

YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

PÜSKÜRTME YÖNTEMİ ile ITO/Cu₂S İNCE FİLM
GÜNEŞ PİLLERİ YAPIMI

Arş. Gör. Abdullah ÖZKARTAL

Yüksek Lisans Tezi

57625

Danışman : Prof. Dr. Remzi ENGİN

VAN - 1996

YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

PÜSKÜRTME YÖNTEMİ ile ITO/Cu₂S İNCE FİLM
GÜNEŞ PİLLERİ YAPIMI

Arş. Gör. Abdullah ÖZKARTAL

Yüksek Lisans Tezi

JÜRİ ÜYELERİ

Başkan



Prof. Dr. Remzi ENGİN

Üye



Prof. Dr. Ramazan EMİNOV

Üye



Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan DEMİREL

TEZ KABUL TARİHİ

(28 / 03 /1996)

ÖZET

n-ITO ve p-Cu₂S ince filmlerinin hazırlanması basit ve maliyeti düşük olduğundan güneş pili yapmak için materyal olarak seçilmiştir. ITO ve CdS ince filmleri püskürtme yöntemi ile 300-390 °C arasında cam alttabanlar üzerinde hazırlandı. Daha sonra CdS ince filmleri Clevite yöntemi ile Cu₂S ince filmlerine dönüştürüldü. Hazırlanan ITO, CdS ve Cu₂S ince filmlerinin oda sıcaklığında optik geçirgenlikleri 400-900 nm dalgaboyları arasında ölçüldü. ITO ince filmlerinin optik geçirgenliği %90-98, CdS ince filmlerinin %50-75 ve Cu₂S ince filmlerinin %35-50 arasında bulundu. ITO, CdS ve Cu₂S ince filmlerinin özdirençleri Van der Pauw yöntemi ve Dört Nokta Ölçer ile ölçüldü. ITO ince filmlerinin özdirenci $(6,3-239,8) \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, CdS ince filmlerinin özdirenci $(4,7-80,4) \times 10^1 \Omega \cdot \text{cm}$ ve Cu₂S ince filmlerinin özdirenci $(9,6-38,2) \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ olarak bulundu.

ITO/Cu₂S ince film güneş pilleri ITO ve Cu₂S ince filmlerinden elde edildi. Bu ince film güneş pillerine gümüş boyası ile kontak yapılarak kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçüldü. ITO/Cu₂S ince film güneş pillerinden kısa devre akımı 0,01-0,20 μA ve açık devre gerilimi 1-4 mV olarak bulundu.

SUMMARY

Thin films of n-ITO and p-Cu₂S are chosen as solar cell materials due to the simplicity of their preparation and low cost. ITO and CdS thin films were prepared by spray pyrolysis at 300-390 °C on glass substrates. Then CdS thin films were converted into Cu₂S films by Clevite method. The optical transmission of ITO, CdS and Cu₂S thin films were measured between 400-900 nm wavelength at room temperature. The optical transmissions were determined as 90-98% for ITO thin films, 50-75% for CdS thin films and 35-50% for Cu₂S thin films. The resistivities of ITO, CdS and Cu₂S thin films were measured by Van der Pauw and four point probe methods. The resistivities were found as $(6,3-239,8) \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ for ITO thin films, $(4,7-80,4) \times 10^1 \Omega\text{-cm}$ for CdS thin films and $(9,6-38,2) \times 10^{-1} \Omega\text{-cm}$ for Cu₂S thin films.

ITO/Cu₂S thin film solar cells were formed from ITO and Cu₂S thin films. The short circuit current and open circuit voltage of these solar cells were measured by making silver paste contacts to these cells. The short circuit current and open circuit voltage of ITO/Cu₂S thin film solar cells were found as 0,01-0,20 μm and 1-4 mV respectively.

TEŞEKKÜR

"Püskürtme yöntemi ile ITO/Cu₂S ince film güneş pilleri yapımı" adlı bu çalışmamın gerçekleşmesinde tez danışmanım olan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Remzi ENGİN 'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında yardımlaştığım Arş. Gör. Mustafa Özduran 'a, Arş. Gör. Abuzer Yaman 'a ve Arş. Gör. Murat Avşar 'a, tez yazımında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ali Arasođlu 'na ve manevi destekte bulunan tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
SUMMARY.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ.....	4
3. MATERYAL ve METOD.....	11
3.1 Püskürtme Yöntemi ile ITO İnce Filmlerinin Hazırlanması.....	11
3.1.1 İnce Film Kalınlığının Bulunması.....	13
3.1.2 Özdirenç Ölçümü.....	14
3.1.3 Optik Geçirgenlik Ölçümü.....	15
3.2 CdS İnce Filmlerinin Püskürtme Yöntemi ile Hazırlanması.....	15
3.3 Cu ₂ S İnce Filmlerinin Clevite Yöntemi ile Hazırlanması.....	16
3.4 ITO/Cu ₂ S İnce Film Güneş Pillerinin Oluşturulması.....	17
3.5 Güneş Pili Veriminin Bulunması.....	18
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	21
4.1 ITO İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri.....	21
4.1.1 ITO İnce Filmlerinin Özdirenç Değerleri.....	22
4.1.2 ITO İnce Filmlerinin Optik Geçirgenlik Değerleri.....	29
4.2 CdS İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri.....	31
4.3 Cu ₂ S İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri.....	35
4.4 ITO/Cu ₂ S İnce Film Güneş Pilleri Verimlerinin Bulunması.....	36
SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	41

SİMGELER DİZİNİ

DNÖ	Dört Nokta Ölçer
ITO	İndiyum-kalay oksit
ITO-E	Eşit molariteli olarak SnCl ₄ ve InCl ₃ maddelerinin katkılanması ile oluşan ITO
ITO-Sn	2 M SnCl ₄ 1 M InCl ₃ maddelerinin katkılanması ile oluşan ITO
ITO-In	1 M SnCl ₄ 2M InCl ₃ maddelerinin katkılanması ile oluşan ITO
η	Dönüştürme verimi
I_{sc}	Kısa devre akımı
V_{oc}	Açık devre gerilimi
P_m	Maksimum güç
P_{in}	Pil üzerine düşen güneş enerjisi
FF	Dolum çarpanı
\bar{E}	Elektrik alanı
I_m	Maksimum güce karşılık gelen akım
V_m	Maksimum güce karşılık gelen gerilim
T_h	Üsttaban sıcaklığı
T_s	Alttaban sıcaklığı
t_s	Püskürtme süresi
t_d	Daldırma süresi
d	İnce film kalınlığı
$M_{\bar{O}}$	Püskürtme yapılmadan önceki cam alttabanın kütlesi
M_s	Püskürtme yapıldıktan sonraki cam alttabanın kütlesi
ρ	İnce filmin yoğunluğu, Öz direnç
A	İnce filmin yüzey alanı
I_{AD}	Dört nokta ölçer aletinde, A ve D noktalarına uygulanan akım
V_{BC}	Dört nokta ölçer aletinde, B ve C noktalarından ölçülen gerilim
s	Dört nokta ölçer aletinde, noktalar arası uzaklık
R	Direnç
R_c	Kontak öz direnci
l	Direncin boyu
I_{AB}	Van der Pauw yönteminde, A ve B noktalarına uygulanan akım
V_{CD}	Van der Pauw yönteminde, C ve D noktalarından ölçülen gerilim
I_{BC}	Van der Pauw yönteminde, B ve C noktalarına uygulanan akım
V_{DA}	Van der Pauw yönteminde, D ve A noktalarından ölçülen gerilim
$R_{AB,CD}$	Van der Pauw yönteminde, V_{CD} 'nin I_{AB} 'ye oranı

$R_{BC,DA}$	Van der Pauw yönteminde, V_{DA} 'nin I_{BC} 'ye oranı
f	Van der Pauw fonksiyonu
σ	İletkenlik
λ	Dalgaboyu
T	Optik geçirgenlik
Ω/\square	Katman direnci



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Bir güneş pili yapısı.....	1
Şekil 1.2 Bir p-n eklemli güneş pilinin çalışma şekli.....	2
Şekil 1.3 Bazı yaygın olarak kullanılan püskürtme başlıkları.....	3
Şekil 3.1 ITO ince filmi eldesinde kullanılan deney düzeneği.....	12
Şekil 3.2 Film hazırlamada kullanılan ısıtıcının göstergesi ile ısıl-çift arasındaki ilişki	12
Şekil 3.3 DNÖ 'in çalışma şekli.....	14
Şekil 3.4 Van der Pauw devresi.....	14
Şekil 3.5 CdS ince filmi eldesinde kullanılan deney düzeneği.....	16
Şekil 3.6 CdS ince filmi Cu ₂ S ince filmine dönüştürmede kullanılan deney düzeneği	17
Şekil 3.7 ITO/Cu ₂ S ince film güneş pilinin şematik görünümü.....	17
Şekil 3.8 Farklı ışın kaynaklarının spektral dağılımı.....	18
Şekil 3.9 Bir güneş pilinin I-V eğrisi.....	19
Şekil 3.10 I-V eldesinde kullanılan deney düzeneği.....	20
Şekil 4.1 ITO ince filmlerinde, kalınlığın püskürtme süresine göre değişimi.....	22
Şekil 4.2a SnO ₂ ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	23
Şekil 4.2b SnO ₂ ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	23
Şekil 4.3a In ₂ O ₃ ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	24
Şekil 4.3b In ₂ O ₃ ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	25
Şekil 4.4a ITO-E ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	26
Şekil 4.4b ITO-E ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	26
Şekil 4.5a ITO-Sn ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	27
Şekil 4.5b ITO-Sn ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	27
Şekil 4.6a ITO-In ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	28
Şekil 4.6b ITO-In ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi.....	29

Şekil 4.7	SnO_2 ince filmleri optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi.....	30
Şekil 4.8	In_2O_3 ince filmlerinin optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi.....	30
Şekil 4.9	ITO ince filmlerinin optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi.....	31
Şekil 4.10	Ka.1 grubu CdS ince filmleri optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi.....	33
Şekil 4.11	Ka.2 grubu CdS ince filmleri optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi.....	34
Şekil 4.12	Ka.3 grubu CdS ince filmleri optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi.....	34
Şekil 4.13	Farklı alttaban sıcaklıklarındaki CdS ince filmleri optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi.....	34
Şekil 4.14	Cu_2S ince filmlerinin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi.....	36



ÇİZELGELER DİZİNİ

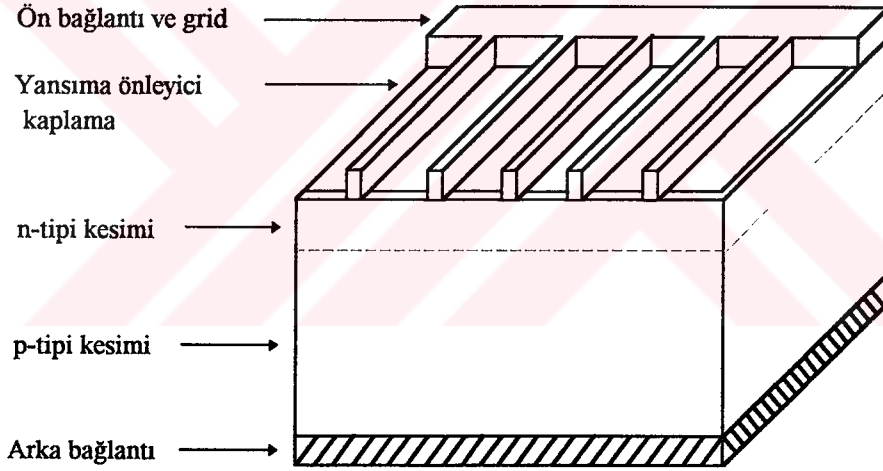
	Sayfa
Çizelge 3.1 ITO ince filmi oluşumundaki deneysel parametreler	11
Çizelge 3.2 CdS ince filmi oluşumundaki deneysel parametreler	15
Çizelge 3.3 Cu ₂ S ince filmi eldesinde kullanılan deneysel parametreler	17
Çizelge 4.1 ITO ince filmlerinde, püskürtme zamanları ile kalınlık değerleri	21
Çizelge 4.2 SnO ₂ ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	22
Çizelge 4.3 In ₂ O ₃ ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	24
Çizelge 4.4 ITO-E ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	25
Çizelge 4.5 ITO-Sn ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	27
Çizelge 4.6 ITO-In ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	28
Çizelge 4.7 SnO ₂ ince filmlerinin optik geçirgenlik değerleri	29
Çizelge 4.8 In ₂ O ₃ ince filmlerinin optik geçirgenlik değerleri	30
Çizelge 4.9 ITO ince filmlerinin optik geçirgenlik değerleri	31
Çizelge 4.10 Bazı CdS ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	32
Çizelge 4.11 Farklı alttaban sıcaklıklarında hazırlanan CdS ince filmlerinin optik geçirgenlikleri	33
Çizelge 4.12 Cu ₂ S ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri	35
Çizelge 4.13 Cu ₂ S ince filmlerinin optik geçirgenlik değerleri	35

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yenilenmez enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde azalması insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya zorlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çarpıcı olarak bir çok pozitif yönü ile güneş enerjisi gelmektedir. Ancak güneş enerjisinden yararlanma ekonomik olarak pahalıya mal olmaktadır. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi nükleer enerji ile karşılaştırıldığında 4 kat daha pahalıdır. Büyük sermaye gerektirmeyen ve 20 yıldan daha uzun süre dayanabilen silisyum güneş pillerinin verimi yaklaşık %15-20 arasındadır. Fotovoltaik teknoloji ile ilgili projelerin çoğu ekonomik olmaya bağlıdır. Çözülmemiş bazı problemlere rağmen güneş enerjisi teknolojisi yenilenebilir alternatif enerji kaynakları listesinin başlarındadır.

Tozsuz, gürültüsüz ve temiz havalı, çevreci ve dostça bir ortam güneş pilleri ile oluşturulabilmektedir. Güneş pilleri, güneş enerjisinden yararlanma yollarından biridir. Bir güneş pili yapısının şematik görünümü Şekil 1.1 'de verilmiştir.

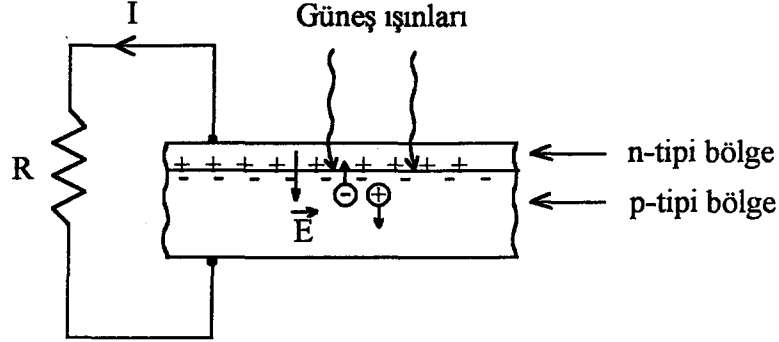


Şekil 1.1 Bir güneş pili yapısı

Güneş pili veya fotovoltaik pil, güneş enerjisini (ışınlarını) doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir aygıttır. Fotovoltaik olay ilk olarak 1839 yılında, bir elektrolite daldırılan iki elektrot arasında ışığa bağlı bir gerilim oluşmasıyla gözlemlendi. Daha sonra katı bir sistem olan selenyumda aynı olaya 1876 yılında rastlandı. 1954 yılında ilk silisyum güneş pili üretildi.

En basit olarak bir güneş pili yarı iletkende örneğin silisyumda n ve p-tipi bölgeler oluşturmakla yapılabilir. n ve p bölgeleri oluşturulduğunda bu bölgelerin kavşak kesiminde doğal olarak bir elektrik alan kurulur. Güneş ışınları bu kavşakta veya kavşağa yakın yerlerde elektron-deşik çiftleri oluşturduğunda, kavşaktaki elektrik alan elektronları n-bölgesine; deşikleri de p-bölgesine geçmesini sağlar. Sonuçta, başlangıçta nötr olan n ve p- bölgeleri sırasıyla negatif ve pozitif yüklenmiş olur. Yapının iki ucu bir dış devreye bağlandığında bu yükler akarak elektrik

akımı elde edilmiş olur. Elde edilen doğru akıma fotovoltaj akımı, bu akımı oluşturan olaya da fotovoltaj olayı denilmektedir. Fotovoltaj akım güneş ışınları pil üzerine düştüğü sürece devam eder (Engin 1995). Şekil 1.2 'de bir güneş pilinin çalışması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Bir p-n eklemli güneş pilinin çalışma şekli

Yapay uydulara elektrik enerjisi sağlamada kullanılan güneş pillerinin çoğu tek kristal silisyumdan yapılmıştır. Bu pillerin pahalıya mal olması nedeniyle, silisyum güneş pilleri ekonomik olarak polikristal, amorf ve daha az saf silisyumdan üretilmektedir. Silisyum yarıiletkeninin tek kristal olma özelliği azaldıkça güneş pili yapımı daha ucuza mal olmaktadır fakat dezavantaj olarak pil verimi de düşmektedir. Amorf silisyumdan üretilen güneş pillerinin verimi %10 civarındadır. Bu da gösteriyor ki, güneş pillerinden ekonomik anlamda yararlanma hala optimum düzeyde değildir.

Silisyum güneş pillerinin verimi 1970 'li yıllarda artırıldı. Günümüzde ise güneş pilleri için değişik üretim yöntemleri geliştirilmektedir. Bu gelişmelerin güneş pillerinin maliyetini gelecekte daha fazla düşüreceği ve verimlerini arttıracığı tahmin edilmektedir.

