



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Zayıf Abs. ve Absorp. Geç. Tek Tab. İnce Filml. Optik Por.

Yüksek Lisans Tezi

**GENGİZ YANARDAĞ**

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kütüphane (A)

712.

1203

ZAYIF ABSORPLAYICI VE  
ABSORPLAMAYICI GEÇİRGEN  
TEK TABAKALI İNCE FİLMLEİN  
OPTİK PARAMETRELERİNİN  
HESAPLANMASI İÇİN BİR YÖNTEM

H. Cengiz YANARDAĞ

F.B.E. Fizik Anabilim Dalında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kubilay KUTLU

İSTANBUL, 1997

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R210.58

Kayıt No : 817

Geldiği Yer : Fen Bil.Enst.

Tarih : 29.9.2000

Fiyat : 150.000.-TL.

Fatura No : -

Ayniyat No : 1

Ek : .....

Y. T. O.  
KÜTÜPHANE VE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAYIF ABSORPLAYICI VE  
ABSORPLAMAYICI GEÇİRGEN  
TEK TABAKALI İNCE FİLMLERİN  
OPTİK PARAMETRELERİNİN  
HESAPLANMASI İÇİN BİR YÖNTEM

58

H. Cengiz YANARDAĞ

F.B.E. Fizik Anabilim Dalında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kubilay KUTLU

Prof. Dr. İlkin CANTÜRK

Prof. Dr. Kubilay KUTLU

Yard. Doç. Dr. Işık KARABİ

İSTANBUL, 1997

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
<i>GİRİŞ</i>	<i>vi</i>
<b>1. İNCE FİLMLER İÇİN GENEL BİLGİLER</b>	<b>1</b>
1.1. FİLM HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ	1
1.1.1. FİZİKSEL BUHARLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	1
1.1.2. KİMYASAL BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ	2
1.1.3. SIÇRATMA (TOZUTMA - SPUTTERING) YÖNTEMLERİ	4
1.2. OPTİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ	5
1.2.1. MEKANİK YÖNTEMLER	5
1.2.2. ELEKTRİK YÖNTEMLER	6
1.2.3. OPTİK YÖNTEMLER	7
<b>2. YÖNTEM</b>	<b>9</b>
2.1. GİRİŞ	9
2.2. KALIN FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASININ YÜZEYLERİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASINA BAĞLI İFADELERİ	11
2.3. HAVA - TAŞIYICI SINIR YÜZEYİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	14
2.4. ÜZERİ FİLM KAPLANMAMIŞ (ÇIPLAK) TAŞIYICININ GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	15
2.5. İNCE FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	17
2.6. İNCE FİLM - TAŞIYICI SİSTEMİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	20
2.7. GEÇİRGENLİK BAĞINTISININ ÖZELLİKLERİ	22
2.8. GEÇİRGENLİK EĞRİSİ VE ZARF EĞRİLERİ	26
2.9. İNCE FİLMİN OPTİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	29
2.10. $n_s > n$ DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ ZARF YÖNTEMİ	31
2.11. $d$ KALINLIĞININ BULUNMASI İÇİN BAŞKA BİR YÖNTEM GİRİŞİM FRANJLARININ UYGULANMASI	32

<b>3. YÖNTEMİN SINANMASI</b>	<b>34</b>
3.1. YÖNTEMİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN SINANMASI İÇİN ÇEŞİTLİ KAYNAKLARDAN ALINAN VERİLER	34
3.2. KAYNAKLARDAN ALINAN VERİLERLE YAPILAN HESAPLAMALAR	38
<b>4. SONUÇLARIN ANALİZİ VE TARTIŞMA</b>	<b>58</b>
4.1. CdS <sub>0,1</sub> Se <sub>0,9</sub> İNCE FİLMİ	58
4.2. Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İNCE FİLMİ	61
4.3. As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> İNCE FİLMİ	63
4.4. MgF <sub>2</sub> İNCE FİLMİ	67
4.5. SONUÇ	69
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>70</b>

## ÖZET

Bu çalışmada, ayna, geçirgen, absorpsiyon göstermeyen taşıyıcılar üzerine geliştirilen zarf absorpsiyon gösteren, geçirgen tek tabakalı ince filmleri optik parametrelerini T geçirgenlik eğrisinden yararlanarak kolay bir yöntemle elde etmiştir.

Genel olarak zarf yöntemine dayandırılan yöntem, filmi kuruma sürecinde meydana gelen kırılmalar için geliştirildi. Daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen geçirgenlik eğrisinden yararlanarak, sunulan yöntem istenilen ve istenmeyen ışık geçirgenliğini kontrol etmektedir.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda büyük emekleri olan, danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Kubilay Kutlu' ya, yazım işlerinde bölümümün imkanlarından yararlanmamı sağlayan Hocam Prof. Dr. Durul Ören' e teşekkürlerimi sunarım. Ve bugüne ulaşmamda, manevi ve maddi büyük desteklerini gördüğüm babama, anneme ve kardeşim Arzu' ya ayrıca teşekkür ederim.

## ÖZET

Bu çalışmadaki amaç, geçirgen, absorpsiyon göstermeyen taşıyıcılar üzerine biriktirilen zayıf absorpsiyon gösteren, geçirgen tek tabakalı ince filmlerin optik parametrelerini, T geçirgenlik eğrilerinden yararlanarak kolay bir yöntemle elde etmektir.

Genel olarak zarf yöntemine dayandırılan yöntem, filmin kırılma indisinin taşıyıcınıninkinden küçük olması durumları için geliştirildi. Daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen geçirgenlik eğrilerinden yararlanarak, sunulan yöntem test edildi ve yöntemin uygulanabilirliği kaynaklardan alınan verilerle kanıtlandı.



## ABSTRACT

The purpose in this thesis is to obtain with an easy method, from transmittance curves, the optical parameters of weakly absorbing single layer thin films deposited on the substrates which are transparent and non-absorbing.

The method based generally on the envelope method has been developed for the case where the refractive index of the film is smaller than that of the substrate. The method presented by making use of the transmittance curves obtained previously, has been tested, and the feasibility of the technique has been proven by the data from other sources.

## GİRİŞ

Geçmiş yıllarda optik alanda kullanılan absorplayıcı ve absorplamayıcı kaplama malzemeler ile yapılan çok ve tek tabakalı ince filmler üzerine yoğun temel araştırmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar günümüzde devam etmektedir (Chopra et al, 1983; Stenzel and Petrich, 1995; Ter Minassian-Saraga et al, 1996; Kubinyi et al, 1996; Hosokawa et al, 1996; 7th International Conference on Thin Films, 1987; Chopra, 1969). Ekonomik sebeplerden dolayı, böyle sistemlerin hazırlanması için yaygınca kullanılan yöntemler, vakumda ısıl buharlaştırma yöntemi ve sol-gel yöntemidir. Bunun yanısıra, farklı laboratuvarlarda ya da aynı laboratuvarın farklı biriktirme sistemlerinde, bu yöntemlerle üretilen filmler farklı optik parametrelere sahip olmaktadır. Hazırlanış şartları, ölçme yöntemleri ve ölçü verilerini değerlendiren hesaplama yöntemlerinin farklı olması bu sonucu doğurmaktadır.

Optik amaçla kullanılacak malzemenin absorplayıcı olmaması durumunda  $n$  kırılma indisi, absorplayıcı olması durumunda  $n$  kırılma indisi ve  $k$  söndürme katsayısı bilinmesi gereken optik parametrelerdir.  $\alpha$  absorpsiyon katsayısı,  $\lambda$  dalgaboyu olmak üzere,  $\alpha = 4\pi k/\lambda$  ifadesinden bulunur. Eğer malzeme film halinde ise bu parametrelerin yanında  $d$  film kalınlığı da bilinmelidir.

Hazırlanış şartları, filmlerin optik parametrelerine etkili olduğundan, 1. bölümde film hazırlama yöntemleri ile optik parametrelerin hesaplanması için kullanılan yöntemler hakkında kısa bilgiler verilmiştir. 2. bölümde ise ince bir filmin optik parametrelerinin hesaplanmasını sağlayan zarf yönteminin bağıntıları çıkarılmıştır. Bu bölümün oluşturulmasında Aktulga (1983)'nin doktora tezinden, Vasicék (1960)'ten, Kubinyi ve arkadaşlarının çalışmalarından (1996) yararlanılmıştır.  $d$  kalınlığının belirlenmesinde diğer bir yöntem (Swanepoel, 1983) ve geliştirilmiş zarf yöntemi yine bu bölümde yer almaktadır.

3. bölüm zarf yöntemin ve bu yöntemin geliştirilmesine dayanan yöntemin sınanmasına ayrılmıştır. Zarf yönteminin çeşitli kaynaklardan (El-Nahass et al, 1990; Marquez et al, 1992; Arndt et al, 1984) alınan ve  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$ ,  $\text{As}_2\text{S}_3$  ve  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 'a ait olan geçirgenlik eğrilerinde sınanması, yapılan hesaplamalar ve bu hesaplamaların sonuçları geniş ölçüde verilmiştir. Kasikov ve Kuznetsov' un yaptığı çalışmadan alınan

$MgF_2$  ' e ait geçirgenlik eğrilerine geliştirilmiş zarf yöntemi uygulanmış ve sonuçlar yine bu bölümde sunulmuştur.

3. bölümde elde edilen verilerle hesaplanan optik parametrelerin yorumları 4.bölümdedir. Bu bölümde zarf yönteminin geliştirilmesinin ne derece yaklaşım gösterdiği ve bu çalışmaya ait sonuçlar bulunmaktadır.

(Chopra, 1984; Ter Minassian-Szraga et al, 1996).

#### 1.) Isıl Buharlaştırma Yöntemi

Filde olacak film malzemesinin (sıvı, yarı iletken veya dielektrik malzeme), uygun filament veya potalar kullanılarak, vakumda doğrudan buharlaştırılarak uygun substratlar üzerinde buharlaştırma yöntemi.

#### ii.) Elektron Demet İle Buharlaştırma Yöntemi

Bu yöntemde buharlaştırılacak malzeme üzerine, vakum ortamında yüksek enerjili elektronlar gönderilir. Malzemenin belli bir bölgesine odaklanan bu elektronlar kimlik ve hızını çoğaltarak ve enerjisi olarak malzemeye aktarılır. Dayanıklı metallerin veya bileşimlerin bu buharlaştırılması sağlayabilir ve yükseklikte bu da, malzemenin odaklanan kısmının yeterli buharlaştırılmasına, geri kalan kısmın da düşük kalmasına sebep olur.

#### iii.) Molekül Demet İle Buharlaştırma Yöntemi

Çok yüksek vakum ortamında, katılaşma kaynaklarından çıkan atom veya moleküllerin buharlaştırılması ile tek kristal filmlerin oluşturulması mümkündür.

## **1. İNCE FİMLER İÇİN GENEL BİLGİLER**

### **1.1. FİLM HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ**

#### **1.1.1. FİZİKSEL BUHARLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ**

Fiziksel buharlaştırma yöntemleri, vakum ortamda ısısal buharlaştırma ya da sıçratma gibi fiziksel bir işlem gerektiren yöntemlerdir. Bu yöntemlerin bazıları şunlardır (Chopra, 1984; Ter Minassian-Saraga et al, 1996) :

##### **i) Isısal Buharlaştırma Yöntemi**

Elde edilecek film malzemesinin (metal, yarı iletken veya dielektrik malzeme), uygun flaman veya potalar kullanılarak, vakumda doğrudan buharlaştırılarak uygun taşıyıcılar üzerine biriktirilmesi yöntemidir.

##### **ii) Elektron Demeti İle Buharlaştırma Yöntemi**

Bu yöntemde buharlaştırılacak malzeme üzerine, vakum ortamda yüksek enerjili elektronlar gönderilir. Malzemenin belli bir bölgesine odaklanan bu elektronlar kinetik enerjilerini çoğunlukla ısı enerjisi olarak malzemeye aktarırlar. Dayanıklı metallerin veya bileşiklerin bile buharlaşmasını sağlayabilecek yükseklikteki bu ısı, malzemenin odaklanan kısmının eriyerek buharlaşmasına, geri kalan kısmın da soğuk kalmasına sebep olur.

##### **iii) Molekül Demeti İle Biriktirme Yöntemi**

Çok yüksek vakum ortamında, Knudsen kaynaklarından çıkan atom veya moleküllerin taşıyıcı üzerinde yoğunlaştırılması ile tek kristal filmlerin oluşturulması yöntemidir.

#### *iv) Reaktif Buharlaştırma Yöntemi*

Taşıyıcı üzerine kaplanması istenen metal oksidin ısısal buharlaştırma yöntemindeki gibi kendisinin buharlaştırılması yerine, oksidi oluşturacak metalin oksitleyici bir ortamda buharlaştırılması yöntemidir.

#### *v) İyonla Metal Kaplama Yöntemi*

Bu yöntemde malzemenin buharlaştırılması dirençli ısıtma veya elektron demeti ile gerçekleştirilir. İyon demeti malzemenin taşıyıcı üzerinde daha iyi birikmesine yardımcı olur.

### **1.1.2. KİMYASAL BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ**

Yüksek sıcaklıkların gerekli olmadığı, küçük veya büyük, düzgün veya düzgün olmayan yüzeylere kolaylıkla uygulanabilen bu ekonomik yöntemlerden bazıları şunlardır:

#### *i) Kimyasal Buharlaştırma Yöntemi*

Bir taşıyıcı üzerine, gaz fazındaki bileşik veya bileşiklerin yoğunlaştırılması yöntemidir. Kimyasal reaksiyon, ısı uygulanması, rf alanı, ışık ya da X-ışınları, elektrik arkı, elektron bombardımanı gibi dış araçlarla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemin kapsadığı reaksiyonlar şunlardır (Chopra, 1984) :

- ısısal bozunma,
- hidrojen ile indirgenme,
- nitritleme, karbitleme ya da oksidasyon,
- disproporsiyonlaşma,
- kimyasal geçiş reaksiyonları,
- kombine reaksiyonlar.

## **ii) Püskürterek Eritme Yöntemi**

Bu yöntem, genellikle suyla yapılan bir çözeltinin yüksek sıcaklıktaki taşıyıcı üzerine püskürtülmesinden ibarettir.

## **iii) Elektroliz Yöntemi**

Bu yöntem, elektroliz yoluyla bir elektrot üzerine bir maddenin kaplanması işlemini içerir. İşlemin eşitlikleri Faraday kanunları ile verilir (Chopra, 1984).

## **iv) Anodik Oksidasyon Yöntemi**

Anodik oksidasyon uygun bir elektrolit içinde anot olarak oksitlenecek metalin kullanıldığı elektrolitik bir işlemdir.

## **v) Uygun Bir Çözeltide Biriktirme Yöntemi**

Filmlerin, herhangi bir elektrik alan olmaksızın metal tuzlardan oluşan uygun çözeltiler içine daldırılan metal ya da metal olmayan taşıyıcılar üzerinde büyütülmesi yöntemidir.

## **vi) Sol - Gel Yöntemi (Brinker and Scherer, 1990)**

Bu yöntem daldırma, döndürme ve püskürtme yöntemleri ile ince filmlerin hazırlanması yöntemidir. Sol - gel yöntemi kimyasal buharlaştırma, ısısal buharlaştırma ve sıçratma yöntemlerine göre daha kolay ve daha az malzeme harcanan bir yöntemdir. Önemli avantajlarından birisi meydana gelen filmin mikro yapısının iyi bir şekilde kontrol edilebilmesidir.

### 1.1.3. SİÇRATMA (TOZUTMA, SPUTTERING) YÖNTEMLERİ

Katı bir yüzey yüksek enerjili parçacıklarla bombardıman edilirse, yüksek enerjili parçacıklar, yüzey atomlarıyla çarpışmaları sonucu, bu yüzeyden atomlar sökebilir. Bu olay sıçratma olarak isimlendirilir. Sıçratma yöntemleri yüzeyleri temizlemek için de kullanılır.

#### i) Doğru Gerilim Altında Sıçratma Yöntemi

Buharlaştırılması için yüksek sıcaklık gereken malzemeler için kullanılan bu yöntemde, oksidi oluşturulması istenen metal, katoda; taşıyıcı da anoda yerleştirilerek iki elektrot arasına doğru gerilim uygulanır. Katodu oluşturan metalden kopan metal atomlarının, anodu oluşturan taşıyıcının yüzeyine doğru giderken oksijen molekülleri ile çarpışarak oksitlenmeleri sonucunda taşıyıcı üzerinde metal oksit filmi oluşur (Manifacier, 1982).

#### ii) Yüksek Frekanslı Gerilim Altında Sıçratma Yöntemi

Buharlaştırılması yüksek sıcaklıklarda mümkün olan malzemeler için kullanılan bir yöntem de yüksek frekanslı gerilim altında sıçratma yöntemidir. Burada hedef, taşıyıcı üzerine kaplanması istenen metal oksittir.

#### iii) Manyetik Alan Altında Sıçratma Yöntemi

Bu yöntemde yüzeyle bombardıman edilecek elektronlar manyetik alan altında hızlandırılırlar.

#### iv) İyon Demeti İle Sıçratma Yöntemi

Bu sıçratma yönteminde, diğer sıçratma yöntemlerindeki elektron demeti yerine iyon demeti kullanılır.

### 1.2. OPTİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

İnce filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesi için mekanik, elektrik ve optik yöntemler olmak üzere genel olarak üç yöntem vardır (Chopra, 1969). Optik yöntemler ince filmlerin optik parametrelerinin (n,k,d), aynı anda belirlenmesini sağlarken, mekanik ve elektrik yöntemler ise ince filmlerin sadece kalınlığı hakkında bilgi verir.

#### 1.2.1. MEKANİK YÖNTEMLER

Mekanik yöntemlerin en önemlisi kütle ölçüm yöntemidir. m filmin kütlesi (taşıyıcının, kaplanmasından önce ve sonra, mikroterazide ölçülen kütleleri arasındaki fark), A filmin yüzeyi ve  $\rho$  da filmin yoğunluğu olmak üzere, d filmin kalınlığı,

$$d = \frac{m}{\rho A} \quad (1.1)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $\rho$  sabit alınır. İnce film halinde  $\rho$ , d kalınlığı ile değişir. Bundan dolayı, bu yöntem çok ince filmler için uygun değildir.

Vakumda film kaplanırken kuartz kristal monitörler kullanılarak da ince film kalınlığı bulunabilir.



## 1.2.2. ELEKTRİK YÖNTEMLER

### i) Kapasite Ölçme Yöntemi

Metal bir taşıyıcı üzerindeki dielektrik bir filmin üzeri, etkin alanı A olan diğer bir metal örtü ile kaplanarak paralel levhalı bir kondansatör oluşturulur. Bu kondansatörün c kapasitesi ölçülür ve dielektrik filmin bilinen  $\epsilon$  dielektrik sabiti yardımı ile d kalınlığı,

$$c = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1.2)$$

bağıntısı ile bulunur.

### ii) Dört Nokta Yöntemi (Valdes, 1954)

Bu yöntemde kullanılan deney düzeneğinde birbirinden bağımsız dört uç vardır. Filme temas ettirilen bu uçlardan ikisi 4.53 mA.' lik sabit I akımına bağlanarak, diğer uçlar arasındaki V potansiyel farkı ölçülür.

$$R_{\square} = \frac{\rho}{d} = 4.53 \frac{V}{I} \quad (1.3)$$

bağıntısından, yoğunluk  $\rho$ , kalınlık d ve potansiyel farkı V olmak üzere,

$$d = \frac{\rho}{V} \quad (1.4)$$

ilişkisi kalınlığı verir.

### 1.2.3. OPTİK YÖNTEMLER

Teknolojik kullanımları için ince filmlerin, optik parametrelerinin (n,k,d) bilinmesi gerekir. Bu optik parametreleri ölçmek için birçok optik yöntem vardır (Arndt et al, 1984). Bu yöntemler elipsometrik ve fotometrik yöntemler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

#### i) Elipsometrik Yöntem (Arndt et al, 1984; Chindaudom et al, 1994)

Saydam veya saydam olmayan filmlerin her ikisine de uygulanan bu yöntem, monokromatik ışığın, bir yüzeyden yansımadan önceki ve sonraki, polarizasyon durumlarının ölçümlerine dayanır. Yansıyan ışığın amplitüdü (genliği)  $\psi$  ve faz değişimi  $\Delta$  gibi iki parametre aynı anda ölçülür. Bu parametrelerden yararlanılarak, ince filmin optik parametreleri hesaplanır.

#### ii) Fotometrik Yöntem

Fotometrik yöntemlerle ince filmlerin optik parametrelerini bulmak için geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri esastır. Bu yöntemlerin bazılarında sadece geçirgenlik, bazılarında da sadece yansıtma verileri yeterlidir. İkisinin birarada kullanıldığı yöntemler de vardır. Fotometrik yöntemlerden en önemlileri şunlardır :

R, T ve d yöntemi (Decker, 1975; Gray, 1972), genişband spektrofotometrik yöntem (Borgogno et al, 1982; 1983), geliştirilmiş Valeev dönüm noktası yöntemi (Valeev, 1963; 1965) ve Nestell - Christy yöntemi (Nestell and Christy, 1972), cebirsel ters çevirme yöntemi (Case, 1983; Case et al, 1983), ters sentez yöntemi (Dobrowolski et al, 1983), Bennett ve Booty yöntemi (Bennett and Booty, 1966), zarf yöntemi (Manificier et al, 1976).

Bunlardan başka Fizeau franjları (eşit kalınlık franjları) ve F.E.C.O. franjları (eşit kromatik mertebe franjları) da, yüksek doğrulukta film kalınlığını veren optik yöntemlerdendir (Tolansky, 1983; Scott et al, 1950).

Bu çalışmada zayıf absorptivite saydam ince filmlerin  $n, k, d$  optik parametrelerinin, yalnız geçirgenlik eğrileri kullanılarak bulunması için bir yöntem sunulmuştur. Zarf yöntemine dayandırılan ve bunun geliştirilmesi ile elde edilen bu yöntem optik parametrelerin hepsinin birden belirlenmesini sağlar. Bu yöntemin uygulanabilmesi için geçirgenlik eğrilerinin yeterli sayıda maksimumlara ve minimumlara sahip olması gerekir. Sade ve basit hesaplamalara dayanan bu yöntem,  $n$  ve  $k$  değerlerinin,  $\lambda$  dalgaboyuna bağlı değerlerini verir.

