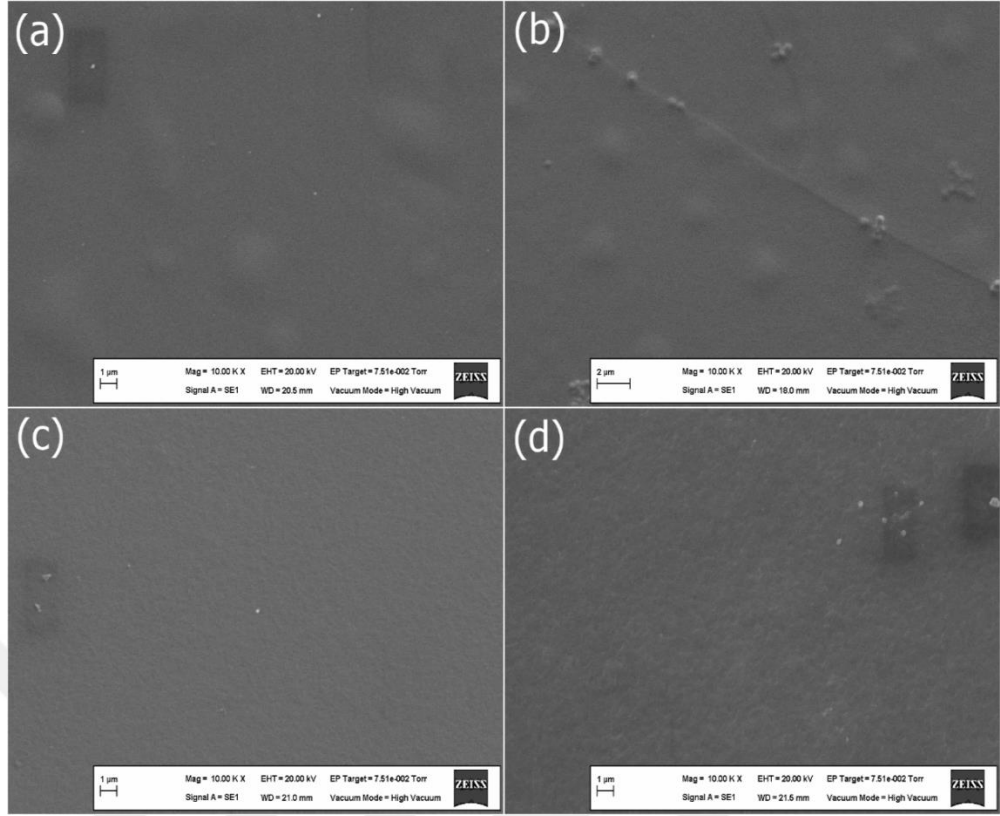
Farklı molar oranlarda ve farklı başlangıç kimyasalları ile elde edilen örneklerin taramalı elektron mikroskobu ölçümleri Zeiss Evo50 cihazı ile elde edilmiştir. Şekil 4.5.'te kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile elde edilmiş ince filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.5. Kalay (II) 2-etilhekzaonat ile üretilmiş SnS molar oranı (a) 1/(1/2), (b) 1/1, (c) 1/2 ve (d) 1/4 olan ince filmlerin SEM görüntüleri

Şekil 4.5.'deki SEM görüntülerine göre Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan çözeltilerden elde edilmiş filmlerin yüzey yapısı çatlaksız ve küçük tanecikli olduğu görülmektedir. Molar oranı 1/1 olduğunda tanecik yapılar ortaya çıkmaktadır. Bu durum XRD sonuçları ile uyumludur. Molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin XRD pik şiddetleri molar oranı 1/1 olan örneklerden daha zayıftır. Bununla birlikte çözeltideki Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olduğunda yüzey yapıları değişmektedir. Taneciklerin şekilleri küresel hale gelmektedir.

Şekil 4.6.'da kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile elde edilmiş ince filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.

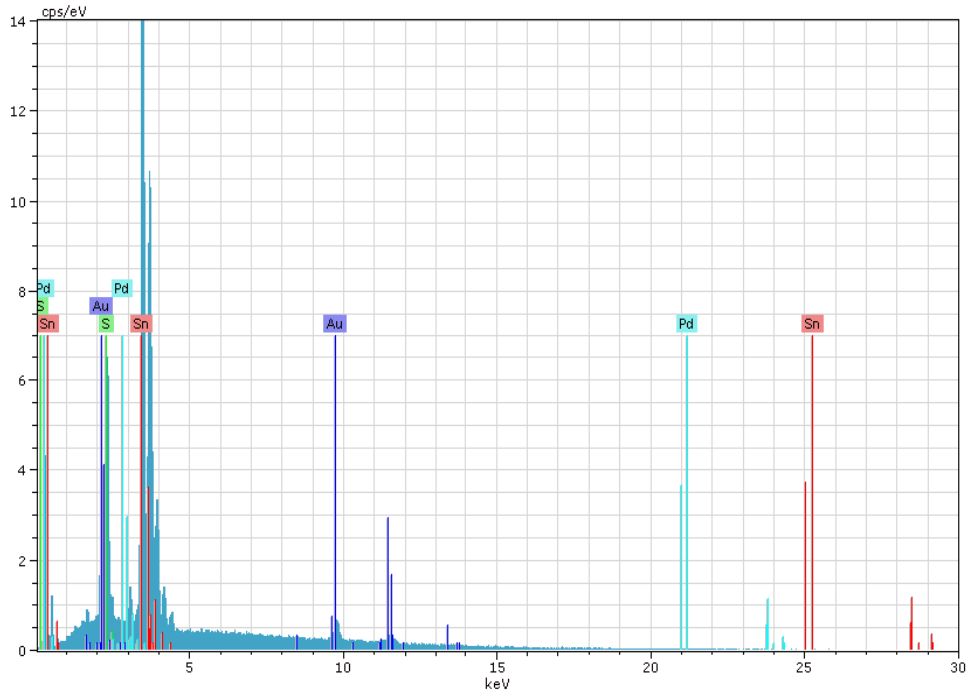


Şekil 4.6. Kalay (II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı (a) $1/(1/2)$, (b) $1/1$, (c) $1/2$ ve (d) $1/4$ olan ince filmlerin SEM görüntüleri

Şekil 4.6.'daki SEM görüntülerine göre kalay klorür dihidrat ile elde edilmiş ince filmlerin yüzey yapıları, kalay (II) 2-etilhekzaonate ile elde edilmiş örneklerin yüzey yapılarından tamamen farklı olduğu görülmektedir. Bu örneklerde tanecik yapılar gözlenemeyecek kadar küçüktür. XRD sonuçlarından da gözleendiği gibi (Şekil 4.2.) kalay klorür dihidrat ile elde edilmiş filmlerde SnS_2 fazı oluşmaktadır. SnS_2 fazı bilindiği gibi n-tipi bir yarıiletkenidir. Bu görüntüler literatürdeki SnS_2 fazlı ince filmlerle uyuşmaktadır (Kumar ve ark., 2017). Genel olarak In_2S_3 , CdS ve ZnO gibi n-tipi özellik gösteren filmlerin tanecik boyutları oldukça küçük olmaktadır.