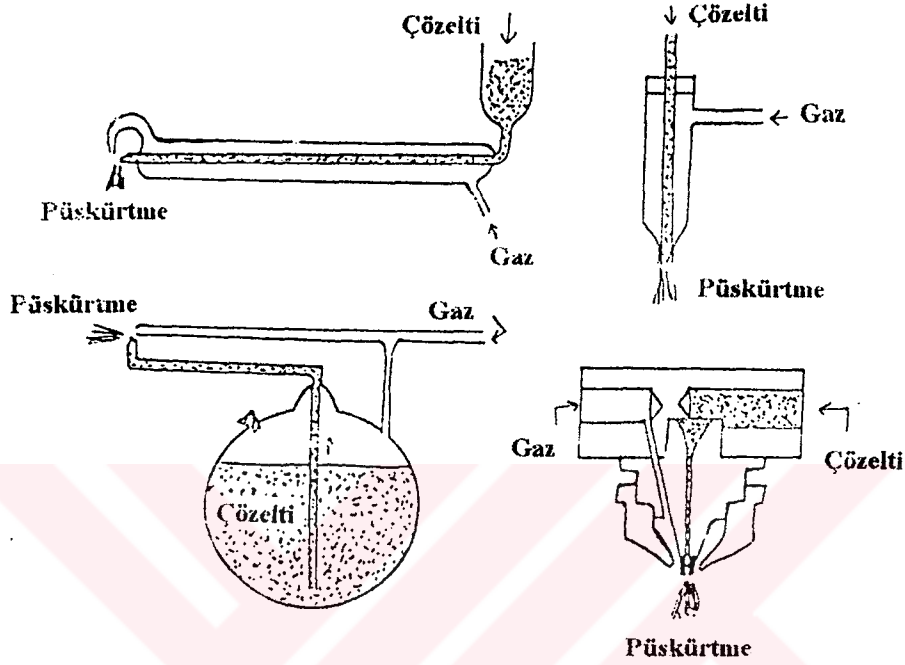
1940 yılında ilk olarak saydam oksit filmlerinin hazırlanmasında kullanılan püskürtme yöntemi film hazırlama teknikleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemle ilk kez Chamberlin ve Skarman (1966) sülfür ve selenit ince filmlerini elde etmişlerdir. Bu bilim adamları daha sonra bu yöntemden yararlanarak %2 verimli CdS/Cu₂-X₂S ince film güneş pilleri hazırladılar. Standford Üniversitesi 'nde Bube ve arkadaşları bu yöntemi geliştirerek bir çok bileşik yarı iletken eldesinde kullanmışlardır (Özduran 1995).

Püskürtme yöntemiyle başarılı bir şekilde ITO ince film çalışmasını Manificier ve arkadaşları gerçekleştirmiştir. 400-500 °C arasındaki alttaban sıcaklıklarında hazırlanan ITO ince filminin çözültüsü InCl₃, SnCl₄ ve HCl maddelerinin alkollü karışımından meydana gelmektedir.

Alttaban sıcaklığı, püskürtme hızı, püskürtme başlığının çapı, püskürtme başlığının alttabana uzaklığı, püskürtme çözültüsündeki maddelerin karışım oranları ve saflıkları film özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Bununla birlikte film oluşturma ortamı (vakum veya oksijenli ortam gibi) da film özelliklerini değiştirmektedir. Bazı püskürtme başlıklarının şematik gösterimi Şekil 1.3 'de verilmiştir.

Polikristal CdS ince filmleri 2,42 eV 'luk direkt band aralıklı, n- tipli ve sarımsı renkli bir yarı iletkenidir. Oda sıcaklığında çinko-blend yapı göstermekle birlikte, genellikle hegzagonal wurtzite (çinko sülfid) yapıda bulunur. CdS ince filmi iletim elektronları yoğunluğu yaklaşık 3×10^{16} ile $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ arasındadır. Elektron mobilite değerleri $1-10^5 \text{ cm} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ arasında değişir.



Şekil 1.3 Bazı yaygın olarak kullanılan püskürtme başlıkları

Püskürtme yöntemi ile hazırlanmış katkısız CdS ince filmlerinin öz direnci $10^2-10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ civarındadır. In, Sn, Al, Cl ve Br, CdS ince filmlerine kolaylıkla katılarak elektriksel öz direncinin azaltılması sağlanabilir. Ayrıca çeşitli ısısal işlemlerle de yüksek öz direnç düşürülebilmektedir.

Cu_2S ince filmi genellikle Clevite yöntemi ile elde edilmiş ve CdS/ Cu_2S ince film güneş pilleri yapımında p-tipli soğurucu materyal olarak kullanılmıştır. Öz direnci $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ civarındadır.

Bu çalışmada indiyum kalay oksit (ITO) ve Cu_2S ince filmleri sırasıyla püskürtme ve Clevite yöntemleri ile hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ince filmlerin elektriksel ve optiksel özellikleri incelenmiştir. ITO/ Cu_2S ince film güneş pili yapılmış ve verimi hesaplanmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Püskürtme yöntemiyle elde edilen ITO ince filmlerinde başarılı sonuçlar 1977 yılında Manificier ve Szepessy tarafından alınmıştır. n-tipi silisyum üzerinde oluşturulan $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ tabakası $\text{InCl}_3+\text{SnCl}_4+\text{HCl}+\text{alkol}$ çözeltisi püskürtülerek hazırlanmıştır. Alttaban sıcaklığı 400-500 °C arasındadır. En iyi sonuçlar 400 °C 'de elde edilmiştir. ITO ince filmler içerisindeki SnO_2 miktarı %20 'den fazladır. Özdirençleri taban sıcaklığına bağlı olarak 498 °C 'de $5,21 \times 10^{-4}$ $\Omega\text{-cm}$, 435 °C 'de $51,1 \times 10^{-4}$ $\Omega\text{-cm}$ olarak bulmuşlardır. ITO/n-Si güneş pilinden %10 'un üzerinde verim elde etmişlerdir. AM1 (hava kütlesi 1) güneş ışınımına benzer bir aydınlatmada açık-devre gerilimini $V_{oc}=500$ mV, kısa-devre akımını $I_{sc}=32$ mAcm^{-2} ve dolum çarpanını $FF=0,60-0,65$ olarak bulmuşlardır (Manificier ve Szepessy 1977).

Ashok ve ark. yaptıkları çalışmada, yine püskürtme yöntemiyle n-tipi silisyum üzerinde ITO ince filmi oluşturmuşlardır. ITO ince filmi içerisindeki Sn miktarının artmasına bağlı olarak özdirençte artma gözlemişlerdir. ITO ince filmlerinin özdirenci $10^{-2}\Omega\text{-cm}$ ile 10^{-3} $\Omega\text{-cm}$ arasında değişmektedir. 0,5 $\Omega\text{-cm}$ özdirence sahip silisyum ile oluşturulan ITO/n-Si güneş pili parametrelerini $V_{oc}=0,52$ V, $I_{sc}=31,5$ mAcm^{-2} , $FF=0,7$ şeklinde bulmuşlardır (Ashok ve ark. 1980).

500 °C 'de polikristal silisyum üzerine püskürtme yöntemi ile ITO ince filmleri elde edilmiştir (Schunck ve Coche 1979). ITO ince filmlerinin katman direnci 20 Ω/\square , In_2O_3 filmlerinin ise 350 Ω/\square olarak bulunmuştur. ITO/n-tipi Si (tek kristal) güneş pilleri ile ilgili $V_{oc}=534$ mV, $I_{sc}=41$ mAcm^{-2} ve $FF=0,46$ olarak bulunmuştur. Püskürtmede taşıyıcı gaz olarak azot kullanılmıştır. Yapılan güneş pillerinin verimleri %9,1 - %11,3 arasında belirlenmiştir.

AM1 100 $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ aydınlatma altında Si üzerinde püskürtme ile oluşturulan ITO ince film yapılı güneş pilinden, 42,5 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ akım yoğunluğu ve %13 'lük bir verim elde edilmiştir. ITO ince filmleri 0,6 μm kalınlığına ve 20 Ω/\square katman direncine sahiptir (Kobayashi ve ark. 1990).

ITO ince filmleri 10^{-4} Torr oksijen ortamında ve nispeten düşük alttaban sıcaklığında (130 °C) buharlaştırma ile hazırlanmıştır. Filmler çeşitli sıcaklıklarda ve sürelerde tavlannmıştır. Filmler x- ışını kırınımı ve scanning auger mikroskobu ile incelenmiştir. Elektriksel ve optiksel özellikleri hazırlama ve tavlama şartlarının en iyi durumunda ölçülmüştür. ITO ince filmlerinin özelliklerinin tavlama sıcaklığına, In ve Sn oranlarına kuvvetle bağlı olduğu görülmüştür. Çözeltide Sn oranının artırılması sonucu filmlerin özdirencinde ve mobilitesinde azalma gözlenmiştir. Eşit oranlarda hazırlanan ($\text{In}_{50}\text{Sn}_{50}$) 900 Å kalınlığındaki ITO ince filmi 400 °C 'de tavlendiğinde $0,38 \times 10^{-3}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ iletkenliğine sahip olduğu bulunmuştur (Amanullah ve ark. 1994).

Buharlaştırma ve perdeli basım (screen printing) yöntemleri ile Si üzerine oluşturulan ITO ince filminin katman direnci $290 \Omega/\square$ bulunmuştur (Mulyadi ve Campbell 1989). Bu değer 300°C sıcaklığında vakumda tavlama sırasında ölçülmüştür. Daha sonra atmosfer şartlarında birkaç gün bekletildikten sonra katman direncinde artış gözlenmiştir. 80 mW/cm^2 'lik aydınlatma altında hazırlanan güneş pili için $V_{oc}=0,36 \text{ V}$, $I_{sc}=16.4 \text{ mA/cm}^2$, $FF= 0,34$ değerleri bulunmuştur.

ITO/InP güneş pilleri magnetron aşındırma (magnetron sputtering) yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Aşındırmada kullanılan gaz bileşenleri incelenmiş ve yüksek verimli piller ITO ince filmi çöktürülmezden önce InP tabanı Ar/H₂ plazmasına karşı bırakıldığında elde edilmiştir. H₂ işleminden sonra 25°C 'de 1000 W/m^2 aydınlatma altında %18 'lik rekor verim başarılmıştır. H₂ işlemi yapılmadan oluşturulan pillerin ise düşük verimli ve kararsız olduğu bulunmuştur (Li ve ark. 1989).

ITO/silisyum oksit/Si kavşaklı güneş pilleri elektron-ışın buharlaştırma yöntemi kullanılarak ince silisyum oksit kaplı tek kristal Si alttaban üzerinde oluşturulmuştur. Akım-gerilim (I-V) eğrisinin Si alttabana buharlaştırılan ITO buharının düşme açısına bağlı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda I-V değerinin çöktürmeden sonraki tavlama sıcaklığına ve ortamdaki gazın cinsine bağlı olduğu görülmüştür. ITO ince filmleri 0° 'de ve 380°C taban sıcaklığında çöktürülmüştür. Bu ITO ince filmleri 380°C taban sıcaklığında %73, 450°C 'de ise %89 optik geçirgenliğe sahiptir (Kobayashi ve ark. 1992).

Oda sıcaklığında lazer çöktürme yöntemi kullanılarak 5×10^{-6} Torr oksijen basınçlı vakum ortamında ITO ince filmi oluşturulmuştur. ITO ince filmlerinin elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde çalışılmıştır. Filmlerin öz direncinin çöktürme şartlarına bağlı olduğu görülmüştür. Optimum şartlarda filmlerin öz direnci $2,8 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ ve optik geçirgenliği %90 'ın üzerinde bulunmuştur (Zheng ve Kwok 1993).

ITO/InGaAsP/GaAs (Matsubara ve ark. 1989), ITO/SnO₂/CdTe ve ITO/SnO₂/CdS/CdTe (Das ve Morris 1992) kavşaklı güneş pillerinde, ITO ince filmi optik geçirgenliğinin yüksek olması ve düşük öz dirençli olması nedeniyle, pencere materyali olarak kullanılmıştır.

RF magnetron aşındırma yöntemiyle büyütülen ITO ince filmlerinde çöktürmeden sonra tavlama işlemi yapılmasının filmlerin öz direncinde değişiklik meydana getirdiği gözlenmiştir. Optimum şartlarda $6700 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ iletkenlik değeri elde edilmiştir. ITO ince filmleri O₂ atmosferinde ve vakum ortamında tavlansmıştır. Tavlamadan sonra $1,9 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ öz direncine ve $26700 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ iletkenlik değerine ulaşılmıştır (Martinez ve ark. 1991).

Güneş pilleri üzerinde metal-ITO kontaklarının yüksek dirençli olduğu bulundu. $10 \Omega/\square$ katman dirençli ITO ince filmi üzerinde yapılan gümüş kontaklar için kontak öz direnci $R_c=3,55 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ ve $450 \Omega/\square$ katman dirençli ITO ince filmlerinde ise $R_c=4,9 \times 10^{-1} \Omega\text{-cm}$ 'ye kadar kontak direncinin yükseldiği gözlenmiştir. Benzer sonuçlar krom ve alüminyum kontaklar

için de elde edilmiştir. Böyle yüksek R_c değerleri güneş pillerinin performansında önemli kayıplara sebep olmaktadır (Rastogi ve Lakshmikummar 1989).

ITO-SiO₂-Si (SIS, yarıiletken-yalıtkan-yarıiletken) güneş pillerinin performansı üzerinde ITO çöktürme yönteminin etkisi araştırılmıştır. Magnetron aşındırma yöntemi kullanılarak üretilen ITO-SiO₂-Si(p veya n-tipli) güneş pillerinin, çöktürme işlemi sırasında ortaya çıkan ara yüzeylerinin pilin fotovoltaik performansını etkilediği gösterildi. Magnetron aşındırma yöntemiyle n ve p-tipli Si alttabanların her ikisi üzerinde de güneş pilleri üretmenin uygun olmadığı ispatlandı. Pillerin %0,2-4,0 verimli olduğu bulundu (Sivridis ve Pananakakis 1991).

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan In₂O₃-InP (tek kristal) heterokavşaklı güneş pillerinin fotovoltaik özellikleri işlem sıcaklığının bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir. 340 °C 'de hazırlanan In₂O₃-p-InP kavşakların 100 mV·cm⁻² aydınlatma altında maksimum verimi %8,7 olarak bulunmuştur. In₂O₃-n-InP kavşaklarında ise hiç bir fotovoltaik özellik bulunamamıştır (Subrahmanyam ve Vasu 1992).

In₂O₃ ve SnO₂ ince filmleri ark püskürtme yöntemi (corona spray pyrolysis) ile hazırlandı. Filmlerin elektriksel ve optiksel özellikleri belirlendi. In₂O₃ ince filmleri için görünür bölgede maksimum %88 optik geçirgenlik ve %90 'dan fazla IR yansıtma değerleri bulundu. In₂O₃ 'in oluşması için 350 °C civarında minimum taban sıcaklığının olması gerektiği vurgulandı. Ayrıca In₂O₃ 'in çöktürülmesi sırasında elde edilen toz şeklindeki parçacıkların polikristal In₂O₃ olduğu bulundu. 0,36 µm kalınlığındaki In₂O₃ ince filminin öz direnci $16,5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ olarak bulunmuştur. In₂O₃ ince filmlerinin %5,5 oranında Sn ile katkılanmasıyla oluşturulan 0,22 µm kalınlığındaki ITO ince filmi öz direnci $2,0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, %7,6 oranında Sn katkılanmasıyla oluşturulan 0,33 µm kalınlığındaki ITO ince filminin öz direnci ise $1,810^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ değerinde bulunmuştur. Anılan bu filmlerin katman dirençleri de sırasıyla $46 \Omega/\square$, $9,2 \Omega/\square$, $5,6 \Omega/\square$ 'dir (Siefert 1984).

Püskürtme yöntemi ile çökeltilecek polikristal SnO₂ filmleri morfolojik, elektriksel ve yük taşıma özelliklerine göre karakterize edilmiştir. İncelenen örnekler 30-70 cmV⁻¹s⁻¹ arasında mobilite değerleri göstermiştir. Mobilitenin davranışı, yük taşıyıcı yoğunluklarının ve kristal taneciği büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak rapor edilmiştir. Bundan başka sıcaklık ile mobilitenin davranışı, kristal tanecikleri arasında bulunan potansiyel engeline tünelleme yolu ile yük taşıma mekanizmasının olduğu öne sürülmüştür (Antonaia ve ark 1992).

SnO₂/n-Si güneş pillerinin, AM1 ortamında tek kristal Si için %12,3 ve polikristal Si için %10,1 gibi verimleri bulunmuştur. SnO₂ ince filmi ısıtılan Si alttaban üzerine SnCl₄ çözeltisinin püskürtülmesiyle oluşturulmuştur. Püskürtme çözeltisi, etilasetat içerisinde 0,77 M SnCl₄ çözündürülmesi ile meydana getirilmiştir. Alttaban sıcaklığı 300-400 °C arasındadır. Kullanılan bu düşük masraflı püskürtme yöntem ile büyük alanlı (20 cm²) tek kristal pillerden %10 verimli olanı yapılmıştır. Tek kristal güneş pilleri ile karşılaştırıldığında polikristal güneş pillerindeki

düşük verimin nedeni polikristal filmlerin yüksek özdirenç ve küçük yayınım süreci göstermesinden kaynaklandığı öne sürülmüştür (Feng ve ark. 1979).

Ucuz ve kolay bir yöntem olan püskürtme yöntemi kullanılarak SnO_2 ince filmleri değişik bileşimlerde ve özelliklerde üretilmiş ve özellikleri belirtilmiştir. Uygun şartlarda hazırlanan bu filmlerin özellikleri iyi yapılanlar ile karşılaştırıldığında genellikle üretilme işlemine ve kullanılan sisteme bağlı olduğu rapor edilmiştir. Üretilen filmlerin kalınlığı ve elektriksel özellikleri, kullanılan püskürtme gazının basıncına, atmosfer şartlarına ve çalışılan kimyasalların molaritelerine bağlı oldukları incelenmiştir. Bazı çeşitli şartlar filmlerin optik özelliklerini de etkilediği gözlenmiştir. Filmlerin özdirencinin, kalınlığın fazla olduğu kısımlarda sabit ve düşük değerde kaldığı gözlenmiştir. Özdirenç, çalışma çözeltisinin 1 ml 'sinde 0,7 gr antimon pentaklorür olduğundaki filmler için 50 $\Omega\cdot\text{cm}$, katılanmamış filmler için 154 $\Omega\cdot\text{cm}$ değerindedir (Onyia ve Okeke 1989).