Bir ince film-tabakası sisteminin  $T$  geçirgenliği ve  $R$  yansıtması,  $\lambda$  kullanılarak,  $n$  ve  $k$  dalgaboyuna,  $n$ , absorptivite katsayısı,  $d$  film kalınlığı,  $\lambda$  film kalınlığına katılması ve  $d$  film kalınlığına fonksiyonu olarak,

$$T = T(\lambda, n, k, d) \quad (2.1)$$

$$R = R(\lambda, n, k, d) \quad (2.2)$$

olarak yazılır. Burada zayıf absorptivite ve kalın tabakalar.



Şekil 2.1. İnce film kalın tabaka sistemi.

Bu zayıf absorptivite saydam ince film, zayıf absorptivite saydam kalın tabaka üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.1). Bu yapıya zayıf absorptivite saydam ince film (Şekil 2.2).

## 2. YÖNTEM

### 2.1. GİRİŞ

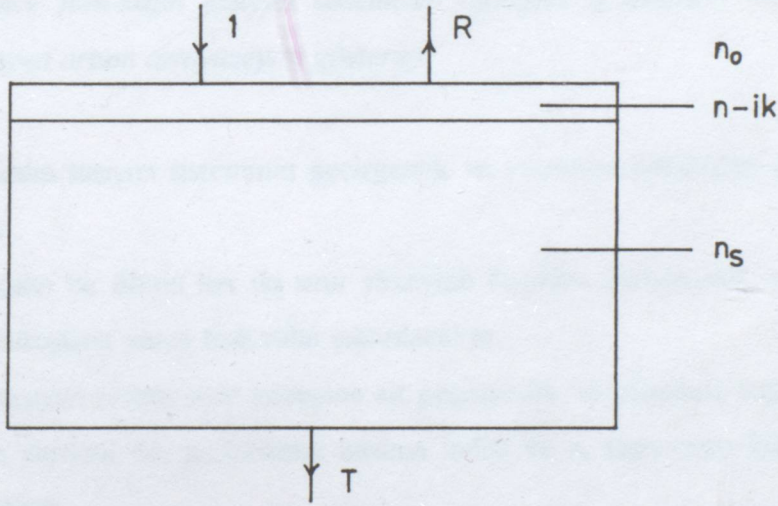
Bu bölümde, ince bir filmin kırılma indisinin, söndürme katsayısının ve kalınlığının bulunmasını sağlayan bir yöntem tanıtılacaktır. Bu yöntem ışığın dalgaboyunun fonksiyonu olan geçirgenlik eğrilerinin analizine dayanır. Bu analiz geçirgenlik eğrilerine çizilen zarf eğrilerindeki teğet noktalarından yararlanarak optik parametrelerin hesaplanmasını sağlar.

Bir ince film-taşıyıcı sisteminin T geçirgenliği ve R yansıtması,  $\lambda$  kullanılan ışığın dalgaboyunun,  $n_s$  taşıyıcının kırılma indisinin,  $n$  filmin kırılma indisinin,  $k$  filmin söndürme katsayısının ve  $d$  filmin kalınlığının fonksiyonu olarak,

$$T = T(\lambda, n_s, n, k, d) \quad (2.1)$$

$$R = R(\lambda, n_s, n, k, d) \quad (2.2)$$

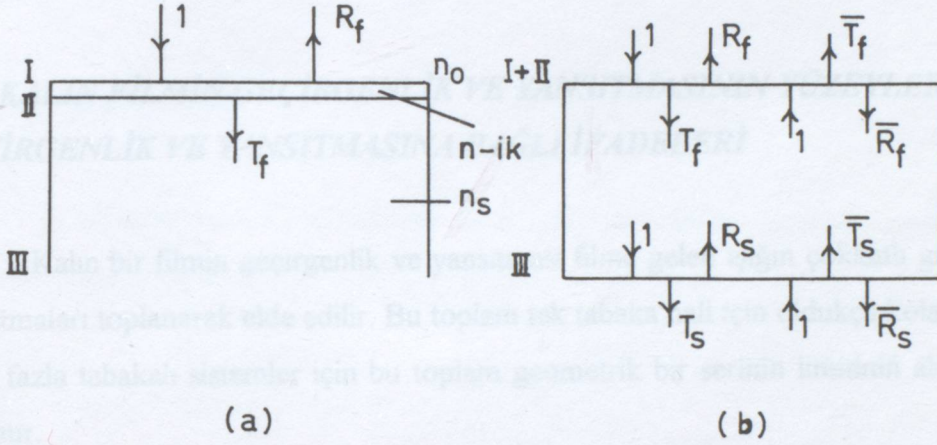
ile verilir. Burada taşıyıcı absorplamayı ve kalın alınmıştır.



Şekil 2.1. İnce film-kalın taşıyıcı sistemi.

Biri zayıf absorplayıcı geçirgen ince film, diğeri absorplamayıcı saydam kalın taşıyıcı olan iki tabakalı sistem (Şekil 2.1), bir eşdeğer tabakaya indirgenebilir (Şekil 2.2).

Bu durumda hava ve taşıyıcı ortamlarla sınırlandırılmış ince film, eşdeğer tabakanın bir yüzeyi gibi ele alınır. Eşdeğer tabakanın ikinci yüzeyi gerçek sistemde olduğu gibi yine bir taşıyıcı ortam-hava ara yüzeyidir. Buna göre, eşdeğer tabakanın (Şekil 2.2.b) I+II yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma için ince filmin geçirgenlik ve yansıtması, III yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma için de taşıyıcı ortam-hava ara yüzeyindeki geçirgenlik ve yansıtma alınır.



Şekil 2.2. (a) Hava ve taşıyıcı ortamlarla sınırlandırılmış ince filme ait  $T_f$  geçirgenliği ve  $R_f$  yansıtması. (b) İnce film-kalın taşıyıcı sisteminin eşdeğeri ( $f$  indisleri ince filmi,  $s$  indisleri hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyini gösterir).

İnce film-kalın taşıyıcı sisteminin geçirgenlik ve yansıtma bağıntıları çıkarılırken şu sıra izlenecektir :

*i*) Işığın kalın bir filmin her iki sınır yüzeyine düşmesi durumunda, kalın filmin geçirgenlik ve yansıtmasını veren bağıntılar çıkarılacaktır.

*ii*) Hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma bağıntıları da, Fresnel katsayıları yardımı ile,  $n_0$  havanın kırılma indisi ve  $n_s$  taşıyıcının kırılma indisi cinsinden bulunacaktır.

*iii*) Kalın film için bulunan bağıntılar kullanılarak, üzeri kaplanmamış taşıyıcının geçirgenlik ve yansıtmasını veren bağıntılar elde edilecektir.

*iv*) Hava-taşıyıcı ortam ile sınırlı ince filmin her iki sınır yüzeyi için geçirgenlik ve yansıtma bağıntıları, kompleks Fresnel katsayılarının modül ve argümanları cinsinden

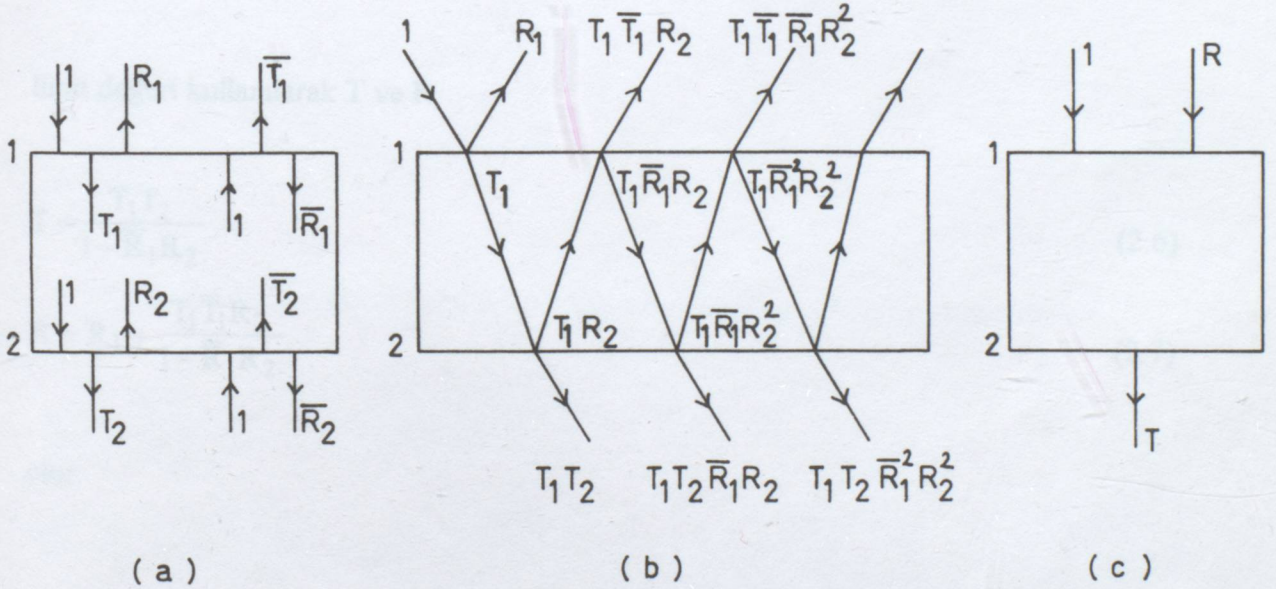
verilecektir.

v) İnce film-kalın taşıyıcı sistemine ait geçirgenlik ve yansıtma bağıntıları, kalın film için bulunan bağıntılardan türetilecektir.

Daha sonra, geçirgenlik bağıntılarının özelliklerinden bahsedilecek, zarf eğrilerinin geçirgenlik eğrisine değme koşullarına değinilecek ve ince filmin optik parametreleri verilecektir. Bu bölümün son kısmında ise zarf yöntemi bir adım ileri götürülecek ve d kalınlığının bulunması için başka bir yöntem verilecektir.

## 2.2. KALIN FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASININ YÜZEYLERİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASINA BAĞLI İFADELERİ

Kalın bir filmin geçirgenlik ve yansıtması filme gelen ışığın çokkatlı geçmeleri ve yansıtmaları toplanarak elde edilir. Bu toplam tek tabaka hali için oldukça kolaydır, ancak daha fazla tabakalı sistemler için bu toplam geometrik bir serinin limitinin alınmasını ile bulunur.



Şekil 2.3. (a) Kalın filmin 1. ve 2. yüzelerinin geçirgenlik ve yansıtması. (b) 1. yüzeye birim şiddette gelen ışığın, çokkatlı yansıtma sonucu oluşan bileşenlerinin şiddetleri. (c) Kalın filmin geçirgenlik ve yansıtması (1. yüzey Şekil 2.2.b' deki I+II yüzeyine, 2. yüzey ise III yüzeyine aittir).

Şekil 2.3.a' dan görüldüğü gibi, 1. yüzeye ait geçirgenlik ve yansıtma, yöne bağlı olarak  $T_1, R_1, \bar{T}_1, \bar{R}_1$ ; 2. yüzeye ait geçirgenlik ve yansıtma da,  $T_2, R_2, \bar{T}_2, \bar{R}_2$ ' dir. Bu durumda, 1. yüzeye düşen birim şiddetteki ışığın 2. yüzeyden geçen ve 1. yüzeyden dönen kısmı (Şekil 2.3.b),

$$T_1 T_2 + T_1 T_2 \bar{R}_1 R_2 + T_1 T_2 \bar{R}_1^2 R_2^2 + \dots \quad (2.3)$$

$$R_1 + T_1 \bar{T}_1 R_2 + T_1 \bar{T}_1 \bar{R}_1 R_2^2 + T_1 \bar{T}_1 \bar{R}_1^2 R_2^3 + \dots \quad (2.4)$$

ile verilir (Vasicék, 1960).

(2.3) bağıntısı  $T_1 T_2$ , (2.4) bağıntısı da  $T_1 \bar{T}_1 R_2$  parantezine alınır, ortaya çıkacak geometrik serilerin toplamı,

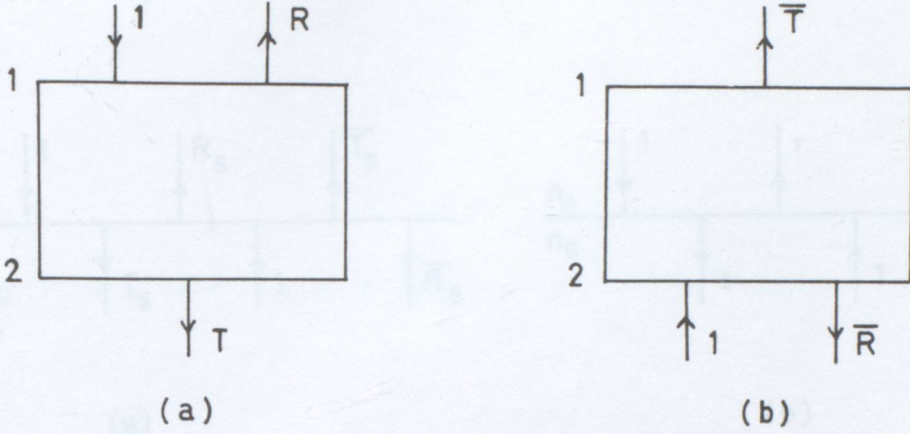
$$\frac{1}{1 - \bar{R}_1 R_2} \quad (2.5)$$

limit değeri kullanılarak T ve R,

$$T = \frac{T_1 T_2}{1 - \bar{R}_1 R_2} \quad (2.6)$$

$$R = R_1 + \frac{T_1 \bar{T}_1 R_2}{1 - \bar{R}_1 R_2} \quad (2.7)$$

olur.



Şekil 2.4. Birim şiddetteki ışığın (a) 1. yüzeye (b) 2. yüzeye gelmesi durumundaki geçirgenlik ve yansıtımlar.

(2.6) ve (2.7) ile verilen bağıntılar Şekil 2.4.a' daki sisteme aittir. Şekil 2.4.b için aynı bağıntılar türetilebilir. Bunun için ya aynı işlemler tekrarlanır ya da (2.6) ve (2.7)'deki bağıntılarda aşağıdaki dönüştürmeler yapılır :

$$T_1 \rightarrow \bar{T}_2 \quad ; \quad R_1 \rightarrow \bar{R}_2$$

$$T_2 \rightarrow \bar{T}_1 \quad ; \quad \bar{R}_1 \rightarrow R_2$$

$$\bar{T}_1 \rightarrow T_2 \quad ; \quad R_2 \rightarrow \bar{R}_1$$

(2.8)

Bu dönüştürmelerle Şekil 2.4.b' deki kalın filmin geçirgenlik ve yansıtması,

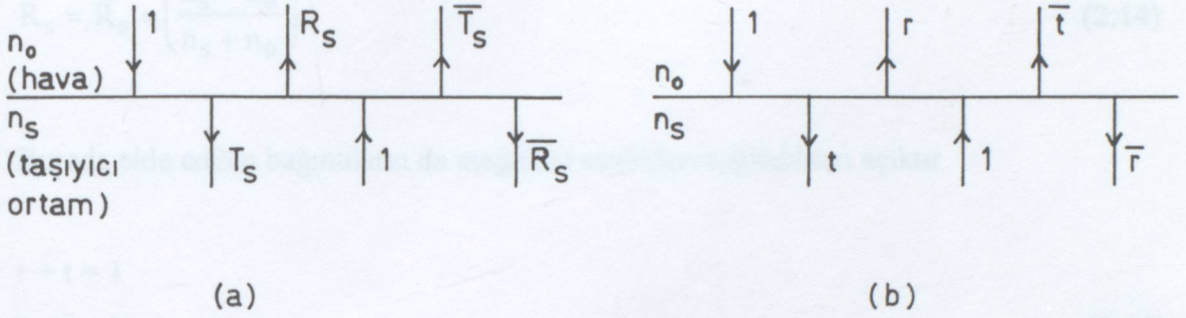
$$\bar{T} = \frac{\bar{T}_1 \bar{T}_2}{1 - \bar{R}_1 R_2} \quad (2.9)$$

$$\bar{R} = \bar{R}_2 + \frac{T_2 \bar{T}_2 \bar{R}_1}{1 - \bar{R}_1 R_2} \quad (2.10)$$

olur.



### 2.3. HAVA - TAŞIYICI SINIR YÜZEYİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI



Şekil 2.5. (a) Hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtımlar. (b) Hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyine ait Fresnel katsayıları.

Hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtımlar, Fresnel katsayıları (Şekil 2.5) cinsinden,

$$\begin{aligned}
 T_s &= \bar{T}_s = \bar{t}\bar{t} \\
 R_s &= r^2 \\
 \bar{R}_s &= \bar{r}^2
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

bağıntıları ile, Fresnel katsayıları da ortamların indisleri cinsinden,

$$t = \frac{2n_o}{n_s + n_o} \quad ; \quad r = \frac{n_s - n_o}{n_s + n_o} \tag{2.12.a}$$

$$\bar{t} = \frac{2n_s}{n_s + n_o} \quad ; \quad \bar{r} = \frac{n_o - n_s}{n_s + n_o} = -r \tag{2.12.b}$$

bağıntıları ile verilirler (Vasicék, 1960). Bu durumda hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyi için geçirgenlik ve yansıtma, yönden bağımsız, ortamların indislerine bağlı olarak elde edilir.

$$T_s = \bar{T}_s = \frac{4n_s n_o}{(n_s + n_o)^2} \quad (2.13)$$

$$R_s = \bar{R}_s = \left( \frac{n_s - n_o}{n_s + n_o} \right)^2 \quad (2.14)$$

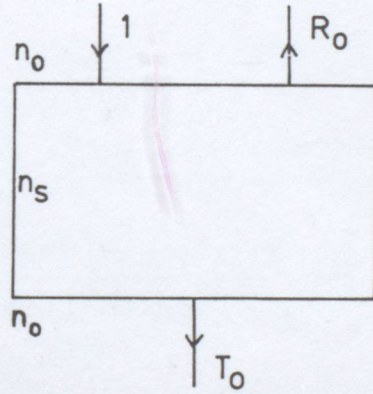
Burada elde edilen bağıntıların da aşağıdaki eşitlikleri sağladıkları açıktır.

$$r + t = 1$$

$$\bar{r} + \bar{t} = 1 \quad (2.15)$$

$$T_s + R_s = 1$$

#### 2.4. ÜZERİ FİLM KAPLANMAMIŞ (ÇIPLAK) TAŞIYICININ GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI



Şekil 2.6. İki yüzeyi hava ile sınırlı,  $n_s$  kırılma indisine sahip kalın film (film ile kaplanmamış kalın taşıyıcı).

Şekil 2.6' da gösterilen filmle kaplanmamış kalın taşıyıcının  $T_o$  geçirgenliği ve  $R_o$  yansıtması, hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyinin  $T_s$  geçirgenliği ve  $R_s$  yansıtması cinsinden ifade etmek için (2.6) ve (2.7) bağıntılarının sağ taraflarındaki tüm  $T$ ' leri  $T_s$ , tüm  $R$ ' leri de  $R_s$  olarak almak yeterlidir. Buna göre,

$$T_o = \frac{T_s^2}{1 - R_s^2} \quad (2.16)$$

$$R_o = R_s + \frac{T_s^2 R_s}{1 - R_s^2} \quad (2.17)$$

olur. Bu bağıntılardan, (2.15)' teki son bağıntı yardımıyla,

$$T_s = \frac{2T_o}{1 + T_o} \quad (2.18)$$

$$R_s = \frac{1 - T_o}{1 + T_o} \quad (2.19)$$

bulunur.  $T_o$  ve  $R_o$ ' in ortamların indisleri cinsinden bağıntıları da, (2.13), (2.14), (2.16) ve (2.17) bağıntıları yardımı ile,

$$T_o = \frac{2n_s n_o}{n_s^2 + n_o^2} \quad (2.20)$$

$$R_o = \frac{(n_s - n_o)^2}{n_s^2 + n_o^2} \quad (2.21)$$

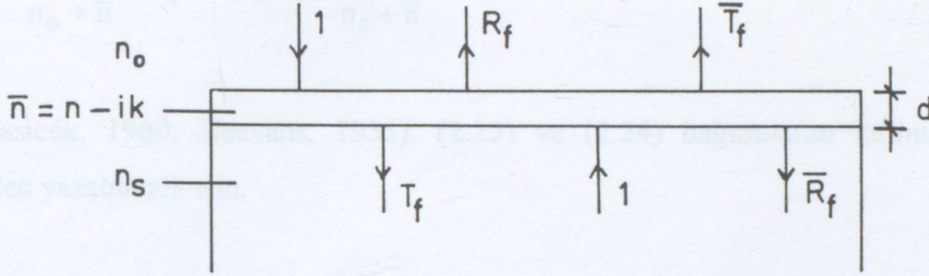
olarak bulunur.

(2.20) bağıntısından taşıyıcının kırılma indisi,  $T_o$  geçirgenliğine bağlı olarak,

$$n_s = \frac{n_o \left[ 1 + \sqrt{1 - T_o^2} \right]}{T_o} \quad (2.22)$$

elde edilir.

## 2.5. İNCE FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI



Şekil 2.7. Hava ( $n_o$ ) ve taşıyıcı ortam ( $n_s$ ) ile sınırlanmış, kompleks kırılma indisi  $\bar{n} = n - ik$ , kalınlığı  $d$  olan ince filmin geçirgenlik ve yansıtması.

