

T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

I_n -Al FİLM SİSTEMİNİN SPEKTROFOTOMETRİK VE ELİPSOMETRİK
YÖNTEMLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ ÖZKAN

SİVAS

TEMMUZ 1986



Aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından
bu çalışma Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

BAŞKAN

Doç.Dr.Hüsnü ÖZKAN



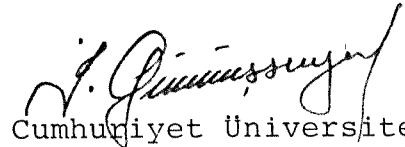
ÜYE

Doç.Dr.Naif TÜRETKEN



ÜYE

Yrd.Doç.Dr.Nevzat KAVCAR



Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bil.Enstitüsü Müdürü
Doç.Dr.İbrahim GÜMÜŞSUYU

<u>İÇİNDEKİLER</u>	I
ÖZET	II
SUMMARY	III
TEŞEKKÜR	IV
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. TEORİ	4
2.1. İnce Filmler, Elipsometrik Parametreler ve Elipsometrik Ölçüm Yöntemleri	4
2.2. Işığın Bir Sınır Yüzeyinde Yansıma ve Kırılması	13
2.3. İnce Filmlerin Optik Sabitleri	17
2.4. Yansıtma Katsayısı	18
2.5. Işığın, Metal Üzerinde İnce Bir Dielektrik Film Bulunması Halinde Yansıması	20
2.6. Işığın, Metal Üzerindeki İnce Bir Metal Filmden Yansıma ve Kırılması	21
BÖLÜM 3. DENEY	23
3.1. Örnek Filmlerin Hazırlanması	23
3.2. Kullanılan Ölçü Aletleri	24
3.3. Deneysel Veriler ve Tartışma	24
3.4. Sonuç	37
KAYNAKLAR	38

In-Al FİLM SİSTEMİNİN SPEKTROFOTOMETRİK VE ELİPSOMETRİK YÖNTEMLERİ İNCELENMESİ

ÖZET

% 99.99 saflıktaki metalin yaklaşık 10^{-5} torr luk vakumda ısısal buharlaştırılması yöntemi ile optikçe düzlem cam taşıyıcılar üstünde yoğunlaştırılan 2000 \AA kalınlığındaki alüminyum film örnekleri ile yine aynı yöntemle bunların üstüne değişik kalınlıklarda indium filmler kaplanarak iki katlı film sistemleri hazırlandı. Spektrumun görünür bölgesinde yer alan beş dalga boyu ve 60° geliş açısı altında ψ ve Δ elipsometrik parametreleri, örneklerin yapımından hemen sonra ölçüldü. Spektrofotometre ile $3000-9000 \text{ \AA}$ aralığında geçirgenlik ölçümleri yapıldı. Denel elipsometrik parametreler kullanılarak alüminyum taşıyıcı ile alüminyum-indium iki katlı filmlere eşdeğer tek katlı sistemlerin n, k optik sabitleri ile R yansıtma katsayıları hesaplandı. Üstteki film kalınlığına bağlı olarak optik özelliklerde ortaya çıkan değişimler incelendi. Sonuçlar çizelge ve grafiklerle verildi.

INVESTIGATION OF In-Al FILM SYSTEMS BY SPECTROPHOTOMETRIC
AND ELLIPSOMETRIC METHODS

SUMMARY

Aluminum film samples with a thickness 2000 \AA have been condensed on optical plane glass substrates by the method of thermal evaporation of the pure metal 99,99 per cent in a vacuum of the order of 10^{-5} torrs and then indium films of different thicknesses have been covered on the aluminum layers by the same method, thus two layered film systems have been prepared. Immediately after the preparation of the samples, ellipsometric parameters, ψ and Δ , have been measured under the angle of incidence $\phi=60^\circ$ for five wavelengths in the visible spectrum region. Transmission measurements have been made in the range $3000-9000 \text{ \AA}$ with a spectrophotometer. By using the experimental ellipsometric parameters, the optical constants n, k and the reflection coefficients R of the aluminum substrate and the single layer systems, which are equivalent to the two layered films of aluminum-indium, have been calculated. The changes in the optical properties have been studied with respect to the upper film thickness. The results have been presented in the tables and graphics.