0,5 μm 'den fazla kalınlığa sahip $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ filmleri, Corning 7059, soda-kireçli cam, polikristal, amorf ve tek kristal Si alttabanları üzerine püskürtme yöntemiyle çöktürülmüştür. Filmlerin büyütülmesinde alttaban yapısı, morfolojisi ve film kalınlıklarının etkisi x-ışını kırınımı yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Film büyütmeleri özel kalınlıklarda yapılmıştır. Düzgün filmlerin büyütülmesinde alttabanların önemli bir etkisi olmamış fakat film kalınlığının önemli etkileri gözlenmiştir (Agashe ve Marathe 1993).

0,65 M SnCl_4 , 9,25 M propanol ve 0,19 M HCl çözeltisi 300-400 $^\circ\text{C}$ 'eki alttaban üzerine püskürtülerek SnO_2 oluşturulmuştur. Filmlerin optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Optiksel geçirgenlik %90 'ın üzerindedir. Elektriksel özdirenç ise 400 $^\circ\text{C}$ 'deki çöktürmeden hemen sonra 1,4 ile 1,7 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ arasında bulunmuştur. SnO_2 filmlerinin bazıları oksijen ortamında, 1 dakika farklı sıcaklıklarda tavlannmıştır. 200 $^\circ\text{C}$ 'de tavlanan SnO_2 filminin özdirenci 1,4 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 'den 2 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 'ye arttığı, 400 $^\circ\text{C}$ 'de tavlanan SnO_2 filminin özdirenci ise 1,4 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 'den 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 'ye arttığı gözlenmiştir (Chaudhuri ve ark. 1989).

Püskürtme yöntemiyle çöktürülen SnO_2 ince filmleri ile antimon katkılı (ATO) ve flor katkılı (FTO) SnO_2 filmlerinin optimum çöktürme parametreleri üzerinde çalışılmıştır. %3 mol SbCl_3 katkılı 2000 Å kalınlığındaki SnO_2 ince filminin $6,99\times 10^{-3}(\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$ iletkenliğe, 40 Ω/\square katman direncine ve 6000 Å dalgaboyunda %88 optik geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. 900 Å kalınlığında ve ağırlıkça % 1,2 NH_4F katkılı FTO ince filmi ise 20 Ω/\square katman direncine $7,415\times 10^{-2}(\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$ iletkenliğe ve 6000 Å dalgaboyunda %93 optik geçirgenliğe sahiptir (Sing ve Basu 1988).

Fotolitik yöntem (photolytic method) ile SnO_2 ve $\text{SnO}_2\cdot\text{Sb}$ ince filmleri havada, sodalı cam alttaban üzerinde hazırlanmıştır. Yasak enerji aralığı SnO_2 'in 3,76 eV, $\text{SnO}_2\cdot\text{Sb}$ 'in 3,83 eV olarak hesaplanmıştır. Filmlerin iletkenliğinin, optik geçirgenliğinin ve kristal taneciği büyüklüğünün vakumda veya havada tavlama ile arttığı gözlenmiştir. Optik geçirgenliğin ve özdirencin film kalınlığına bağlılığı gözlenmiştir. Yüksek geçirgenlik ve düşük özdirenç için

optimum kalınlık SnO_2 (öz direnç $3 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ ve optik geçirgenlik %90) için 700 nm ve $\text{SnO}_2\text{:Sb}$ (öz direnç $1,610^{-3} \Omega\text{-cm}$ ve optik geçirgenlik %93) için 600 nm bulunmuştur (Kuku 1986).

Antimon katkılı SnO_2 ince filmleri Corning 7059 alttaban üzerine püskürtme yöntemi ile çöktürülmüştür. Farklı oranlarda katılan filmlerin yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. 0,0143 M $\text{SnCl}_4\text{:5H}_2\text{O}$ çözeltisi 415 °C 'deki alttaban üzerine püskürtülmüştür. Yüzde olarak Sb/Sn oranı 2,19 olan ince filmin iletkenliği $327,4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Sb miktarı arttıkça iletkenliğin de arttığı gözlenmiştir (Goyal ve ark. 1993).

CdS ince filmi 420 °C 'de ısıtılmış cam alttabanlar üzerine kadmiyum klorür veya nitrat ve thiourea içeren sulu çözeltinin püskürtülmesiyle oluşturulmuştur. Kadmiyum klorür çözeltisinden elde edilen CdS ince filmlerinin 510 nm dalga boyundan daha büyük dalgaboylarında optik geçirgen olduğu gözlenmiştir. Püskürtmeyle hazırlanan 0,5 μm kalınlığındaki $\text{SnO}_2\text{:F}$ ince filminin öz direnci $1,8 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$, 4,3 μm kalınlığındaki CdS (klorür 'den elde edilen) ince filminin öz direnci $1,2 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$ bulunmuştur (Amlouk ve ark. 1987).

Kimyasal olarak çöktürülen Cu_xS ince filminin ve tortunun yapısal ve opto-elektronik özellikleri incelenmiştir. Filmlerin ve tortunun havada tavlama ile elektriksel iletkenliğin arttığı, 220 °C 'nin yukarısında ise hızlı bir şekilde elektriksel iletkenliğin azaldığı gözlenmiştir. 220 °C civarında elektriksel iletkenliğin azalması Cu_xS ince filminin bu sıcaklıkta bozulmasına dayandırılmıştır (Fernandez ve ark. 1993).

$\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ heterokavşaklı güneş pillerinin yapısı, veriminin değerlendirilmesi, yarıiletken filmlerin elektriksel, optiksel, kimyasal ve yapısal özellikleri gözden geçirilmiştir. En iyi filmlerin gerçekleşmesindeki teknolojik sınırlamalar ve film hazırlama yöntemleri belirtmiştir (Bloss ve Schock 1981).

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan CdS ince filmlerinin 0,7 μm ile 1,3 μm dalga boyları arasında optik geçirgenliği incelenmiştir. 1 μm kalınlığındaki CdS ince filmi için optik geçirgenlik 0,72; 4 μm kalınlığındaki CdS ince filmi için ise 0,61 bulunmuştur (Belgacem ve ark. 1981).

Püskürtme yöntemi ile çöktürülen CdS filmlerinin oluşumu ve mikro yapısı incelenmiştir. Cd ve S atomlarının film içersindeki oranlarının 1 'e eşit olduğu ve 400 °C taban sıcaklığında hazırlanan filmlerin öz direncinin $1,8 \times 10^2 \Omega\text{-cm}$ olduğu bulunmuştur (Albin ve Subhash 1986).

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ heterokavşaklı güneş pillerinin elektriksel özellikleri AM1 aydınlatılmasında ve karanlıkta yapılmıştır. Pil parametrelerinin, farklı dalga boylarındaki aydınlatma şiddetine bağlı olduğu görülmüştür. Pillerin karanlıkta 2,5 Ω direncine ve $5 \times 10^{-4}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ iletkenliğine, AM1 aydınlatılmasında ise 1,5 Ω direncine ve $2 \times 10^{-3}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ iletkenliğine sahip oldukları bulunmuştur (Luquet ve ark. 1985).

CdS ince filmi püskürtme yöntemiyle çöktürülmüştür. $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ pillerinin çok düşük fotovoltaj verimi için başlıca sebep kristal taneciklerinin ortalama boyutlarının çok küçüklüğü ileri sürülmüştür. Püskürtülme sırasında alttaban sıcaklığının çok çabuk düşmesi enine büyüklüğü

1 μm 'den daha fazla olan kristal taneciklerinin oluşmasını engellemiştir. Alttaban yüzey sıcaklığını sabit tutacak deneysel bir düzenek hazırlanmıştır. Bu sistemle filmlerin yapısal özelliklerinin tekrarlanabilirliği sağlanmış ve 1 μm 'den daha büyük tanecikli filmler elde edilmiştir. Kristal tanecik boyutları ve film kalınlıkları, çöktürme sıcaklığının ve püskürtme hızının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir (Savio ve Oliveri 1989).

Tek kristal ve polikristal CdS ve $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ($x=0,15$) alttabanları üzerinde farklı yöntemlerle $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ ve $\text{Cu}_2\text{S}/\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ güneş pilleri yapılmış ve elektriksel, fotoelektriksel ve bozulma (degradation) özellikleri incelenmiştir. Kapalı ortamlarda üretilen tek kristal ve polikristal ince film güneş pillerinin verimleri sırasıyla % 11 ve % 7 olarak bulunmuş ve pillerin kararlı yapıda olduğu gözlenmiştir (Bairamov ve ark. 1993).

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan CuInSe_2 ve CdS ince filmlerinin oluşumundaki benzerlikler gösterilmiştir. Yarıiletken ince filmlerin metal-üre gibi komplekslerin parçalanması ile üretildiği gösterilmiştir (Brown ve Bates 1989).

$\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ heterokavşaklı güneş pillerinin en iyi şekilde yapılmasını belirlemek için püskürtme ile hazırlanan CdS tabakalarının bazı özellikleri incelenmiştir. Kadmiyum klorür ve thiourea maddelerinden oluşan sulu çözelti çeşitli sıcaklıklarda cam alttaban üzerine püskürtülmüştür. Film kalitesinin en uygun olduğu sıcaklık 380 °C olarak bulunmuştur. CdS ince filminin öz direnci katkısız filmler için $10^3 \Omega\text{-cm}$ AlCl_3 katkılı filmler için $10^2 \Omega\text{-cm}$ değerlerinde olduğu görülmüştür (Martinuzzi ve ark. 1978).

CdS ince filmleri püskürtme yöntemiyle hazırlanmış, optik ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Hazırlama sıcaklığına bağlı olarak CdS ince filmlerinin kırılma indisinin gerçel ve sanal kısımlarının değişimi değişken-açılı spektroskopi elipsometrisi (VASE) kullanılarak çalışılmıştır. Alttaban sıcaklığı 200 °C ile 360 °C arasında değişmektedir. VASE ölçümleri 530-600 nm dalga boyu bölgelerinde alınmıştır. Film kalınlıkları 500-600 nm arasındadır. 300 °C 'de hazırlanan filmin pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu, x-ışını kırınımı verilerinin de filmin daha iyi kalitede kristal yapıya sahip olduğunu göstermiştir. CdS filminin kırılma indisinin gerçel kısmı (n), artan alttaban sıcaklığı ile artmış, filmlerin öz direncinde ise azalma gözlenmiştir (Mathew ve ark. 1995).

Özduran, püskürtme yöntemiyle $\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{S}$ ince film güneş pili hazırlamıştır. ZnO ve CdS ince filmlerini püskürtme yöntemiyle hazırladıktan sonra, CdS filmini Clevite yöntemi ile Cu_2S filmine dönüştürmüştür. ZnO ve Cu_2S ince filmlerinden $\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{S}$ ince film güneş pili elde etmiştir. ZnO, CdS ve Cu_2S ince filmlerinin elektriksel iletkenliğini ve optiksel geçirgenliğini incelemiştir. CdS ince filminin öz direncini Van der Pauw yöntemiyle $(0,186-0,240)\times 10^2 \Omega\text{-cm}$, Cu_2S ince filmin öz direncini ise DNÖ ile $(0,036-0,232)\times 10^2 \Omega\text{-cm}$ bulmuştur (Özduran 1995).

Çabuk, $\text{SnO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ ince film güneş pilleri oluşturmuştur. SnO_2 ince filmini püskürtme yöntemiyle, Cu_2O ince filmini kimyasal çökeltme yöntemiyle hazırlamıştır. SnO_2 ince filminin öz direncini $4,6\times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ civarında bulmuştur (Çabuk 1992).

Püskürtme yöntemiyle $\text{SnO}_2/\text{Cu}_2\text{S}$ ince film güneş pilleri hazırlanmıştır. SnO_2 ince filminin öz direncini yaklaşık $3,5 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, CdS ince filminin öz direncini $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ basamaklarında ve Cu_2S ince filminin öz direncini $2,8 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ civarında bulmuştur (Bozkurt 1993).



BÖLÜM 3

MATERYAL ve METOD

3. 1. Püskürtme Yöntemi ile ITO İnce Filmlerinin Hazırlanması

Püskürtme yöntemiyle oluşturulan ITO ince filmlerinin deneysel parametreleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

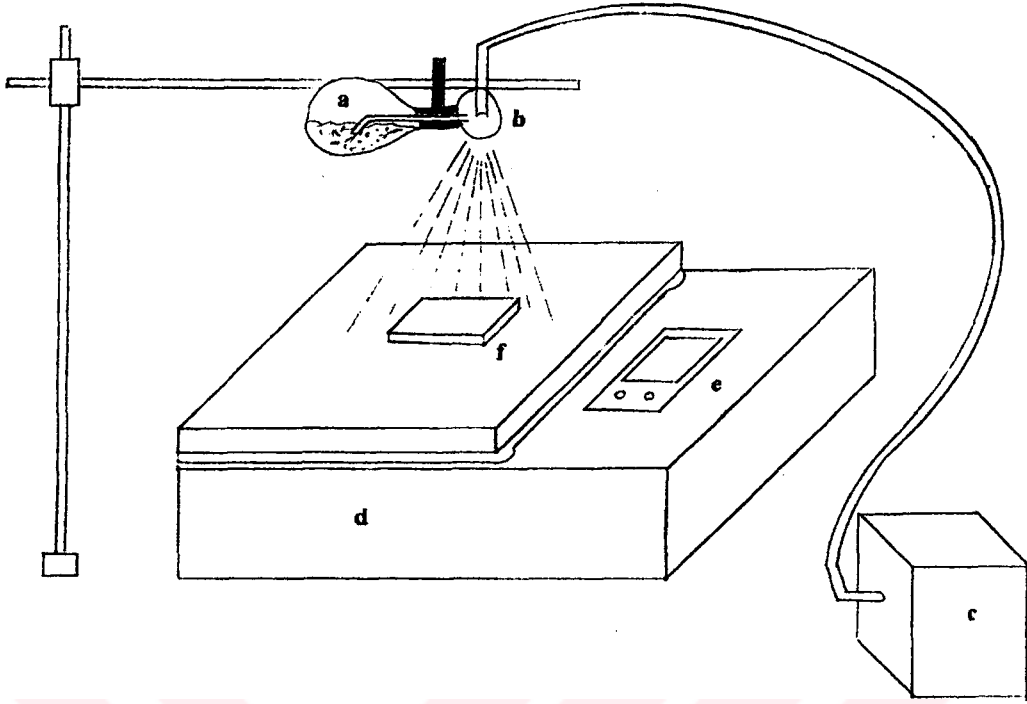
Çizelge 3.1 ITO ince filmi oluşumundaki deneysel parametreler

Çözelti	0,01-0,05 M SnCl ₄ + 0,01-0,05 M InCl ₃
Çözücü	CH ₃ (OH) (Metanol)
Alttaban sıcaklığı	~390 °C
Püskürtme hızı	8-12 ml/dak
Püskürtme başlığının alttabana uzaklığı	18-25 cm
Püskürtme başlığının çapı	0,2-0,3 mm

Optimum bir ince film güneş pili elde etmek için pili oluşturan ince filmlerin optimum özdirençte ve optik geçirgenlikte olması gerekmektedir. Bundan dolayı ITO ince filmlerinin optimum özdirençte ve optik geçirgenlikte olması için In ve Sn elementlerinin film içersindeki miktarları incelendi. In ve Sn elementlerinin film içersindeki miktarları ise püskürtme çözeltisine katılan InCl₃ ve SnCl₄ maddelerinin molaritelerinden belirlendi. ITO ince filmlerinin püskürtme çözeltisi 0,01 M ile 0,05 M arasında InCl₃ ve SnCl₄ maddeleri eşit hacimlerde karıştırılarak hazırlandı. ITO-E ince filminin püskürtme çözeltisi, InCl₃ ve SnCl₄ maddelerinden eşit molariteli ve eşit hacimli karıştırılarak hazırlandı. Düşük özdirençli ITO ince filmleri elde etmek amacıyla oluşturulan ITO-Sn ince filmi püskürtme çözeltisi 0,02 M SnCl₄ ve 0,01 M InCl₃ çözeltilerinden eşit hacimlerde karıştırılarak hazırlandı. Aynı amaç ile ITO-In ince filminin püskürtme çözeltisi ise 0,02 M InCl₃ ve 0,01 M SnCl₄ çözeltilerinden eşit hacimlerde karıştırılarak hazırlandı. Böylece ITO ince filmi içersindeki In ve Sn elementlerinin miktarlarının film özdirencine etkisinin ne olduğu görüldü.

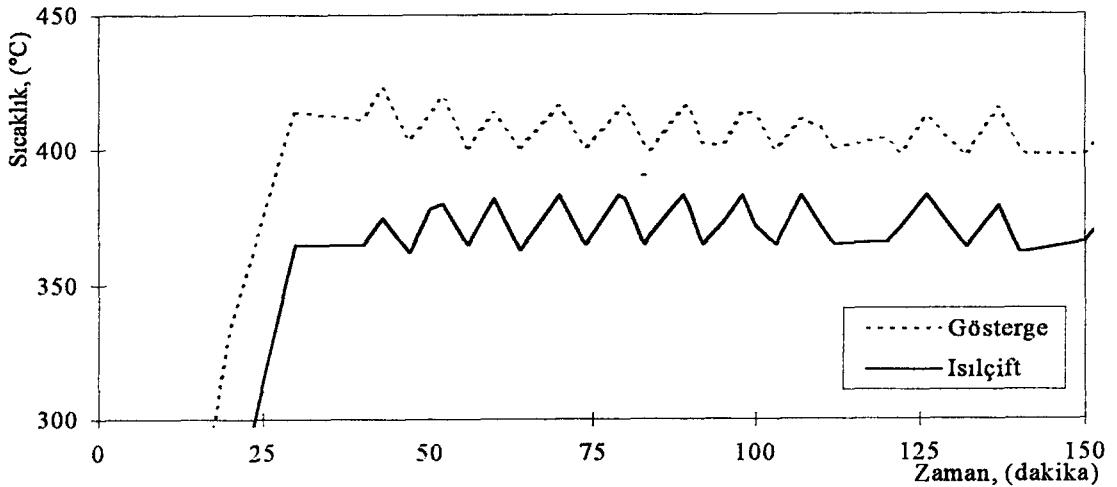
Püskürtme çözeltisindeki kimyasal maddeler, aktif kimyasal reaksiyonlara girebilecek ve istenen ince film katmanını oluşturabilecek köklere ve komplekslere sahip olmalıdır. Bunun için genelde çözeltiye bir miktar HCl katılmaktadır. Çözeltideki HCl miktarı Çözeltinin %1-2 oranındadır. Püskürtme yöntemi için deney düzeneği Şekil 3. 1 'de gösterilmiştir.