Hava-taşıyıcı ortam ile sınırlanmış, kompleks kırılma indisine sahip ince filmin (Şekil 2.7) geçirgenlik ve yansıtması, birinci ve ikinci sınır yüzeyine ait Fresnel katsayıları cinsinden,

$$T_f = \frac{n_s}{n_o} \frac{t'^2 t''^2}{1 + r'^2 r''^2 e^{-2p/\lambda} + 2r'r'' e^{-p/\lambda} \cos[(q/\lambda) - \delta' - \delta'']} \quad (2.23)$$

$$R_f = \frac{r'^2 + r''^2 e^{-2p/\lambda} + 2r'r'' e^{-p/\lambda} \cos[(q/\lambda) + \delta' - \delta'']}{1 + r'^2 r''^2 e^{-2p/\lambda} + 2r'r'' e^{-p/\lambda} \cos[(q/\lambda) - \delta' - \delta'']} \quad (2.24)$$

olarak verilir (Vasicék, 1960; Heavans, 1955). Burada,

$$p = 4\pi dk \quad (2.25)$$

$$q = 4\pi dn \quad (2.26)$$

tanımları yapılmıştır. Fresnel katsayılarının ortamların indisleri ( $n_o, n_s, \bar{n}$ ) cinsinden ifadeleri ise,

$$r'e^{i\delta'} = \frac{\bar{n} - n_0}{\bar{n} + n_0} \quad ; \quad t'e^{i\delta'} = \frac{2n_0}{\bar{n} + n_0} \quad (2.27.a)$$

$$r''e^{i\delta''} = \frac{n_s - \bar{n}}{n_0 + \bar{n}} \quad ; \quad t''e^{i\delta''} = \frac{2\bar{n}}{n_s + \bar{n}} \quad (2.27.b)$$

dir (Vasicék, 1960; Heavens, 1955). (2.23) ve (2.24) bağıntılarını kırılma indisleri cinsinden yazabilmek için,

$$A_+ = \frac{n_0}{n_s} \frac{1}{t'^2 t''^2} \quad ; \quad B_+ = \frac{n_0}{n_s} \frac{r'^2}{t'^2 t''^2} \quad (2.28.a)$$

$$A_- = \frac{n_0}{n_s} \frac{r'^2 r''^2}{t'^2 t''^2} \quad ; \quad B_- = \frac{n_0}{n_s} \frac{r''^2}{t'^2 t''^2} \quad (2.28.b)$$

$$C = 2 \frac{n_0}{n_s} \frac{r' r''}{t'^2 t''^2} \quad (2.28.c)$$

$$\delta_+ = \delta'' + \delta' \quad (2.29.a)$$

$$\delta_- = \delta'' - \delta' \quad (2.29.b)$$

ve

$$C_1 = -C \cos \delta_+ \quad ; \quad D_1 = -C \cos \delta_- \quad (2.30.a)$$

$$C_2 = C \sin \delta_+ \quad ; \quad D_2 = C \sin \delta_- \quad (2.30.b)$$

tanımları yapılır ve (2.27) bağıntıları kullanılırsa,

$$A_+ = \frac{[(n + n_0)^2 + k^2][(n + n_s)^2 + k^2]}{16n_s n_0 (n^2 + k^2)} \quad (2.31.a)$$

$$A_- = \frac{[(n - n_0)^2 + k^2][(n - n_s)^2 + k^2]}{16n_s n_0 (n^2 + k^2)} \quad (2.31.b)$$

$$B_+ = \frac{[(n + n_s)^2 + k^2][(n - n_0)^2 + k^2]}{16n_s n_0 (n^2 + k^2)} \quad (2.31.c)$$

$$B_- = \frac{[(n - n_s)^2 + k^2][(n + n_o)^2 + k^2]}{16n_s n_o (n^2 + k^2)} \quad (2.31.d)$$

$$C_1 = \frac{[n^2 - n_o^2 + k^2][n^2 - n_s^2 + k^2] - 4n_s n_o k^2}{8n_s n_o (n^2 + k^2)} \quad (2.31.e)$$

$$C_2 = k \frac{n_s [n^2 - n_o^2 + k^2] + n_o [n^2 - n_s^2 + k^2]}{4n_s n_o (n^2 + k^2)} \quad (2.31.f)$$

$$D_1 = \frac{[n^2 - n_o^2 + k^2][n^2 - n_s^2 + k^2] + 4n_s n_o k^2}{8n_s n_o (n^2 + k^2)} \quad (2.31.g)$$

$$D_2 = k \frac{n_s [n^2 - n_o^2 + k^2] - n_o [n^2 - n_s^2 + k^2]}{4n_s n_o (n^2 + k^2)} \quad (2.31.h)$$

elde edilir (Berning, 1963). Bu durumda, ince filmin geçirgenlik ve yansıtmasını veren bağıntılar,

$$T_f = \frac{1}{A_+ e^{p/\lambda} + A_- e^{-p/\lambda} - C_1 \cos(q/\lambda) + C_2 \sin(q/\lambda)} \quad (2.32)$$

$$R_f = \frac{B_+ e^{p/\lambda} + B_- e^{-p/\lambda} - D_1 \cos(q/\lambda) + D_2 \sin(q/\lambda)}{A_+ e^{p/\lambda} + A_- e^{-p/\lambda} - C_1 \cos(q/\lambda) + C_2 \sin(q/\lambda)} \quad (2.33)$$

halini alır. Buraya kadar bulunan ifadeler, ışığın, kompleks kırılma indisine sahip film tarafından gelmesi durumunda geçerlidir. Işık, taşıyıcı tarafından geliyorsa, (2.31) bağıntılarında  $n_s$  yerine  $n_o$  ve  $n_o$  yerine de  $n_s$  yazılarak bulunan  $\bar{A}_+$ ,  $\bar{A}_-$ ,  $\bar{B}_+$ ,  $\bar{B}_-$ ,  $\bar{C}_1$ ,  $\bar{C}_2$ ,  $\bar{D}_1$ ,  $\bar{D}_2$  bağıntıları kullanılırsa  $\bar{T}_f$  ve  $\bar{R}_f$  için,

$$\bar{T}_f = \frac{1}{\bar{A}_+ e^{p/\lambda} + \bar{A}_- e^{-p/\lambda} - \bar{C}_1 \cos(q/\lambda) + \bar{C}_2 \sin(q/\lambda)} \quad (2.34)$$

$$\bar{R}_f = \frac{\bar{B}_- e^{p/\lambda} + \bar{B}_+ e^{-p/\lambda} - \bar{D}_1 \cos(q/\lambda) - \bar{D}_2 \sin(q/\lambda)}{\bar{A}_+ e^{p/\lambda} + \bar{A}_- e^{-p/\lambda} - \bar{C}_1 \cos(q/\lambda) + \bar{C}_2 \sin(q/\lambda)} \quad (2.35)$$

elde edilir. (2.32) ve (2.33) bağıntıları ile (2.34) ve (2.35) bağıntıları karşılaştırılırsa,

$$\bar{A}_+ = A_+ \quad ; \quad \bar{B}_+ = B_- \quad ; \quad \bar{C}_1 = C_1 \quad ; \quad \bar{D}_1 = D_1 \quad (2.36.a)$$

$$\bar{A}_- = A_- \quad ; \quad \bar{B}_- = B_+ \quad ; \quad \bar{C}_2 = C_2 \quad ; \quad \bar{D}_2 = -D_2 \quad (2.36.b)$$

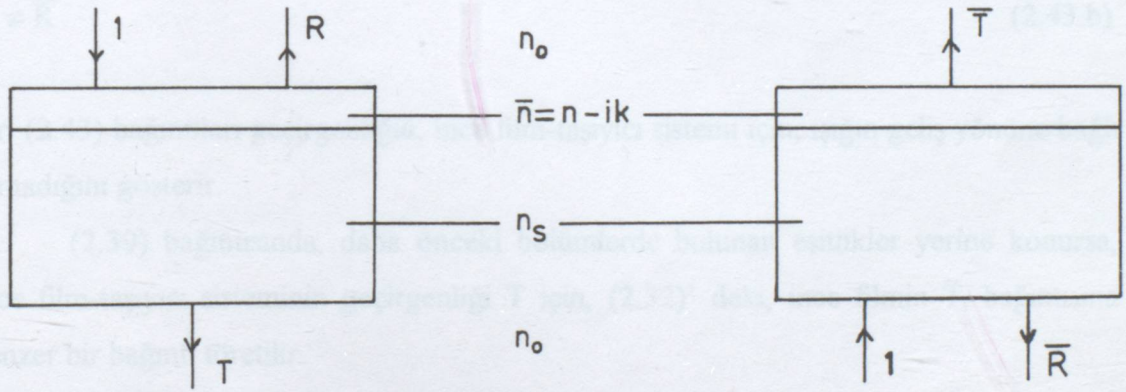
olduğu görülür. Bu durumda,

$$T_f = \bar{T}_f \quad (2.37.a)$$

$$R_f \neq \bar{R}_f \quad (2.37.b)$$

olur. Bu, geçirgenliğin ışığın her iki geliş yönü için de aynı kaldığını, yansıtmanın ise değiştiğini gösterir.

## 2.6. İNCE FİLM - TAŞIYICI SİSTEMİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI



Şekil 2.8. İnce film-taşıyıcı sisteminin geçirgenlik ve yansıtmaları.

İnce film-taşıyıcı sisteminin geçirgenlik ve yansıtmasını (Şekil 2.8) veren bağıntıları bulmak için (2.6), (2.7), (2.9) ve (2.10) bağıntılarında şu değişiklikleri yapmak yeterlidir :

$$T_1, \bar{T}_1, R_1, \bar{R}_1 \rightarrow T_f, \bar{T}_f, R_f, \bar{R}_f \quad (2.38.a)$$

$$T_2, \bar{T}_2, R_2, \bar{R}_2 \rightarrow T_s, \bar{T}_s, R_s, \bar{R}_s \quad (2.38.b)$$

Burada f indisleri ince filmi, s indisleri hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyini temsil etmektedir.

$$T = \frac{T_s T_f}{1 - \bar{R}_f R_s} \quad (2.39)$$

$$R = R_f + \frac{T_f^2 R_s}{1 - \bar{R}_f R_s} \quad (2.40)$$

$$\bar{T} = \frac{T_s T_f}{1 - \bar{R}_f R_s} \quad (2.41)$$

$$\bar{R} = R_s + \frac{T_s^2 \bar{R}_f}{1 - \bar{R}_f R_s} \quad (2.42)$$

Bu bağıntılar açıkça göstermektedir ki,

$$T = \bar{T} \quad (2.43.a)$$

$$R \neq \bar{R} \quad (2.43.b)$$

dir. (2.43) bağıntıları geçirgenliğin, ince film-taşıyıcı sistemi için, ışığın geliş yönüne bağlı olmadığını gösterir.

(2.39) bağıntısında, daha önceki bölümlerde bulunan eşitlikler yerine konursa, ince film-taşıyıcı sisteminin geçirgenliği T için, (2.32)'deki, ince filmin  $T_f$  bağıntısına benzer bir bağıntı türetilir.

$$T = \frac{1}{a_+ e^{p/\lambda} + a_- e^{-p/\lambda} - c_1 \cos(q/\lambda) + c_2 \sin(q/\lambda)} \quad (2.44)$$

Bu bağıntıdaki  $a_+$ ,  $a_-$ ,  $c_1$  ve  $c_2$  katsayıları ise,



$$a_+ = \frac{(n+n_0)^3(n_0n+n_s^2) + (n+n_0)(2n_0n+n_s^2+n_0^2)k^2 + n_0k^4}{16n_0^2n_s(n^2+k^2)} \quad (2.45.a)$$

$$a_- = \frac{(n-n_0)^3(n_0n-n_s^2) + (n-n_0)(2n_0n-n_s^2-n_0^2)k^2 + n_0k^4}{16n_0^2n_s(n^2+k^2)} \quad (2.45.b)$$

$$c_1 = \frac{(n^2-n_s^2)(n^2-n_0^2) + (2n^2-3n_s^2-3n_0^2)k^2 + k^4}{8n_0n_s(n^2+k^2)} \quad (2.45.c)$$

$$c_2 = \frac{(n_s^2+3n_0^2)n^2 - n_0^2(3n_s^2+n_0^2) + (n_s^2+3n_0^2)k^2}{8n_0^2n_s(n^2+k^2)} k \quad (2.45.d)$$

dir. Burada,

$$c_1 = c \cos \gamma \quad (2.46.a)$$

$$c_2 = c \sin \gamma \quad (2.46.b)$$

$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} \quad (2.47)$$

tanımları kullanılarak T bağıntısı,

$$T = \frac{1}{a_+e^{p/\lambda} + a_-e^{-p/\lambda} - c \cos\left(\frac{q}{\lambda} + \gamma\right)} \quad (2.48)$$

haline getirilir.

## 2.7. GEÇİRGENLİK BAĞINTISININ ÖZELLİKLERİ

İnce film (Şekil 2.7) geçirgenliğini gösteren,

$$\frac{1}{T_f} = A_+e^{p/\lambda} + A_-e^{-p/\lambda} - C_1 \cos(q/\lambda) + C_2 \sin(q/\lambda) \quad (2.49)$$

bağıntısıyla, ince film-taşıyıcı sisteminin (Şekil 2.8) geçirgenliğini veren,

$$\frac{1}{T} = a_+ e^{p/\lambda} + a_- e^{-p/\lambda} - c_1 \cos(q/\lambda) + c_2 \sin(q/\lambda) \quad (2.50)$$

bağıntısı biçim bakımından büyük benzerlik gösterir. (2.49) bağıntısındaki  $C_1$  ve  $C_2$  arasındaki,

$$C_1^2 + C_2^2 = C^2 = 4A_+ A_- \quad (2.51)$$

bağıntısına benzer bir ilişki de, (2.50) bağıntısındaki  $c_1$  ve  $c_2$  arasında vardır :

$$c_1^2 + c_2^2 = c^2 = 4a_+ a_- + \sigma \quad (2.52)$$

Burada  $\sigma$ ,

$$\sigma = \left( \frac{n_s^2 - n_0^2}{8n_s n_0^2} \right)^2 \frac{(n^2 - n_0^2)^2 - 2(n^2 + n_0^2)k^2 + k^4}{n^2 + k^2} \quad (2.53)$$

ile verilir.

$$a_+ + a_- = c_1 + \frac{n_s^2 + n_0^2}{2n_s n_0} \quad (2.54)$$

ve (2.20) bağıntısı ile,

$$a_+ + a_- = c_1 + \frac{1}{T_0} \quad (2.55)$$

olur.

$$A_+ + A_- = C_1 + \frac{(n_s + n_o)^2}{4n_s n_o} \quad (2.56)$$

ile (2.13) bağıntısı birleştirilirse,

$$A_+ + A_- = C_1 + \frac{1}{T_s} \quad (2.57)$$

bulunur.  $k = 0$  olması durumunda, (2.45) bağıntısındaki tanımdan  $c_2$ , (2.31) bağıntısındaki tanımdan  $C_2$  ve (2.25) bağıntısındaki tanımdan  $p$  sıfır olur. Bu durumda (2.55) ve (2.57) bağıntıları yardımı ile,

$$\frac{1}{T_f} = \frac{1}{T_s} + C_1 [1 - \cos(q/\lambda)] \quad (2.58)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_o} + c_1 [1 - \cos(q/\lambda)] \quad (2.59)$$

bulunur. Burada  $1/T_f$ ' nin en küçük değeri  $1/T_s$ ,  $1/T$ ' nin en küçük değeri ise  $1/T_o$ ' dır. Bunun anlamı, absorpsiyon yoksa ( $k = 0$  ise), ince filmin ve ince film-taşıyıcı sisteminin geçirgenliklerinin maksimum değerleri,

$$T_{f_{\max}} = T_s \quad (2.60.a)$$

$$T_{\max} = T_o \quad (2.60.b)$$

dır.

$$\frac{1}{T} = a_+ e^{p/\lambda} + a_- e^{-p/\lambda} - c_1 \cos(q/\lambda) + c_2 \sin(q/\lambda) \quad (2.50)$$

bağıntısında,

$$u = a_+ e^{p/\lambda} + a_- e^{-p/\lambda} \quad (2.61)$$

$$v = -c_1 \cos(q/\lambda) + c_2 \sin(q/\lambda) = -c \cos\left(\frac{q}{\lambda} + \gamma\right) \quad (2.62)$$

fonksiyonları tanımlanabilir.  $u'$  ya eşlik eden bir,

$$u_e = a_+ e^{p/\lambda} - a_- e^{-p/\lambda} \quad (2.63)$$

fonksiyonu için,  $u + u_e$ ,  $u - u_e$  ve  $u^2 - u_e^2$  hesaplarından,

$$u_e = \sqrt{u^2 - 4a_+ a_-} \quad (2.64)$$

yazılabilir. (2.52) bağıntısı ile,

$$u_e = \sqrt{u^2 - c^2 + \sigma} \quad (2.65)$$

olur.  $u + u_e$  toplamının açık yazılışında,

$$L = \ln \frac{u + u_e}{2a_+} \quad (2.66)$$

tanımı yapılırsa,

$$p = \lambda L \quad (2.67)$$

bulunur.  $p'$  nin tanımı (2.25) ile bu bağıntı birleştirilirse,

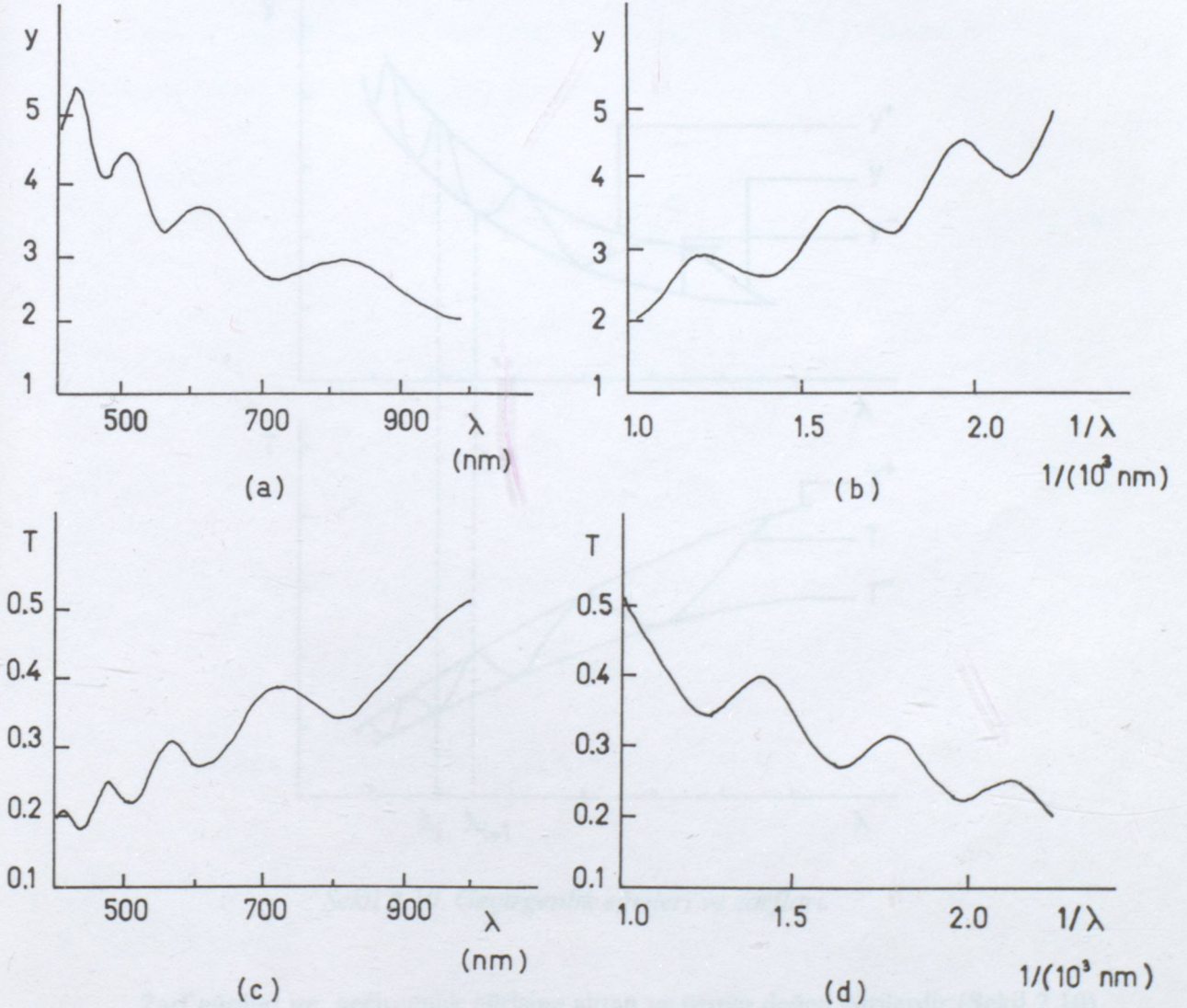
$$kd = \frac{\lambda}{4\pi} L \quad (2.68)$$

L' nin tanımından da,

$$L = \ln \frac{u + \sqrt{u^2 - c^2 + \sigma}}{2a_+} \quad (2.69)$$

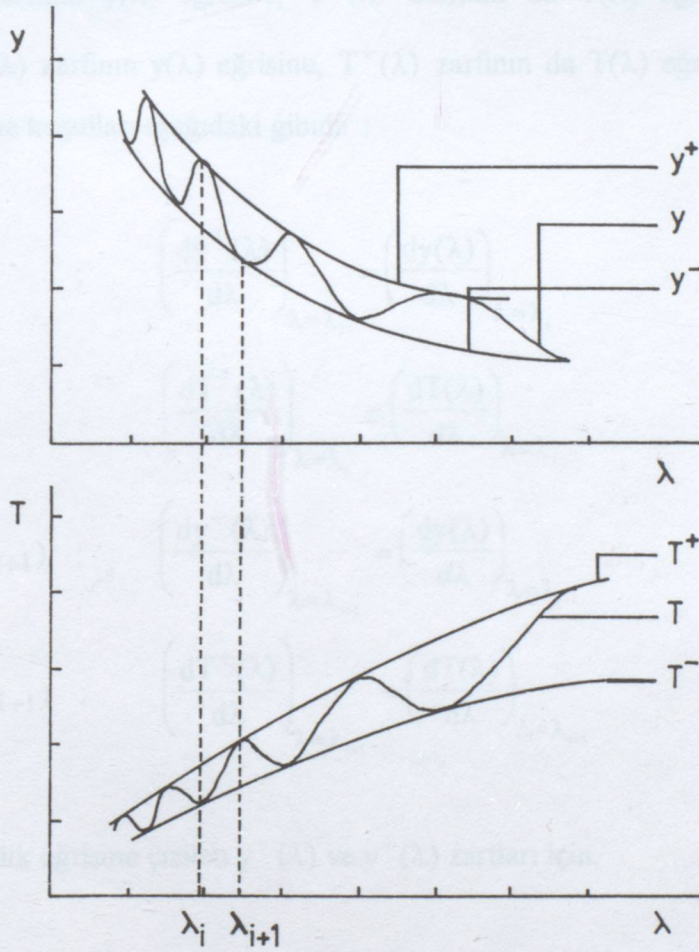
elde edilir.