4.5. EDX Sonuçları

Enerji dağılımlı X-ışını spektrometresiyle kalay (II) 2-etilhekzaonat ve kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilen tüm örneklerin EDX grafikleri alınmıştır. Şekil 4.7.'de kalay(II) 2-etilhekzaonat ile üretilmiş SnS molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin EDX sonuçları verilmiştir. Diğer örneklerin EDX sonuçları ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 4.7. Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin EDX sonuçları

Grafikte görülen altın ve paladyum pikleri SEM görüntülerini elde etmek için örnekler üzerine yapılan ön kaplamadan gelmektedir. EDX grafikleri verilen tüm örneklerin EDX sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bu çalışmada hazırlanan tüm örneklerin EDX sonuçları

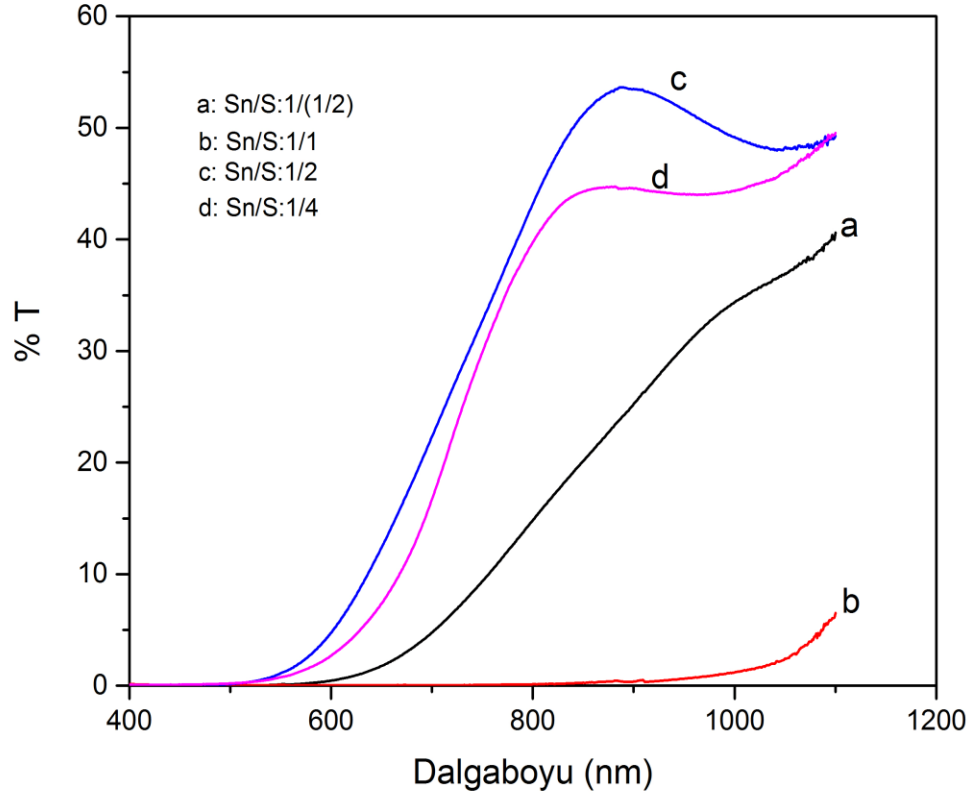
Hazırlanma Sıcaklığı (°C)	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Kalay Türü	EDX			
			Çözelti Sn/S	Sn %	S %	Sn/S
300	350 45dk	Kalay (II) 2-etikhekzaonate	1/(1/2)	71,25	28,75	2,47
300	350 45dk	Kalay (II) 2-etikhekzaonate	1/1	52,93	47,07	1,12
300	350 45dk	Kalay (II) 2-etikhekzaonate	1/2	47,71	52,29	0,91
300	350 45dk	Kalay (II) 2-etikhekzaonate	1/4	37,30	62,70	0,59
300	350 45dk	Kalay (II) clorür dihidrat	1/(1/2)	65,32	34,67	1,88
300	350 45dk	Kalay (II) clorür dihidrat	1/1	51,27	48,73	1,05
300	350 45dk	Kalay (II) clorür dihidrat	1/2	45,05	54,95	0,81
300	350 45dk	Kalay (II) clorür dihidrat	1/4	36,65	63,35	0,57

Çizelge 4.1.'e göre kalay (II) 2-etilhekzaonat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin Sn/S oranları 0.59 ile 2.47 aralığında değişmektedir. Çözeltideki Sn/S oranı 1/(1/2) olan filmlerin Sn/S oranı 2.47 dir. Buradan filmdeki kalay miktarının sülfüre göre daha fazla olduğu görülmektedir. XRD sonuçlarında da tartışıldığı gibi çözeltideki Sn/S oranı 1/(1/2) olan filmlerde SnO fazı oluşmuştur. Bunun nedeni filmdeki kalay fazlalığıdır. EDX sonuçları bunu doğrulamaktadır. Öte yandan, çözeltideki Sn/S oranı 1/1 olduğunda filmdeki Sn/S oranı 0.91 olmaktadır. kalay (II) 2-etilhekzaonat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerden stokiometriye en yakın olanlar çözeltideki Sn/S oranı 1/1 olan filmlerde gözlenmiştir. Çözeltideki sülfür oranı arttıkça filmdeki sülfür oranı da artmaktadır.

Kalay(II) klorür dihidrat çözeltisi ile üretilmiş filmlerin EDX sonuçları, kalay (II) 2-etilhekzaonat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin EDX sonuçları ile uyumaktadır. Bu çözelti ile hazırlanmış filmlerinde Sn/S oranı 0.57 ile 1.88 aralığında değişmektedir. Hedeflenen SnS yarıiletkeninin stokiometresine en yakın olan filmlerin Sn/S oranı 1.05 dir.

4.6. UV- Sonuçları

Bu çalışmada elde edilen örneklerin UV-vis spektrumları 200–1100 nm dalgaboyu aralığında alınmıştır. Şekil 4.8.'de kalay (II) 2-etilhekzaonat ile elde edilmiş ince filmlerin UV-VIS grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile elde edilmiş örneklerin UV-vis grafikleri

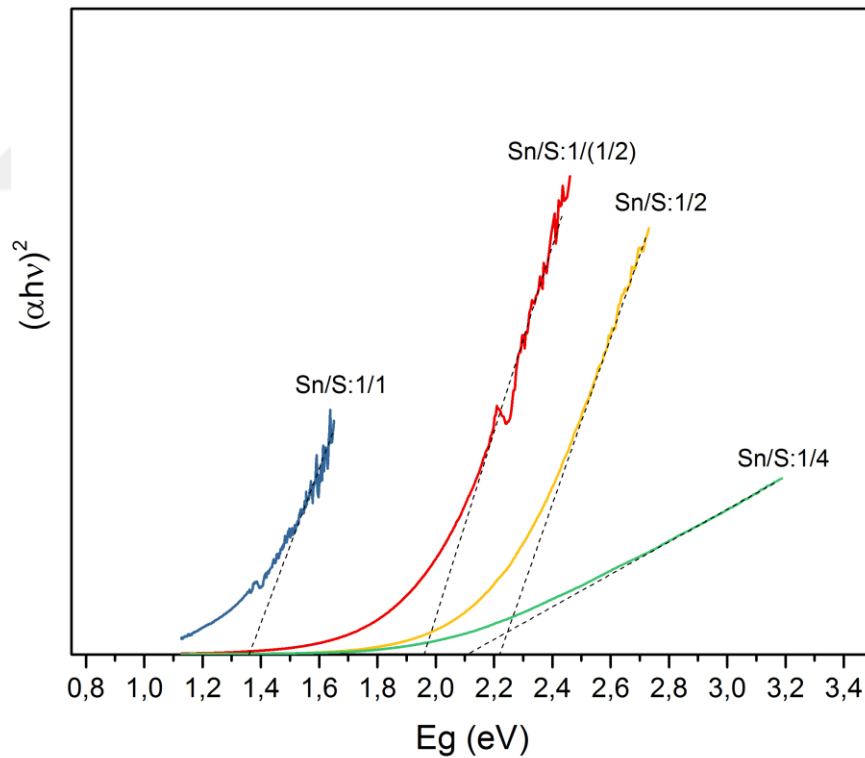
Kalay (II) 2-etilhekzaonat ile elde edilmiş filmlerin UV-vis grafiklerine göre çözültideki Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin geçirgenlikleri 1100 nm dalga boyundan itibaren azalmaya başlamıştır 680 nm dalga boyu civarında bu örneklerin optiksel geçirgenlikleri önemli ölçüde azalmıştır. Sn/S molar oranı 1/1 olan örneklerde ise optiksel geçirgenlik 1000 nm civarında neredeyse sıfıra yakındır. Diğer taraftan Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olan örneklerde 800 nm ile 1100 nm aralığında yüksek bir optiksel geçirgenlik söz konusudur. Bu örneklerin optiksel geçirgenliğide 600 nm civarında çok küçük değerlere ulaşmaktadır.

Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile elde edilen örneklerin optiksel yasak bant aralıkları denklem 4.1'de verilen Tauc metodu ile hesaplanmıştır.

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^x \quad (4.1)$$

Burada x değeri doğrudan bant geçişleri için $x=1/2$ değerinde A ise bir sabittir. α soğurma katsayısı, hv foton enerjisidir. Bu denklemde $(\alpha hv)^2$ nin $(\alpha hv)^2 - hv$ 'ye göre çizilen grafiğin teğeti yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığı değerlerini vermektedir.

Kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile hazırlanan örneklerin hesaplanan yasak bant aralıkları Şekil 4.9.'da verilmiştir.

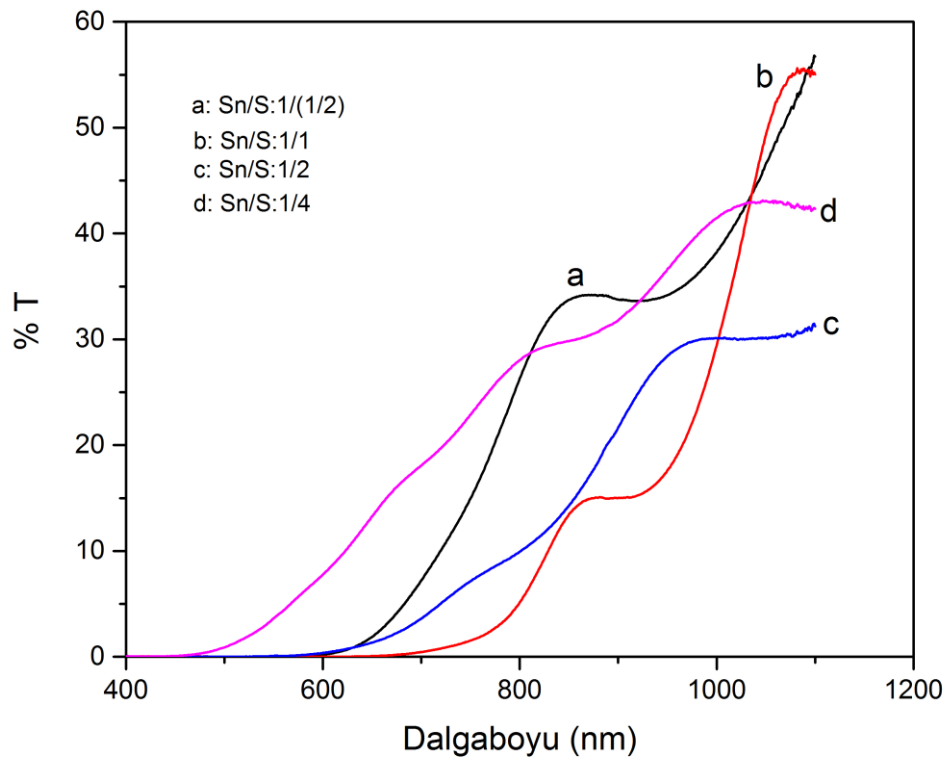


Şekil 4.9. Kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile hazırlanan örneklerin Sn/S molar oranına göre yasak bant aralıkları

Bu şekile göre çözeltideki Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin yasak bant aralıkları 1,95 eV civarındadır. Bu sonuç Şekil 4.8.'deki UV-vis grafiği ile

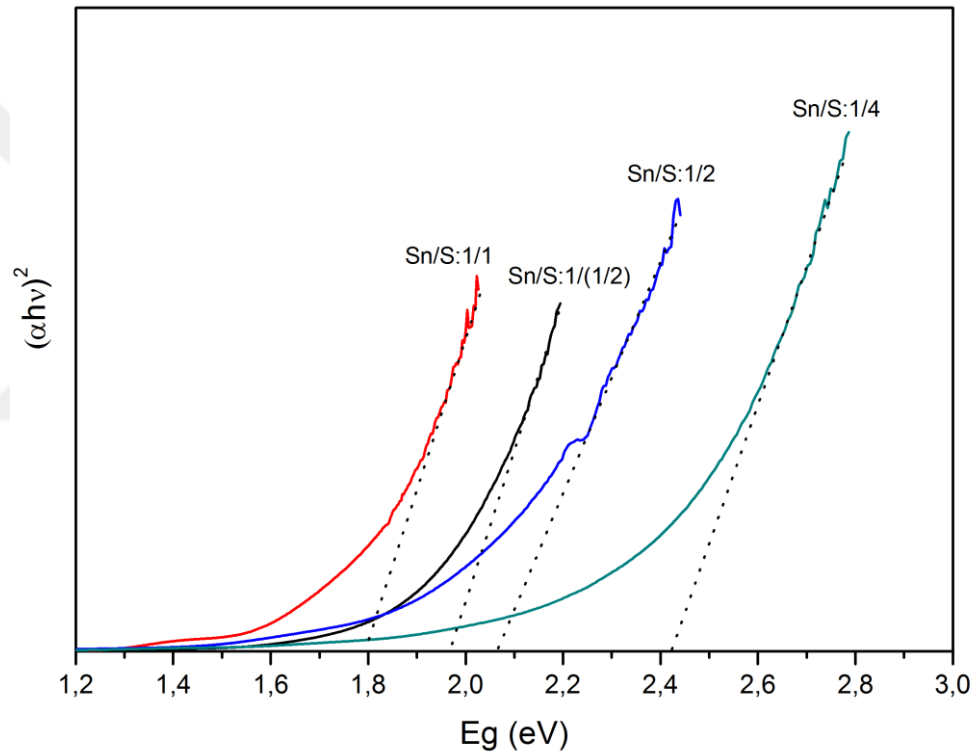
uyumludur. UV-vis grafiğine göre bu örneklerin optiksel geçirgenlikleri 680 nm civarında sıfıra yaklaşmaktadır. Bu yüzden 1.95 eV beklenen bir değerdir. Öte yandan çözeltideki molar oranı 1/1 olan örneklerin yasak bant aralığı ~ 1.35 eV olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç literatürdeki SnS ince filmlerle uyumludur (Park ve ark. 2014). Termal buharlaştırma yöntemiyle üretilen SnS filmlerde yasak bant aralığı ~ 1.28 eV olarak hesaplanmıştır (Kavano ve ark., 2015). Bununla birlikte molar oranı 1/2 ve 1/4 olan örneklerde yasak bant aralığı sırasıyla 2.21 ve 2.10 eV olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlarda literatürdeki bazı sülfür içerikli filmlerle benzerlik göstermektedir. Ebrahimi ve ark., püskürtme yöntemiyle ürettikleri ZnS ince filmlere sülfür oranının etkisini incelemişler ve filmlerdeki sülfür oranının artmasıyla ZnS filminin yasak bant aralığının 3.43 eV' den 3.72 eV' ye çıktığını gözlemişlerdir (Ebrahimi ve ark., 2017). Ayrıca aynı çalışmada ZnS filmler için çözeltideki sülfür miktarının artırılması ile görünür bölgede optiksel geçirgenlikte önemli oranda artmıştır.