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu öneren, deneyimlerini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam, C. Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Başkanı Yrd.Doç.Dr. Nevzat KAVCAR'a; deneylerin yapılması ve verilerin değerlendirilmesi konusunda yardımlarını gördüğüm İ. Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümünden Sayın Doç.Dr. Bülent AKSOY'a ve laboratuvarlarında çalışma olanağı sağlayan Fizik Bölümüne; ilgi ve desteklerini eksik etmeyen mensubu bulunduğum Fizik Bölümü çalışanlarına ve özellikle bilgisayar verilerini elde eden Sayın Arş.Gör.Yüksel ERGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali ÖZKAN

3 TEMMUZ 1986

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnce filmlerin kalınlıklarının tayini ve fiziksel özelliklerinin kalınlığa bağlı olarak değişmesi birçok çalışmaya konu olmuştur. Katıhal fiziğinin bir dalı olan ince tabaka fiziği üzerindeki çalışmalar, kullanım alanının genişliği nedeniyle gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, düzlem-paralel yüzlü kalın bir metal taşıyıcı üzerinde oluşturulan farklı metalden ince filmler, polarimetrik yöntemle incelenmiştir. Sistem yansıyan ışıkta, belirli bir geliş açısı altında üst tabakanın kalınlığına bağlı olarak ψ ve Δ elipsometrik parametrelerinin ölçülmesi biçiminde ele alınmış ve bu parametreler yardımı ile iki tabakalı filmin bazı optik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Böyle bir tabaka için ϕ geliş açısı altında ψ ve Δ parametrelerinin ölçülmesiyle n-ik şeklinde bir indis hesaplanabilir. Bu büyüklüğün, üst tabakanın bulunduğu $d=0$ halinde çıplak alt metal yüzeyinin karmaşık indisinden başlayarak ve artan d kalınlığı ile değişimini sürdürerek üst metal indisine yaklaşması beklenir. (1). Ölçülen ψ ve Δ büyüklüklerine havada kendiliğinden oluşan oksit ve benzeri filmler, bunların zamanla kalınlaşması ve sistemde meydana gelen başka yapısal değişmelerin de etkisi olur.

İnce filmlerin optik özelliklerine ilişkin çok sayıda araştırma yapılmış olmakla birlikte, iki katlı metal filmler konusunda çalışma azdır. Yalnız çok katlı dielektrik filmlere ilişkin eşdeğer kırılma indisleri ölçülmüş ve bunun için de şiddet yöntemleri kullanılmıştır (2). İki katlı metal filmlerde fotometrik yöntemle denel (3), polarimetrik yöntemle Al-Au filmlerde (4), Au-Al filmlerde ve Ag-Cu filmlerde denel çalışmalar yapılmıştır (5,6).

İlk olarak P.Drude ile (7,8) başlayan ince film optiği günümüze kadar büyük gelişmeler göstermiş, ince filmlerin optik özelliklerinin araştırılmasında, yani bunların n ve k , kırılma ve sönüm indisleri ile d kalınlıklarının ölçülmesinde yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak üç grupta toplanabilir.

1.FOTOMETRİK-SPEKTROFOTOMETRİK ÖLÇMELER

Burada dik veya eğik geliş halinde ince filme düşen tekrenk ışığın, yansıyan ve geçen şiddetleri ölçülmektedir. Birinci yüzeyden yansıyan ışık için R , ikinci yüzeyden yansıyan ışık için R' yansıtma katsayıları ve geçen ışık için T geçirgenlik katsayısı ölçülerek R, R', T ile n, k, d arasındaki ilişkilerden yararlanılabilir. Soğurucu filmlerde ($k \neq 0$) bağıntılar daha karmaşıktır. Kuramsal ve deneysel alanda bu yöntemle yapılmış çok fazla araştırma vardır (9-12). Kramers-Kronig integral tekniği de bu yöntem içeriğindedir (13,14).

2.POLARİMETRİK ÖLÇMELER

İnce filme belirli bir geliş açısı altında düşen tekrenk ışık halinde, yansıyan ve kırılan ışıkta geliş düzlemine dik ve paralel bileşenlerin genlikleri oranı ile bunların faz farkları ölçülmektedir; ya da yansıyan eliptik titreşimin yönelim ve yarıksen oranları belirlenerek sonuçlar değerlendirilmektedir.

Birinci gruba giren yansıtma ve geçirgenlik ölçmeleri, basit olmaları nedeniyle çok kullanılmakla birlikte, çok ince filmler üzerindeki duyarlıklı ölçmelerde polarimetrik (elipsometrik) yöntemler daha yetkindirler. Bu yöntemle, bir taşıyıcı üzerinde bir filmin oluşumu halinde $0,07\text{\AA}$ lük bir kalınlığa karşılık gelen $0,03$ atom katı bir tabakanın tayini yapılabilmektedir (15,16). Polarimetrik yöntem hakkında gerekli bilgi (17-22) den elde edilebilir.