## 2.8. GEÇİRGENLİK EĞRİSİ VE ZARF EĞRİLERİ



Şekil 2.9. Spektrofotometrik geçirgenlik eğrileri. (a)  $y = y(\lambda)$ , (b)  $y = y(1/\lambda)$ , (c)  $T = T(\lambda)$ , (d)  $T = T(1/\lambda)$ .

Geniş bir dalgaboyu aralığında ölçülen geçirgenliğin dalgaboyunun fonksiyonu olarak çizilmesiyle elde edilen eğriye spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi denir. Ancak  $T$ 'nin  $\lambda$ 'nin fonksiyonu olarak çizilmesiyle elde edilen  $T = T(\lambda)$  eğrisi dışında,  $T = T(1/\lambda)$ ,  $y = y(\lambda)$  ve  $y = y(1/\lambda)$  eğrileri de geçirgenlik eğrileri olarak adlandırılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.10. Geçirgenlik eğrileri ve zarfları.

Zarf eğrileri ise, geçirgenlik eğrisine alttan ve üstten değen eğrilerdir (Şekil 2.10).  $y(\lambda)$  ve  $T(\lambda)$  eğrilerinin alt ve üst zarfları olan  $y^-(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$ ,  $y^+(\lambda)$ ,  $T^+(\lambda)$  eğrileri birbirlerine şu şekilde bağlıdır :

$$y(\lambda) = \frac{1}{T(\lambda)} \quad (2.70)$$

$$y^+(\lambda) = \frac{1}{T^-(\lambda)} \quad (2.71)$$

$$y^-(\lambda) = \frac{1}{T^+(\lambda)} \quad (2.72)$$

$y^+(\lambda)$  zarfının  $y(\lambda)$  eğrisine,  $T^-(\lambda)$  zarfının da  $T(\lambda)$  eğrisine bir  $\lambda = \lambda_i$  noktasında,  $y^-(\lambda)$  zarfının  $y(\lambda)$  eğrisine,  $T^+(\lambda)$  zarfının da  $T(\lambda)$  eğrisine bir  $\lambda = \lambda_{i+1}$  noktasında değme koşulları aşağıdaki gibidir :

$$y^+(\lambda_i) = y(\lambda_i) \quad ; \quad \left( \frac{dy^+(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_i} = \left( \frac{dy(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_i} \quad (2.73)$$

$$T^-(\lambda_i) = T(\lambda_i) \quad ; \quad \left( \frac{dT^-(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_i} = \left( \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_i} \quad (2.74)$$

$$y^-(\lambda_{i+1}) = y(\lambda_{i+1}) \quad ; \quad \left( \frac{dy^-(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_{i+1}} = \left( \frac{dy(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_{i+1}} \quad (2.75)$$

$$T^+(\lambda_{i+1}) = T(\lambda_{i+1}) \quad ; \quad \left( \frac{dT^+(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_{i+1}} = \left( \frac{dT(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda=\lambda_{i+1}} \quad (2.76)$$

Geçirgenlik eğrisine çizilen  $y^+(\lambda)$  ve  $y^-(\lambda)$  zarfları için,

$$y^+(\lambda) = u(\lambda) + c(\lambda) \quad (2.77)$$

$$y^-(\lambda) = u(\lambda) - c(\lambda) \quad (2.78)$$

bağıntıları geçerlidir. Buradan  $u(\lambda)$  ve  $c(\lambda)$  bulunur, (2.71) ve (2.72) bağıntıları yardımıyla da,

$$u(\lambda) = \frac{T^+(\lambda) + T^-(\lambda)}{2T^+(\lambda)T^-(\lambda)} \quad (2.79)$$

$$c(\lambda) = \frac{T^+(\lambda) - T^-(\lambda)}{2T^+(\lambda)T^-(\lambda)} \quad (2.80)$$

şeklinde ifade edilir.

## 2.9. İNCE FİLMİN OPTİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

$u(\lambda)$  ve  $v(\lambda)$  fonksiyonlarının genliği olan  $c(\lambda)$  için,

$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} \quad (2.47)$$

bağıntısı vardır.  $c_1$  ve  $c_2$ , tanımları gereği  $n$  ve  $k$  parametrelerine bağlı olduklarından,  $c'$  de  $n$  ve  $k$ 'nin fonksiyonudur. Bu durumda aynı  $c$  değerini sağlayan  $n, k$  çiftleri kapalı bir fonksiyon oluşturur.

$$c(n, k) = c \quad (2.81)$$

$$f(n, k) = c(n, k) - c = 0 \quad (2.82)$$

Zayıf absorpsiyon durumunda  $f(n, k) = 0$  denklemi  $k = 0$  durumu için çözümler ve  $n$  kırılma indisi elde edilir.

$$f(n, 0) = c(n, 0) - c = 0 \quad (2.83)$$

$$n = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{8n_s n_o c + (n_s + n_o)^2} + \sqrt{8n_s n_o c + (n_s - n_o)^2} \right] \quad (2.84)$$

$k = 0$  durumu için (2.69) bağıntısından,



$$L(n,0) = L = \ln \frac{u + \sqrt{u^2 - c^2 + \sigma}}{2a_+} \quad (2.85)$$

elde edilir.  $\sigma$  ve  $a_+$  parametrelerinin  $(n,0)$  çifti için aldığı  $\sigma$  ve  $a_+$  değerleri, tanımlarından,

$$\sigma = \left[ \frac{n_s^2 - n_0^2}{8n_s n_0^2} \right]^2 \left[ n - \frac{n_0^2}{n} \right]^2 \quad (2.86)$$

$$a_+ = \frac{(n + n_0)^3 (n_0 n + n_s^2)}{16n_s n_0^2 n^2} \quad (2.87)$$

şeklinde bulunurlar.

Film kalınlığını belirlemek için, geçirgenlik eğrisinin zarf eğrilerine değme koşulları kullanılır.  $\lambda_i$  ve  $\lambda_{i+1}$  olarak belirlenen değme noktaları çifti için  $d$  kalınlığı,

$$d_{i,i+1} = \frac{1}{4 \left[ \frac{n(\lambda_i)}{\lambda_i} - \frac{n(\lambda_{i+1})}{\lambda_{i+1}} \right]} \quad (2.88)$$

dir. Zarf eğrilerinin, geçirgenlik eğrisine çizildiği grafiklerde (Şekil 2.10), dalgaboyu çifti kadar kalınlık değeri hesaplanır ve bunların ortalamaları alınır.

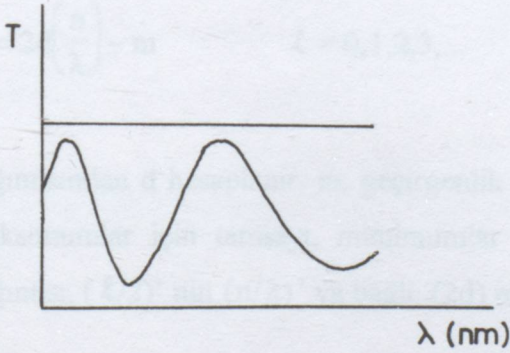
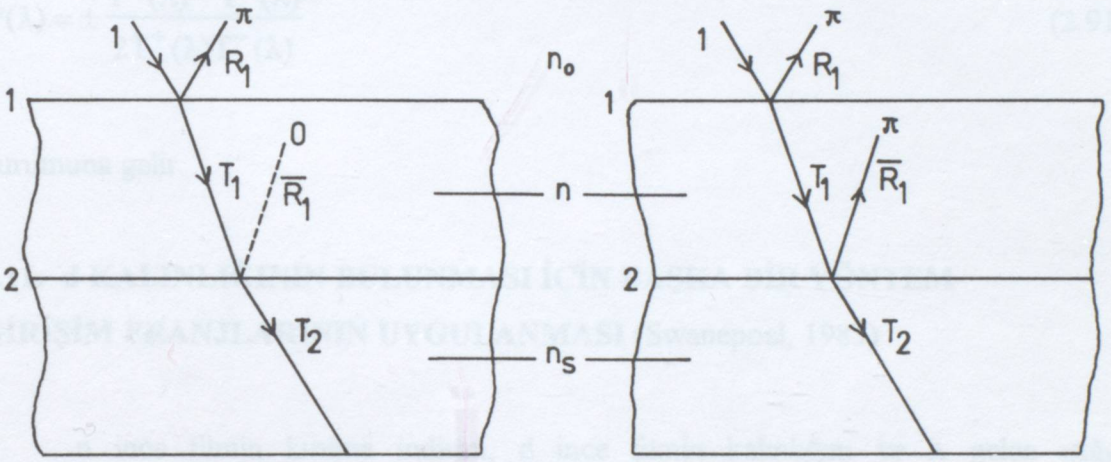
$$d_{\text{ort}} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} d_{i,i+1} \quad (2.89)$$

Burada  $m$  değme noktalarının sayısını göstermektedir.

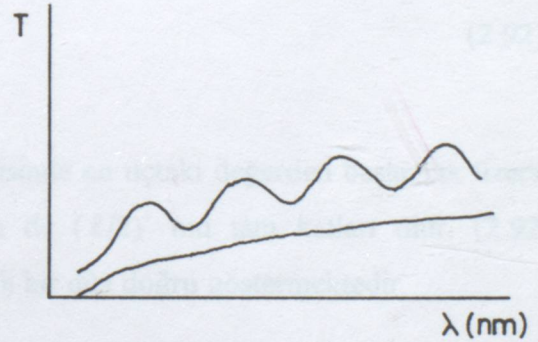
k söndürme katsayısını veren bağıntı, (2.68) bağıntısında (2.85) bağıntısının kullanılması ile bulunur.

$$k = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) \ln \frac{u + \sqrt{u^2 - c^2 + \sigma}}{2a_+} \quad (2.90)$$

## 2.10. $n_s > n$ DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ ZARF YÖNTEMİ



(a)



(b)

Şekil 2.11. Yüzeylerden yansımada faz farkları. (a) Taşıyıcının kırılma indisi filmin kırılma indisinden küçük ( $n_s < n$ ). (b) Taşıyıcının kırılma indisi filmin kırılma indisinden büyük ( $n_s > n$ ). ( $T_o$ : Taşıyıcının geçirgenliği).

Taşıyıcı malzemenin kırılma indisi  $n_s$ ' nin, ince filmin kırılma indisi  $n$ ' den küçük olması ( $n_s < n$ ) durumunda, taşıyıcı - film ara yüzeyinden geri yansımada faz farkı oluşmaz (Şekil 2.11.a). Bu bölüme kadar verilen bağıntılar geçerli olur. Ancak  $n_s > n$  durumunda söz konusu ara yüzeyden geri yansımada  $\pi$  kadar faz farkı meydana gelir (Şekil 2.11.b) (Jenkins and White, 1957). Bu durum da maksimum geçirgenlik değerleri ile minimum geçirgenlik değerleri yer değiştirir ve (2.80) ile verilen  $c(\lambda)$  bağıntısı,

$$c'(\lambda) = \pm \frac{T^+(\lambda) - T^-(\lambda)}{2T^+(\lambda)T^-(\lambda)} \quad (2.91)$$

durumuna gelir.

## 2.11. d KALINLIĞININ BULUNMASI İÇİN BAŞKA BİR YÖNTEM GİRİŞİM FRANJLARININ UYGULANMASI (Swanepoel, 1983)

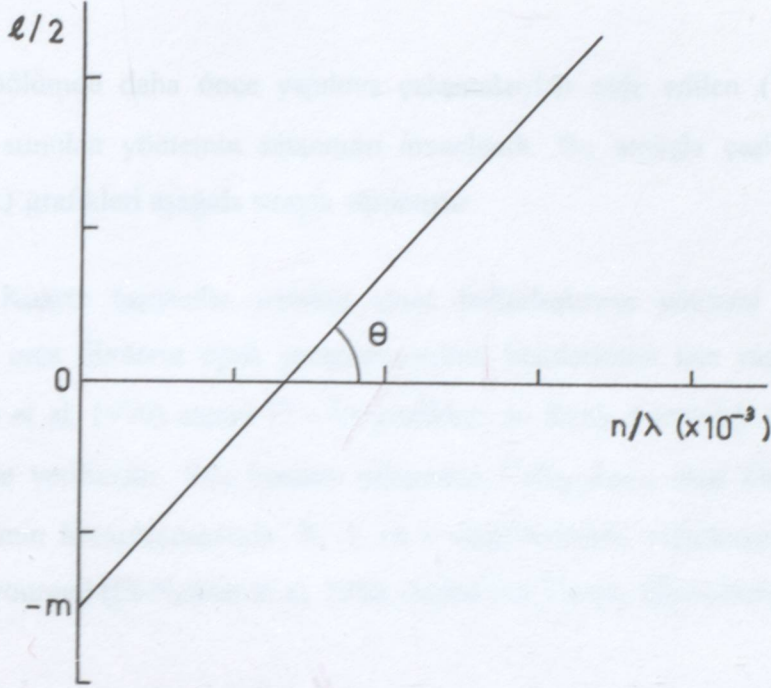
$n$  ince filmin kırılma indisini,  $d$  ince filmin kalınlığını ve  $\lambda$  gelen ışığın dalgaboyunu göstermek üzere girişim franjlarından elde edilen,

$$\frac{\ell}{2} = 2d \left( \frac{n}{\lambda} \right) - m \quad \ell = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.92)$$

bağıntısından  $d$  hesaplanır.  $m$ , geçirgenlik eğrisinde en uçtaki değerden başlamak üzere, maksimumlar için tamsayı, minimumlar için de  $(\ell/2)$ ' nin tam katları olur. (2.92) bağıntısı,  $(\ell/2)$ ' nin  $(n/\lambda)$ ' ya bağlı,  $(2d)$  eğimli bir düz doğru göstermektedir.

### 3. YÖNTEMİN KINANMASI

#### 3.1. YÖNTEMİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN SIKLIK İÇİN ÇEŞİTLİ KAYNAKLARDAN ALINAN VERİLERE



Şekil 2.12.  $d$  kalınlığı için bir grafik yöntemi.

Bu doğru  $y$  eksenini  $m$ ' de kesmektedir (Şekil 2.12). Doğrunun eğiminden yararlanılarak

$$\tan\theta = 2d \quad (2.93)$$

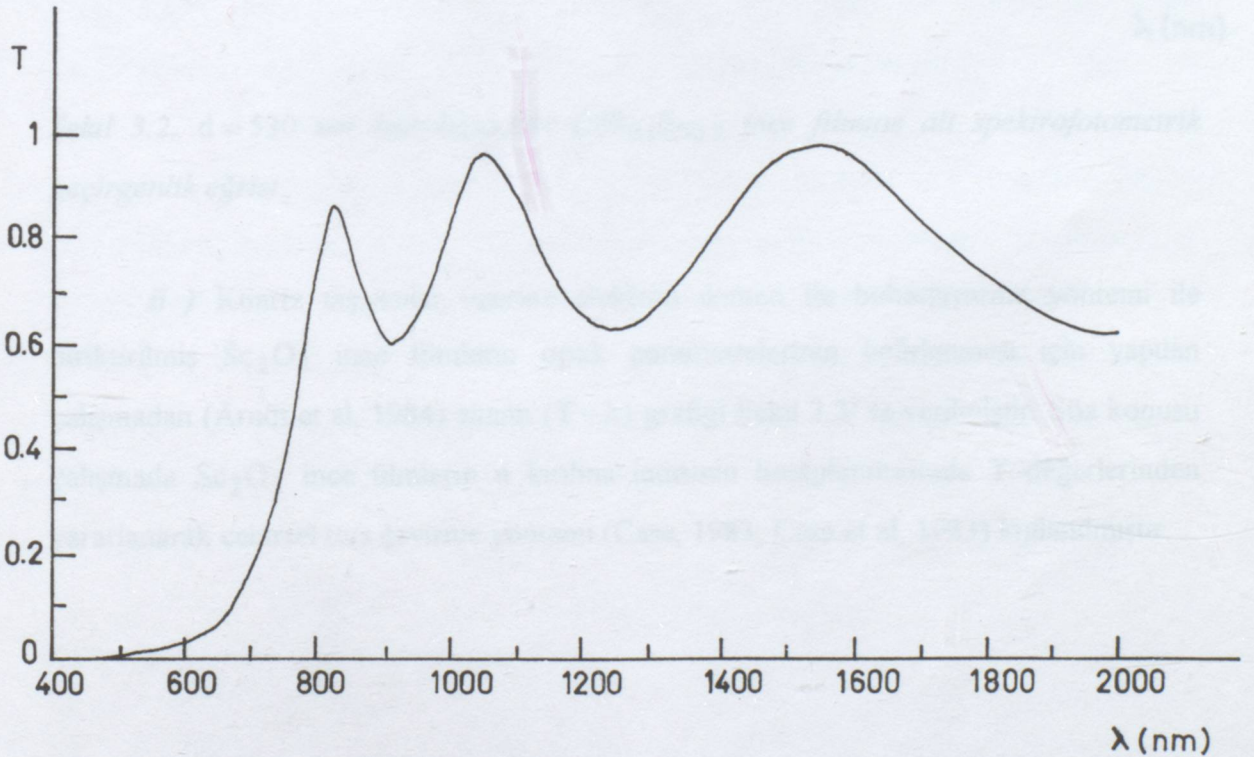
den  $d$  kalınlığı hesaplanır.

### 3. YÖNTEMİN SINANMASI

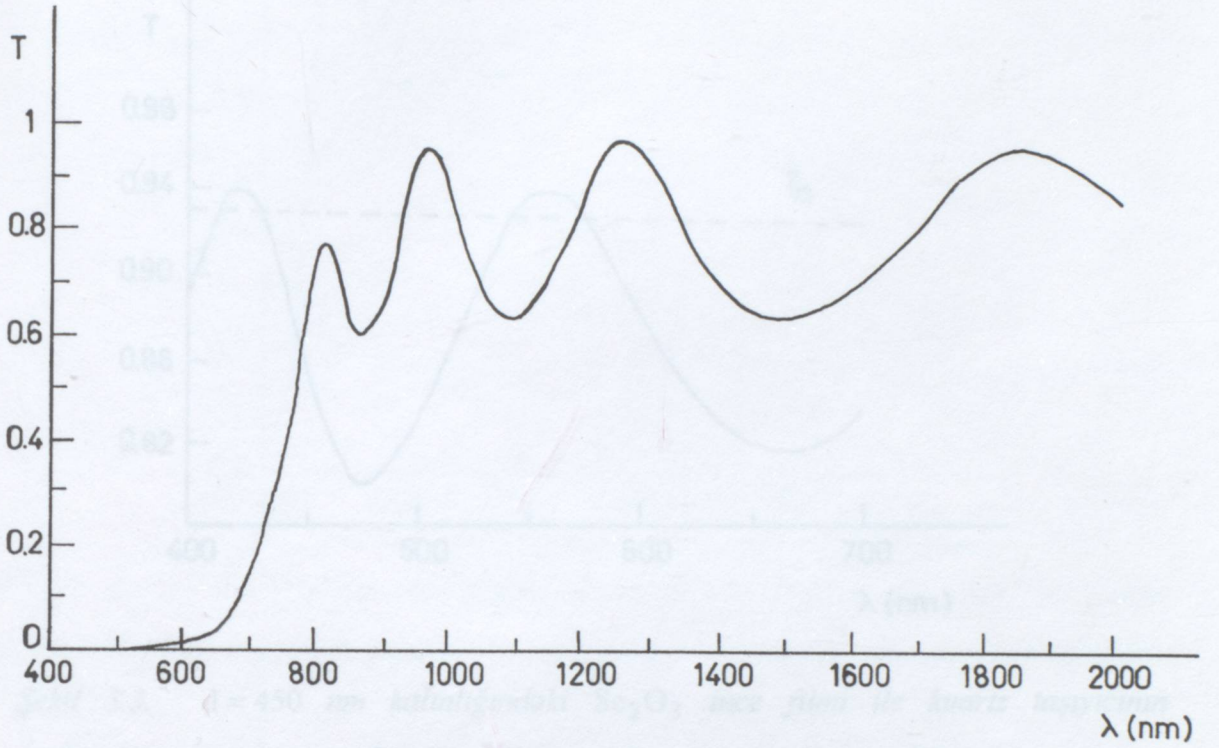
#### 3.1. YÖNTEMİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN SINANMASI İÇİN ÇEŞİTLİ KAYNAKLARDAN ALINAN VERİLER

Bu bölümde daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen ( $T-\lambda$ ) grafikleri kullanılarak sunulan yöntemin sınanması amaçlandı. Bu amaçla çeşitli kaynaklardan alınan ( $T-\lambda$ ) grafikleri aşağıda sırayla verilmiştir.

*i*) Kuartz taşıyıcılar üzerine ısısal buharlaştırma yöntemi ile biriktirilmiş  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  ince filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmadan (El - Nahass et al, 1990) alınan ( $T-\lambda$ ) grafikleri iki farklı  $d$  kalınlığı için Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de verilmiştir. Söz konusu çalışmada  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  ince filmlerinin  $n$  ve  $k$  parametrelerinin hesaplanmasında,  $R$ ,  $T$  ve  $d$  değerlerinden yararlanarak Abélé-Theye geliştirilmiş yöntemi (El-Nahass et al, 1988; Abélé and Theye, 1966) kullanılmıştır.