Kullanılan alttabanın cinsi ve temizliği oluşturulan filmlerin kalitesini etkilediğinden camların temizliğine aşırı özen gösterildi. Bu çalışmada filmler cam alttaban üzerinde oluşturuldu. Cam alttabanların temizliği şöyle yapıldı. Cam alttaban önce deterjan ile musluk suyunda yıkandı. Daha sonra sırasıyla metil alkolde ve izopropil alkolde üçer dakika ayrı ayrı bekletme ve ayrı ayrı kurutma işlemlerinden geçirilip kullanılır duruma getirildi.



Şekil 3.1 ITO ince filmi eldesinde kullanılan deney düzeneği
 a)Çözelti kabı, b)Püskürtme başlığı, c)Hava motoru, d)Isıtıcı,
 e)Gösterge, f)Cam alttaban

Temizlenen cam alttaban ısıtıcı üzerine bırakılarak sıcaklığının 390°C 'ye ulaşması sağlandı. Isıtıcı üzerinde yapılan incelemeler sonucunda ısıtıcının elektronik ısı göstergesi ile ısı-çift değerleri arasında fark olduğu görüldü. Isıtıcının elektronik göstergesi ile ısı-çift değerleri arasındaki ilişkinin zamana göre değişimi Şekil 3.2 'de verilmiştir. Daha sonra InCl_3 , SnCl_4 , HCl ve metanoldan oluşan püskürtme çözeltisi 390°C 'deki cam alttaban üzerine püskürtüldü. Böylece ITO ince filmi cam üzerinde büyütülmüş oldu.



Şekil 3.2 Film hazırlamada kullanılan ısıtıcının göstergesi ile ısı çift arasındaki ilişki

3.1.1 İnce Film Kalınlığının Bulunması

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan ITO ince filmlerinin kalınlıkları tartım yöntemi ile bulundu. Kullanılan cam alttaban püskürtmeden önce ve sonra olmak üzere tartıldı. Ölçülen kütleler arasındaki fark film kütlesi olarak bulundu. Filmin kütlesini, filmin yüzey alanı ile yoğunluğunun çarpımına bölerek filmin kalınlığı bulundu. Filmin kalınlığı Eşitlik 3.1 kullanılarak bulundu.

$$d = \frac{M_s - M_0}{\rho \times A} = \frac{\Delta M}{\rho \times A} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

- d = Oluşturulan ince filmin kalınlığı
- M_0 = Püskürtme yapılmadan önceki cam alttabanın kütlesi
- M_s = Püskürtme yapıldıktan sonraki cam alttaban + ince film kütlesi
- ΔM = Oluşturulan ince filmin kütlesi
- A = Oluşturulan ince filmin yüzey alanı
- ρ = Oluşturulan ince filmin yoğunluğu

Eşitlik 3.1 'deki ITO ince filminin yoğunluğu şöyle hesaplandı. InCl_3 maddesinden In_2O_3 ince filmi ve SnCl_4 maddesinden SnO_2 ince filmi oluştuğundan InCl_3 ve SnCl_4 maddelerinin püskürtme çözeltisine karıştırılan kütleleri bulundu. Bu kütleler Eşitlik 3.2 'de yerine yazılarak o püskürtme çözeltisinden elde edilen ITO ince filminin yoğunluğu hesaplandı.

$$\rho_{\text{ITO}} = \frac{m_{\text{SnCl}_4}}{m_T} \times \rho_{\text{SnO}_2} + \frac{m_{\text{InCl}_3}}{m_T} \times \rho_{\text{In}_2\text{O}_3} \quad (3.2)$$

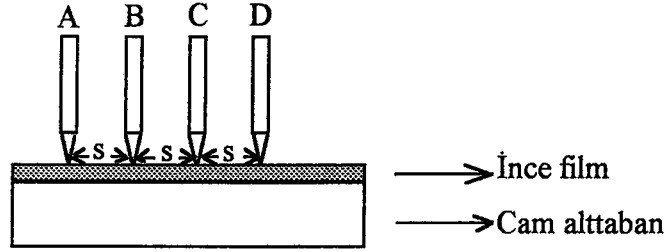
Bu eşitlikte;

- ρ_{ITO} = Oluşturulan ITO ince filminin yoğunluğu
- ρ_{SnO_2} = Püskürtme çözeltisine katılan SnCl_4 maddesinden oluşması beklenen SnO_2 ince filminin yoğunluğu
- $\rho_{\text{In}_2\text{O}_3}$ = Püskürtme çözeltisine katılan InCl_3 maddesinden oluşması beklenen In_2O_3 ince filminin yoğunluğu
- m_{SnCl_4} = Püskürtme çözeltisine katılan SnCl_4 maddesinin kütlesi
- m_{InCl_3} = Püskürtme çözeltisine katılan InCl_3 maddesinin kütlesi
- m_T = Çözeltiye katılan SnCl_4 ve InCl_3 maddelerinin kütlelerinin toplamı

İnce filmlerin kalınlıkları, tartım yöntemi ile birlikte DNÖ (Dört Nokta Ölçer) (FPP 5000 FOUR POINT PROBE Veeco INSTRUMENTS INC) ile de yapıldı. Fakat bulunan iki değer arasındaki fark bir uyumsuzluk gösterdiği için DNÖ 'in kalınlık verileri dikkate alınmadı.

3.1.2 Özdirenç Ölçümü

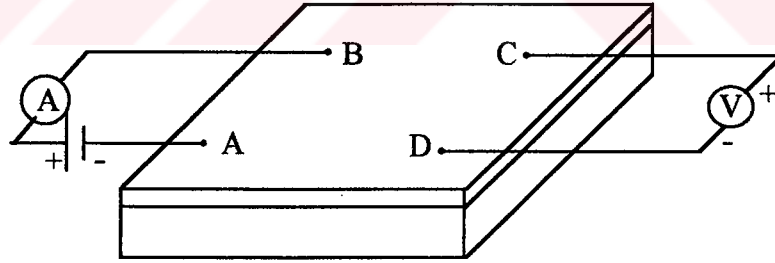
DNÖ, Şekil 3.3 'de görüldüğü gibi A ve D noktalarına küçük bir I_{AD} akımı verilerek B ve C noktaları arasındaki V_{BC} gerilimi ölçülmesi yolu ile çalışır. Daha sonra bu değerleri Eşitlik 3.3 'de yerine bırakılarak ince filmin özdirenç (ρ) değerleri bulunur.



Şekil 3.3 DNÖ 'in çalışma şekli

$$\rho = \frac{I_{AD}}{2\pi V_{BC} \cdot s} \quad (3.3)$$

Van der Pauw yöntemi ile özdirenç ölçümü ise Şekil 3.4 'de görüldüğü gibi d kalınlığındaki ince filmin üzerine dört ohmik bağlantının yapılması ve bu bağlantılardan ikisine akım uygulanarak diğer ikisinden gerilim ölçülmesine dayanır.



Şekil 3.4 Van der Pauw devresi

Değişik kalınlıklarda oluşturulan ince filmlere Şekil 3.4 'deki gibi ohmik bağlantılar yapılarak Van der Pauw devresi kuruldu. A ile B noktasına küçük bir I_{AB} akımı uygulandı. C ve D noktalarından V_{CD} potansiyel düşmesi ölçüldü. Ohm kanunundan

$$R_{AB,CD} = \frac{V_{CD}}{I_{AB}} \quad (3.4)$$

$R_{AB,CD}$ değeri bulundu. Devre bağlantıları saat yönünde yer değiştirilerek B ve C noktalarına yine küçük bir I_{BC} akımı uygulandı. D ve A noktaları arasındaki V_{DA} potansiyel düşmesi ölçüldü ve Ohm kanunundan

$$R_{BC,DA} = \frac{V_{DA}}{I_{BC}} \quad (3.5)$$

$R_{BC,DA}$ direnci bulundu. Bağlantı noktalarının yerleri değiştirilerek farklı bir kaç konum için akım ve potansiyel düşme değerleri bulundu. Bu değerlerin ortalaması alınarak dirençler hesaplandı. Bu direnç değerleri Van der Pauw tarafından oluşturulan Eşitlik 3.6 'deki f fonksiyonunda yerlerine bırakıldı.

$$f = 1 - \left(\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right)^2 \frac{\ln 2}{2} - \left(\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right)^4 \left[\frac{(\ln 2)^2}{4} - \frac{(\ln 2)^3}{12} \right] \quad (3.6)$$

Kalınlık, dirençler ve Eşitlik 3.6 'deki fonksiyon değerinin bulunması ile ince filmin öz direnci Eşitlik 3.7 ile hesaplandı.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left(\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{2} \right) f(R_{AB,CD} / R_{BC,DA}) \quad (3.7)$$

3.1.3 Optik Geçirgenlik Ölçümü

Optik geçirgenlikler LKB BIOCHROM ULTROSPEC 4050 spektrofotometresi ile yapıldı. Spektrofotometre 200-900 nm arasında dalgaboyu ve Halojen Tungsten + Deuterium ışık kaynağına sahiptir. Ölçümlerde 400-900 nm arasında dalgaboyu ve Halojen Tungsten ışık kaynağı kullanıldı.

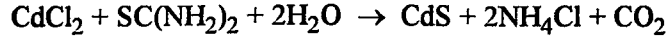
Ölçümlerde püskürtülmeye hazır temiz bir cam alttaban referans alınmıştır. Referans alınan temiz cam alttaban spektrofotometreye üzerinde ince film büyütülen cam alttabanlar ile beraber yerleştirildi. Referans cam alttabanın geçirgenliği %100 'e ayarlandı ve daha sonra diğer ince filmli cam alttabanların bu ayarlamaya bağlı olarak optik geçirgenlikleri bulundu.

3.2 CdS İnce Filmlerinin Püskürtme Yöntemi ile Hazırlanması

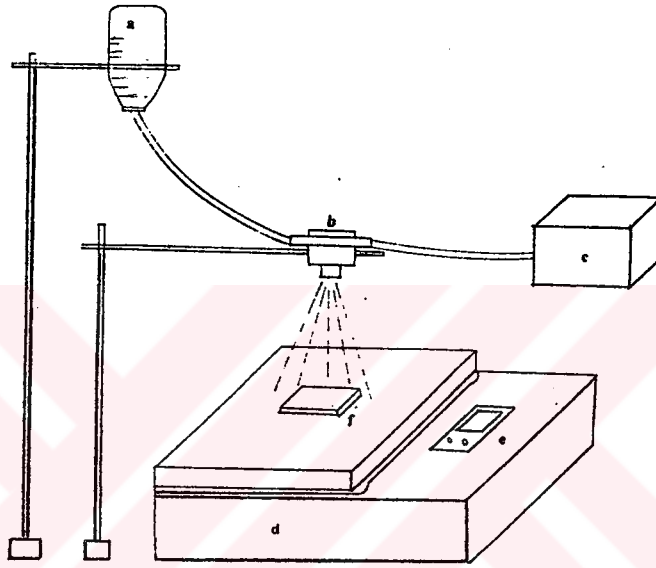
Eşit molaritede $CdCl_2$ ve $SC(NH_2)_2$ (tiyoüre) maddeleri saf suda çözündürülerek püskürtme çözeltisi hazırlandı. CdS ince filminin oluşturulmasındaki deneysel parametreler Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 CdS ince filmi oluşumundaki deneysel parametreler

Çözelti	0,01-0,05 M $CdCl_2$ + 0,01-0,05 M $SC(NH_2)_2$
Çözücü	H_2O (Saf su)
Alttaban sıcaklığı	230-390 °C
Püskürtme hızı	12-15 ml/dak
Püskürtme başlığının alttabana uzaklığı	30-35 cm
Püskürtme başlığının çapı	0,2 mm



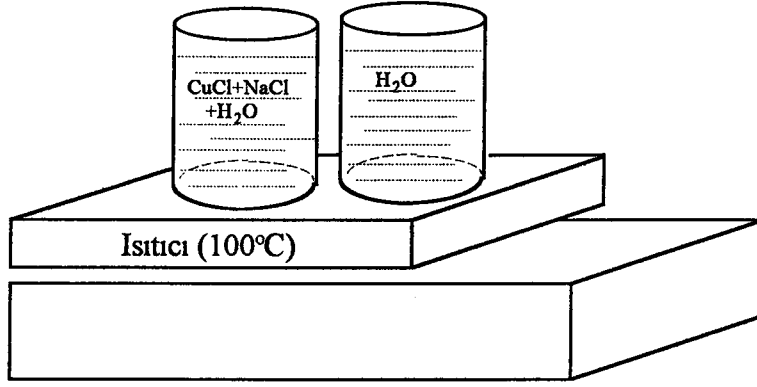
şeklindeki reaksiyon 390 °C 'de alttaban üzerine püskürtülerek oluşturuldu. ITO ince filminin eldesinde olduğu gibi ısıtıcının sıcaklığı püskürtme sırasında aniden düştüğü için 3 'er saniyelik süreler ile çözelti püskürtüldü ve ısıtıcının tekrar istenen sıcaklığa ulaşması için bir süre beklendi. Bu işlemlerden sonra oluşan CdS ince filminin elektriksel ve optiksel özellikleri incelendi. CdS ince filmi eldesinde kullanılan deney düzeneği Şekil 3. 5 'de verilmiştir.



Şekil 3.5 CdS ince filmi eldesinde kullanılan deney düzeneği
a)Çözelti kabı, b)Püskürtme başlığı, c)Hava motoru, d)Isıtıcı,
e)Gösterge, f)Cam alttaban

3. 3. Cu₂S İnce Filminin Clevite Yöntemi ile Hazırlanması

Clevite yönteminde (ıslak yöntemde) Cu₂S ince filmi, CdS ince filmi sulu bakır (I) klorür (CuCl) çözeltisine daldırılarak çözeltideki Cu atomlarının filmdeki Cd atomları ile yer değiştirmesiyle sağlanır. Bu çalışmada Clevite işlemi 100 °C 'de kaynamakta olan 100 ml saf su içerisinde çözündürülmüş 0,7-1,5 gr CuCl ve 0,2 gr sodyum klorür (NaCl) çözeltisine CdS ince filminin daldırılması ile yapıldı. CdS ince filmlerini Cu₂S ince filmine dönüştürmede kullanılan deney düzeneği Şekil 3.6 'da verilmiştir. Her daldırma işleminden sonra filmler diğer bir kaptaki 100 °C 'de kaynamakta olan saf suya daldırılarak filmin hem ani soğuması önleni hem de film üzerinde biriken tortular yıkanmış olur. CdS ince filmleri üçer saniyelik periyotlarla filmin kalınlığına göre 5 ile 15 defa daldırma işlemine tutuldu. Cu₂S oluşturma parametreleri Çizelge 3. 3 'de verilmiştir.



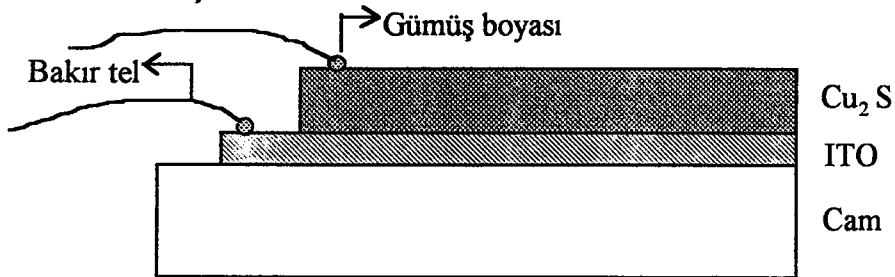
Şekil 3.6 CdS ince filmi Cu_2S ince filmine dönüştürmede kullanılan deney düzeneği

Çizelge 3. 3 Cu_2S ince filmi eldesinde kullanılan deneysel parametreler

Çözelti	0,7-1,5 gr CuCl + 0,2 gr NaCl
Çözücü	100 ml H_2O (Saf su)
CuCl çözeltisinin sıcaklığı	100 °C
Daldırma süresi	5 s ile 5 dak arasında

3. 4. ITO/ Cu_2S İnce Film Güneş Pillerinin Oluşturulması

390 °C 'de cam alttaban üzerine püskürtme yöntemi ile ITO oluşturuldu. Oluşan ITO ince filminin üzerine yine püskürtme yöntemiyle 390 °C 'de CdS ince filmi meydana getirildi. Daha sonra hazırlanan bu CdS ince filmi Clevite yöntemi ile Cu_2S ince filmine dönüştürüldü. Oluşturulan ITO/ Cu_2S ince film güneş pilinin kısa devre akımını ve açık devre gerilimini bulmak için gümüş boyası kullanılarak ince bakır tel ile güneş piline kontak yapıldı. İnce bakır tel kontak yapılmadan önce etanolde yıkandı ve kurutuldu. Şekil 3.6 'de ITO/ Cu_2S ince film güneş pilinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.7 ITO/ Cu_2S ince film güneş pilinin şematik görünümü

Hazırlanan bu pillerin aydınlatma ışığı altında kısa devre akımları ve açık devre gerilimleri ölçüldü. Ayarlı güneş pili ile karşılaştırılması yapıldı.