3.İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜMLER

Bu yöntemle çalışırken film üzerine belli bir dalgaboyunda ışık gönderilerek her iki yüzeyde yansıma ve kırılmadan doğan üç faz farkı ölçülmektedir⁽²³⁻²⁵⁾.

Yukarıdaki yöntemlerden başka, filmin ve desteğin özelliğine göre, faz farkı ile birlikte yansıma ve geçirgenliğin ölçümünü içeren bileşik yöntemler de kullanılır. Spektrofotometrik, polarimetrik ve interferometrik yöntemlere ilişkin toplu bilgi⁽²⁶⁻²⁹⁾ dan edinilebilir.

Bu çalışmamızda alt metal olarak alüminyum, üst metal olarak da indium seçilmiştir. Alüminyum yeterince kalındır. İndium filmler inceden kalına doğru sıralanmıştır. Filmler vakumda ısısız buharlaştırma ile elde edilmişlerdir.

Çalışmanın 2.Bölümünde elipsometrik parametreler tanımlanmakta, kullanılan deneysel teknik, optik sabitler, yansıtma katsayısı, bir sınır yüzeyinde ışığın yansıma ve kırılması, metal üstünde ince dielektrik ve metal film bulunması halinde yansıma olayı kısaca belirtilmektedir. 3.Bölüm deneysel çalışmaları, alınan ölçülerin sonuçlarını ve yorumunu içermektedir.

BÖLÜM 2. TEORİ

2.1. İNCE FİLMER, ELİPSOMETRİK PARAMETRELER VE ELİPSOMETRİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Parelel iki sınır yüzeyi arasında bulunan bir ortam, bir film oluşturur. d Kalınlığı elektromagnetik ışınının λ dalgaboyu ile karşılaştırılabilir büyüklükte olan filmlere genellikle ince film denir. Özel olarak $d < \lambda/10$ ise film ince film, $d < \lambda/100$ ise çok ince film olarak adlandırılır.

Yirminci yüzyılın ortalarından bu yana katı cisimlerin yapısı ve fiziksel özelliklerini inceleyen katıhal fiziği gerek teorik, gerek deneysel ve uygulama alanlarında büyük gelişmeler göstermiştir. Bugün katıhal fiziğinin bir kolu olarak ayrılan ince filmler de geniş uygulama alanları bulmaları nedeni ile yoğun çalışmalara konu olmuştur. İnce filmler en büyük uygulamayı fiziğin elektronik ve optik dalında bulmuştur⁽³⁰⁻³²⁾. Çok katlı filmler 1945 den beri çeşitli optik amaçla kullanılmaya başlandığından, özellikleri önemle araştırılmaya neden olmuştur. Uygulama alanlarına örnek olarak dar bantlı interferens filtreleri, geniş bantlı filtreler, Perot-Fabry interferometrelerinde yüksek ayırma gücü elde etmek için yüksek yansıtıcı dielektrik kaplamalarında, laser aynalarında, yansıtma yoluyla kaybı önlemede, koruyucu kaplamalarda, optik ve termal detektör olarak uzay cisimlerinin sıcaklığı hakkında bilgi edinmede, v.b. yerler gösterilebilir. İnce filmlerin yapımı, fiziksel özellikleri, teorisi, yansıma ve geçirgenliğin hesaplanması konusunda^(33,34) önerilebilir.

İnce filmlerin tüm fiziksel özellikleri, örneğin mekanik dayanıklılığı, elektrik iletkenliği, yansıtma gücü ve geçirgenliği gibi optik özellikleri filmin yapısına, optik sabitlerine bağlıdır. Bu optik sabitler elipsometri ile tayin edilebilirler. Ölçmeleri sağlıklı yapabilmek için özel bir geliş açısı seçilmelidir. Bu

açı metallere için incelenen özel maddenin asal geliş açısı veya yakını olmalıdır. Yarı iletkenlerde ise geliş açısı için kesin sınırlamalar vardır.

Elipsometre; yansıtıcı bir destek üzerindeki ince filmde yansıyan eliptik polarize bir ışığın analizi ile ince filmlerin optik sabitleri ve kalınlığının belirlenmesini sağlayan araçtır.