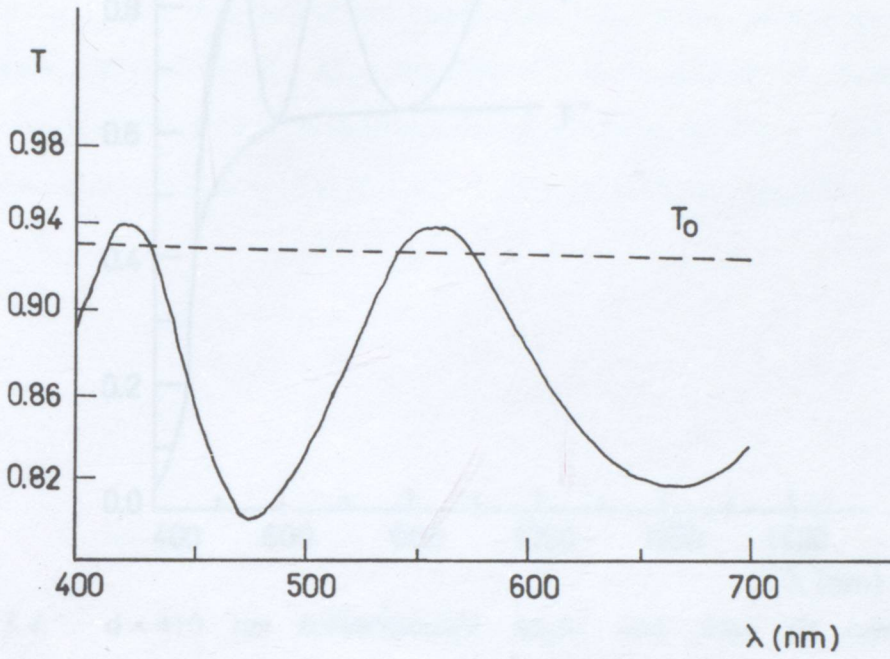


Şekil 3.1.  $d = 400$  nm kalınlığındaki  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  ince filmine ait spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi.



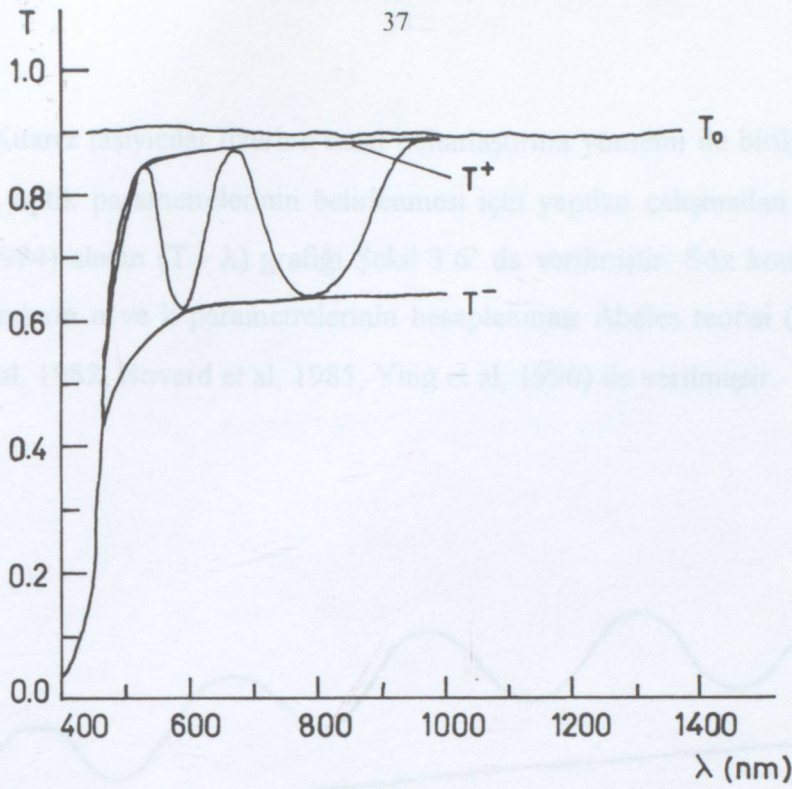
Şekil 3.2.  $d = 530$  nm kalınlığındaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmine ait spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi.

ii ) Kuartz taşıyıcılar üzerine elektron demeti ile buharlaştırma yöntemi ile biriktirilmiş  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmadan (Arndt et al, 1984) alınan  $(T - \lambda)$  grafiği Şekil 3.3' te verilmiştir. Söz konusu çalışmada  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmlerin  $n$  kırılma indisinin hesaplanmasında  $T$  değerlerinden yararlanarak cebirsel ters çevirme yöntemi (Case, 1983; Case et al, 1983) kullanılmıştır.

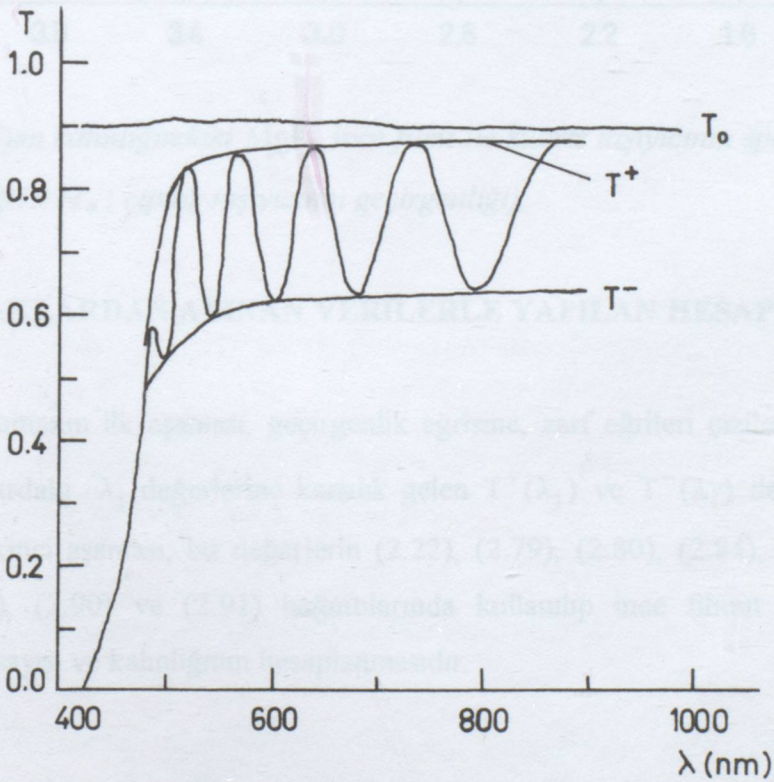


Şekil 3.3.  $d = 450 \text{ nm}$  kalınlığındaki  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmi ile kuartz taşıyıcının spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi ( $T_0$  : çıplak taşıyıcının geçirgenliği).

iii ) Cam taşıyıcılar üzerine ısıl buharlaştırma yöntemi ile biriktirilmiş  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmadan (Marquez et al, 1992) alınan  $(T-\lambda)$  grafikleri iki farklı  $d$  kalınlığı için Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te verilmiştir. Söz konusu çalışmada  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filmlerin optik parametrelerinin hesaplanmasında  $T$  değerlerinden yararlanarak Manifacier' ın fikirlerine (Manifacier et al, 1976) dayandırılan Swanepoel yöntemi (Swanepoel , 1983; 1984) kullanılmıştır.



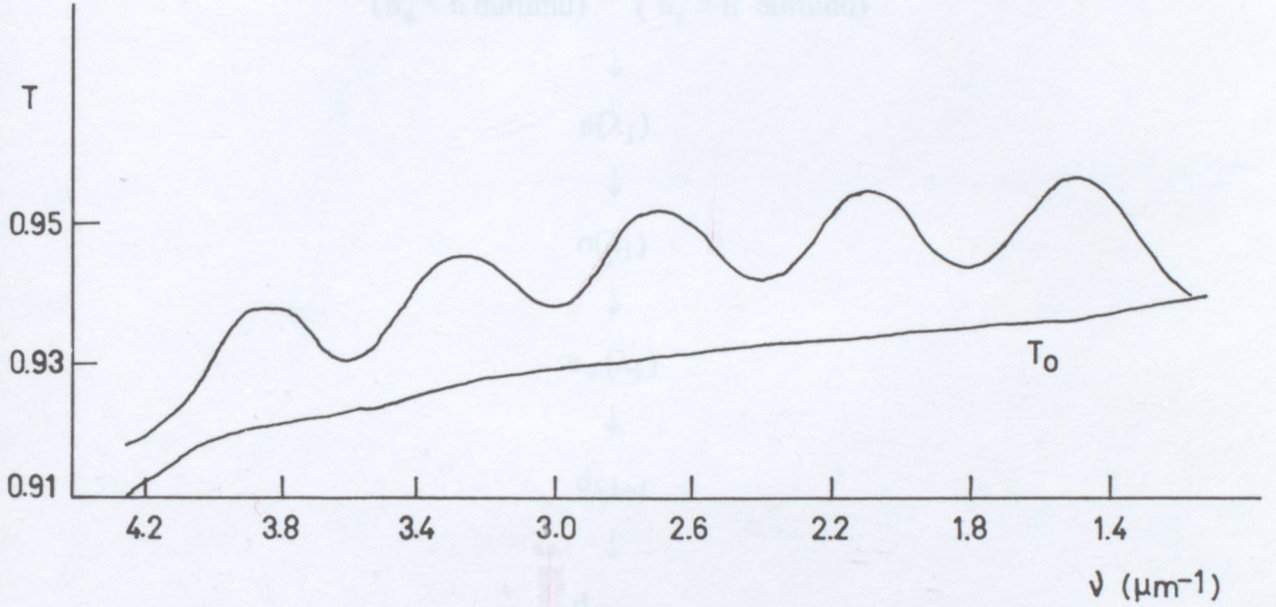
Şekil 3.4.  $d = 410$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi ile cam taşıyıcının spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi ve zarf eğrileri ( $T_0$ : çıplak taşıyıcının geçirgenliği).



Şekil 3.5.  $d = 915$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi ile cam taşıyıcının spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi ve zarf eğrileri ( $T_0$ : çıplak taşıyıcının geçirgenliği).



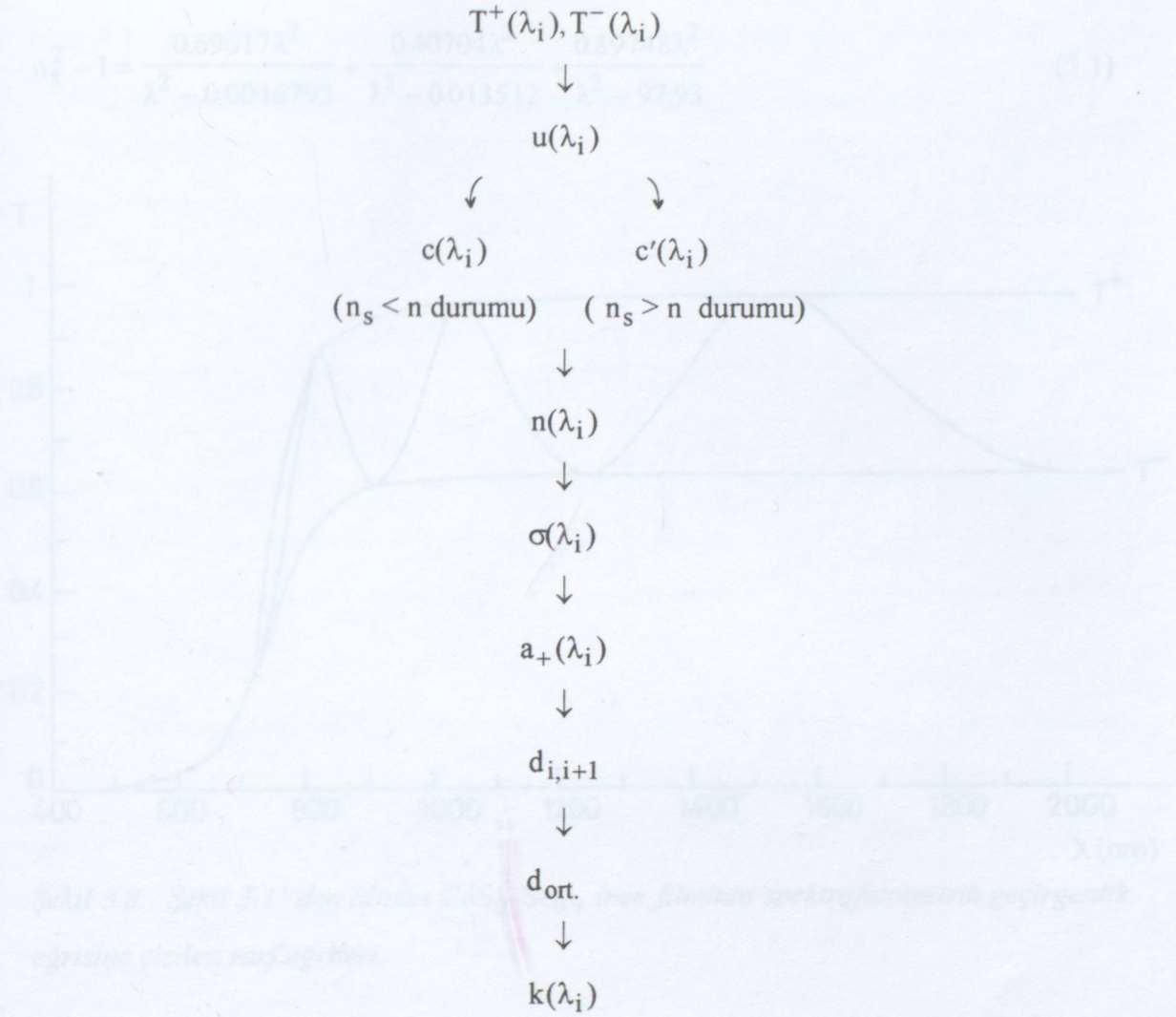
iv) Kuartz taşıyıcılar üzerine ısıl buharlaştırma yöntemi ile biriktirilmiş  $MgF_2$  ince filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmadan (Kasikov and Kuznetsov, 1994) alınan ( $T - \lambda$ ) grafiği Şekil 3.6' da verilmiştir. Söz konusu çalışmada  $MgF_2$  ince filmlerin  $n$  ve  $k$  parametrelerinin hesaplanması Abéles teorisi (Abéles, 1963; Borgogno et al, 1982; Bovard et al, 1985; Ying et al, 1990) ile verilmiştir.



Şekil 3.6.  $0.5\mu m$  kalınlığındaki  $MgF_2$  ince filmi ile kuartz taşıyıcının spektrofotometrik geçirgenlik eğrisi ( $T_0$ : çıplak taşıyıcının geçirgenliği).

### 3.2. KAYNAKLARDAN ALINAN VERİLERLE YAPILAN HESAPLAMALAR

Uygulamanın ilk aşaması, geçirgenlik eğrisine, zarf eğrileri çizilerek maksimum ve minimumlardaki  $\lambda_i$  değerlerine karşılık gelen  $T^+(\lambda_i)$  ve  $T^-(\lambda_i)$  değerlerinin elde edilmesidir. İkinci aşaması, bu değerlerin (2.22), (2.79), (2.80), (2.84), (2.86), (2.87), (2.88), (2.89), (2.90) ve (2.91) bağıntılarında kullanılıp ince filmin kırılma indisi, söndürme katsayısı ve kalınlığının hesaplanmasıdır.



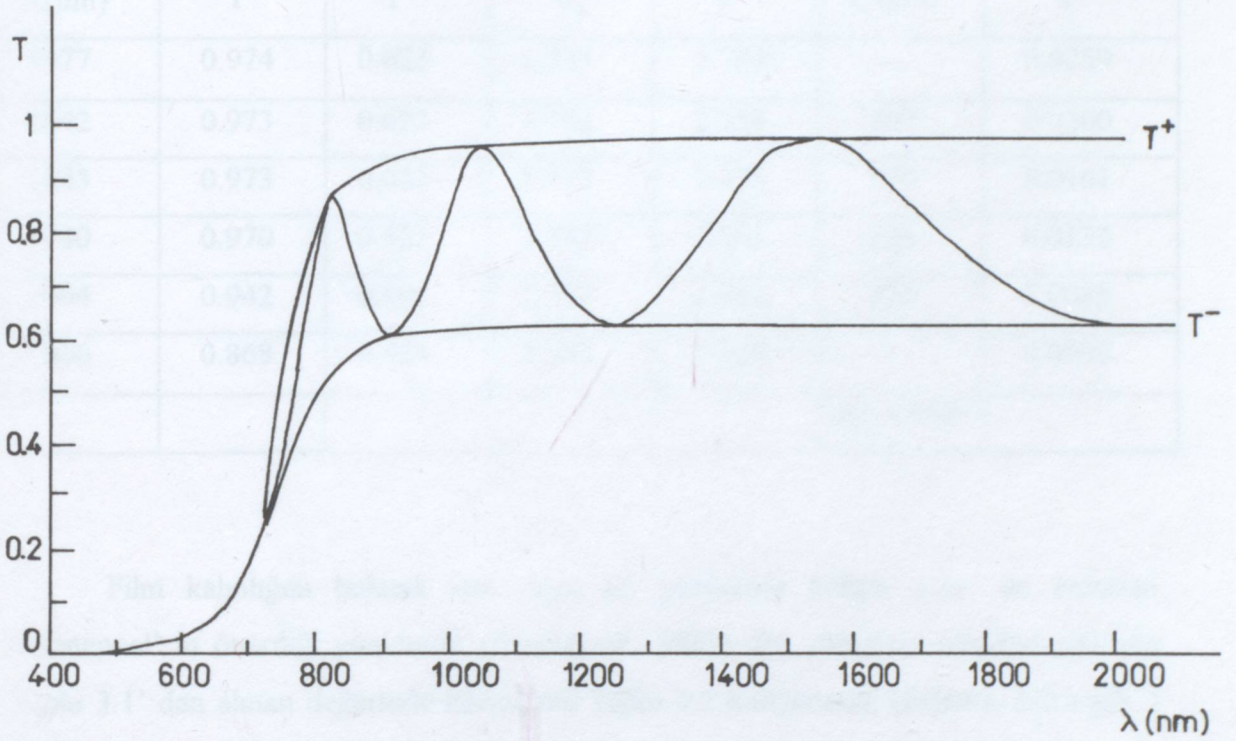
Şekil 3.7. Yöntemin uygulanışının akış diyagramı.

Şekil 3.7' de yöntemde kullanılan bağıntıların kullanılış sırası verilmiştir. Havanın kırılma indisi  $n_0$ , tüm hesaplamalarda 1 alınmıştır.

### i) $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$ İnce Filminin Optik Parametreleri

Kuartz taşıyıcılar üzerine biriktirilmiş  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin optik parametreleri hesaplanırken, taşıyıcı kırılma indisi  $n_s$ , aşağıdaki eşitlikten (Arndt et al, 1984) bulunmuştur :

$$n_s^2 - 1 = \frac{0.69617\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0046792} + \frac{0.40704\lambda^2}{\lambda^2 - 0.013512} + \frac{0.89748\lambda^2}{\lambda^2 - 97.93} \quad (3.1)$$



Şekil 3.8. Şekil 3.1' den alınan  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrileri.

Şekil 3.8'deki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde çizilen maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yararlanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.1' de verilmiştir.  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{\text{ort}}$  kullanılmıştır.

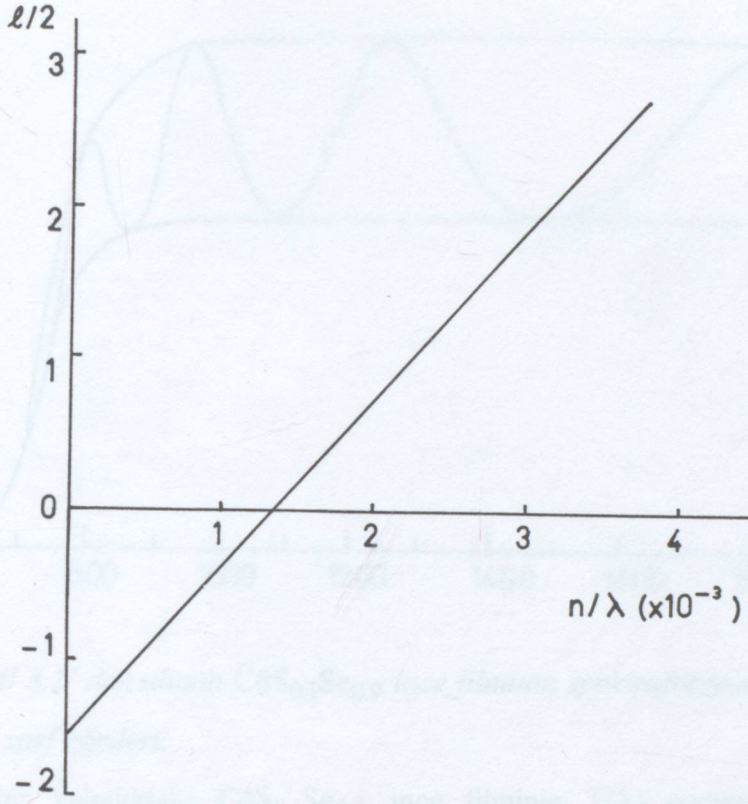
Tablo 3.1.  $d = 400$  nm kalınlığındaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için bulunan  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ve bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler.

$\lambda(\text{nm})$	$T^+$	$T^-$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$
1977	0.974	0.623	1.732	2.759	—	0.0259
1542	0.973	0.623	1.732	2.758	607	0.0200
1243	0.973	0.623	1.732	2.758	577	0.0161
1040	0.970	0.621	1.732	2.761	598	0.0132
904	0.942	0.609	1.732	2.762	453	0.0085
806	0.868	0.514	1.732	3.028	—	0.0002
					$d_{\text{ort.}} = 559$	

Film kalınlığını bulmak için diğer bir yöntemde bölüm 2.11' de anlatılan Swanepoel' in önerdiği yöntemdir (Swanepoel, 1983). Bu yöntemin uygulanması için Tablo 3.1' den alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.2 kullanılarak çizilen ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği Şekil 3.9' da gösterildiği gibidir.