3. 5. Güneş Pili Veriminin Bulunması

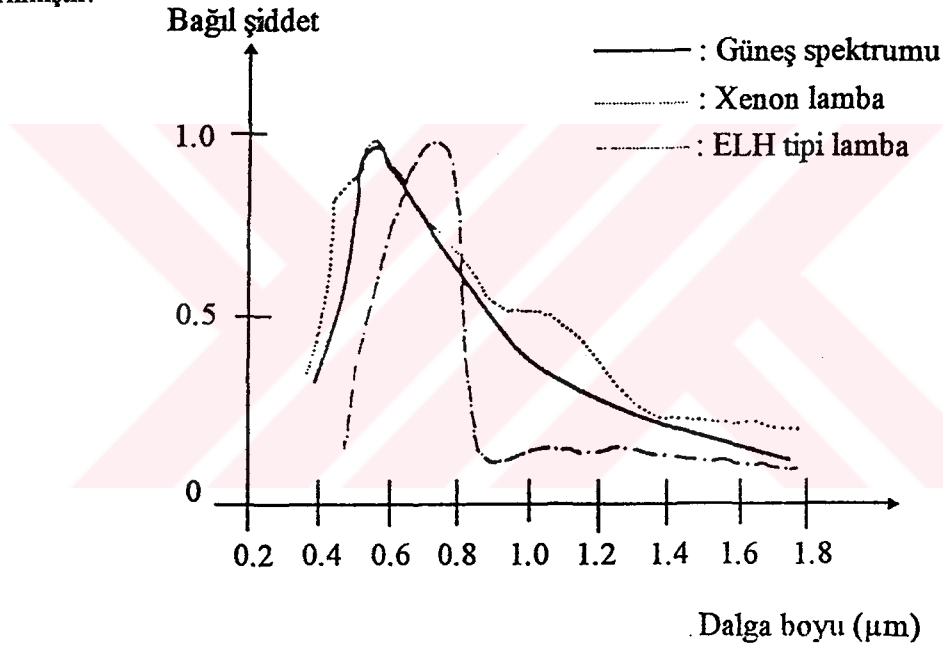
Güneş pillerinin verimleri, pil sıcaklığına, pil üzerine düşen ışık şiddetine ve spektral dağılımına bağlı olduğundan standart bir ölçüm yöntemi piller arasında karşılaştırma amacıyla gereklidir.

Güneş pili çıkış parametreleri doğal güneş ışığı altında veya güneş ışımaya denk ışımaya yapan güneş simülatörleri altında ölçülür.

Ölçümlerde kullanılan güneş simülatörleri şunlardır;

- a- Süzgeçli ELH tipi tungsten lamba
- b- Kısa arklı xenon lamba
- c- Uzun arklı xenon lamba

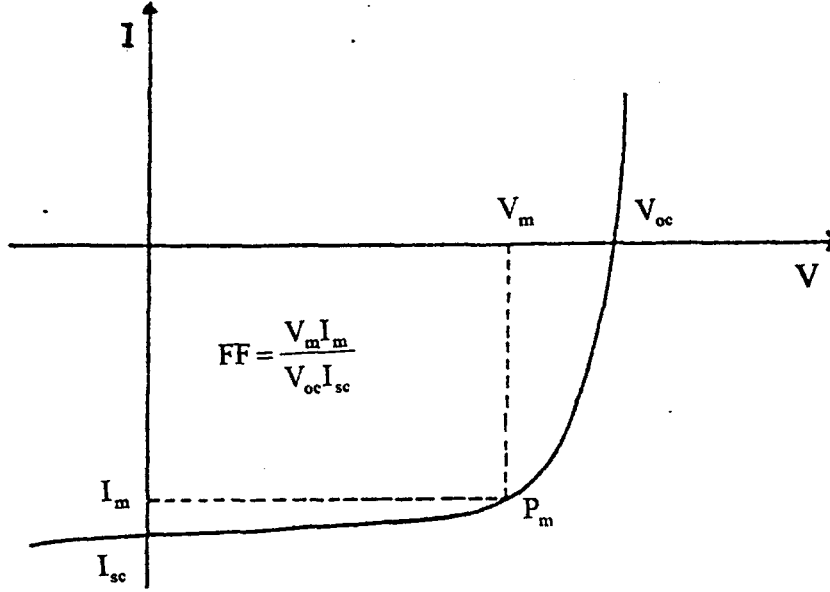
Güneş spektrumuna oldukça yakın olan bu kaynakların spektral dağılımı Şekil 3.8 'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Farklı ışımaya kaynaklarının spektral dağılımı

"Referans pil yöntemi" güneş pili verimi ölçümünde kabul gören bir yöntemdir. Referans pili ve test pili aynı düzlemde ve güneşe dik tutulur. Her iki pilden elde edilen çıkış parametreleri aynı zamanda kaydedilir. Pil sıcaklığı 28 ± 2 °C 'de ve güneş ışımaya en az 800 W/m^2 olmalıdır.

Güneş simülatörleri ile yapılan ölçümlerde, ilk önce ışık kaynağı açılır ve kararlı duruma getirilir. Işık kaynağının şiddeti 28 ± 2 °C 'de tutulan referans pili üzerine 1000 W/m^2 olarak ayarlanır. Daha sonra aygıtın kalibre edilen bu değeri sabit tutularak test pili yerleştirilir. Kontrol ve ayarlamalar tamamlandıktan sonra çeşitli ölçüm aygıtları kullanılarak pilin akım gerilim değerleri bulunur (Çabuk 1992). Bir I-V eğrisi Şekil 3.9 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Bir güneş pilinin I-V eğrisi

Pil veriminin hesaplanmasında bir güneş pilinin karakteristik I-V eğrisi kullanılır. Bu eğriden yararlanarak pilin açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}) ve dolun çarpanı bulunabilir.

Bir güneş pilinde, pilden geçen akım sıfır olması durumunda pil uçlarından ölçülen gerilim açık devre gerilimidir. Pilin kısa devre akımı ise aydınlatma altında sıfır gerilimde pilden geçen akımdır. Kısa devre akımı yaklaşık ışıkla oluşan akıma eşit olup pil üzerine gelen ışık şiddetine bağlıdır. I-V eğrisinde kullanılan deney düzeneği Şekil 3.10 'da verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi A ve B noktalarına bir ampermetre bağlandı ve ampermetreden kısa devre akımı ölçüldü. C ve D noktalarına bağlanan voltmetre ile açık devre gerilimi ölçüldü.

I-V eğrisi üzerindeki maksimum noktanın (P_m) bulunması, değişik noktalarda $I \times V$ çarpımlarının maksimum olduğunu bulmak ile hesaplanır. Pilden sağlanacak maksimum güç

$$P_m = I_m \times V_m$$

bağıntısından bulunur. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı deneysel olarak ölçülebilen parametreler olduğundan maksimum güç, bu niceliklere bağlı olarak hesaplanır. Bu durumda pilin I-V eğrisinin bir özelliği, pilin temel parametrelerinden biri olan dolun çarpanı (FF), şu şekilde formülize edilmektedir.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

ve açık devre geriliminin bir fonksiyonu olarak da

$$FF = \frac{V_{oc}' - \ln(V_{oc}' + 0,72)}{V_{oc}' + 1}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki

$$V'_{oc} = \frac{V_{oc}}{kT/q}$$

'dır. kT/q ise termal gerilim olarak bilinmektedir.

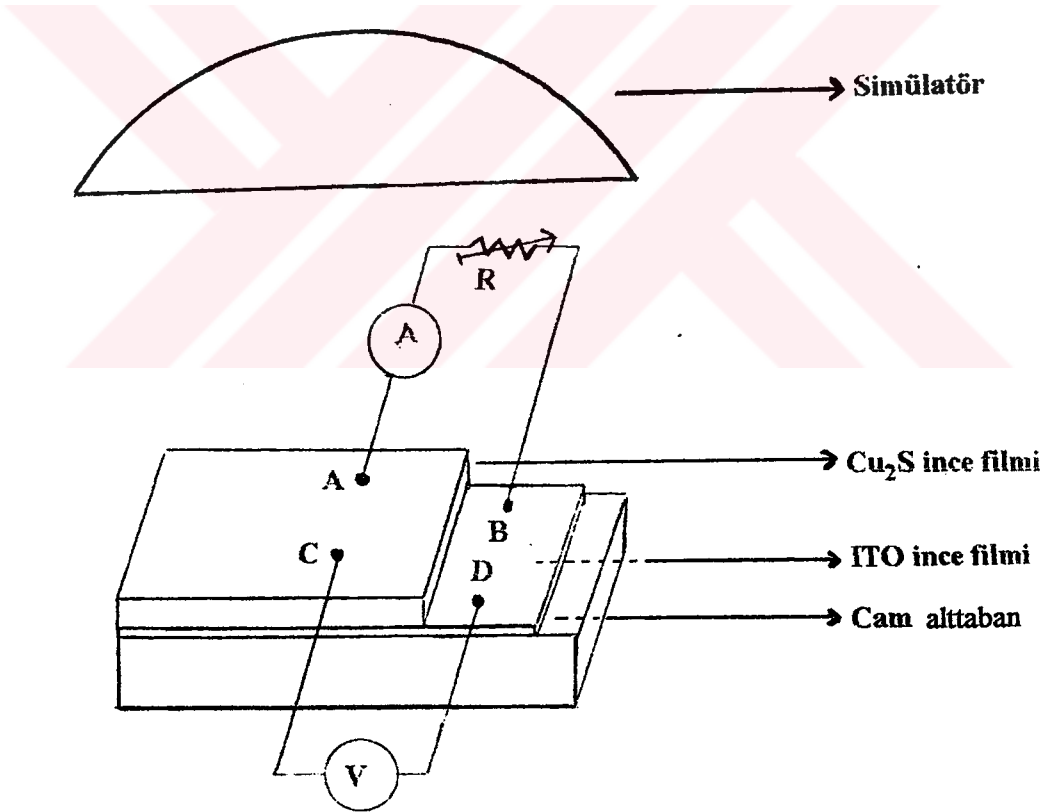
Bu durumda güneş pilinin verimi, doluluk çarpanı, açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve pil üzerine düşen ışınım gücüne bağlı olarak,

$$\text{Dönüştürme verimi } (\eta) = \frac{\text{Pilden sağlanan maksimum güç}}{\text{Pil üzerine gelen ışınım gücü}} = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}}$$

şeklinde tanımlanır. Ölçülen pil parametrelerine göre ise verim

$$\eta = FF \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times 100\%$$

şeklinde ifade edilir. Burada P_{in} , pil üzerine düşen ışınım gücü veya güneş enerjisi gücüdür.



Şekil 3.10 I-V eldesinde kullanılan deney düzeneği

BÖLÜM 4

BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. ITO İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan ITO ince filmlerinin elektriksel öz dirençleri ve optik geçirgenlikleri, film içersindeki In ve Sn maddelerinin oranlarına göre incelendi. Film kalınlıkları 3.1 eşitliği kullanılarak bulundu.

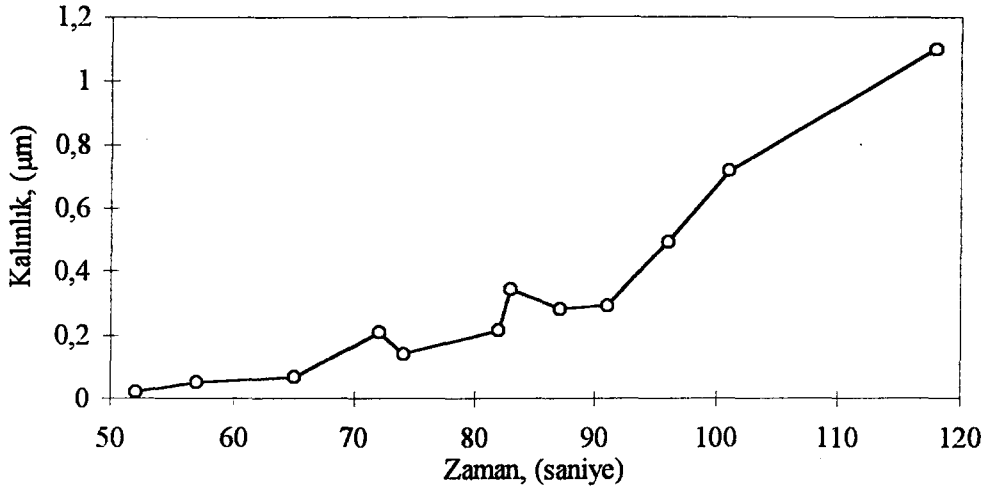
Eşitlik 3.1 'de kullanılan ince filmin yoğunluğu çözeltiliye katılan InCl_3 ve SnCl_4 maddelerinin oranlarına göre hesaplandı.

Bazı ITO ince filmlerinin püskürtme süreleri ile kalınlıkları Çizelge 4. 1 'de verilmiştir. Buradaki püskürtme sürelerinin bu kadar uzun oluşu ocağın sıcaklığının püskürtme sırasında aniden düşüp, sabit kalmayışındandır. Püskürtme 3 s 'lik sürelerle yapıldı. O anda ısıtıcının sıcaklığı düştüğü için bir süre yeniden ısıtıcının eski sıcaklığına ulaşması beklendi. Püskürtme süresine bekleme süresi dahil edilmemiştir.

ITO ince filmlerinin Çizelge 4. 1 'deki kalınlık değerleri tartım yöntemi ile bulundu. Farklı püskürtme sürelerinde elde edilen ITO ince filmleri kalınlığının püskürtme süresine göre değişimi grafiği Şekil 4. 1 'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 ITO ince filmlerinde püskürtme zamanları ve kalınlık değerleri

Örnek No	Alttaban Sıcaklığı T_s (°C)	Püskürtme Süresi t_s (saniye)	Film Kalınlığı d , (μm)
A.1.3	390	57	0,05
A.1.4	390	65	0,07
A.1.5	390	74	0,14
A.1.7	390	82	0,22
A.1.10	390	87	0,28
A.1.13	390	91	0,29
A.2.2	390	52	0,02
A.2.3	390	72	0,21
A.2.6	390	83	0,34
A.3.1	390	96	0,50
A.3.4	390	101	0,72
A.3.8	390	118	1,10



Şekil 4.1 ITO ince filmleri kalınlığının püskürtme süresine göre değişimi

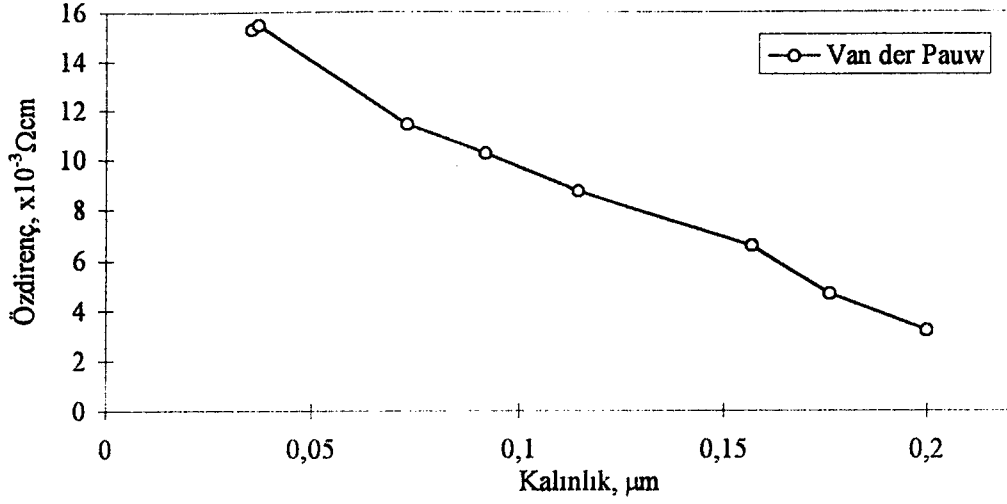
4. 1. 1 ITO İnce Filmlerinin Özdirenç Değerleri

ITO içerisindeki Sn ve In miktarlarının film özdirencine katkıları incelendi. SnO_2 ve In_2O_3 ve ITO ince filmlerinin özdirençleri ayrı ayrı bulundu. ITO ince filmlerinin özdirenci, ITO ince filminin oluşumunda kullanılan püskürtme çözeltisine katılan SnCl_4 ve InCl_3 maddelerinin eşit molaritelerinde ve farklı molaritelerinde bulundu.