Yansıma polarimetresi veya polarimetrik spektroskopisi gibi adlarla da anılan elipsometri, eliptik polarize ışığın ölçüm ve analizi ile uğraşır. Elipsometrik ölçme yönteminin temeli, lineer polarize tekrenk ışığın belirli bir geliş açısı altında incelenecek yüzeye veya tabakaya düşmesi halinde, yansıyan ve geçen ışığın polarizasyon durumunun incelenmesidir.

Lineer polarize ışık bir dielektrik yüzeyde yansıyor ve kırılıyorsa, yansıyan ve kırılan ışık yine lineer polarizedir. Ancak yüzeyde çok ince de olsa, bir sınır tabakası varsa veya bir iletken tabakada yansıma ve kırılma sözkonusu ise yansıyan ve kırılan ışık eliptik polarizedir, yani yansıyan ve kırılan ışıkta ışık vektörünün (E elektrik vektörü) uç noktası bir elips çizer. Bu elipsin belirtilmesinde kullanılan elipsometrik parametreler elipsin azimutu (θ , yönelimi), yani yarı-büyük ekseninin geliş düzlemi ile yaptığı açı, yarı-küçük ekseninin yarı-büyük eksenine oranı (ϵ , eliptisite), veya ışık vektörünün geliş düzlemine paralel (p) ve dik (s) bileşenlerinin oranı $\tan \psi$ ve bu bileşenlerin fazlarının farkıdır (Δ). Burada θ ve ϵ lara Stokes parametreleri, ψ ve Δ lara Jones polarizasyon parametreleri adı verilir.

Geliş düzlemi; bir yüzeye gelen ışığın doğrultusuyla, gelme noktasındaki yüzey normalinin belirlediği düzlemdir. Işık vektörü biri geliş düzlemine paralel (p), diğeri geliş düzlemine dik (s) iki bileşene ayrılabilir. Işığın polarizasyonu bu iki bileşen arasındaki genlik ve faz bağıntıları ile belirtilir. İki bileşen aynı fazda ise delga lineer polarizedir. Aralarında bir faz far-

kı varsa, bu bir eliptik polarizasyona yol açar. Genelde yansıma p ve s bileşenlerinin bağıl fazlarında ve genliklerinin oranlarında bir değişmeye neden olur. Yansımanın etkisi, bağıl faz değişimi olarak tanımlanan Δ açısı ve genlik oranları ölçüsü olan ψ açısı ile belirtilir. E genlikleri, δ faz farklarını göstermek üzere, gelen ve yansıyan dalgalar için Δ ve ψ açıları şöyle tanımlanmıştır:

$$\Delta = (\delta_p - \delta_s) r - (\delta_p - \delta_s) i \quad (2-1)$$

$$\psi = \arctg(E_p^r/E_p^i) / (E_s^r/E_s^i) \quad (2-2)$$

Yansıyan dalganın elektrik vektörü E^r ile gelen dalganın elektrik vektörü E^i nin genlikleri arasındaki oran Fresnel yansıtma katsayısı olarak tanımlanır;

$$r = E^r/E^i = (E_O^r/E_O^i) e^{i\delta} = |\hat{r}| e^{i\delta} \quad (2-3)$$

dır. Burada E_O^i, E_O^r gelen ve yansıyan dalganın genliklerinin gerçel bileşenleri, δ yansımada mutlak faz değişimi ve $|\hat{r}|$ genlik yansıtma katsayısıdır. Bileşen dalgalar için \hat{r}_p ve \hat{r}_s ile gösterilen yansıtma katsayılarının oranı;

$$\frac{\hat{r}_p}{\hat{r}_s} = \frac{E_p^r}{E_s^r} \cdot \frac{E_s^i}{E_p^i} e^{i(\delta_p - \delta_s)} = \text{tg} \psi e^{i\Delta} \quad (2-4)$$

dır. Elipsometrik ölçmeler için kullanılan elipsometrenin optik bileşenleri; polarizör denen polarizleyici bir prizma, kompensatör, incelenecek örnek ve analizör denen ikinci bir polarizleyici prizmadan oluşur. Öteki yardımcı bileşenler; ışık kaynağı, monokromatör, kolimatör, teleskop ve detektördür. Ölçmelerde göz veya fotoelektrik detektör kullanılır. Gözle yapılan ölçme-

lerde duyarlılığı artırmak için sisteme yarı gölge düzenekleri⁽³⁵⁾ gibi yardımcı bileşenler (Nakamura ve Tronstad levhaları) veya fotoelektrik ölçülerin duyarlılığı için Faraday hücreleri eklenebilir⁽³⁶⁾. Elipsometrenin temel bileşenleri Şekil 2.1 de verilmiştir. Monokromatörden çıkan tekrenk ışık demeti kolimatör, polarizör ve kompensatör yardımıyla örnek üzerine düşürülür. Kompensatör yansıyan demete de yerleştirilebilir. Yansıyan demet analizörle teleskop ve detektöre geçirilir.