Şekil 4.10.'da kalay(II) klorür dihidrat çözeltisi ile üretilmiş ince filmlerin UV-vis grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş örneklerin UV-vis grafikleri

Şekil 4.10.'daki optiksel geçirgenlik grafiklerine göre çözeltideki Sn/S molar oranı 1/(1/2) den 1/1' e çıkarıldığında geçirgenlikte önemli oranda azalma olmaktadır. Bunun nedeni, 1/1 molar oranında elde edilen filmlerin stokiyometreleri SnS yarıiletkenine daha yakın olmasındandır. Bununla birlikte Sn/S oranı 1/2 ve 1/4 olarak değiştirildiğinde, 1/1 molar oranlı filmlere göre görünür bölgedeki geçirgenlikte artmaktadır. Bu beklenen bir durumdur çünkü molar oranı 1/2 ve 1/4 olan filmlerde SnS₂ fazı belirgin bir şekilde oluşmaktadır. SnS₂ yarıiletkeni SnS yarıiletkenine göre daha büyük yasak bant aralığına sahiptir.



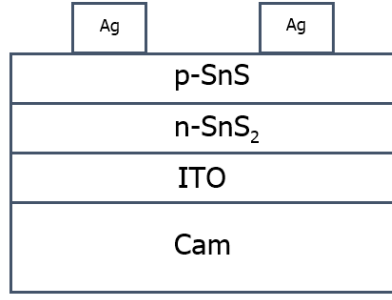
Şekil 4.11. Kalay (II) klorür dihidrat ile elde edilmiş filmlerin yasak bant aralığı grafikleri

Şekil 4.11.'de filmlerin yasak bant grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin yasak bant aralıkları 1.8 eV ile 2.41 eV aralığında değişmektedir. Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olan çözeltilerden elde edilmiş filmlerin yasak bant aralığı sırasıyla 2.08 eV ve 2.41 eV olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki SnS₂ filmleriyle uyumludur (Sanchez-Juarez ve ark., 2005). Diğer taraftan Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan çözeltilerin yasak bant aralığı 1.98 eV olarak belirlenmiştir. Bu filmlerin Şekil 4.11.'de de görüldüğü gibi görünür

bölgedeki optiksel geçirgenlikleri Sn/S molar oranı 1/1 olan filmlere göre daha fazladır. Bunun nedeni bu filmlerde gözlenen SnO₂ oksit fazı olabilir. SnO₂ görünür bölgede yüksek optiksel geçirgenliğe sahiptir.

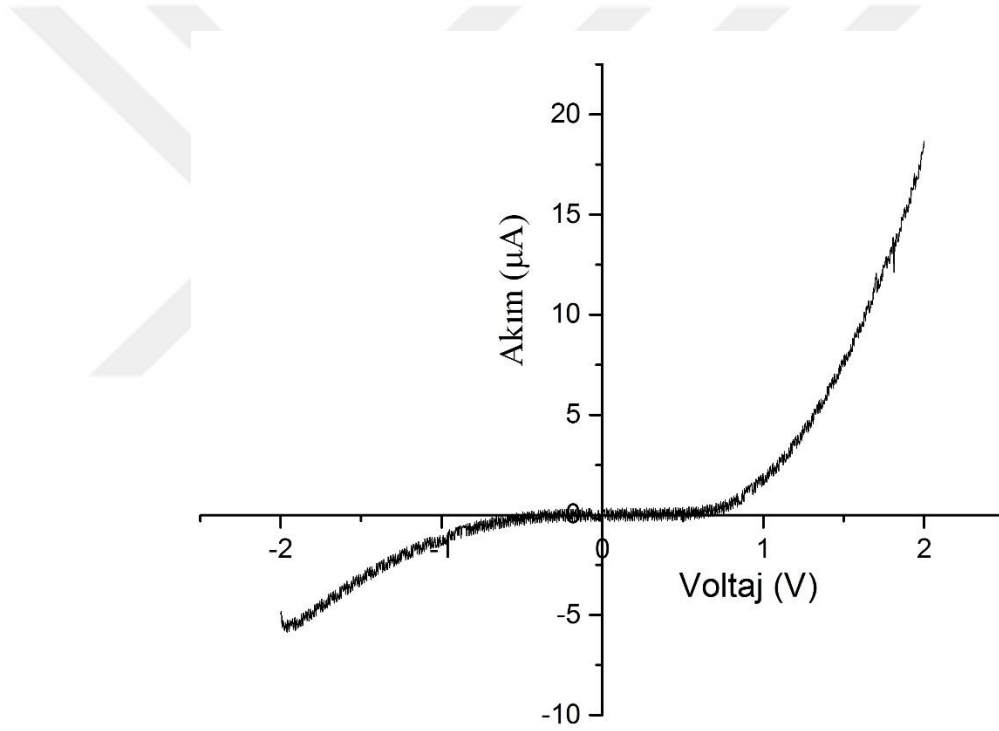
4.7. Elektriksel Özellikler

Bu çalışmada hazırlanan ince filmlerin Hall etkisi ölçümleri laboratuvarımızda bulunan Ecopia HMS-3000 cihazı ile ölçülmeye çalışılmıştır. Üretilen ince filmlerin Hall ölçümleri gerçekleştirilememiştir. Yapılan ölçümlere göre bu filmlerin elektriksel dirençleri 200 MΩ civarındadır. Bu yüksek değerlerde laboratuvarımızdaki Hall ölçüm sistemiyle ölçüm alınamamıştır. Bununla birlikte hazırlanan filmlerin taşıyıcı tipleri termoelektrik yöntemle belirlenmiştir. Termoelektrik ölçüm sonuçlarına göre kalay (II) 2-etilhekzaonat çözeltisi ile hazırlanmış ve Sn/S molar oranları 1/(1/2), 1/1, 1/2 ve 1/4 olan filmlerin taşıyıcı tipleri p tipi olarak gözlenmiştir. Ayrıca kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile hazırlanmış filmlerin taşıyıcı tipleri de ve Sn/S molar oranları 1/(1/2) ve 1/1 olanlar için p-tipi ve 1/2 ve 1/4 olanlar için de n-tipi olarak belirlenmiştir. Özellikle kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile hazırlanmış ve Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olan filmlerin n-tipi özellik göstermesi SnS₂ yarıiletkeninden dolayı beklenen bir durumdur. SnS₂ n-tipi yarıiletken olarak bilinmektedir. Öte yandan SnS'de p-tipi özellik göstermektedir. Bu çalışmada n-tipi ve p-tipi yarıiletkenlerin oluşup oluşmadığını belirlemenin diğer bir yolu da, iki yarıiletkeni üst üste kaplayarak p-n eklem oluşup oluşmadığını gözlemektir. Bunun için termoelektrik ölçümlerine göre p-tipi özellik gösteren ve stokiometrik olarak SnS' ye en yakın olan ve Sn/S molar oranı 1/1 olan (kalay (II) 2-etilhekzanoat ile hazırlanmış) filmler ile n-tipi özellik gösteren Sn/S molar oranı 1/4 olan filmler seçilmiştir. Öncelikle SnS₂ filmi, magnetron sputter ile hazırlanmış ITO kaplı cam üzerine sol-jel yöntemiyle kaplanmıştır. Daha sonra SnS₂ filmi üzerine SnS filmi de sol-jel yöntemiyle kaplanmıştır. Bu filmlerin tüm ısı işlemleri diğer filmlerle aynıdır. Şekil 4.12.'de bu tez çalışmasında hazırlanan p-n eklem yapının şematik gösterimi verilmiştir. I-V ölçümleri oda sıcaklığında ve karanlık ortamda Keithley 2400 cihazı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.12. SnS₂/SnS p-n eklem cihazın şematik gösterimi