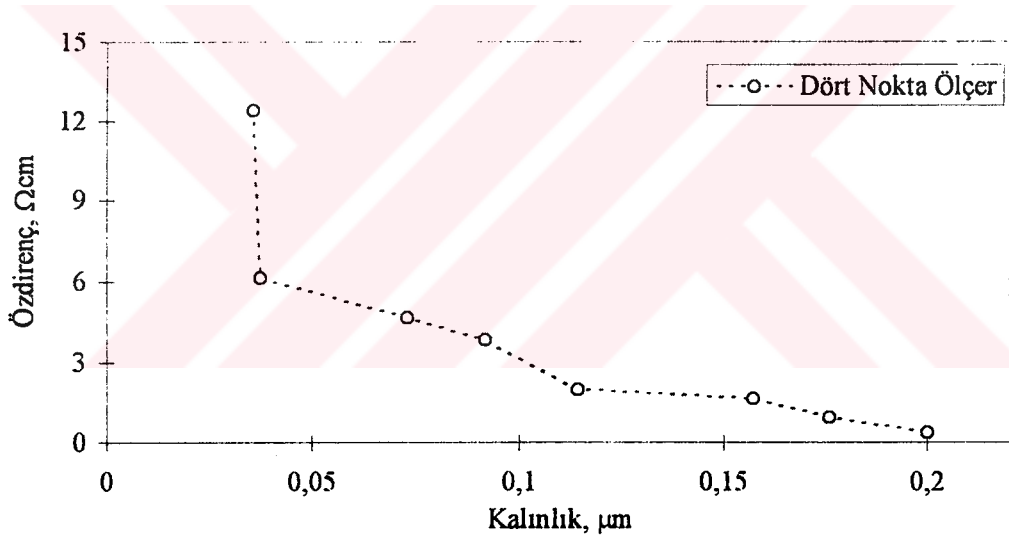
SnO_2 ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri Çizelge 4.2 'de verilmiştir. Çizelgedeki kalınlık değerleri tartım yöntemiyle, özdirenç değerleri de Van der Pauw ve DNÖ ile bulunmuştur. Sn ince filmlerinde kalınlık ile özdirenç arasındaki ilişki Şekil 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 SnO_2 ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri

Örnek No	Kalınlık (µm)	Van der Pauw ($10^{-3}\Omega\cdot\text{cm}$)	Dört Nokta Ölçer ($\Omega\cdot\text{cm}$)
S-7	0,04	15,3	12,42
S-3	0,04	15,5	6,14
S-6	0,07	11,5	4,67
S-4	0,09	10,2	3,82
S-13	0,11	8,7	1,99
S-2	0,16	6,6	1,68
S-9	0,18	4,7	0,95
S-8	0,20	3,2	0,38



Şekil 4.2a SnO₂ ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan özdirençlerinin kalınlığa göre değişimi

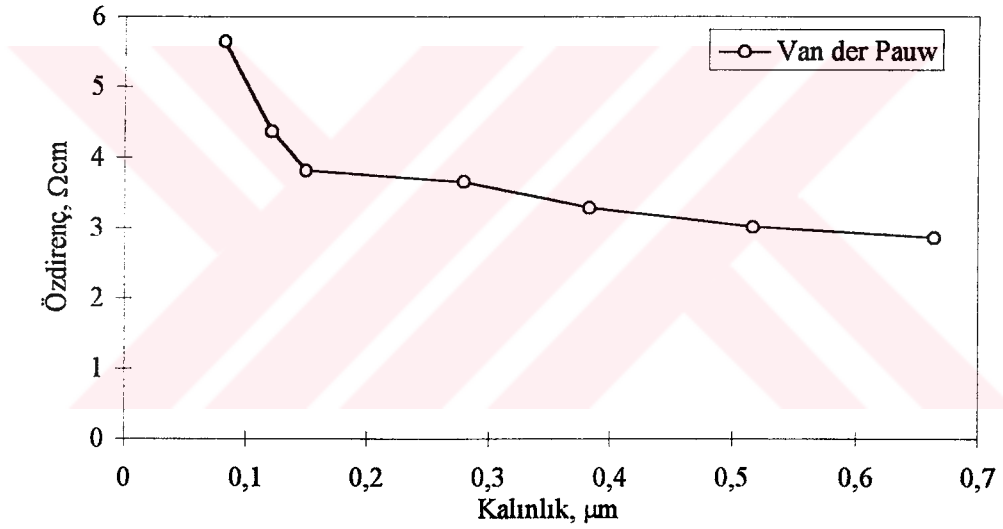


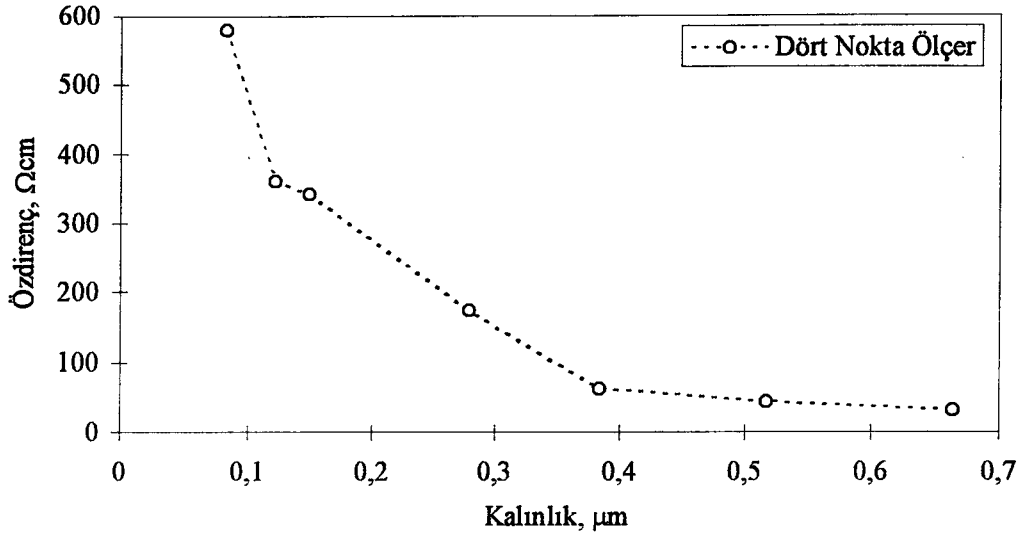
Şekil 4.2b SnO₂ ince filmlerinin DNÖ ile bulunan özdirençlerinin kalınlığa göre değişimi

In₂O₃ ince filmlerinin özdirenç ve kalınlık değerleri Çizelge 4.3 'de verilmiştir. Kalınlıklar tartım yöntemi ile bulunmuştur. In₂O₃ ince filmlerindeki özdirenç kalınlığa göre değişimi Şekil 4.3 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 In_2O_3 ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri

Örnek No	Kalınlık (μm)	Van der Pauw ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Dört Nokta Ölçer ($\Omega\cdot\text{cm}$)
I-3	0,08	5,65	579
I-4	0,12	4,37	361
I-1	0,15	3,81	342
I-8	0,28	3,66	174
I-11	0,38	3,29	63
I-17	0,52	3,01	44
I-18	0,66	2,86	32

Şekil 4.3a In_2O_3 ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi

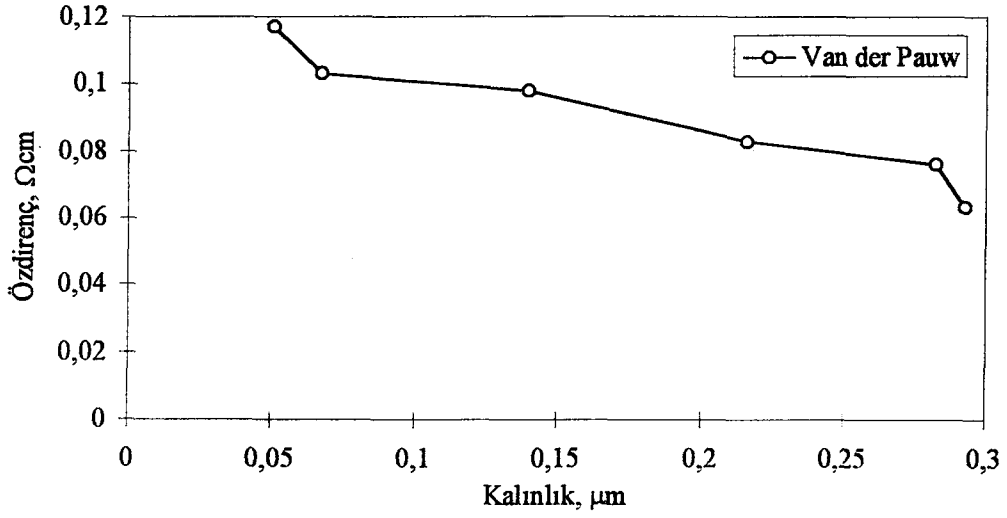


Şekil 4.3b In_2O_3 ince filmlerinin DNÖ ile bulunan özdirençlerinin kalınlığa göre değişimi

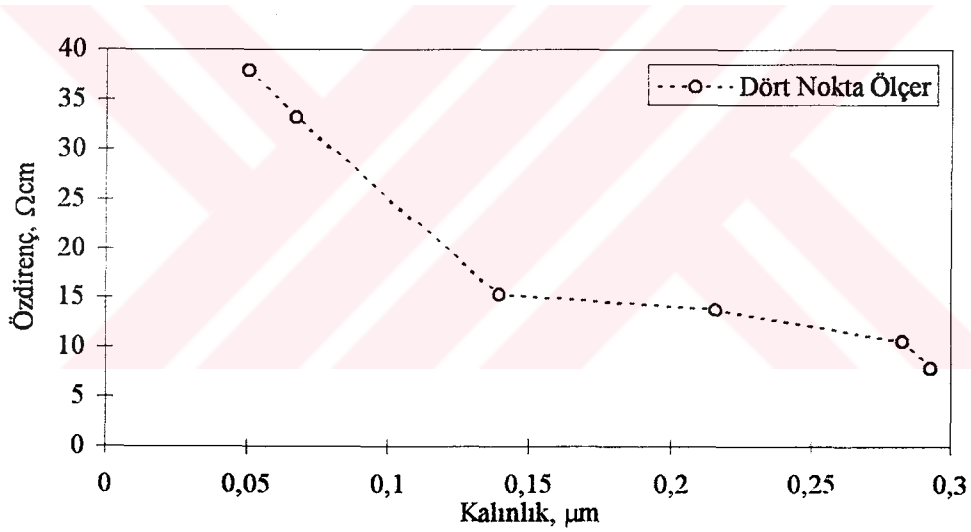
0,01 M SnCl_4 ve 0,01 M InCl_3 çözeltilerinden eşit hacimlerde alınarak oluşturulan ITO-E (eşit molariteli olarak hazırlanan) ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri Çizelge 4.4 'de ve özdirençlerin kalınlığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.4 'da verilmiştir.

Çizelge 4.4 ITO-E ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri

Örnek No	Kalınlık (μm)	Van der Pauw ($\Omega\text{-cm}$)	Dört Nokta Ölçer ($\Omega\text{-cm}$)
A.1.3	0,05	0,12	37,9
A.1.4	0,07	0,11	33,2
A.1.5	0,14	0,10	15,3
A.1.7	0,22	0,09	13,8
A.1.10	0,28	0,08	10,6
A.1.13	0,29	0,06	7,9



Şekil 4.4a ITO-E ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi

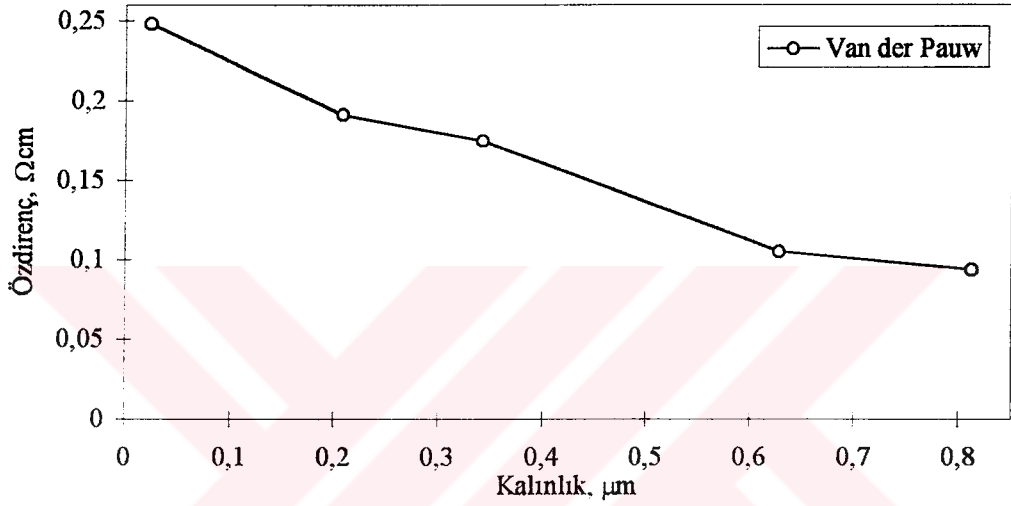


Şekil 4.4b ITO-E ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi

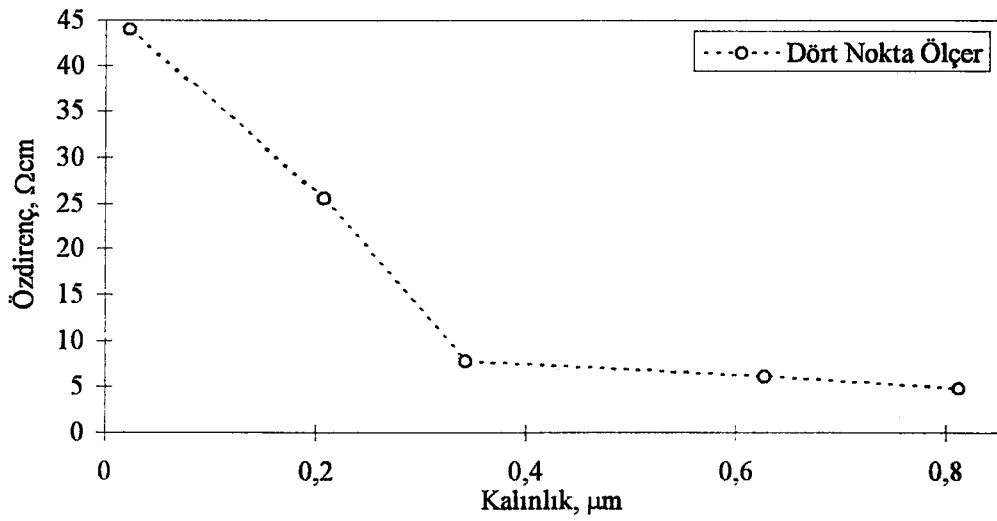
0,02 M SnCl_4 ve 0,01 M InCl_3 çözeltilerinden eşit hacimlerde alınarak elde edilen ITO-Sn (SnCl_4 molaritesinin InCl_3 molaritesinin 2 katı olma durumunda oluşan) ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri Çizelge 4.5 'te ve öz dirençlerin kalınlığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.5 'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 ITO-Sn ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri

Örnek No	Kalınlık (μm)	Van der Pauw ($\Omega\text{-cm}$)	Dört Nokta Ölçer ($\Omega\text{-cm}$)
A.2.2	0,02	0,25	44,0
A.2.3	0,21	0,19	25,5
A.2.6	0,34	0,18	7,74
A.2.7	0,63	0,11	6,13
A.2.8	0,81	0,09	4,81



Şekil 4.5a ITO-Sn ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi

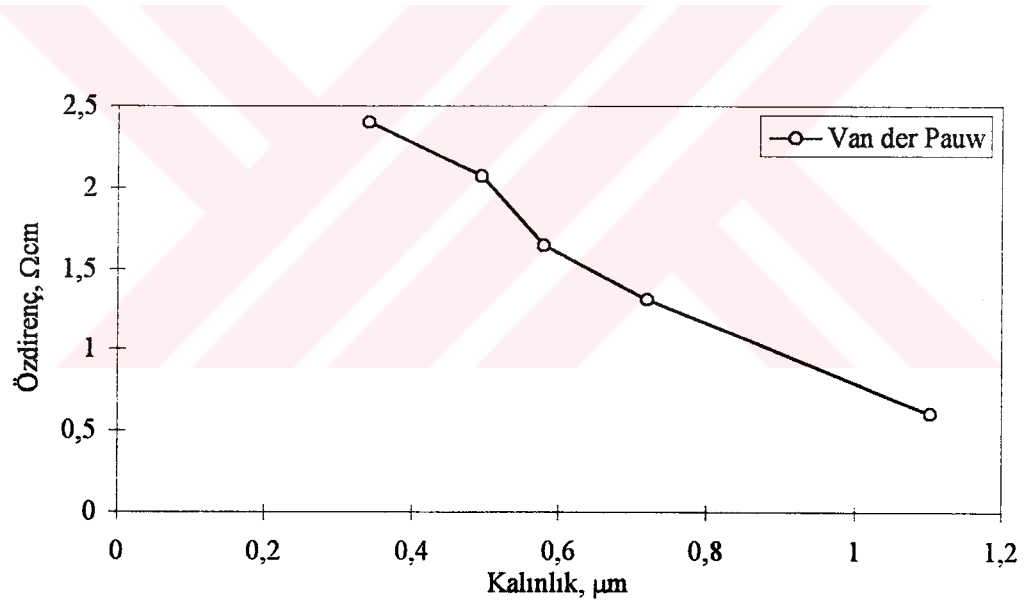


Şekil 4.5b ITO-Sn ince filmlerinin DNÖ ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi

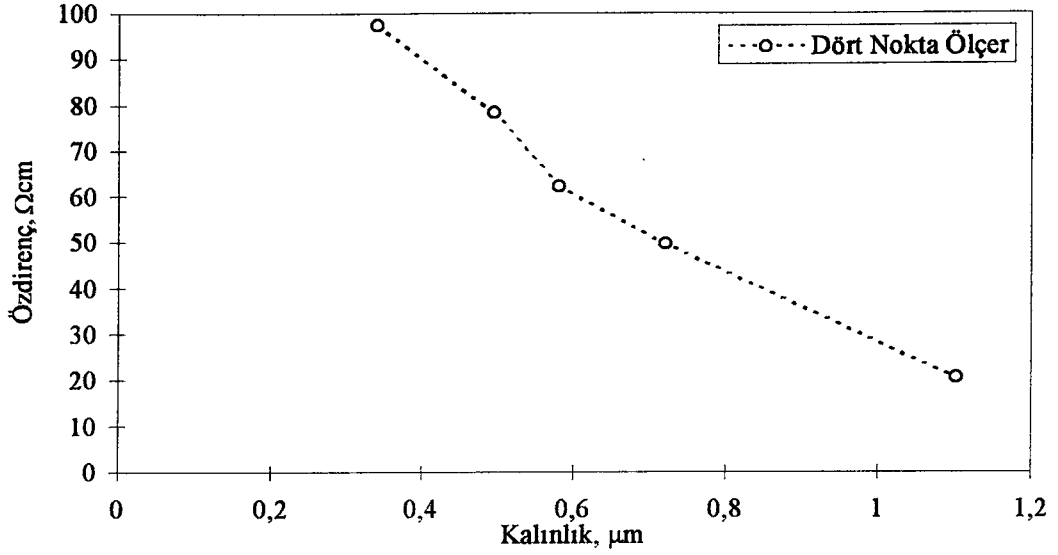
0,01 M SnCl_4 ve 0.02 M InCl_3 çözeltilerinden eşit hacimlerde alınarak elde edilen ITO-In (InCl_3 molaritesinin SnCl_4 molaritesinin 2 katı olma durumunda oluşan) ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri Çizelge 4.6 'da ve öz dirençlerin kalınlığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.6 'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 ITO-In ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri

Örnek No	Kalınlık (μm)	Van der Pauw ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Dört Nokta Ölçer ($\Omega\cdot\text{cm}$)
A.3.2	0,34	2,40	97,5
A.3.1	0,50	2,08	78,5
A.3.9	0,58	1,65	62,3
A.3.4	0,72	1,31	49,7
A.3.8	1,10	0,60	20,7