Kompensatör olarak kullanılan mika dalga levha düzleminde iki tane karşılıklı dik eksen vardır. Bunlar hızlı ve yavaş ekseni adını alırlar. Levhanın kırılma indisi ışığın elektrik vektörüne uyan eksene bağlıdır. Demet levha içinden geçerken iki düzlem dalga bileşenleri olarak düşünülür. Bunlar olağan ve olağanüstü demetlerdir. Bileşenler levhada farklı hızlarla yol aldıklarından aralarında bir faz farkı doğar. Levhanın bağıl geciktirmesi olarak adlandırılan bu faz farkı levhanın d kalınlığına, ışığın λ dalgaboyuna, kırılma indisleri arasındaki farka bağlıdır:

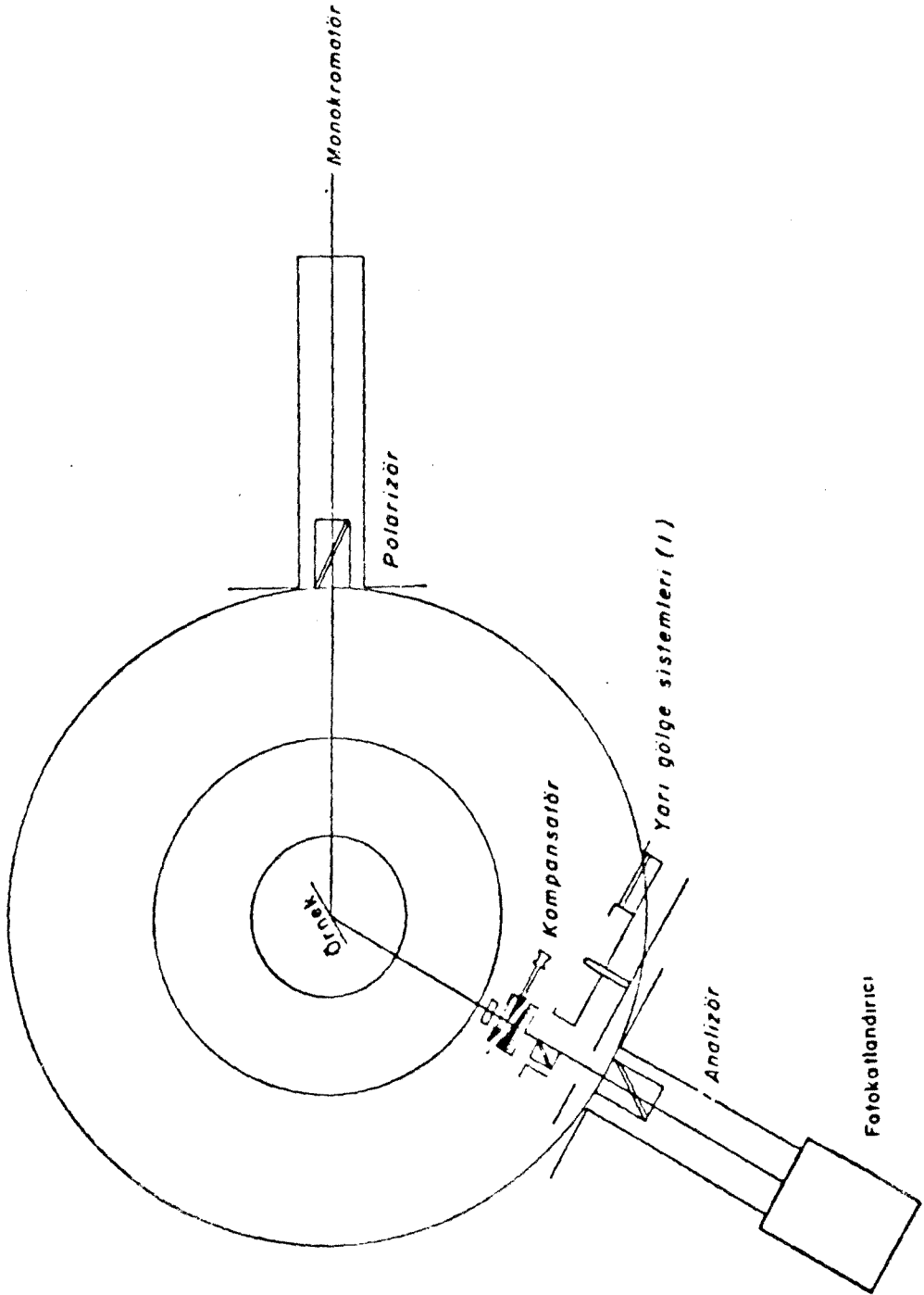
$$\delta_c = (2\pi/\lambda)d(n_o - n_e) \quad (2-5)$$