Şekil 4.13.'te hazırlanan SnS₂/SnS katmanının I-V eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.13. Hazırlanan SnS₂/SnS katmanının I-V eğrisi

Şekil 4.13.'e göre SnS₂/SnS yapısı p-n eklem diyot özellik göstermektedir. Bu sonuç üretilen filmlerin p-tipi ve n-tipi özellik gösterdiğini doğrulamaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kalay (II) 2-etilhekzaonat ve kalay (II) klorür dihidrat başlangıç kimyasalları kullanılarak iki farklı kalay sülfür (SnS) çözeltisi hazırlanmıştır. Her iki çözeltilerden Sn/S molar oranı 1/(1/2), 1/1, 1/2 ve 1/4 olan dört farklı çözelti hazırlanmıştır. Elde edilen çözeltiler kullanılarak daldırarak kaplama tekniği ile 300 °C sıcaklıkta cam altlıklar üzerine ince filmler oluşturulmuştur. Daha sonra tüm örnekler 350 °C'de vakum altında 45 dakika süre ile tavlansmıştır. Elde edilen sonuçlar başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır.

XRD sonuçlarına göre, kalay (II) 2-etilhekzaonat kimyasalı ile hazırlanan çözeltilerden elde edilen ince filmlerden Sn/S molar oranı 1/1 olanlar, stokiyometrik olarak SnS yarıiletkenine en yakın olanlardır. Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan örneklerde SnO oksit fazı oluşmuştur. Ayrıca Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olduğunda XRD piklerinin şiddetlerinde önemli oranda azalma olmaktadır. Bu durum kristalleşmenin azaldığını göstermektedir. Kalay (II) klorür dihidrat kimyasalı ile hazırlanan filmlerde ise, yine stokiyometriye en yakın filmler Sn/S molar oranı 1/1 olan çözeltilerden elde edilmiştir. Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan çözeltilerden elde edilen filmlerde SnO₂ oksit fazı oluşmuştur. Ayrıca Sn/S molar oranı 1/1, 1/2 ve 1/4 olduğunda yani çözeltideki sülfür oranı artırıldığında XRD sonuçlarına göre SnS ile birlikte SnS₂ fazı oluşmuştur. Özellikle Sn/S molar oranı 1/4 olduğunda SnS₂ fazı önemli ölçüde baskın hale gelmektedir.

SEM sonuçları, her iki çözeltilerden elde edilen filmler için tamamen farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisinden elde edilen filmler, kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile elde edilenlere göre daha büyük tanecik yapılarına sahiptir. Hazırlanan ince filmlerin SEM cihazına bağlı EDX ölçümleri, çözeltideki Sn/S molar oranını doğrular niteliktedir. Çözeltideki sülfür miktarı arttıkça filmlerdeki sülfür miktarı da artmaktadır. Bu sonuçlar XRD sonuçlarıyla uyum içerisindedir. Örneğin XRD sonuçlarına göre çözeltilerdeki Sn/S molar oranı 1/(1/2) olan filmlerde SnO ve SnO₂ oksit fazları oluşmaktadır. Bu durumun nedeni

filmlerdeki kalay fazlalığındandır. EDX sonuçları bu filmlerde kalay fazlalığını doğrulamaktadır.

Raman spektrometresi sonuçlarına göre kalay (II) 2-etilhekzanoat çözeltisi ile üretilen filmler SnS yapısına uymaktadır. Bu örneklerde SnS dışında başka fazlara rastlanmamıştır. Diğer taraftan, kalay (II) klorür dihidrat çözeltisi ile üretilen filmlerde ise SnS₂ fazı belirgin bir şekilde görülmektedir. Tüm örneklerde Raman sonuçları, XRD sonuçlarını desteklemektedir.

UV-Vis spektrometresi sonuçları, görünür bölgede tüm filmlerde önemli farklılıklar göstermektedir. Her iki çözelti içinde Sn/S molar oranı 1/(1/2)' den 1/1' e çıkarıldığında görünür bölgedeki optiksel geçirgenlikte azalma olmakta ve soğurma kenarı uzun dalga boylarına doğru kaymaktadır. Bununla birlikte çözeltilerdeki Sn/S molar oranı 1/2 ve 1/4 olduğunda görünür bölgede optiksel geçirgenlik tekrar artmakta ve soğurma kenarı tekrar kısa dalga boylarına doğru kaymaktadır. Bu durum hesaplanan yasak bant aralıkları ile uyum içerisindedir.

Termoelektrik sonuçlar, hazırlanan filmlerin bir kısmının n tipi ve bir kısmın p tipi özellik gösterdiğini göstermektedir. XRD, UV-Vis ve EDX sonuçları bazı örneklerin SnS₂ yarıiletkeni olduğunu doğrulamaktadır. Termoelektrik ölçümleri de SnS₂ yarıiletkenin n-tipi özellikte olduğunu göstermektedir. Ayrıca her iki çözeltilerdeki Sn/S molar oranı 1/1 olduğunda elde edilen filmler p-tipi özellik göstermektedir. Üretilen filmlerin p-tipi ve n-tipi özellikte olduğu oluşturulan p-n eklem yapıyla doğrulanmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında SnS ince filmleri çözelti yöntemi yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir. SnS yarıiletkeni ile birlikte SnS₂ yapının da oluşabileceği gözlenmiştir. Her iki yarıiletken optoelektronik uygulamalar için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- AKSAY, S., ÖZER, T., and ZOR, M., 2009. Vibrational and X-ray diffraction spectra of SnS film deposited by chemical bath deposition method. *The European Physical Journal-Applied Physics*, 47:30502.
- ALAM, M.J., and CAMERON, D.C., 2001. Characterization of Transparent Conductive and ITO Thin Films Deposited on Titanium Dioxide Film by a Sol-Gel Process. *Surface and Coatings Technology*, 142:776-780.
- ASLAN F., 2011. Sol-Jel Metodu ile Polikristal Heteroeklem Güneş Pili Üretilmesi, Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 118s.
- BRINKER, C.J., and SCHERER, G.W., 2013. Sol-gel science, the physical and chemistry of sol-gel processing. Academic press, London, 881s.
- CABALLERO, R., CONDE, V., and LEON, M., 2016. SnS thin films grown by sulfurization of evaporated Sn layers: Effect of sulfurization temperature and pressure. *Thin Solid Films*, 612:202-207.
- CHAO, J., XIE, Z., DUAN, Y., WANG, Z., XU, J., LIANG, B., SHAN B., JINHUA, S., and CHEN Y., 2012. Visible-light-driven photocatalytic and photoelectrochemical properties of SnS_x (x=1/4, 1, 2) architectures. *CrystEngComm*, 14:3163-3168.
- CHEN, W., GHOSH, D., and CHEN, S., 2008. Large-scale electrochemical synthesis of SnO₂ nanoparticles. *Journal of Materials Science*, 43:5291-5299.
- EBRAHIMI, S., YARMAND, B., and NADERI, N., 2017. Effect of the Sulfur Concentration on the Optical Band Gap Energy and Urbach Tail of Spray-Deposited ZnS Films. *Advanced Ceramics Progress*, 4: 6-12.
- GREEN, M. A., and EMERY, K., 2015. Solar cell efficiency tables, *Progress in Photovoltaics. Research and Application*, 23:805-812.
- HARTMAN, K., JOHNSON, J.L., BERTONI, M.I., RECHT,D., AZIZ, M.J., SCARPULLA, M.A., and BUONASSISIT, T., 2011. SnS thin-films by RF sputtering at room temperature. *Thin Solid Films*, 519:7421-7424.
- JANARDHAN, E., REDDY, M.M., REDDY, P.V., and REDDY, M.J., 2018. Synthesis of SnO Nanoparticles-A Hydrothermal Approach. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 8:33-37.
- KAVANO, Y., CHANTANA, J., and MINEMOTO, T., 2015. Impact of growth temperature on the properties of SnS film prepared by thermal evaporation its photovoltaic performance. *Current Applied Physics*, 15:897-901.
- KESHMIRI, M., TROCZYNSKI, T., and MOHSENI, M., 2006. Oxidation of gas phase trichloroethylene and toluene using composite sol-gel TiO₂ coatings. *Journal of hazardous materials*, 128:130-137
- KUMAR, K.D A., VALANARASU, S., TAMILNAYAGAM, V., and AMALRAJ, L., 2017. Structural, morphological and optical properties of SnS₂ thin films by nebulized spray pyrolysis technique. *Journal Materials Science, Materials in Electronics*, 28:14209-14216.
- LI, W., FRIES, D.P., and MALIK, A., 2004. Sol-gel stationary phases for capillary electrochromatography. *Journal of Chromatography A*, 1044:23-52.
- LOCHER, M., ROMANO, V., and WEBER, H.P., 2005. Rare-earth doped sol-gel materials for optical waveguides. *Optics and Lasers in Engineering*, 43:341-347.