Tablo 3.2. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda(\text{nm})$	$n$	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda$ ( $\times 10^{-3}$ )
1977	2.759	0	0	1.40
1542	2.758	1	0.5	1.79
1243	2.758	2	1	2.22
1040	2.761	3	1.5	2.65
904	2.762	4	2	3.06
806	3.028	5	2.5	3.76



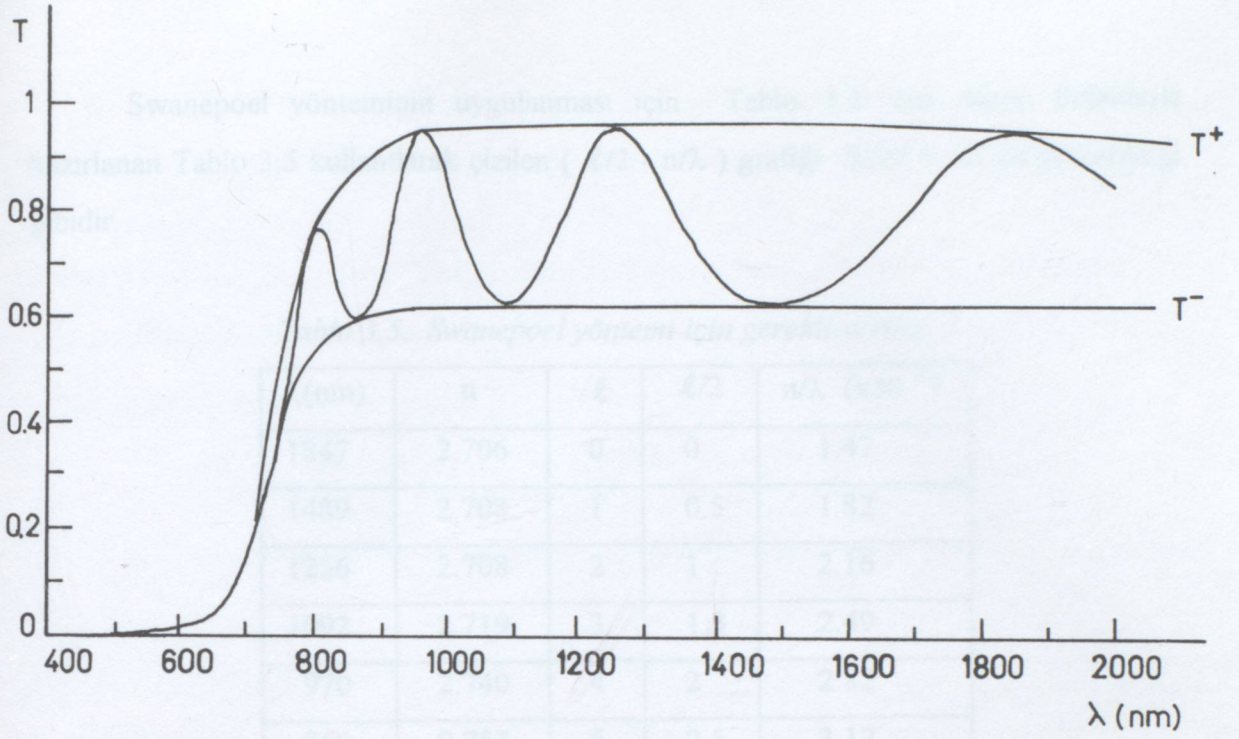
Şekil 3.9.  $d = 400$  nm kalınlığındaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için  $(d/2 - n/\lambda)$  grafiği.

Şekil 3.9' daki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.3' te verilmiştir.

Tablo 3.3.  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_k$ : kaynaktan alınan kalınlık,  $d_\zeta$ : grafikten okunan değerlerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$ : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_k$ (nm)	$d_\zeta$ (nm)	$d_s$ (nm)
400	559	536

Buraya kadar yapılan işlemler aynı ince filmin farklı kalınlığı ( $d = 530$  nm) için tekrarlanmıştır.



Şekil 3.10. Şekil 3.2' den alınan  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrileri.

Başka bir kalınlıktaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde (Şekil 3.10) çizilen maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yararlanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.4' te verilmiştir. Bu tablodaki  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{\text{ort}}$  kullanılmıştır.

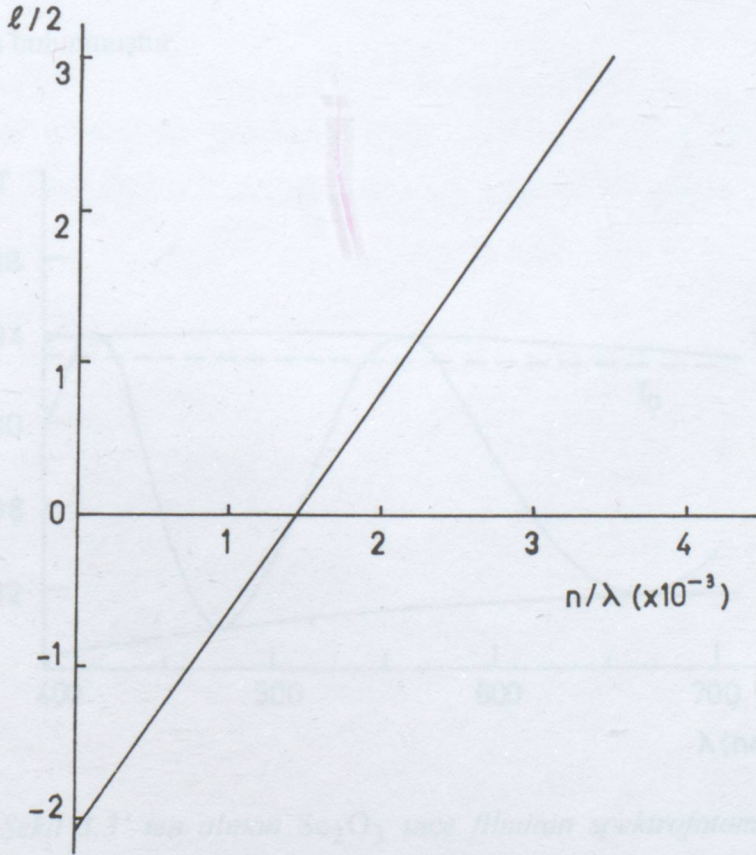
Tablo 3.4.  $d = 530$  nm kalınlığındaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için bulunan  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ve bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler.

$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$
1847	0.963	0.634	1.732	2.706	—	0.0172
1489	0.964	0.634	1.732	2.708	724	0.0140
1256	0.964	0.634	1.732	2.708	745	0.0118
1092	0.953	0.626	1.732	2.719	748	0.0091
970	0.946	0.617	1.732	2.740	737	0.0075
869	0.885	0.587	1.732	2.753	651	0.0016
801	0.768	0.507	1.732	2.878	—	0.0082
					$d_{\text{ort}} = 721$	

Swanepoel yönteminin uygulanması için Tablo 3.4' ten alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.5 kullanılarak çizilen ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği Şekil 3.11' de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.5. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda(\text{nm})$	$n$	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda (\times 10^{-3})$
1847	2.706	0	0	1.47
1489	2.708	1	0.5	1.82
1256	2.708	2	1	2.16
1092	2.719	3	1.5	2.49
970	2.740	4	2	2.82
869	2.753	5	2.5	3.17
801	2.878	6	3	3.59



Şekil 3.11.  $d = 530 \text{ nm}$  kalınlığındaki  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği.

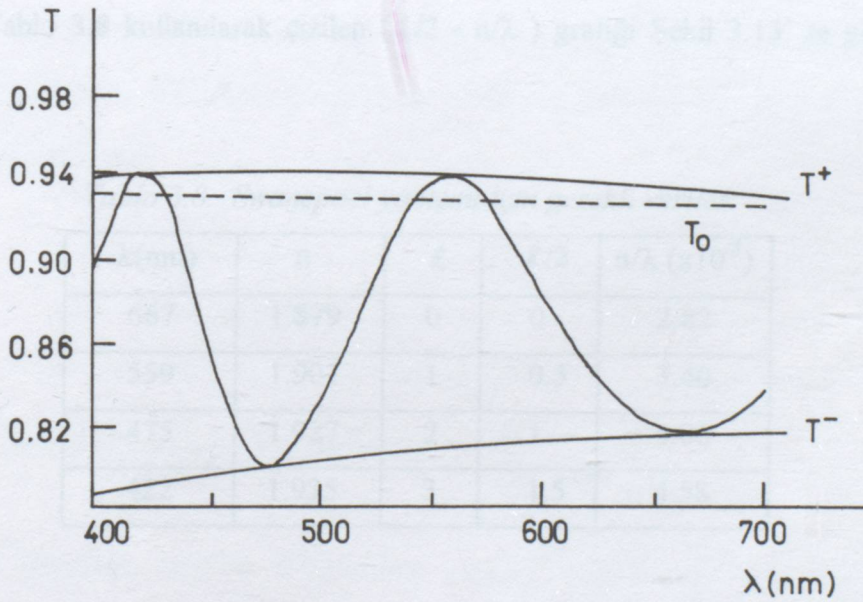
Şekil 3.11' deki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6.  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_k$ : kaynaktan alınan kalınlık,  $d_\varphi$ : grafikten okunan değerlerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$ : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_k$ (nm)	$d_\varphi$ (nm)	$d_s$ (nm)
530	721	714

## ii) $\text{Sc}_2\text{O}_3$ İnce Filminin Optik Parametreleri

Kuartz taşıyıcılar üzerine biriktirilmiş ince filminin optik parametreleri hesaplanırken, taşıyıcı kırılma indisi  $n_s$ , (2.22) bağıntısından ve Şekil 3.12' deki  $T_0$  değerlerinden bulunmuştur.



Şekil 3.12. Şekil 3.3' ten alınan  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrileri ve kuartz taşıyıcıya ait geçirgenlik eğrisi.



Şekil 3.12' deki  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde çizilen maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yararlanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.7' de verilmiştir. Bu tablodaki  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{\text{ort}}$  kullanılmıştır.

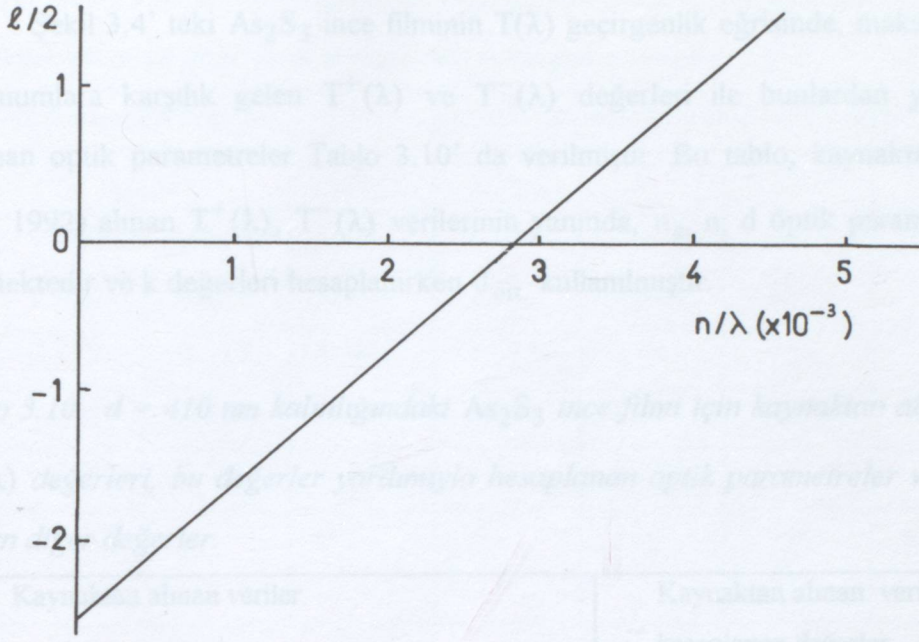
Tablo 3.7.  $d = 450 \text{ nm}$  kalınlığındaki  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmi için bulunan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri, bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler.

$\lambda(\text{nm})$	$T^+$	$T^-$	$T_0$	$n_s$	$n$	$d \text{ (nm)}$	$k \text{ (x10}^{-3}\text{)}$
667	0.939	0.816	0.927	1.483	1.879	—	1.539
559	0.944	0.808	0.930	1.470	1.901	403	1.486
475	0.945	0.798	0.931	1.466	1.927	422	1.242
422	0.945	0.794	0.932	1.462	1.935	—	1.033
						$d_{\text{ort}} = 413$	

Swanepoel yönteminin uygulanması için Tablo 3.7' den alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.8 kullanılarak çizilen  $(\ell/2 - n/\lambda)$  grafiği Şekil 3.13' te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.8. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda(\text{nm})$	$n$	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda \text{ (x10}^{-3}\text{)}$
667	1.879	0	0	2.82
559	1.901	1	0.5	3.40
475	1.927	2	1	4.06
422	1.935	3	1.5	4.58



Şekil 3.13.  $d = 450 \text{ nm}$  kalınlığındaki  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmi için ( $l/2 - n/\lambda$ ) grafiği.

Şekil 3.13' teki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.9' da verilmiştir.

Tablo 3.9.  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_k$ : kaynaktan alınan kalınlık,  $d_\varphi$ : grafikten okunan değerlerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$ : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_k$ (nm)	$d_\varphi$ (nm)	$d_s$ (nm)
450	413	405

### iii) $\text{As}_2\text{S}_3$ İnce Filmin Optik Parametreleri

Cam taşıyıcılar üzerine biriktirilmiş  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filmin optik parametreleri hesaplanırken, taşıyıcı kırılma indisi  $n_s$ , (2.22) eşitliğinden ve  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisinin alındığı kaynaktaki (Marquez et al, 1992)  $T_0$  değerlerinden bulunmuştur.

Şekil 3.4' teki  $As_2S_3$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde, maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yararlanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.10' da verilmiştir. Bu tablo, kaynaktan (Marquez et al, 1992) alınan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  verilerinin yanında,  $n_s$ ,  $n$ ,  $d$  optik parametrelerini de içermektedir ve  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{ort}$  kullanılmıştır.

Tablo 3.10.  $d = 410$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi için kaynaktan alınan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri, bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler ve kaynaktan alınan diğer değerler.

Kaynaktan alınan veriler.							Kaynaktan alınan verilerle hesaplanan değerler.			
$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_0$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
975	0.884	0.644	0.897	1.606	2.418	—	1.608	2.419	—	2.163
790	0.882	0.635	0.900	1.595	2.434	—	1.595	2.435	427	2.398
670	0.880	0.624	0.906	1.570	2.447	427	1.571	2.446	459	2.912
587	0.870	0.615	0.909	1.559	2.449	458	1.559	2.449	—	3.807
530	0.850	0.570	—	—	—	—	—	—	—	—
						$d_{ort}$ 443			$d_{ort}$ 443	

Tablo 3.11' de, aynı kaynaktan alınan eğrilerden okunan değerler ve bu değerlerle hesaplanan optik parametreler verilmiştir.

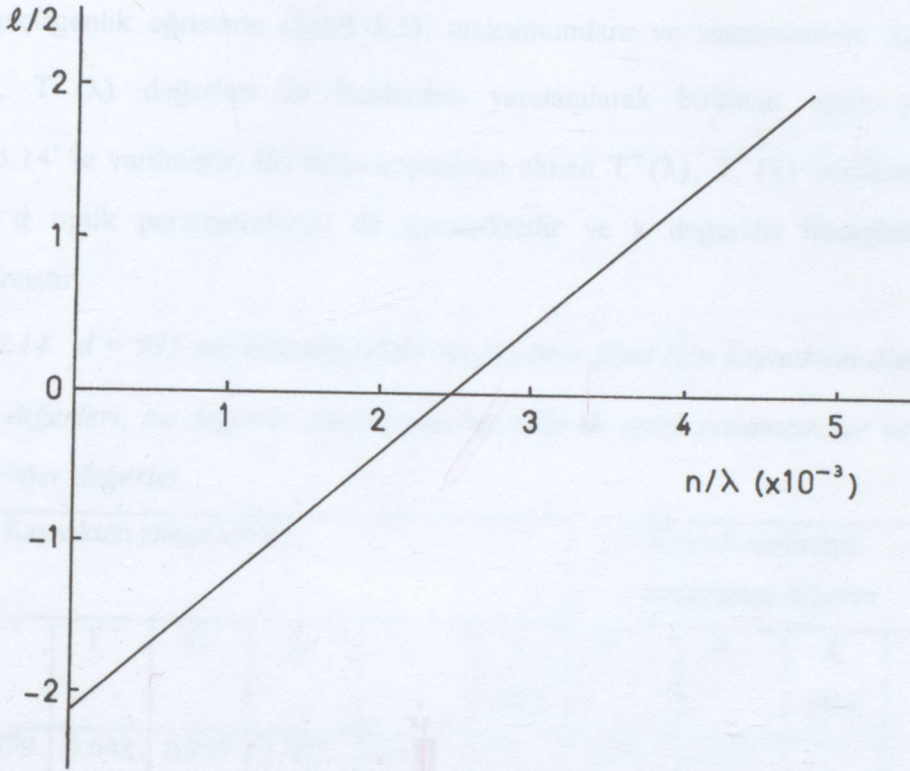
Tablo 3.11.  $d = 410$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi için kaynaktaki eğrilerden okunan değerler ve bu değerlerle hesaplanan optik parametreler.

Grafikten okunan değerler.				Hesaplanan optik parametreler.			
$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_o$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
973	0.886	0.644	0.897	1.608	2.423	—	1.866
788	0.882	0.637	0.901	1.591	2.424	435	2.599
672	0.879	0.625	0.905	1.575	2.445	444	2.999
585	0.871	0.614	0.908	1.563	2.458	414	3.706
534	0.849	0.568	0.909	1.559	2.588	—	5.399
						$d_{ort}$ 431	

Swanepoel yönteminin uygulanması için, Tablo 3.11' den alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.12 kullanılarak çizilen ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği Şekil 3.14' te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.12. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda$ (nm)	$n$	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda$ ( $\times 10^{-3}$ )
973	2.423	0	0	2.49
788	2.424	1	0.5	3.08
672	2.445	2	1	3.64
585	2.458	3	1.5	4.20
534	2.588	4	2	4.85



Şekil 3.14.  $d = 410$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi için  $(d/2 - n/\lambda)$  grafiği.

Şekil 3.14' deki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.13' te verilmiştir.

Tablo 3.13.  $As_2S_3$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_{k_1}$ : kaynaktan alınan ölçülmüş kalınlık,  $d_{k_2}$ : kaynaktan alınan hesaplanmış ortalama kalınlık,  $d_h$ : kaynaktan alınan verilerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_ç$ : grafikten okunan değerlerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$ : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_{k_1}$ (nm)	$d_{k_2}$ (nm)	$d_h$ (nm)	$d_ç$ (nm)	$d_s$ (nm)
410	443	443	431	420

Buraya kadar yapılan işlemler aynı ince filmin farklı kalınlığı ( $d = 915 \text{ nm}$ ) için tekrarlanmıştır.

Kaynaktan (Marquez et al, 1992) alınan başka bir kalınlıktaki  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde (Şekil 3.5), maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yaralanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.14' te verilmiştir. Bu tablo kaynaktan alınan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  verilerinin yanında,  $n_s$ ,  $n$ ,  $d$  optik parametrelerini de içermektedir ve  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{\text{ort}}$  kullanılmıştır.

*Tablo 3.14.  $d = 915 \text{ nm}$  kalınlığındaki  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filmi için kaynaktan alınan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri, bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler ve kaynaktan alınan diğer değerler.*

Kaynaktan alınan veriler.							Kaynak verileriyle hesaplanan değerler.			
$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_o$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
870	0.879	0.642	0.897	1.607	2.418	—	1.608	2.417	—	1.240
792	0.876	0.635	0.900	1.595	2.423	—	1.595	2.424	945	1.500
733	0.873	0.630	0.903	1.585	2.425	945	1.583	2.424	974	1.734
679	0.869	0.625	0.905	1.575	2.428	968	1.575	2.427	987	1.917
639	0.867	0.620	0.906	1.571	2.437	989	1.571	2.437	1060	1.953
603	0.863	0.615	0.908	1.563	2.439	1065	1.563	2.440	980	2.121
570	0.857	0.603	0.910	1.554	2.466	974	1.554	2.465	889	2.349
543	0.851	0.590	0.910	1.554	2.502	890	1.554	2.503	909	2.477
520	0.839	0.576	0.910	1.554	2.533	919	1.554	2.535	869	2.858
498	0.745	0.520	0.910	1.554	2.580	871	1.554	2.582	—	6.749
487	0.585	0.495	—	—	—	—	—	—	—	—
						$d_{\text{ort}}$ 953			$d_{\text{ort}}$ 952	

Tablo 3.15' te aynı kaynaktan alınan eğrilerden okunan değerler ve bu değerlerle hesaplanan optik parametreler verilmiştir.

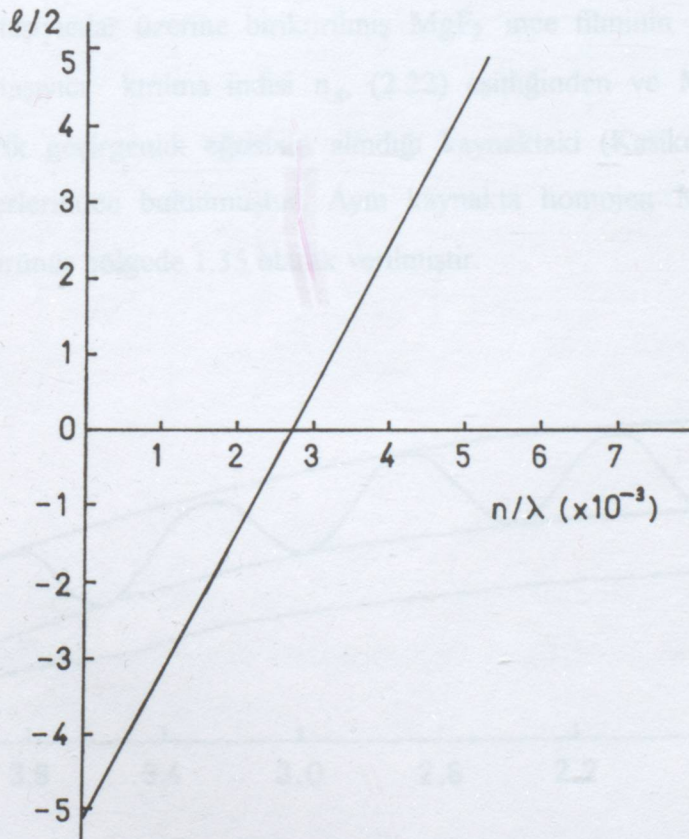
Tablo 3.15.  $d = 915$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi için kaynaktaki eğrilerden okunan değerler ve bu değerlerle hesaplanan optik parametreler.