Eğer kompensatör bir çeyrek dalga levha ise $\delta_c = 90^\circ$ dir.

Elipsometrik ölçmeleri çok çeşitli şekillerde yapmak olasıdır. Optik bileşenlerin diziliş şekli ölçüm yöntemlerini belirler. Bu yöntemleri başlıca dört grupta toplayabiliriz.

2.1.1 Kompensatör Gelen Işık Demeti Tarafında

Kompensatör geliş düzlemi ile $+45^\circ$ lik açı yapacak şekilde yerleştirilir. Analizör ve polarizör sönümlenme elde edilinceye kadar döndürülür. P,A ve P',A' gibi iki farklı konum için sönüm sağlanır. ψ ve Δ parametreleri;



Şekil 2.1: Elipsometrenin temel parçalarının üstten görünüşü

$$\text{tg}^2\psi = \text{tg}(-A)\text{tg}(A'),$$

$$\text{tg}\Delta = \sin \delta_c \text{tg}(90-P) = \sin \delta_c \text{tg}(270-2P'),$$

$$\cos 2L = -\cos \delta_c \cos 2P,$$

$$\text{tg}L = E_p^i/E_s^i \quad (2-6)$$

bağıntılarından^(35,37) hesaplanır. Bu yöntemde kompensatörün tam bir çeyrek dalga levha olmasının gerekme-yişi bir üstünlüktür. Ancak bir Babinet-Soleil kom-pansatörü kullanılması durumunda duyarlık azdır. Kom-pansatör olarak elektro-optik geciktiriciler kullanı-larak yöntem elverişli bir hale getirilebilir. Eğer kompensatör bir çeyrek dalga levha ise sönümlenme ko-numunda ψ ve Δ parametrelerini içine alan bağıntılar basitleşir.

2.1.2 Kompansatör Yansıyan Işık Demeti Tarafında

Kompansatör geliş düzlemi ile $+45^\circ$ lik açı yapar. Analizör ve polarizör yansıyan ışık şiddeti minimum o-lacak şekilde döndürülür. Bu konumda polarizör ve ana-lizörün geliş düzlemiyle yaptığı açı P ve A olsun. Son-ra kompensatör $+135^\circ$ ye yerleştirilir. Minimum şiddette yansıyan ışık elde edilinceye kadar analizör döndürülür. Bu halde analizörün geliş düzlemi ile yaptığı açı A'ise, gerekli bağıntılar Archer⁽³⁸⁾ tarafından;

$$\text{tg}\psi = \cot\text{gL} \text{tg}(-A) = \text{tg}L \text{tg}A',$$

$$\text{tg}^2\psi = \text{tg}A \text{tg}A',$$

$$\text{tg}\Delta = \sin \delta_c \cot\text{g}2P \quad (2-7)$$

biçiminde verilmiştir.

2.1.3 Asal Geliş Açısına Karşılık Asal Azimutun Belirlenmesi

Bilindiği üzere bu durumda $\Delta=90^\circ$ dir. Polarizör $+45^\circ$ de sabit tutulur. Bunu, hızlı eksen geliş düzleminde ve -90° lik faz değişimi verecek şekilde ayarlanmış Babinet-Soleil kompensatörü izler. Böylece $\Delta=90^\circ$ lik faz farkı giderilmiş olur. Sonra yansıyan ışık lineer polarize oluncaya kadar gelme açısı değiştirilir. Bu durum asal geliş açısında sağlanır⁽³⁵⁾. Bu geliş açısı $\bar{\phi}$ ve analizörün lineer polarize ışığın sönümlenme konumu $\bar{\psi}$ dir.