- ÖZAYDIN C., 2012. Makrosiklik Ligandların Geçiş Metal Kompleksleri ile Oluşturulan Heteroeklemlerin Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Diyarbakır, 109s.
- PANKOVE, J.J., 1971. Optical processes in semiconductors, Solid State Physical Electronics Series, Princeton Pres, New Jersey, 417s.
- PARK, H.H., HEASLEY, R., SUN, L., STEINMANN, V., JARAMILLO, R., HART-MANN, K., CHAKRABORTY, R., SINSERMSUKSAKUL, P., CHUA, D., BUO-NASSISI, T., and GORDON, R. G., 2014. Co-optimization of SnS absorber and Zn(O,S) buffer materials for improved solar cells. Progress in Photovoltaics, Research and Applications, 23:901-908.
- RAY, S.C., KARANJAI, M.K., and DASGUPTA, D., 1999. Structure and photoconductive properties of dip-deposited SnS thin films and their conversion to tin dioxide by annealing in air. Thin Solid Films, 350:72-78.
- REDDY, K.R., REDDY, N.K., and MILES, R.W., 2006. Photovoltaic properties of SnS based solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90(18-19):3041-3046.
- REDDY, T.S., and KUMAR, M.S., 2016. Co- evaporated SnS thin films for visible light protodetector applications. RSC Advances, 6:95680-95692.
- SAJEESH, H.T., WARRIER, A.R., KARTHA, C.S., and VIJAYAKUMAR, K.P., 2010. Optimization of parametres of chemical spray pyrolysis technique to get n and p-type layers of SnS. Thin Solid Films, 515:4370-4374.
- SANCHEZ-JUAREZ, A., TIBURICO-SILVER, A., and ORTIZ, A., 2005. Fabrication of SnS₂/SnS heterojunction thin film diodes by plasma-enhanced chemical vapor deposition, Thin Solid Films, 480:452-456.
- SCHUBERT, U., and PIERRE, A. C., 1998. Introduction to Sol-Gel Processing. Angewandte Chemie-International Edition, 37:3324-3325.
- SINSERMSUKSAKUL, P., SUN, L., LEE, S. W., PARK, H.H., KIM, S.B., YANG, C., and GORDON, R.G., 2014. Overcoming efficiency limitations of SnS based solar cells. Advanced Energy Materials, 4:1400496.
- SIOUFFI, A.M., 2003. Silica gel-based monolights prepared by the sol-gel method: facts and figures. Journal of Chromatography A, 1000(1-2):801-818.
- SMITH, E., and DENT, G., 2013. Modern Raman spectroscopy; a pratical approach. John Wiley and Sons, 208s.
- STEINMANN, V., JARAMILLO, R., HARTMAN, K., CHAKRABORTY R., BRANDT, R.E., POINDEXTER, J.R., LEE, Y.S., SUN, L., POLIZZOTTI, A., PARK, H.H., GORDON, R.G., and BUONASSISI, T., 2014. 3.88% efficient thin sulfide solar celles using congruent thermal evaporation. Advanced Materials, 26:7488-7492.
- SUGIYAMA, M., MIYAUCHI, K., MINEMURA, T., OHTSUKA, K., NOGUCHI, and H., NAKANISHI, H., 2008. Preparation of SnS films by sulfurization of Sn sheet. Japanese Journal of Applied Physics, 47:4494-1195.
- SZE, S.M., 2001. Semiconductor Devices: Physics and Technology, Wiley and Sons, 564s.
- TAUC, J., 1974. Amorphous and Liquid Semiconductors. Plenium Press, New York, 441s.

- TUMBUL A., 2018. Çözelti Tabanlı $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) Güneş Hücrelerinin Hazırlanması ve Geliştirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 147s.
- WANG, W., WINKLER, W. T., GUNAWAN, O., GOKMEN, T., TODOROV, T. K., ZHU, Y., and MITZI, D. B., 2013. A 12.6% $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_x\text{Se}_{4-x}$ (CZTSSe) solar cell is presented with detailed device characteristics, *Advanced Energy Materials*, 4:1301465
- XU, J., LI, Y., HUANG, H., ZHU, Y., WANG, Z., XIE, Z., WANG, X., CHEN, D., and SHEN, G., 2011. Synthesis, characterizations and improved gas-sensing performance of SnO_2 nanospike arrays. *Journal of Materials Chemistry*, 21:19086-19092.
- ZUHAL H., 2011. Fosfor Oksit İçeren Poliüreten-Silika Nanokompozitler ve Kaplama Performanslarının İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne, 112s.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ferit ARSLAN
Uyruğu :T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ş.Urfa/Suruç 21/03/1987
Telefon : (0)542 405 06 34
E-mail : feritarсланhan@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe,	İl,	BitirmeYılı
Lise	:Suruç Gap Anadolu	Suruç	Ş.Urfa	2005
Üniversite	:Harran Üniversitesi	Haliliye	Ş.Urfa	2014
Yüksek Lisans	:Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstistüsü Fizik Anabilim Dalı, Şanlıurfa			2019