Şekil 4.6a ITO-In ince filmlerinin Van der Pauw yöntemi ile bulunan öz dirençlerinin kalınlığa göre değişimi



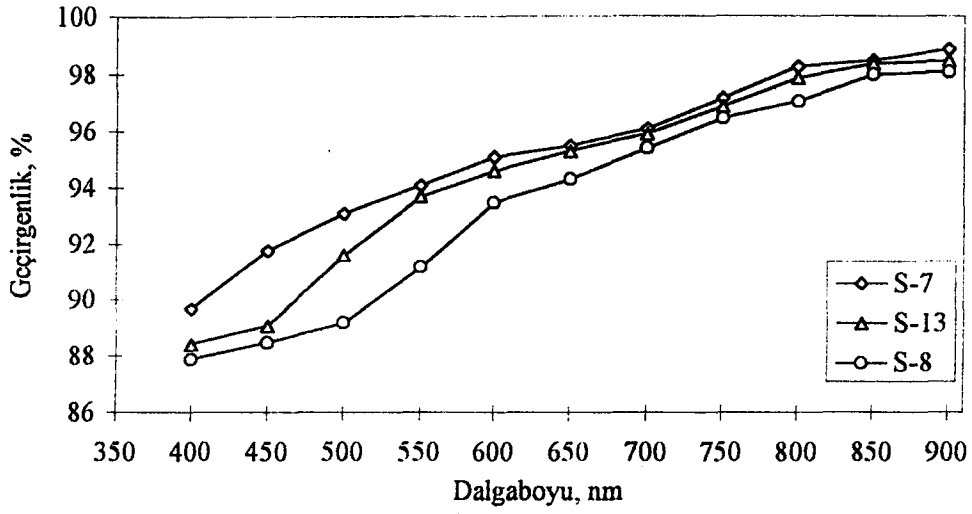
Şekil 4.6b ITO-In ince filmlerinin DNÖ ile bulunan özdirençlerinin kalınlığa göre değişimi

4.1.2. ITO İnce Filmlerinin Optik Geçirgenlik Değerleri

Püskürtme yöntemi ile hazırlanan ITO ince filmlerinin optik geçirgenliği, içerisinde bulunan Sn ve In miktarlarının filmin optik geçirgenliğine etkisi bakımından incelendi. Bu amaçla ITO ince filmlerinin optik geçirgenliğinin yanında SnO_2 ve In_2O_3 ince filmlerinin optik geçirgenlikleri de ölçüldü. Referans olarak ince filmlerin yapımında kullanılan temiz bir cam alttaban kullanıldı. SnO_2 ince filminin Çizelge 4.7 'de, In_2O_3 ince filminin Çizelge 4.8 'de ve ITO ince filminin Çizelge 4.9 'da optik geçirgenlik değerleri verilmiştir. Hazırlanan ince filmlerin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi SnO_2 ince filmi için Şekil 4.7 'de, In_2O_3 ince filmi için Şekil 4.8 'de ve ITO ince filmi için Şekil 4.9 'da verilmiştir. Hazırlanan ince filmlerin kalınlıkları arttıkça optik geçirgenliklerinde azalma gözlenmiştir. ITO ince filmi içerisindeki In ve Sn miktarlarının filmin optik geçirgenliklerine fark edilir bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Çizelge 4.7 SnO_2 ince filminin optik geçirgenlik (%) değerleri

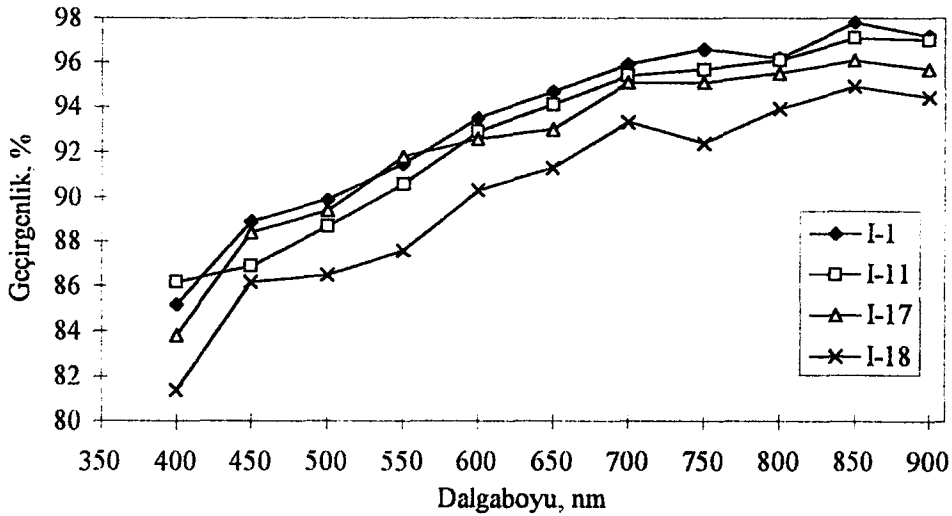
$\lambda \rightarrow$ Ö.N.↓ Örnek No	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
S-7	89,7	91,8	93,1	94,1	95,1	95,5	96,1	97,2	98,3	98,5	98,9
S-13	88,4	89,1	91,6	93,7	94,6	95,3	95,9	96,9	97,9	98,4	98,5
S-8	87,9	88,5	89,2	91,2	93,5	94,3	95,4	96,5	97,1	98	98,1



Şekil 4.7 SnO₂ ince filmlerinin optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi

Çizelge 4.8 In₂O₃ ince filminin optik geçirgenlik (%) değerleri

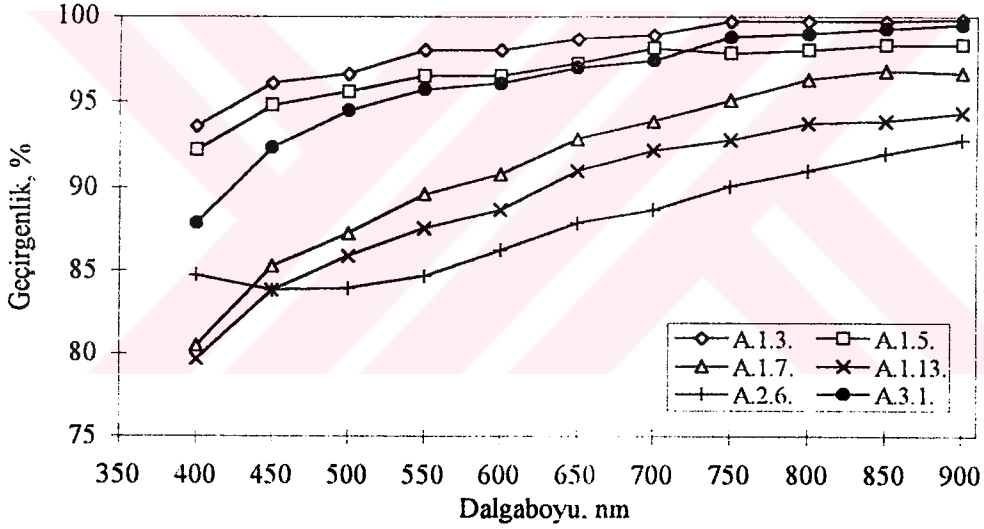
$\lambda \rightarrow$ Ö.N.↓	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
I-1	85,2	88,9	89,9	91,5	93,5	94,7	95,9	96,6	96,2	97,8	97,2
I-11	83,2	86,9	88,7	90,6	92,9	94,1	95,4	95,7	96,1	97,1	97,0
I-17	83,8	88,4	89,4	91,8	92,6	93,0	95,1	95,1	95,5	96,0	95,7
I-18	81,4	86,2	86,5	87,6	90,3	91,3	93,3	92,8	93,9	94,9	94,4



Şekil 4.8 In₂O₃ ince filmlerinin optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi

Çizelge 4.9 ITO ince filminin optik geçirgenlik (%) değerleri

$\lambda \rightarrow$ Ö.N.↓	400	450	500	550	600	650	700	400	800	850	900
A.1.3	93,6	96,1	96,6	98	98	98,7	98,9	99,7	99,7	99,7	99,8
A.1.5	92,2	94,8	95,6	96,5	96,5	97,2	98,1	97,8	98	98,3	98,3
A.1.7	80,5	85,3	87,3	89,6	90,8	92,9	93,9	95,1	96,3	96,8	96,7
A.1.13	79,7	83,9	85,9	87,6	88,7	91	92,2	92,8	93,8	93,9	94,4
A.2.6	84,8	83,9	84	84,7	86,3	87,9	88,7	90,1	91	92	92,8
A.3.1	87,9	92,4	94,5	95,7	96,1	97	97,4	98,8	99	99,3	99,5



Şekil 4.9 ITO ince filmlerinin optik geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimi

4. 2 CdS İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan CdS ince filmlerinin kalınlıkları tartım yöntemiyle, öz dirençleri Van der Pauw yöntemi ile bulundu. CdS ince filmlerinin yüksek dirençli olmasından dolayı DNÖ aletinden bir sonuç alınamadı. Film oluşturma sırasındaki alttaban sıcaklığının CdS ince filmlerinin öz direncine olan etkisi incelendi. Bazı CdS ince filmlerinin öz dirençleri ve alttaban sıcaklığı Çizelge 4.10 'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Bazı CdS ince filmlerinin kalınlık ve öz direnç değerleri

Örnek No	Alttaban Sıcaklığı T_s ; (°C)	Film Kalınlığı d , (μm)	Film Öz direnci $\times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$
Ka.1.1	230	0,12	0,80
Ka.1.3	230	0,29	0,74
Ka.1.5	230	0,46	0,70
Ka.1.6	230	0,77	0,55
Ka.2.1	300	0,23	0,41
Ka.2.2	300	0,38	0,29
Ka.2.7	300	0,51	0,17
Ka.2.6	300	0,59	0,15
Ka.3.2	390	0,12	0,09
Ka.3.8	390	0,27	0,08
Ka.3.3	390	0,38	0,07
Ka.3.4	390	0,40	0,06
Ka.3.6	390	0,45	0,05

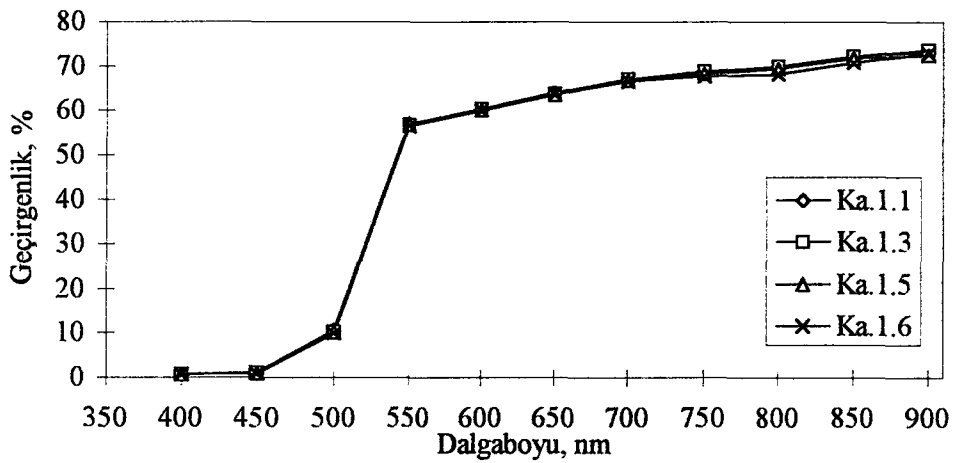
CdS ince filmlerinin optik geçirgenlikleri daha önce belirtilen foto-spektrometre ile yapıldı. Alttaban sıcaklığının optik geçirgenlik üzerine etkisi incelendi. Bazı CdS ince filmlerinin optik geçirgenlikleri Çizelge 4.11 'de sunulmuştur.

Ka.1 grubundaki CdS ince filmlerinin Şekil 4.10 'da, Ka.2 grubundaki CdS ince filmlerinin Şekil 4.11 'de ve Ka.3 grubundaki CdS ince filmlerinin Şekil 4.12 'de optik geçirgenliklerinin dalga boyuna göre değişimleri verilmiştir. Hemen hemen aynı kalınlıklarda olan Ka.1.3, Ka.2.1 ve Ka.3.8 CdS ince filmlerinin optik geçirgenliklerindeki alttaban sıcaklığının etkisi Şekil 4.13 'de görülmektedir.

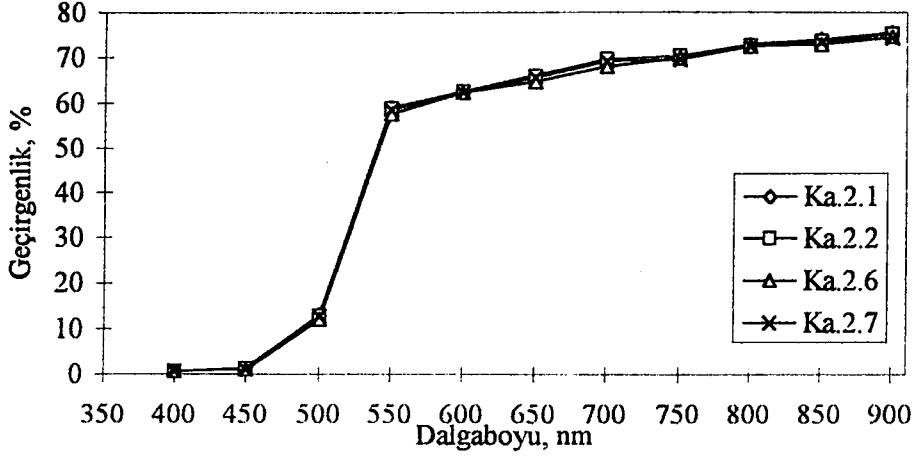
CdS ince filmlerinin düşük alttaban sıcaklıklarında öz direncinin yüksek olduğu ve alttaban sıcaklığı arttıkça öz direncin düştüğü bulundu. 300 °C 'de hazırlanan CdS ince filmlerinin optiksel olarak en iyi kalitede olduğu görüldü.

Çizelge 4.11 Farklı alttaban sıcaklıklarında hazırlanan CdS ince filmlerinin optik geçirgenlikleri

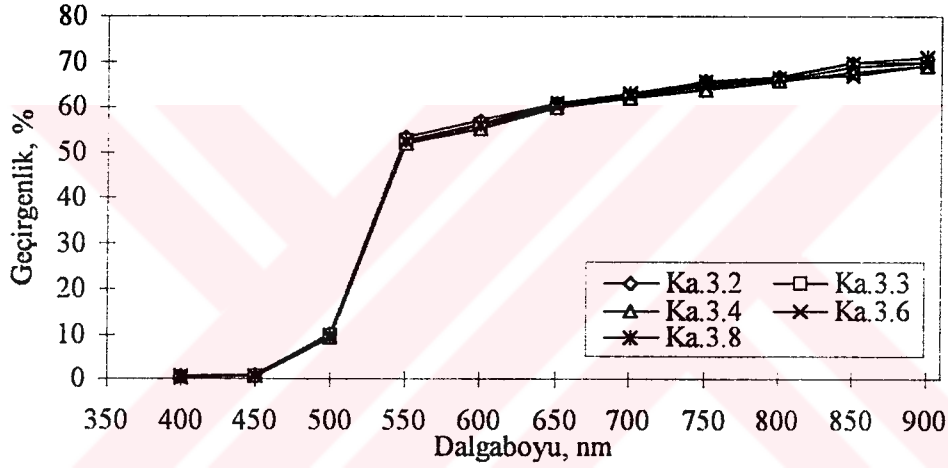
$\lambda \rightarrow$ Ö.N.↓	Kalınlık (μm)	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
K.a.1.1	0,12	0,7	1,1	10,8	57,1	60,3	64,1	67,2	68,6	69,9	72,3	73,2
K.a.1.3	0,29	0,7	1,1	10,4	56,7	60,2	63,7	67,0	68,8	69,8	72,3	73,6
K.a.1.5	0,46	0,6	1,0	10,3	56,8	60,1	63,6	66,8	68,2	69,5	71,8	72,5
K.a.1.6	0,77	0,6	1,0	10,1	56,6	60,1	63,7	66,6	67,9	68,2	70,9	72,9
K.a.2.1	0,23	0,8	1,3	13,1	59,3	62,7	66,3	69,8	70,4	73,0	74,1	75,6
K.a.2.2	0,38	0,8	1,3	12,9	59,1	62,8	66,1	69,7	70,4	72,7	73,8	75,4
K.a.2.7	0,51	0,8	1,2	12,8	58,8	62,6	65,9	69,3	69,8	72,6	73,6	74,4
K.a.2.6	0,59	0,7	1,2	12,1	58,0	62,6	65,0	68,1	70,1	72,6	73,0	74,9
K.a.3.2	0,12	0,7	1,0	10,1	53,4	57,2	60,9	62,8	65,8	66,9	69,9	70,1
K.a.3.8	0,27	0,6	0,8	9,9	52,6	56,3	60,9	63,1	65,6	66,7	69,8	71,0
K.a.3.3	0,38	0,5	0,8	9,9	52,6	56,3	60,8	62,4	65,3	66,2	68,9	69,9
K.a.3.4	0,40	0,4	0,7	9,5	52,0	55,4	59,9	62,1	63,9	65,8	67,8	69,1
K.a.3.6	0,45	0,3	0,8	9,3	52,5	56,0	60,2	62,5	64,7	66,3	67,0	69,5



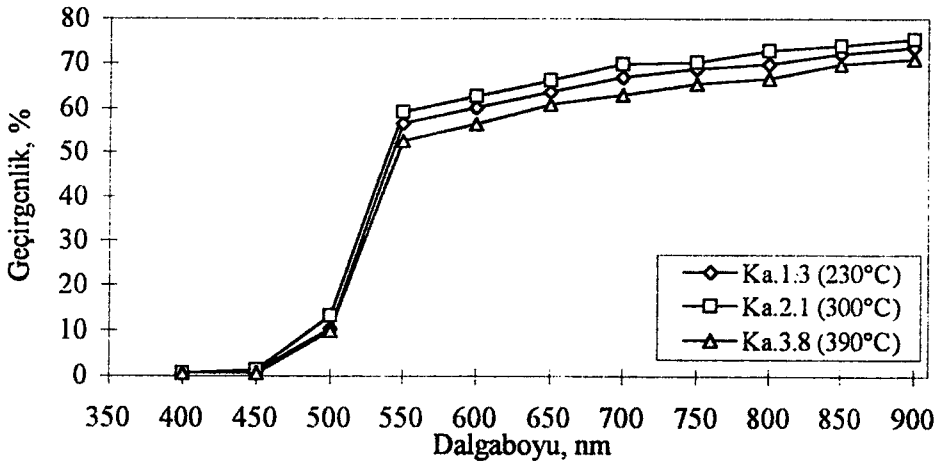
Şekil 4.10 Ka.1 grubu CdS ince filmleri optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi



Şekil 4.11 Ka.2 grubu CdS ince filmlerin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi



Şekil 4.12 Ka.3 grubu CdS ince filmlerin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi



Şekil 4.13 Farklı alttaban sıcaklıklarında hazırlanan CdS ince filmlerin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi

4.3 Cu₂S İnce Filmlerinin Elektriksel ve Optiksel Özellikleri

Clevite yöntemi ile hazırlanan Cu₂S ince filmlerinin kalınlıkları tartım yöntemiyle özdirençleri Van der Pauw yöntemiyle ve DNÖ ile bulundu. Bazı Cu₂S ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri Çizelge 4.12 'de verilmiştir.