2.1.4 θ ve ϵ Stokes Parametrelerinin Belirlenmesi Yoluyla

Yukardaki yöntemlerde ψ ve Δ açıları doğrudan ölçülüyordu. Öte yandan ϕ ve ϵ Stokes parametreleri daha kolay belirlenebilir. Sonra, ψ ve Δ için gerekli dönüşümler yapılır. Polarizör $+45^\circ$ de tutulur. Polarizörü geçip metalik yüzeyden yansıyan ışık eliptik polarizedir. Kompensatör yansıyan ışık demetindedir. Yansıyan ışıkta minimum şiddet elde edilinceye kadar kompensatörle birlikte analizör döndürülür. Bu konumda kompensatörün hızlı eksen doğrultusu, elipsin büyük yarı-ekseni ile gelme düzlemi arasındaki ϕ açısını belirler. Kompensatörün hızlı eksen konumuyla analizörün konumu arasındaki fark da eliptisiteyi (ϵ) verir; $\text{tg}\epsilon=b/a$ dır (Şekil 2.2).

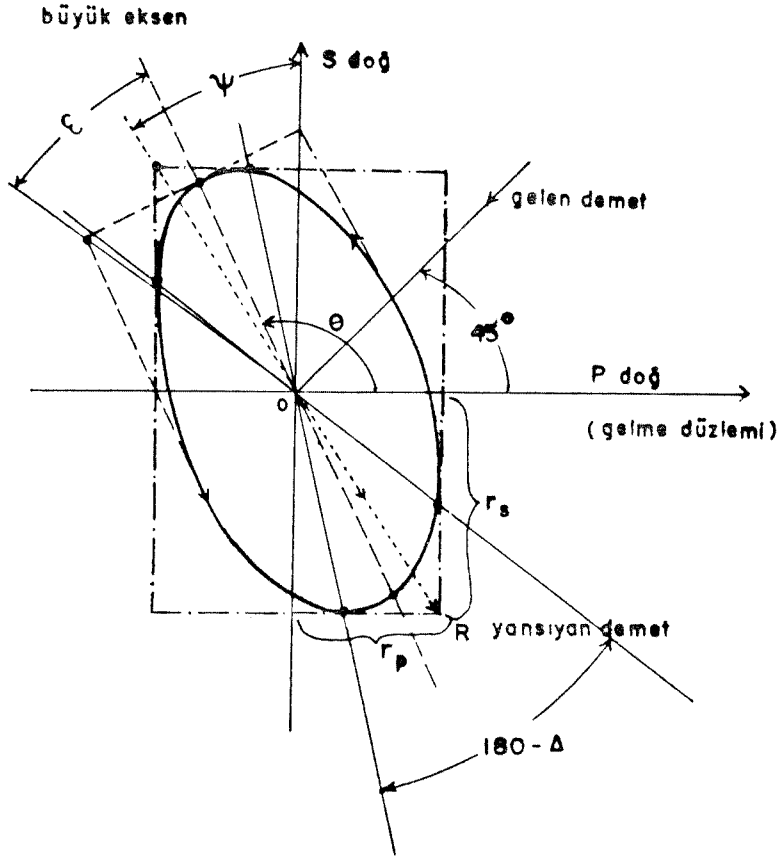
Bu yöntemin en önemli yanı, sönüm konumunun belirlenmesidir. Çünkü kompensatörle analizörün sönüm konumları birbirine bağlıdır. Bu nedenle tam çeyrek dalga levha kompensatör olarak kullanılmalıdır. Asal geliş açısı yakınındaki ölçmeler iyi sonuç vermektedir. Optik yöntemlerle θ ve ϵ belirlendikten sonra;

$$\cos 2\psi = \cos 2\epsilon \cos 2\theta,$$

$$\text{tg}\Delta = \text{tg}2\varepsilon/\sin2\theta$$

(2-8)

bağıntılarından ψ ve Δ hesaplanır (27,28).