UZMANLIK ALANI

Katıhal Fiziği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

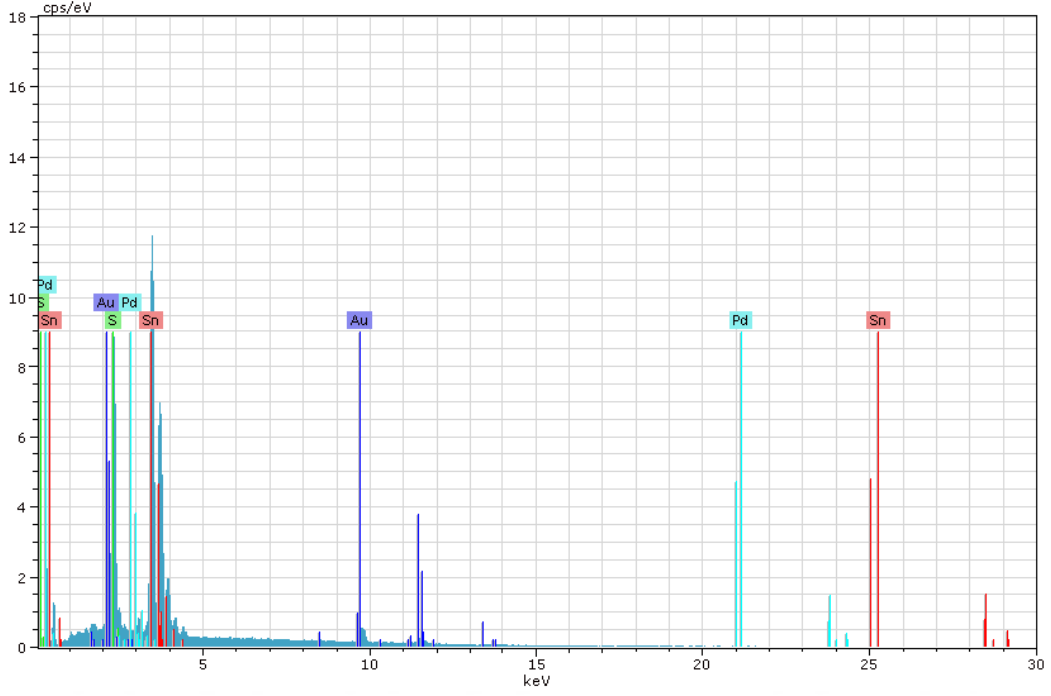
Uluslararası Kongrede Sunulan Bildiriler

TUMBUL, A., GÖKTAŞ, A., ARSLAN, F., DURGUN, M., and ASLAN, F., 2018.
CZTS/Cds Diode for the Substrate Type Solar Cell Application. Uluslararası
GAP Yeilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi, 10-12 Mayıs,
Şanlıurfa, s.276.

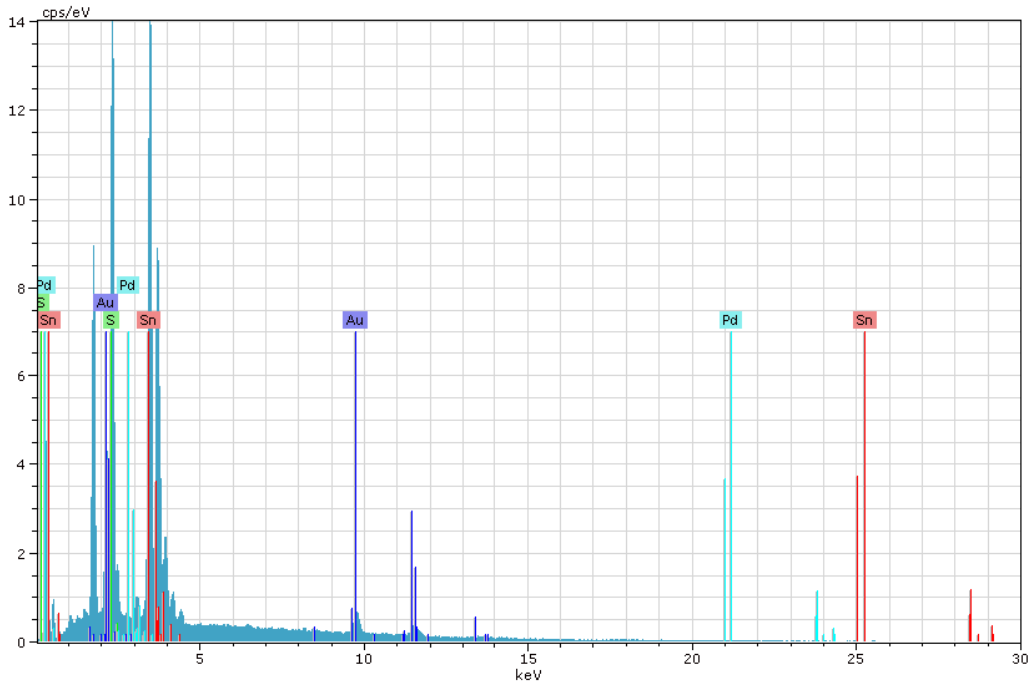
EKLER

EK 1

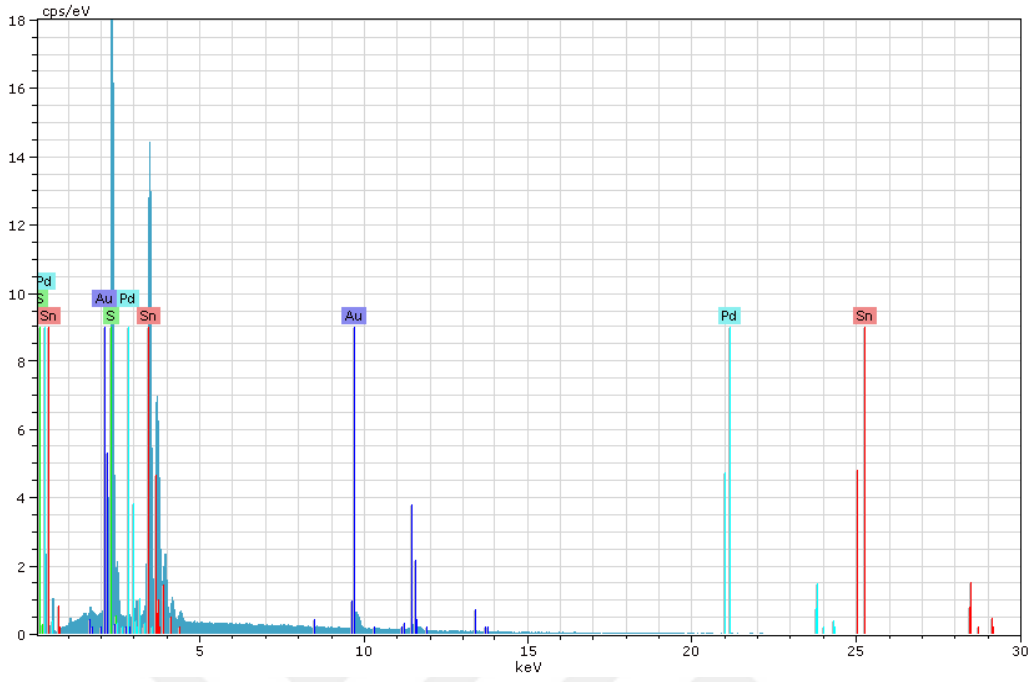
Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı 1/1 olan örneklerin EDX sonuçları