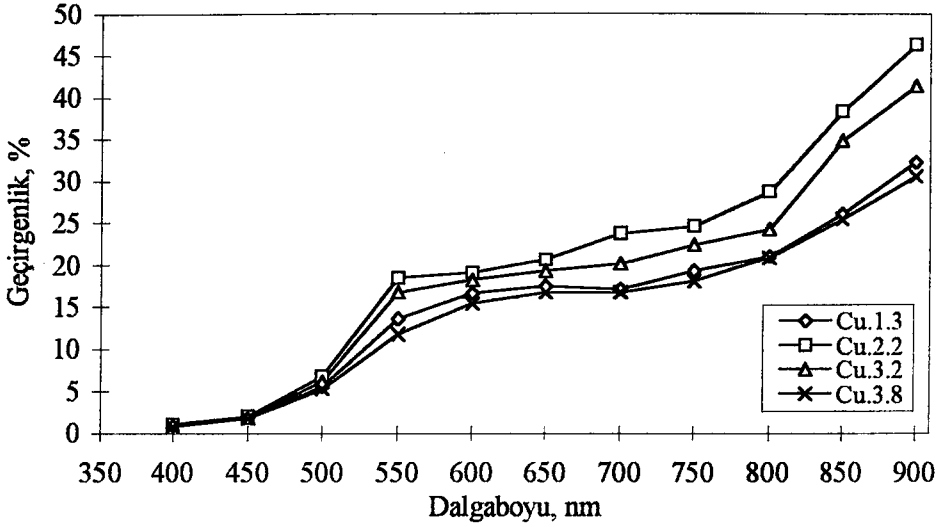
Çizelge 4.12 Cu₂S ince filmlerinin kalınlık ve özdirenç değerleri

Örnek No	Kalınlık μm	Van der Pauw (Ω·cm)	Dört Nokta Ölçer (×10 ² Ω·cm)
Cu.1.3	0,42	3,82	0,35
Cu.1.5	0,77	2,16	0,17
Cu.2.2	0,70	2,23	0,19
Cu.2.7	0,96	2,09	0,17
Cu.3.2	0,31	1,45	0,11
Cu.3.8	0,57	1,18	0,07
Cu.3.4	0,80	0,96	0,03

Cu₂S ince filmlerinin optik geçirgenlikleri daha önce anılan spektrofotometre ile bulundu. Bazı Cu₂S ince filmlerinin optik geçirgenlikleri Çizelge 4.13 'de verilmiştir. Cu₂S ince filmlerinin optik geçirgenliklerinin dalga boyuna göre değişimi Şekil 4.14 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.13 Cu₂S ince filmlerinin optik geçirgenlik değerleri

λ→ Ö.N.↓	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Cu.1.3	1,0	1,9	5,6	13,6	16,7	17,5	17,1	19,3	21,1	26,2	32,3
Cu.2.2	1,1	2,1	6,8	18,5	19,1	20,7	23,8	24,7	28,8	38,5	46,4
Cu.3.2	1,1	2,0	6,2	16,8	18,2	19,3	20,2	22,5	24,3	34,9	41,5
Cu.3.8	0,9	1,8	5,3	11,8	15,5	16,8	16,8	18,1	20,9	25,6	30,7



Şekil 4.14 Cu₂S ince filmlerinin optik geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişimi

4.4 ITO/Cu₂S İnce Film Güneş Pilleri Verimlerinin Bulunması

Referans güneş pili kullanılarak ITO/Cu₂S ince film güneş pillerinin I-V eğrisi, Kesim 3.5 'de verilen düzenlemeyle elde edilmeye çalışıldı. Oluşturulan ITO/Cu₂S ince film güneş piline gümüş boyası ile kontak yapıldıktan sonra ilk ölçümde kısa devre akımı 100 µA ve açık devre gerilimi 80 mV olarak bulundu. Fakat kısa bir zaman sonra kısa devre akımı 0,2 µA 'e ve açık devre gerilimi 4 mV 'a düştü. Bu olay oluşturulan pillerin en az yarısında gözlemlendi. Pillerin genelinde ise kısa devre akımı 0,01-0,20 µA ve açık devre gerilimi 0,2-4,0 mV olarak bulundu.

Hazırlanan ITO/Cu₂S ince film güneş pilleri parametrelerinin pil üzerine düşen ışık şiddetine bağlılığının az olduğu görüldü. Pillerdeki kararsızlık nedeniyle I-V eğrisi elde edilemedi, dolayısıyla güneş pilinin dönüşüm verimi bulunamadı.

Pillerdeki kararsızlığın ve düşük verimin nedeni belki de şunlardan biri veya bir kaç olabilir.

a. CdS ince filmlerinin Clevite yöntemiyle Cu₂S ince filmine dönüşmesi sırasında filmlerin homojen kalınlıkta olmamasından dolayı CdS ince filmi Cu₂S ince filmine her yerde dönüşmeyebilir. Dolayısıyla adacıklar şeklinde kavşak oluşabilir. Bu da kısa devre akımını ve açık devre gerilimini azaltabilir.

b. Piller normal açık havada yapıldığından ortamdaki tozlar ve safsızlıklar film yapısında bozukluklara, dolayısıyla pilin veriminin düşmesine neden olabilir.

c. ITO tabakasına nüfuz edebilecek aktif Cu atomlarının oluşturacağı Cu kanalları kavşak oluşumunu bozabilir. Bu durum ise pilde kararsızlığa neden olabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Püskürtme yöntemi ile hazırlanan ITO ince filmlerinin elektriksel özdirençleri ve optik geçirgenlikleri, püskürtme çözeltilisindeki SnCl_4 ve InCl_3 maddelerinin oranları cinsinden incelendi. Eşit molariteli olarak SnCl_4 ve InCl_3 maddeleri karıştırıldığında elektriksel özdirencin düştüğü gözlemlendi. Karıştırılan maddelerin molaritesindeki değişikliklerin ITO ince filminin optik geçirgenliğine önemli bir etkisinin olmadığı ve ITO ince filminin iyi bir pencere materyali olduğu görüldü.

CdS ince filmlerinin elektriksel ve optiksel özelliklerine alttaban sıcaklığının etkisi araştırıldı. CdS ince filmlerinin düşük alttaban sıcaklıklarında özdirencinin yüksek olduğu ve alttaban sıcaklığı arttıkça özdirencin $7,0 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 'den $0,7 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 'ye düştüğü hemen hemen aynı kalınlıktaki ($\sim 0,4 \mu\text{m}$) ince filmler için bulundu. $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan CdS ince filmlerinin optiksel olarak en iyi kalitede olduğu görüldü.

Cu_2S ince filmlerinin özdirençlerine ve optik geçirgenliklerine bakıldı. Cu_2S ince filmlerinin özdirenci $10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ civarında bulundu. Optik geçirgenlik ölçümlerinden Cu_2S ince filminin soğurucu bir özelliği sahip olduğu görüldü.

ITO/ Cu_2S ince film güneş pilleri oluşturuldu. Kısa devre akımı $0,01-0,20 \mu\text{A}$ ve açık devre gerimi $1-4 \text{ mV}$ olarak bulundu. Oluşturulan pillerin yarısında $100 \mu\text{A}$ kısa devre akımı ve 80 mV açık devre gerilimi kontak yapıldıktan sonra ilk ölçümlerde elde edildi. Kısa bir zaman sonra bu değerlerin düştüğü gözlemlendi.

Oluşturulan ITO/ Cu_2S ince film güneş pili parametrelerinin, pil üzerine düşen ışık şiddetine çok az bağlı olduğu gözlemlendi. Aslında bir güneş pilinin en önemli özelliği üzerine düşen ışık şiddetiyle kısa devre akımının artmasıdır.

Hazırlanan ITO/ Cu_2S ince film güneş pilleri kararsızlık göstermiştir. Bu kararsızlıktan dolayı I-V eğrisi oluşturulamadı ve verimi hesaplanamadı.

KAYNAKLAR

- Agashe, C. and Marathe, B. R. 1993. *Influence of film thickness and substrate on the growth of sprayed SnO₂:F films*. J. Phys. D: Appl. Phys., 26, 2049-2054.
- Albin, D. S. and Subhash, H. R. 1987. *Nucleation and growth characteristics of spray pyrolyzed CdS thin films*. Thin Solid Films, 147, 203-212.
- Amanullah, F. M., Pratap, K. J. and Babu, V. H. 1995. *Characterization of isochronally and isothermally annealed indium tin oxide thin films*. Thin Solid Films, 254, 28-32.
- Amlouk, M., Dachraoui, M., Belgacem, S. and Bennaceur, R. 1987. *Structural, optical and electrical properties of SnO₂:F and CdS airless sprayed layers*. Solar Energy Materials, 15, 453-461.
- Antonaia, A., Menna, P., Addonizio, M. L and Crocchiolo, M. 1992. *Transport properties of polycrystalline tin oxide films*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 28, 167-173.
- Ashok, S., Sharma, P. P. and Fonash, S. J. 1980. *Spray-deposited ITO-silicon SIS heterojunction solar cells*. IEEE Transactions on Electron Devices, ED-27, 4, 725-730.
- Bairamov, A. I., Dzhaifarov, T. D., Nadzhafov, H. I., Novruzov, V. D., Rzakuliev, N. A. and Agaev, R. A. 1994. *Photoelectrical properties of Cu₂S/CdS and Cu₂S/Cd_{1-X}Zn_XS(X=0,15) solar cells*. Tr. J. of Physics, 18, 103-109.
- Belgacem, S., Saurel, J. M. and Bougnot, J. 1982. *The optical properties of sprayed CdS thin films*. Thin Solid Films, 92, 199-209.
- Bloss, W. H. and Schock, H. W. *Photovoltaic and Photoelectrochemical Solar Energy Conversion* (Eds. F. Cardon, W. P. Gomes, W. Dekeyser), Plenum Press, New York, 1981, s.117.
- Bozkurt, G. 1993. *Investigation of SnO₂/Cu₂S thin film solar cells*. M.Sc. thesis, Eastern Mediterranean University Gazi Mağusa-Northern Cyprus.
- Brown, B. J. and Bates, C. W. 1990. *Similarities in the chemical mechanisms of CuInSe₂ and CdS thin film formation by chemical spray pyrolysis*. Thin Solid Films, 188, 301-305.
- Chaudhuri, U. R., Ramkumar, K. and Satyam, M. 1989. *Degradation of characteristics of tin oxide films deposited by spray pyrolysis*. J. Phys. D: Appl. Phys., 22, 1413-1414.
- Çabuk, S. 1992. *İnce film SnO₂/Cu₂O güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Das, S. K. and Morris, G. C. 1993. *Preparation and properties of electrodeposited indium tin oxide/SnO₂/CdTe and indium tin oxide/SnO₂/CdS/CdTe solar cells*. J. Appl. Phys., 73, 782-786.
- Engin, R. 1995. *Güneş pilleri ders notları*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Feng, T., Ghosh, A. K. and Fishman, C. 1979. *Spray-deposited high-efficiency SnO₂/n-Si solar cells*. Appl. Phys. Lett., 35, 3, 266-268.
- Fernandez, A. N., Sebastian, P. J., Campos, J., Gomez-Daza, O., Nair, P. K. and Nair, M. T. S. 1994. *Structural and opto-electronic properties of chemically deposited Cu_xS thin film and the precipitate*. Thin Solid Films, 237, 141-147.
- Goyal, D. J., Agashe, C., Takwale, M. G. and Bhide, V. G. 1993. *X-ray diffraction studies of sprayed SnO₂:Sb films*. Journal of Crystal Growth, 130, 567-570.
- Kobayashi, H., Ishida, T., Nakato, Y. and Tsubomura, H. 1991. *Mechanism of carrier transport in highly efficient solar cells having indium tin oxide/Si junctions*. J. Appl. Phys., 69, 1736-1743.
- Kobayashi, H., Ishida, T., Nakato, Y. and Tsubomura, H. 1992. *Properties of indium tin oxide films prepared by electron beam evaporation method in relation to characteristics of indium tin oxide/silicon junction solar cells*. J. Appl. Phys., 72, 5288-5293.
- Kuku, T. A. 1986. *Physical properties of thin SnO₂ and SnO₂:Sb films obtained by a photolytic method*. Thin Solid Films, 142, 241-250.
- Li, X., Wanlass, M. W., Gessert, T. A., Emery, K. A. and Coutts, T. J. 1989. *High-efficiency indium tin oxide/indium phosphide solar cells*. Appl. Phys. Lett., 54, 26, 2674-2676.
- Luquet, H., Peratin, M., Dhouib, A., Bougnot, J. and Savelli, M. 1985. *Analysis of the electrical characteristics of sprayed Cu₂S/CdS heterojunctions*. Solar Cells, 13, 201-220.
- Manificier, J. C. and Szepessy, L. 1977. *Efficient sprayed In₂O₃:Sn/n-type silicon heterojunction solar cell*. Applied Physics Letters, 31, 7, 459-462.
- Martinez, M. A., Herrero, J. and Gutierrez, M. T. 1992. *Post-deposition annealing effects in RF reactive magnetron sputtered indium tin oxide thin films*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 26, 309-321.
- Martinuzzi, S., Cabane-Brouty, F., Oualid, J., Gervais, J., Mostavan, A. and Granier, J. L. 1978. *Some properties of CdS sprayed layers and photocells related to their structure and preparation conditions*. Commission of The European Communities Photovoltaic Solar Energy Conference Luxembourg, 64, 581-590, Dordrecht.
- Mathew, S., Mukerjee, P. S. and Vijayakumar, K. P. 1995. *Optical and surface properties of spray-pyrolysed CdS thin films*. Thin Solid Films, 254, 278-284.

- Matsubara, S., Narui, H., Tsuchiya, N., Takahashi, S. and Kurita, S. 1989. *Effect of InGaAsP surface treatment for indium-tin-oxide/InGaAsP/GaAs solar cells*. J. Appl. Phys., 66, 7, 3337-3341.
- Mulyadi, R. and Campbell, D. J. 1989. *Combinations of evaporation and screen printing techniques for fabricating ITO/tin(Sn)/p-type silicon solar cells*. Solar Energy Materials, 19, 187-198.
- Onyia, A. I. and Okeke, C. E. 1989. *Fabrication and characterisation of tin oxide (SnO₂) thin films using simple glass-spray systems*. J. Phys. D: Appl. Phys., 22, 1515-1517.
- Özduran, M. 1995. *Püskürtme yöntemiyle ZnO/Cu₂S ince film güneş pilleri yapımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Rastogi, A. C. and Lakshmikumar, S. T. 1989. *Indium-tin-oxide-metal interfacial resistance and its implication for solar cells*. Solar Cells, 26, 323-328.
- Savio, M. L. and Oliveri, M. E. 1990. *A novel preparation method and investigation of sprayed CdS films*. Appl. Phys. A., 50, 17-21.
- Siefert, W. 1984. *Properties of thin In₂O₃ and SnO₂ films prepared by corana spray pyrolysis, and a discussion of the spray pyrolysis process*. Thin Solid Films, 121, 275-282.
- Singh, S. K. and Basu, S. 1988. *Characterisation of conducting SnO₂ layers deposited by modified spray pyrolysis technique*. Materials Chemistry and Physics, 20, 381-396.
- Sivridis, D. K. and Pananakakis, G. 1991. *Influence of ITO deposition technology on the performance of SIS (ITO/SiO₂/Si) solar cells*. Solid-State Electronics, 34, 10, 1175-1177.
- Subrahmanyam, A. and Vasu, V. 1992. *Photovoltaic properties of sprayed In₂O₃-InP junctions*. Materials Science and Engineering, B14, 365-368.
- Van der Pauw, L. J. 1958. *A method of measuring specific resistivity and hall effect of arbitrary shape*. Philips Res. Repts., 13, 1-9.
- Zheng, J. P. and Kwok, H. S. 1993. *Preparation of indium tin oxide films at room temperature by pulsed laser deposition*. Thin Solid Films, 232, 99-104.

ÖZGEÇMİŞ

12/06/1970 yılında Kütahya 'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Kütahya 'da Evliya Çelebi İlkokulu 'nda ve Fatih Lisesi 'nde tamamladı. 19/06/1992 tarihinde Diyarbakır Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü 'den mezun oldu. 04/11/1992 tarihindeki Yüzüncü Yıl Üniversitesi 'nin açmış olduğu araştırma görevliliği sınavını kazanarak Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 'nde Araştırma Görevlisi oldu. Halen bu görevine devam etmektedir.