Grafikten okunan değerler.			Hesaplanan optik parametreler.				
$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_o$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
871	0.881	0.640	0.903	1.591	2.402	—	1.541
793	0.880	0.640	0.904	1.579	2.398	962	1.484
732	0.879	0.638	0.905	1.575	2.399	986	1.495
678	0.879	0.636	0.908	1.563	2.394	992	1.540
636	0.876	0.629	0.910	1.554	2.405	1077	1.687
604	0.871	0.623	0.911	1.550	2.414	1043	1.872
570	0.864	0.614	0.912	1.546	2.429	801	2.127
543	0.863	0.593	0.911	1.550	2.509	777	1.987
519	0.841	0.573	0.911	1.550	2.546	1004	2.792
498	0.757	0.533	0.910	1.554	2.549	—	6.229
						$d_{ort.} = 955$	

Swanepoel yönteminin uygulaması için, Tablo 3.15' ten alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.16 kullanılarak çizilen ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği Şekil 3.15' te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.16. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda$ (nm)	n	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda$ ( $\times 10^{-3}$ )
871	2.402	0	0	2.76
793	2.398	1	0.5	3.02
732	2.399	2	1	3.28
678	2.394	3	1.5	3.53
636	2.405	4	2	3.78
604	2.414	5	2.5	4.00
570	2.429	6	3	4.26
543	2.509	7	3.5	4.62
519	2.546	8	4	4.91
498	2.549	9	4.5	5.12

Şekil 3.15.  $d = 915$  nm kalınlığındaki  $As_2S_3$  ince filmi için ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği.



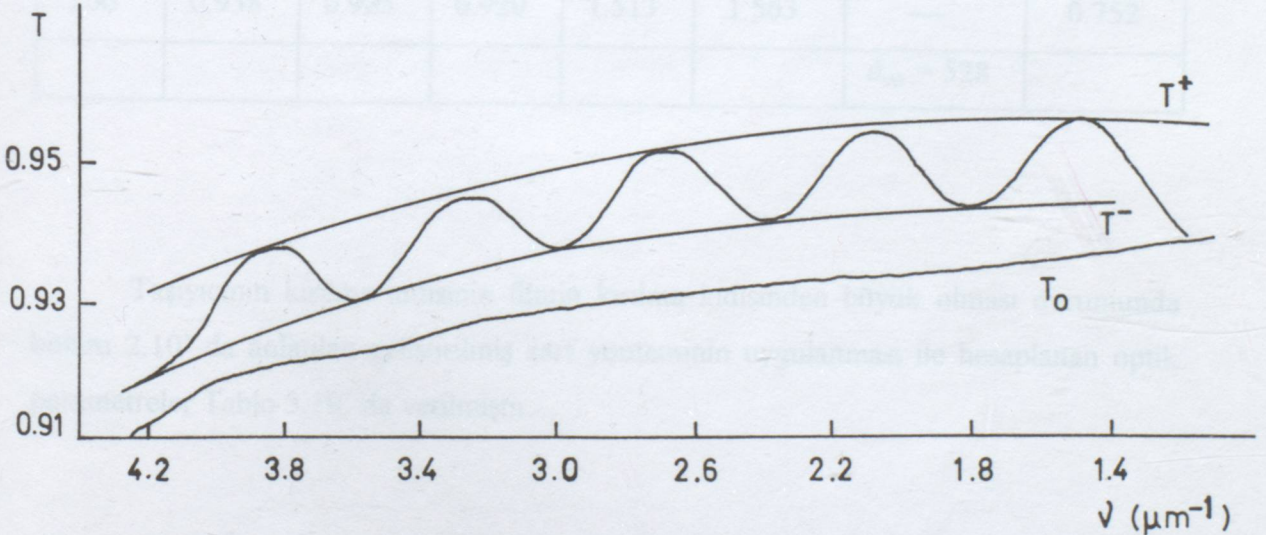
Şekil 3.15' teki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.17' de verilmiştir.

Tablo 3.17.  $As_2S_3$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_{k_1}$ : kaynaktan alınan ölçülmüş kalınlık,  $d_{k_2}$ : kaynaktan alınan hesaplanmış ortalama kalınlık,  $d_h$ : kaynaktan alınan verilerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_ç$ : grafikten okunan değerler ile hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$ : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_{k_1}$ (nm)	$d_{k_2}$ (nm)	$d_h$ (nm)	$d_ç$ (nm)	$d_s$ (nm)
915	953	952	955	940

#### iv) $MgF_2$ İnce Filminin Optik Parametreleri

Kuartz taşıyıcılar üzerine biriktirilmiş  $MgF_2$  ince filminin optik parametreleri hesaplanırken, taşıyıcı kırılma indisi  $n_s$ , (2.22) eşitliğinden ve  $MgF_2$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisinin alındığı kaynaktaki (Kasikov and Kuznetsov, 1994)  $T_0$  değerlerinden bulunmuştur. Aynı kaynaktan homojen  $MgF_2$  ince filminin kırılma indisi görünür bölgede 1.35 olarak verilmiştir.



Şekil 3.16. Şekil 3.6' dan alınan  $MgF_2$  ince filminin spektrofotometrik geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrileri ve kuartz taşıyıcıya ait geçirgenlik eğrisi.

Şekil 3.16' daki  $MgF_2$  ince filminin  $T(\lambda)$  geçirgenlik eğrisinde çizilen maksimumlara ve minimumlara karşılık gelen  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri ile bunlardan yararlanılarak bulunan optik parametreler Tablo 3.18' de verilmiştir. Optik parametreler hesaplanırken (2.80) bağıntısı,  $k$  değerleri hesaplanırken  $d_{ort.}$  kullanılmıştır.

Tablo 3.18.  $d = 0.5 \mu m$  kalınlığındaki  $MgF_2$  ince filmi için  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri, bu değerler yardımıyla hesaplanan optik parametreler.

$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_o$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
672	0.957	0.945	0.937	1.440	1.488	—	2.124
556	0.957	0.944	0.934	1.453	1.504	540	2.019
479	0.956	0.943	0.934	1.453	1.504	548	1.663
417	0.954	0.942	0.932	1.462	1.509	515	1.456
369	0.952	0.940	0.930	1.471	1.517	526	1.290
333	0.949	0.937	0.929	1.475	1.522	543	1.063
304	0.946	0.934	0.927	1.483	1.530	513	0.919
279	0.942	0.930	0.923	1.500	1.547	511	0.849
260	0.938	0.925	0.920	1.513	1.563	—	0.752
						$d_{ort.} = 528$	

Taşıyıcının kırılma indisinin filmin kırılma indisinden büyük olması durumunda bölüm 2.10' da anlatılan geliştirilmiş zarf yönteminin uygulanması ile hesaplanan optik parametreler Tablo 3.19' da verilmiştir.

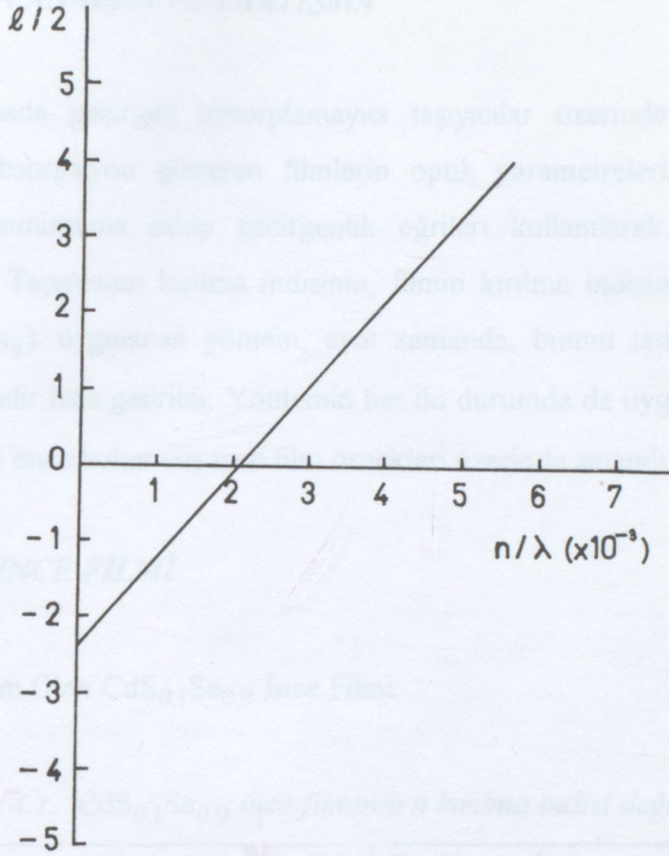
Tablo 3.19.  $d = 0.5 \mu\text{m}$  kalınlığındaki  $\text{MgF}_2$  ince filmi için bulunan  $T^+(\lambda)$ ,  $T^-(\lambda)$  değerleri ve geliştirilmiş zarf yöntemi ile hesaplanan optik parametreler.

$\lambda$ (nm)	$T^+$	$T^-$	$T_o$	$n_s$	$n$	$d$ (nm)	$k$ ( $\times 10^{-3}$ )
672	0.957	0.945	0.937	1.440	1.383	—	0.807
556	0.957	0.944	0.934	1.453	1.392	589	0.835
479	0.956	0.943	0.934	1.453	1.392	575	0.649
417	0.954	0.942	0.932	1.462	1.407	537	0.634
369	0.952	0.940	0.930	1.471	1.416	561	0.564
333	0.949	0.937	0.929	1.475	1.420	579	0.405
304	0.946	0.934	0.927	1.483	1.429	543	0.322
279	0.942	0.930	0.923	1.500	1.447	559	0.298
260	0.938	0.925	0.920	1.513	1.455	—	0.200
						$d_{\text{ort.}} = 563$	

Swanepoel yönteminin uygulanması için, Tablo 3.19' dan alınan değerlerle hazırlanan Tablo 3.20 kullanılarak çizilen ( $\ell/2 - n/\lambda$ ) grafiği Şekil 3.17' de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.20. Swanepoel yöntemi için gerekli veriler.

$\lambda$ (nm)	$n$	$\ell$	$\ell/2$	$n/\lambda$ ( $\times 10^{-3}$ )
672	1.383	0	0	2.06
556	1.392	1	0.5	2.50
479	1.392	2	1	2.91
417	1.407	3	1.5	3.37
369	1.416	4	2	3.84
333	1.420	5	2.5	4.26
304	1.429	6	3	4.70
279	1.447	7	3.5	5.19
260	1.455	8	4	5.60



Şekil 3.17.  $d = 0.5 \mu\text{m}$  kalınlığındaki  $\text{MgF}_2$  ince filmi için  $(d/2 - n/\lambda)$  grafiği.

Şekil 3.18' deki doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunan film kalınlığı ve diğer yöntemlerle bulunan kalınlık değerleri toplu olarak Tablo 3.21' de verilmiştir.

Tablo 3.21.  $\text{MgF}_2$  ince filminin  $d$  kalınlık değerleri.  $d_k$  : kaynaktan alınan kalınlık,  $d_{\zeta_1}$  : grafikten okunan değerlerle hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_{\zeta_2}$  : geliştirilmiş zarf yöntemi ile hesaplanan ortalama kalınlık,  $d_s$  : Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık.

$d_k$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{\zeta_1}$ (nm)	$d_{\zeta_2}$ (nm)	$d_s$ (nm)
0.5	528	563	546

#### 4. SONUÇLARIN ANALİZİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada geçirgen absorplamayı taşıyıcılar üzerinde oluşturulan ince, geçirgen, zayıf absorpsiyon gösteren filmlerin optik parametrelerinin, yeterli sayıda maksimuma ve minimuma sahip geçirgenlik eğrileri kullanılarak hesaplandığı zarf yöntemi anlatıldı. Taşıyıcının kırılma indisinin, filmin kırılma indisinden küçük olduğu durumlarda ( $n > n_s$ ) uygulanan yöntem, aynı zamanda, bunun tam tersi durumlarda ( $n < n_s$ ) da kullanılır hale getirildi. Yöntemin her iki durumda da uygulanabilirliği, optik parametreleri daha önce bulunmuş ince film örnekleri üzerinde sınıandı.

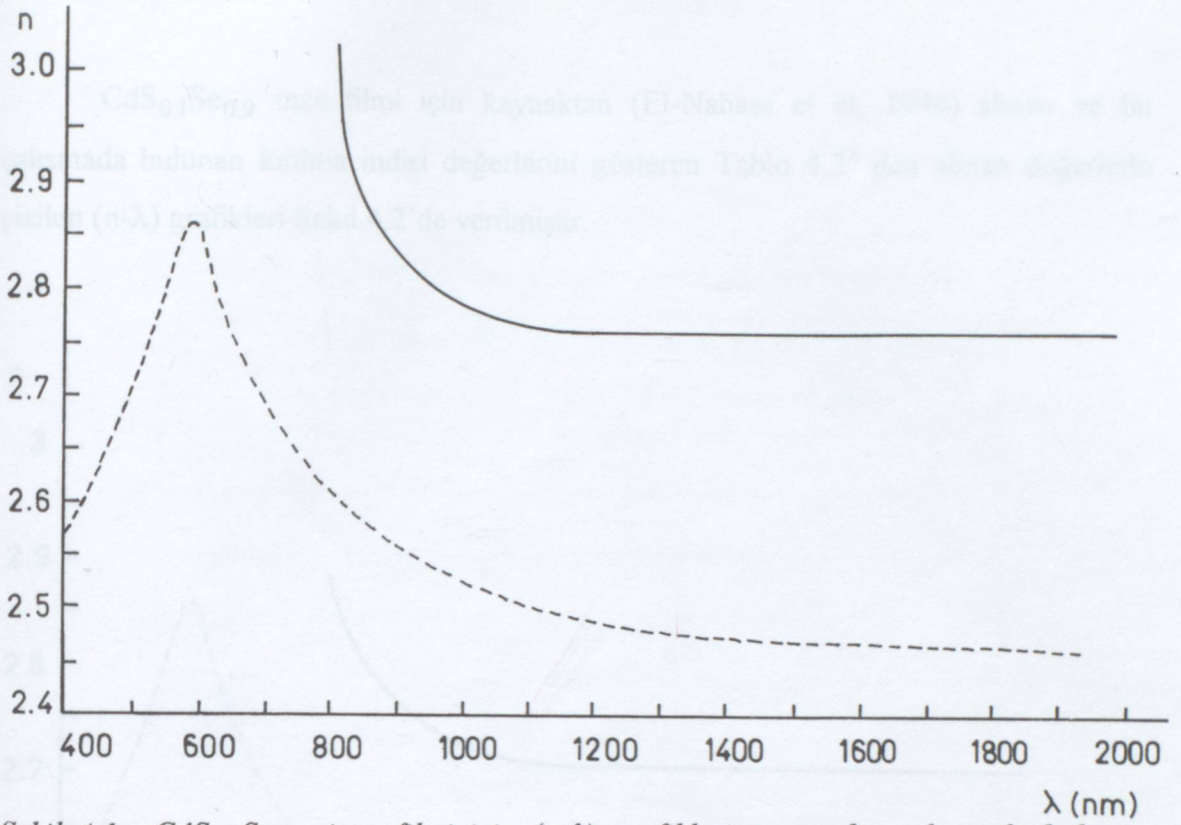
##### 4.1. CdS<sub>0,1</sub>Se<sub>0,9</sub> İNCE FİLMİ

###### i) Kalınlığı 400 nm Olan CdS<sub>0,1</sub>Se<sub>0,9</sub> İnce Filmi

Tablo 4.1. CdS<sub>0,1</sub>Se<sub>0,9</sub> ince filminin  $n$  kırılma indisi değerleri.

	Kaynaktaki ( $n - \lambda$ ) eğrisinden okunan.	Grafikten okunan değerlerle hesaplanan.
$\lambda$ (nm)	$n_k$	$n_\varphi$
1977	2.457	2.759
1542	2.468	2.758
1243	2.480	2.758
1040	2.515	2.761
904	2.554	2.762
806	2.605	3.028

CdS<sub>0,1</sub>Se<sub>0,9</sub> ince filmi için kaynaktan alınan (El-Nahass et al, 1990) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.1' den alınan değerlerle çizilen ( $n-\lambda$ ) grafikleri Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1.  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  ince filmi için  $(n-\lambda)$  grafikleri ( — : bu çalışmada bulunan değerlerle çizilen, ---: kaynaktan alınan).

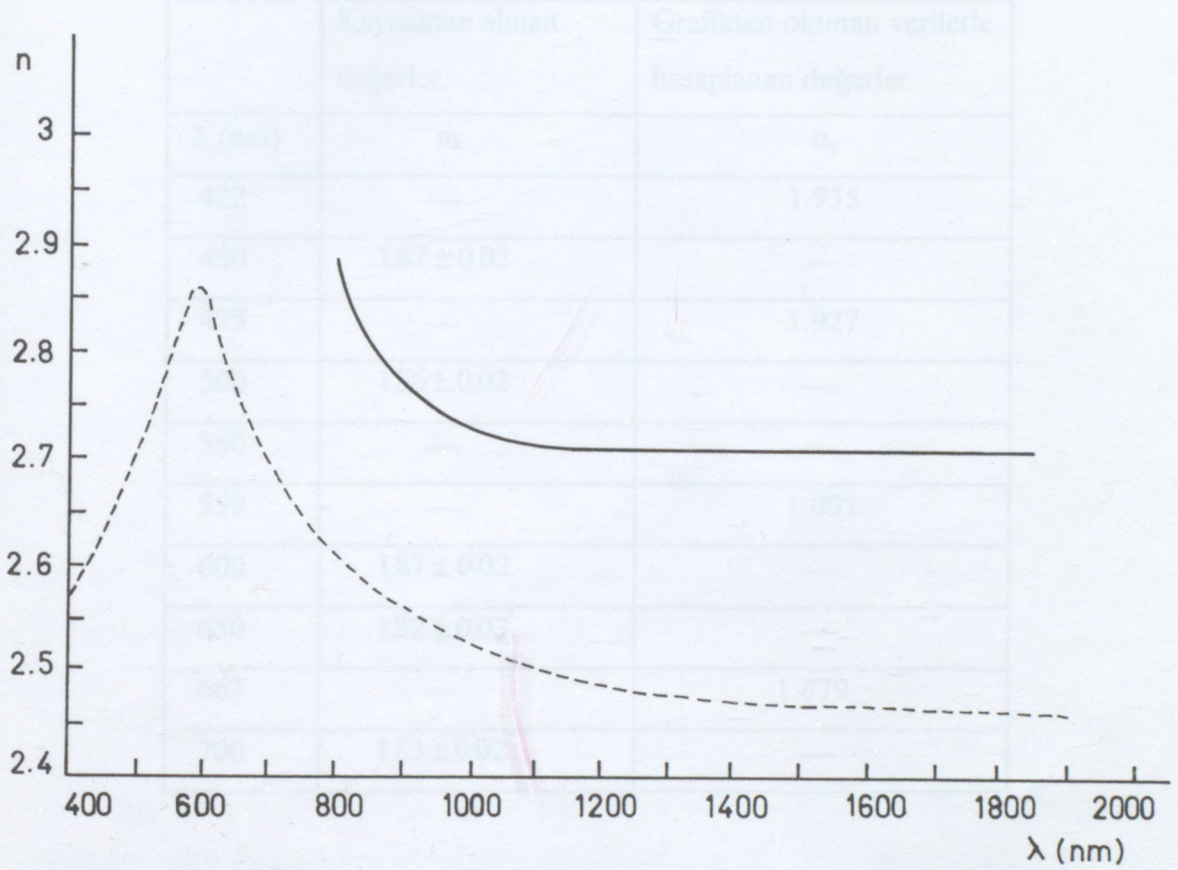
ii) Kalınlığı 530 nm Olan  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  İnce Filmi

Tablo 4.2.  $CdS_{0.1}Se_{0.9}$  ince filminin n kırılma indisi değerleri.

$\lambda$ (nm)	Kaynaktaki $(n - \lambda)$ eğrisinden okunan. $n_k$	Grafikten okunan değerlerle hesaplanan. $n_c$
1847	2.461	2.706
1489	2.470	2.708
1256	2.480	2.708
1092	2.504	2.719
970	2.533	2.740
869	2.569	2.753
801	2.605	2.878

4.2.  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için kaynaktan (El-Nahass et al, 1990) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.2' den alınan değerlerle çizilen ( $n-\lambda$ ) grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2.  $\text{Se}_2\text{O}_3$  ince filminin kırılma indisi değerleri.



Şekil 4.2.  $\text{CdS}_{0.1}\text{Se}_{0.9}$  ince filmi için ( $n-\lambda$ ) grafikleri ( — : bu çalışmada bulunan değerlerle çizilen, --- : kaynaktan alınan).

Kaynakta filmin kırılma indisinin kalınlığa bağlı olmadığı ileri sürülmektedir. Sunulan yöntemle bulunan değerler ise filmin optik parametrelerinin kalınlığa bağlı olduğunu göstermektedir. Ancak kaynaktan alınan grafikten yararlanılarak bulunan  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerlerindeki okuma hataları filmin kırılma indisinin hesaplanmasında da hatalara neden olmaktadır. Bu durum, ileride  $\text{As}_2\text{S}_3$  ince filmi için daha kapsamlı açıklanacaktır. Tablo 3.3 ve Tablo 3.6' dan görüleceği gibi filmin kalınlığında da aynı sebeplerden dolayı farklılık ortaya çıkmıştır.

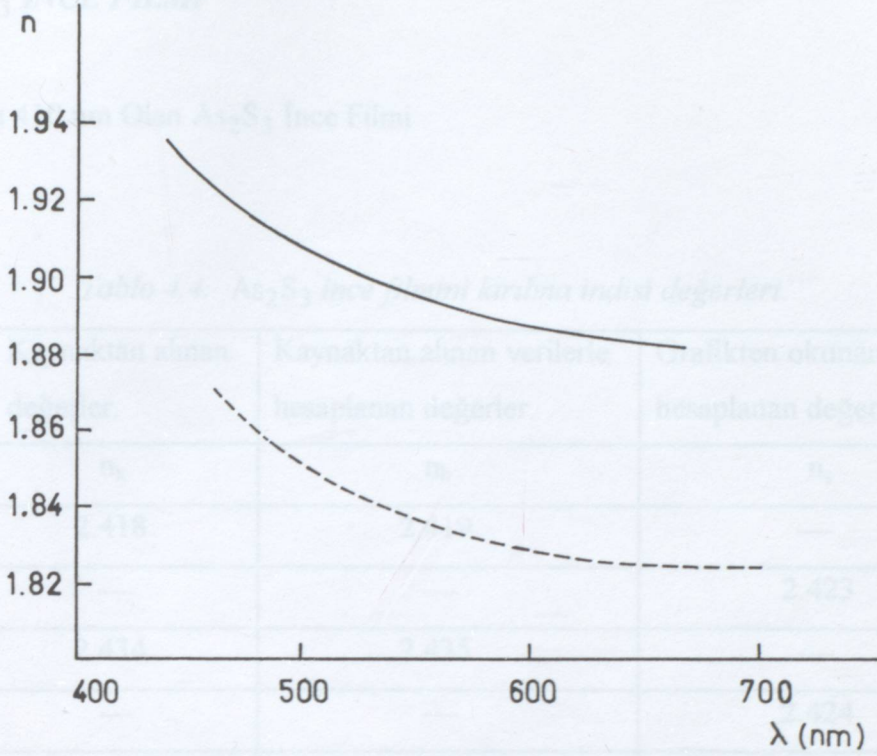
#### 4.2. $\text{Sc}_2\text{O}_3$ İNCE FİLMİ

Tablo 4.3.  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filminin kırılma indisi değerleri.