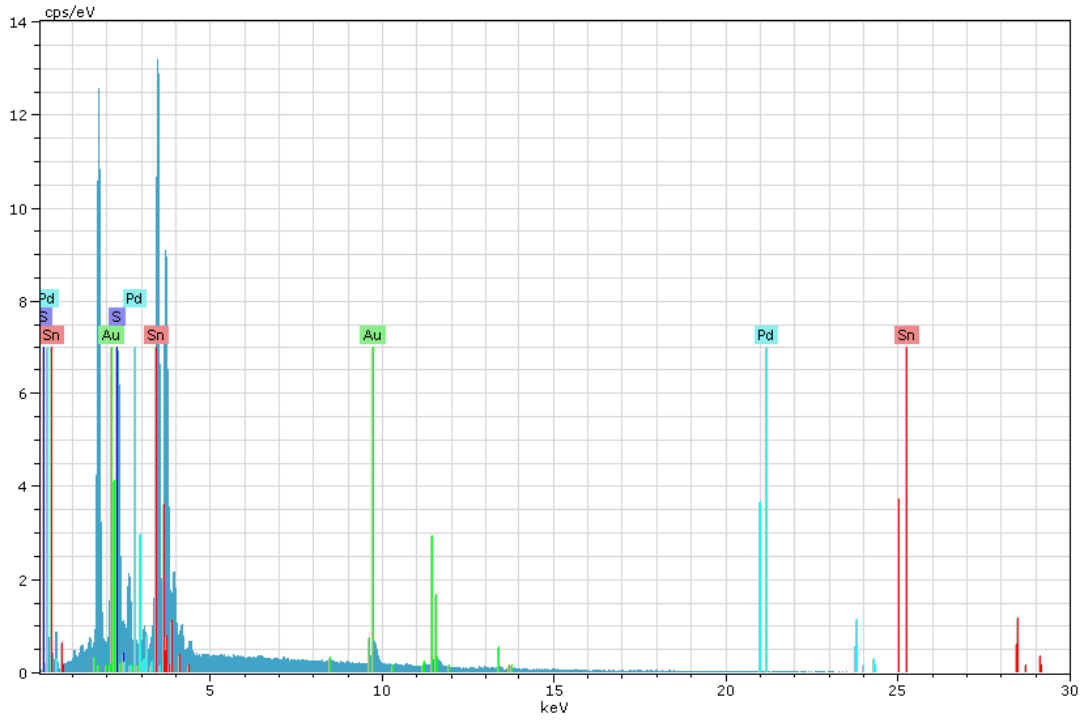
Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı 1/2 olan örneklerin EDX sonuçları



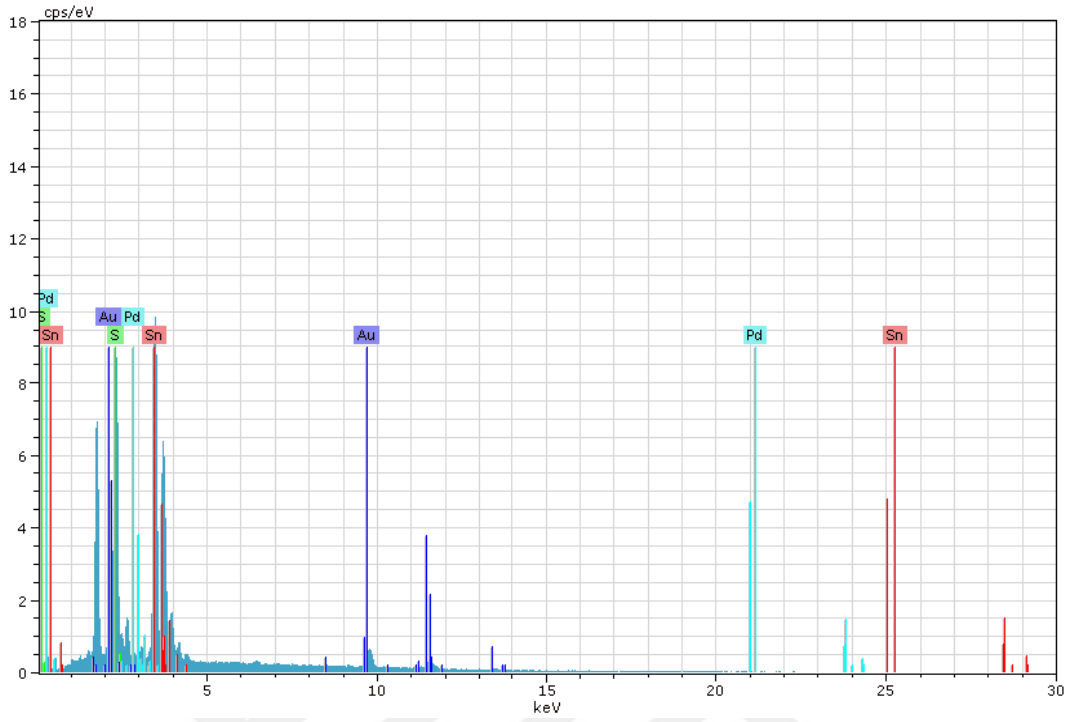
Kalay (II) 2-etilhekzaonate ile üretilmiş SnS molar oranı 1/4 olan örneklerin EDX sonuçları



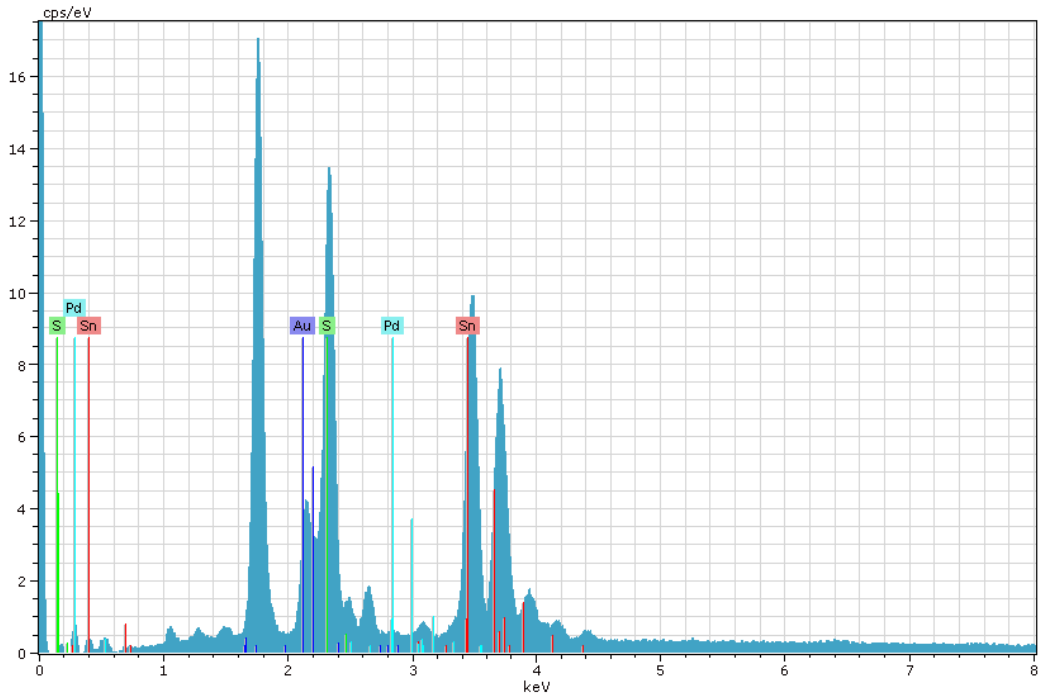
Kalay(II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı 1/(1/2) olan örneklerin EDX sonuçları



Kalay (II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı 1/1 olan örneklerin EDX sonuçları



Kalay (II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı 1/2 olan örneklerin EDX sonuçları



Kalay (II) klorür dihidrat ile üretilmiş SnS molar oranı 1/4 olan örneklerin EDX sonuçları