	Kaynaktan alınan değerler.	Grafikten okunan verilerle hesaplanan değerler.
$\lambda$ (nm)	$n_k$	$n_f$
422	—	1.935
450	$1.87 \pm 0.02$	—
475	—	1.927
500	$1.86 \pm 0.02$	—
550	—	—
559	—	1.901
600	$1.87 \pm 0.02$	—
650	$1.82 \pm 0.03$	—
667	—	1.879
700	$1.83 \pm 0.02$	—

$\text{Sc}_2\text{O}_3$  ince filmi için kaynaktan (Arndt et al, 1984) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.3' ten alınan değerlerle çizilen ( $n-\lambda$ ) grafikleri Şekil 4.3' te verilmiştir.





Şekil 4.3.  $Sc_2O_3$  ince filmi için  $(n-\lambda)$  grafikleri (— : bu çalışmada bulunan değerlerle çizilen, --- : kaynaktan alınan değerlerle çizilen).

Tablo 4.3' teki değerlerle çizilen Şekil 4.3' teki grafiklerden görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan değerler kaynaktan alınan değerlerden biraz daha büyük çıkmıştır.  $T^+(\lambda)$  ve  $T^-(\lambda)$  değerlerindeki okuma hatalarından kaynaklanan bu durum, filmin kırılma indisini hesaplanmasında da hatalara neden olmaktadır. Tablo 3.9' dan görüleceği gibi, ölçülmüş film kalınlığı değerine (Arndt et al, 1984) Swanepoel yöntemi, bu çalışmada sunulan yöntemle göre daha iyi sonuç vermektedir.

### 4.3. $As_2S_3$ İNCE FİLMİ

#### i) Kalınlığı 410 nm Olan $As_2S_3$ İnce Film

Tablo 4.4.  $As_2S_3$  ince filmini kırılma indisi değerleri.

	Kaynaktan alınan değerler.	Kaynaktan alınan verilerle hesaplanan değerler.	Grafikten okunan verilerle hesaplanan değerler.
$\lambda$ (nm)	$n_k$	$n_h$	$n_c$
975	2.418	2.419	—
973	—	—	2.423
790	2.434	2.435	—
788	—	—	2.424
672	—	—	2.445
670	2.447	2.446	—
587	2.449	2.449	—
585	—	—	2.458
534	—	—	2.588

$As_2S_3$  ince filmi için kaynaktan (Marquez et al, 1992) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.4' ten alınan değerlerle çizilen ( $n-\lambda$ ) grafikleri Şekil 4.4' te gösterilmiştir.

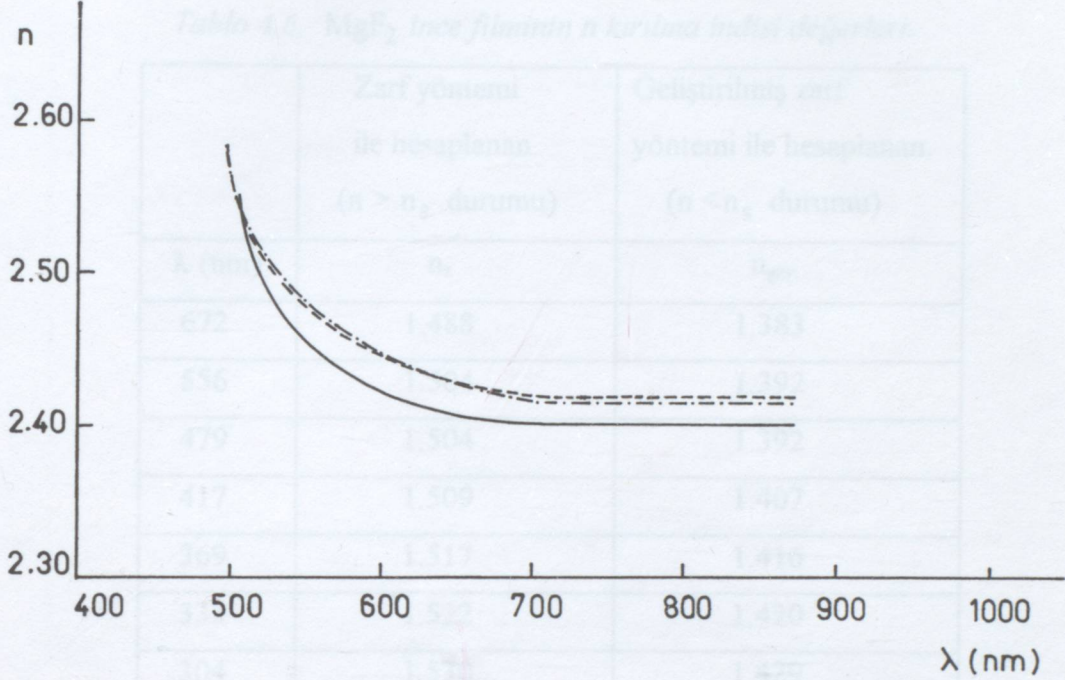
*As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ince filmi için kaynaktan (Márquez et al, 1992) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.5' ten alınan değerlerle çizilen (n-λ)*

**ii) Kalınlığı 915 nm Olan As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> İnce Filmi**

*Tablo 4.5. As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ince filminin kırılma indisi değerleri.*

	Kaynaktan alınan değerler.	Kaynaktan alınan verilerle hesaplanan değerler.	Grafikten okunan verilerle hesaplanan değerler.
$\lambda$ (nm)	$n_k$	$n_h$	$n_c$
871	—	—	2.402
870	2.418	2.417	—
793	—	—	2.398
792	2.423	2.424	—
733	2.425	2.424	—
732	—	—	2.399
679	2.428	2.427	—
678	—	—	2.394
639	2.437	2.437	—
636	—	—	2.405
604	—	—	2.414
603	2.439	2.440	—
570	2.466	2.465	2.429
543	2.502	2.503	2.509
520	2.533	2.535	—
519	—	—	2.546
498	2.580	2.582	2.549

$As_2S_3$  ince filmi için kaynaktan (Marquez et al,1992) alınan ve bu çalışmada bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.5' ten alınan değerlerle çizilen ( $n-\lambda$ ) grafikleri Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



Şekil 4.5.  $As_2S_3$  ince filmi için ( $n-\lambda$ ) grafikleri (— : bu çalışmada bulunan değerlerle çizilen, --- : kaynaktan alınan, - - - : kaynaktan alınan verilerle hesaplanan değerlerle çizilen).

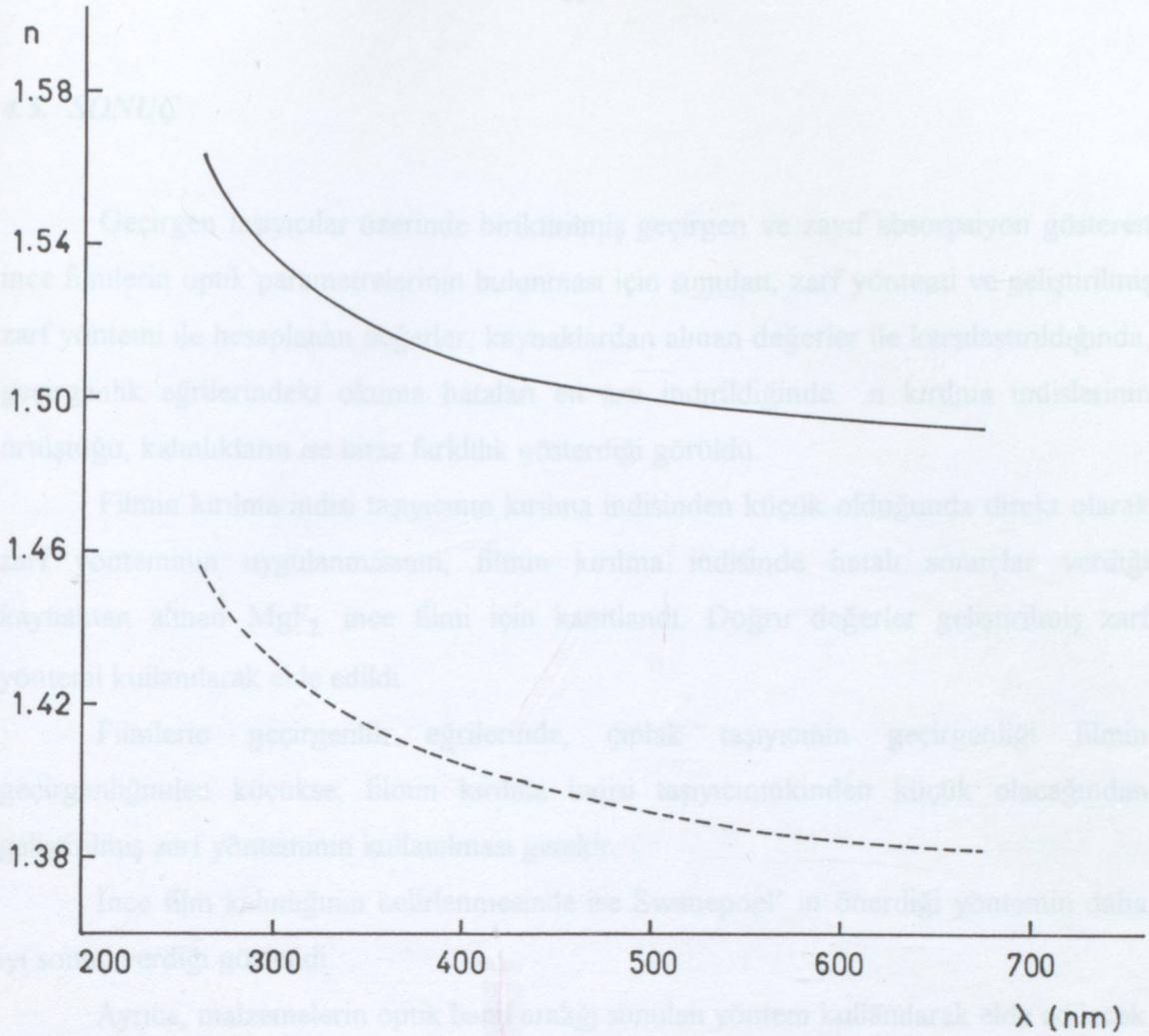
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' ten, bulunan değerler ile kaynaktan alınan değerlerin örtüştüğü görülmektedir. Tablo 3.13 ve Tablo 3.17' den görüleceği gibi filmin ölçülmüş kalınlığına en iyi uyum sağlayan Swanepoel yöntemi ile hesaplanan kalınlık değeridir. Kaynaktaki ve bu çalışmadaki hesaplanan değerler ise kendi arasında uyum göstermektedir.

#### 4.4. MgF<sub>2</sub> İNCE FİLMİ

Tablo 4.6. MgF<sub>2</sub> ince filminin n kırılma indisi değerleri.

	Zarf yöntemi ile hesaplanan. ( $n > n_s$ durumu)	Geliştirilmiş zarf yöntemi ile hesaplanan. ( $n < n_s$ durumu)
$\lambda$ (nm)	$n_z$	$n_{gzy}$
672	1.488	1.383
556	1.504	1.392
479	1.504	1.392
417	1.509	1.407
369	1.517	1.416
333	1.522	1.420
304	1.530	1.429
279	1.547	1.447
260	1.563	1.455

MgF<sub>2</sub> ince filmi için zarf yöntemi ve geliştirilmiş zarf yöntemi ile bulunan kırılma indisi değerlerini gösteren Tablo 4.6' dan alınan değerlerle çizilen ( $n - \lambda$ ) grafikleri Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.6.  $MgF_2$  ince filmi için  $(n - \lambda)$  grafikleri ( — : zarf yöntemiyle bulunan değerlerle çizilen, --- : geliştirilmiş zarf yöntemiyle bulunan değerlerle çizilen).

Daha önceki çalışmalardan  $MgF_2$  ince filmlerin kırılma indislerinin görünür bölgede 1.3 - 1.4 olduğu bilinmektedir (Kasikov and Kuznetsov, 1994; Chopra, 1969). Zarf yönteminin direkt olarak uygulanmasında filmin kırılma indisi, taşıyıcının kırılma indisinden büyük çıkmaktadır. Böyle durumlarda geliştirilmiş zarf yönteminin kullanılması doğru sonuçlar verecektir. Taşıyıcının geçirgenliği filmin geçirgenliğinden küçük olduğu durumlarda filmin kırılma indisi taşıyıcının kırılma indisinden küçüktür. Bu durumlarda geliştirilmiş zarf yöntemini kullanmak gerekir.

#### 4.5. SONUÇ

Geçirgen taşıyıcılar üzerinde biriktirilmiş geçirgen ve zayıf absorpsiyon gösteren ince filmlerin optik parametrelerinin bulunması için sunulan, zarf yöntemi ve geliştirilmiş zarf yöntemi ile hesaplanan değerler, kaynaklardan alınan değerler ile karşılaştırıldığında, geçirgenlik eğrilerindeki okuma hataları en aza indirildiğinde  $n$  kırılma indislerinin örtüştüğü, kalınlıkların ise biraz farklılık gösterdiği görüldü.

Filmin kırılma indisi taşıyıcının kırılma indisinden küçük olduğunda direkt olarak zarf yönteminin uygulanmasının, filmin kırılma indisinde hatalı sonuçlar verdiği kaynaktan alınan  $MgF_2$  ince filmi için kanıtlandı. Doğru değerler geliştirilmiş zarf yöntemi kullanılarak elde edildi.

Filmlerin geçirgenlik eğrilerinde, çıplak taşıyıcının geçirgenliği filmin geçirgenliğinden küçükse, filmin kırılma indisi taşıyıcınınkinden küçük olacağından geliştirilmiş zarf yönteminin kullanılması gerekir.

İnce film kalınlığının belirlenmesinde ise Swanepoel' in önerdiği yöntemin daha iyi sonuç verdiği gözlemlendi.

Ayrıca, malzemelerin optik band aralığı sunulan yöntem kullanılarak elde edilecek olan  $k$  söndürme katsayısı yardımıyla hesaplanabilir.

**KAYNAKLAR**

Abéles F., 1963, Progress in Optics, North Holland Publ., Amsterdam, Vol. II, p.p. 249-288

Abélé F. and Theye M.L., 1966, Sufr. Sci., Vol. 5, p. 325

Aktulga E., 1983, "İnce filmlerin optik parametrelerinin spektrofotometrik geçirgenlik eğrilerinden belirlenmesi yöntemi", Doktora Tezi, İ. Ü. Fen Fak. Fizik Böl. Genel Fiz. Anabilim Dalı

Arndt D.P., Azzam R.M.A., Bennett J.M., Borgogno J.P., Carniglia C.K., Case W.E., Dobrowolski J.A., Gibson U.J., Tuttle Hart T., Ho F.C., Hodgkin V.A., Klapp W.P., Macleod H.A., Pelletier E., Purvis M.K., Quinn D.M., Strome D.H., Swenson R., Temple P.A. and Thonn T.F., 1984, "Multiple determination of the optical constants of thin coating materials", Appl. Opt., Vol. 23, No. 20, p.p. 3571-3596

Bennett P.H. and Booty M.J., 1966, "Computational method for determining  $n$  and  $k$  for a thin film from the measured reflectance, transmittance and film thickness", Appl. Opt., Vol. 5, p. 41

Berning P.H., 1963, Physics of Thin Films, Acad. Press, New York, Vol. 1

Borgogno J.P., Lazarides B. and Pelletier E., 1982, "Automatic determination of the optical constants of inhomogeneous thin films", Appl. Opt., Vol. 21, p. 4020

Borgogno J.P. and Lazarides B., 1983, "An improved method for the determination of the extinction coefficient of thin film materials", Thin Solid Films, Vol. 102, p. 209

Dobrowolski J.A., Ho F.C. and Waldrof A., 1981, "Determination of optical constants of thin film coating materials based on inverse synthesis", Appl. Opt., Vol. 20, p. 3191



Bovard B., Van Milligan F.J., Messerly M.J., Saxe S.G. and Angus Macleod H., 1985, Appl. Opt., Vol. 24, No. 12, p.p. 1803-1807

Brinker C.J. and Scherer G.W., 1990, Sol - Gel Science, The Physics and Chemistry of Sol - Gel Processing, Academic Press, San Diego, CA, USA

Case W.E., 1983, a, "Algebraic method for extracting thin-film optical parameters from spectrophotometer measurements", Appl. Opt., Vol. 22, p. 1832

Case W.E. and Purvis M.K., 1983, b, "Method for synthesis of optical thin-film coatings on small computers", J. Opt. Soc. Am., Vol. 73, p. 1879A

Chindaudom P. and Vedam K., 1994, "Characterization of inhomogeneous transparent thin films on transparent substrates by spectroscopic ellipsometry: refractive indices  $n(\lambda)$  of some fluoride coating materials", Appl. Opt., Vol. 33, No. 13, p.p. 2664-2671

Chopra K.L., 1969, Thin Film Phenomena, McGraw-Hill, New York

Chopra K.L. and Kaur I.J., 1983, a, Thin Film Device Appl., Plenum Press, New York

Chopra K.L. and Das S.R., 1983, b, Thin Film Solar Cells, Plenum Press, New York

Chopra K.L. and Malhotra L.K. (editors), 1984, Thin Film Technology and Applications, McGraw-Hill, New Delhi, India

Decker D.L., 1975, In Laser Induced Damage In Optical Materials, Glass A.J. and Guenther A.H., Eds., NBS Spec. Publ. 435, p.p. 230-235

Dobrowolski J.A., Ho F.C. and Waldrof A., 1983, "Determination of optical constants of thin film coating materials based on inverse synthesis", Appl. Opt., Vol. 22, p. 3191

El-Nahass M.M., Jamjourn O., Al-Howaity S.M., Abdel-Hady K., 1990, "Optical properties of vacuum-deposited  $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$  thin films", J. Mater. Sci. Lett., Vol. 9, p.p. 79-82

Heavans O.S., 1955, Optical Properties of Thin Solid Films, London

Hosokawa N., 1996, "Large area deposition : Sputtering-and PVCD- systems and techniques for LCD", Thin Solid Films, Vol. 281-282, p.p. 136-142

Gray D.E., 1972, American Institute of Physics Handbook, McGraw-Hill, New York, p.p. 6-28

Jenkins F.A. and White H.E., 1957, Fundamentals of Optics, McGraw-Hill, New York

Kasikov A. and Kuznetsov A.S., 1994, "Model of inhomogeneity for an evaporated  $\text{MgF}_2$  layer on quartz", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 27, p.p. 2470-2474

Kubinyi M., Benkő N., Grofcsik A., Jeremy Jones W., 1996, "Determination of the thickness and optical constants of thin films from transmission spectra", Thin Solid Films, Vol. 286, p.p. 164-169

Manifacier J.C., Gasiot J. and Fillard J.D., 1976, "A simple method for the determination of the optical constants  $n$ ,  $k$  and the thickness of a weakly absorbing thin film", J. Phys., Vol. E9, p. 1002

Manifacier J.C., 1982, Thin Solid Films, Vol. 90, p.p. 297-308

Marquez E., Ramirez-Malo J., Villares P., Jimenez-Garay R., Ewen P.J.S. and Owen A. E., 1992, "Calculation of the thickness and optical constants of amorphous arsenic sulphide films from their transmission spectra", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 25, p.p. 535-541

Nestell J.E., Jr. and Chisty R.W., 1972, "Derivation of optical constants of matels from thin-film measurements at oblique incidence", Appl. Opt., Vol. 11, p. 643

Scott G.D. et al, 1950, J. Appl. Phys., Vol. 21, p. 843

Stenzel O. and Petrich R., 1995, "Flexible construction of error functions and their minimization: application to the calculation of optical constants of absorbing or scattering thin-film materials from spectrophotometric data", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 28, p.p. 978-989

Swanepoel R., 1983, "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 16, p.p. 1214-1222

Swanepoel R., 1984, J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 17, p. 896

Ter Minassian-Saraga L. et al., 1996, Thin Solid Films, Vol.277, p.p. 7-78

Tolansky S., 1983, Multiple-Beam Interferometry of Surfaces and Films, Clarendon, Oxford

Valdes L.B., 1954, Prodecing I-R-E, p. 420

Valeev A.S., 1963, "Determination of the optical constants of weakly absorbing thin films", Opt. Spectrosc. USSR, Vol. 15, p. 269

Valeev A.S., 1965, "Constants of thin weakly absorbing lasers", Opt. Spectrosc. USSR, Vol. 18, p. 498

Vasicék A., 1960, Optics of Thin Films, North Holland Publ., Amsterdam

Ying X., Feldman Y. and Farabaugh E.N., 1990, J. Appl. Phys., Vol. 67, No. 4, p.p. 2056-2059

7th International Conference on Thin Films, New Delhi, India, December 7-11, 1987

## **ÖZGEÇMİŞ**

1971 yılında Almanya Nürtingen' de doğdu. İlk öğrenimini Oruçgazi İlkokulu, Neslişah İlkokulu, Abdi İpekçi İlkokulu' nda, orta öğrenimini Haznedar Ortaokulu' nda tamamladı. İstanbul Pertevniyal Lisesi' ndeki lise öğrenimini 1988 yılında bitirdi. 1990 yılında girdiği Fizik Bölümü' nü 1994 yılında bitirdikten sonra, aynı yıl, aynı bölümde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