Şekil 2.2: Jones ve Stokes parametrelerinin gösterimi

2.1.5 Kullanılan Denel Yöntem

Kullanılan elipsometrenin sistematik bir gösterimi Şekil 2.3 de verilmiştir. Kompansatör $+45^\circ$ de gelen ışık demetindedir. Deteksiyon için fotokatlandırıcı ve buna bağlı elektrometre kullanılmıştır. Yansıyan ışığın sönmülmesi için polarizör ve analizör döndürülür. Polarizör ve analizörün (P,A) ve (P',A') gibi farklı iki değer çiftinde minimum şiddet sağlanır. Aletten okunan bu değerler yardımıyla, elipsometrik parametreler;

$$\operatorname{tg}^2 \psi = -\operatorname{tg} A \operatorname{tg} A',$$

$$\cos \Delta = X \frac{\cos(P'+P)}{\sin(P'-P)},$$

$$X = \frac{1 - \operatorname{cotg} A \operatorname{tg} A'}{2 - (\operatorname{cotg} A \operatorname{tg} A')^{1/2}} \quad (2-9)$$

bağıntılarından hesaplanır⁽¹⁸⁾.

Kompansatör çeyrek dalga levha olduğunda, bağıntılar daha da basitleşerek;

$$\psi = A + A',$$

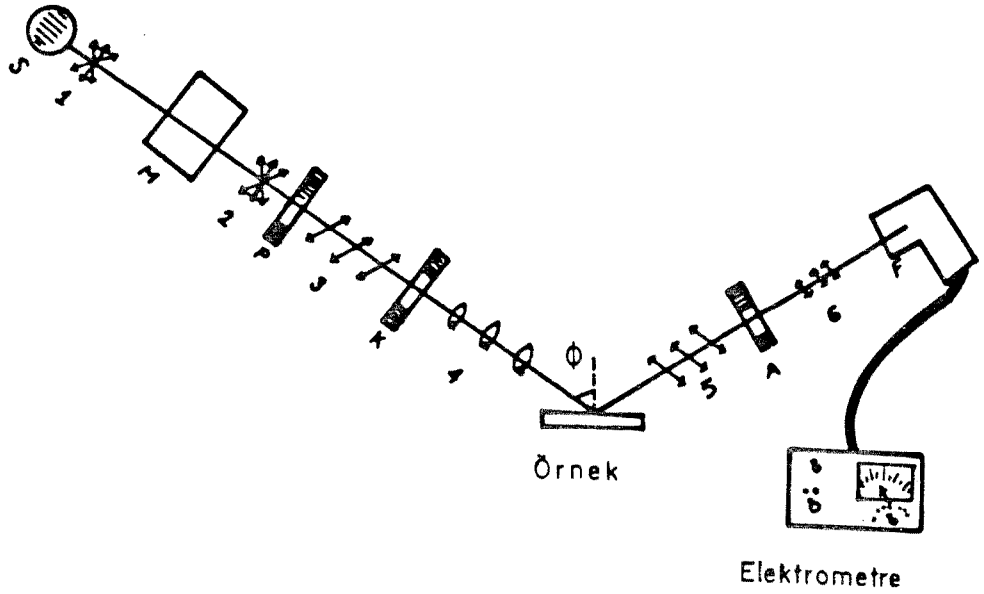
$$\Delta = 1/2 |P + (\pi - P')| \quad (2-10)$$

şeklini alırlar.

Δ açısı üzerinde olabilecek belirsizliği gidermek amacıyla Çizelge 2-1'deki ölçütler göz önüne alınmıştır.

Çizelge 2-1

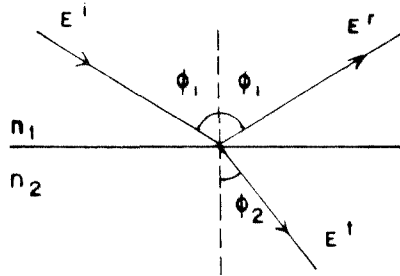
<u>Bölge</u>	<u>Kompansatör</u>			
	<u>konumu</u>	<u>A</u>	<u>P: 0 ≤ Δ ≤ 180</u>	<u>P: 180 ≤ Δ ≤ 360</u>
I	+45	0 ≤ A ≤ 90	-45 ≤ P ≤ 45	45 ≤ P ≤ 135
II	+45	90 ≤ A' ≤ 180	+45 ≤ P' ≤ 135	135 ≤ P' ≤ 225



Şekil 2.3: (S) Işık kaynağı, (1) Doğal ışık, (M) Tekrenk filtre, (2) Tekrenk ışık, (P) Polarizör, (3) Lineer polarize ışık, (K) Kompansatör, (4) Eliptik polarize ışık, (ϕ) Geliş açısı, (5) Lineer polarize ışık, (A) Analizör, (6) Minimum şiddette ışık, (F) Fotokatlandırıcı.

2.2 IŞIĞIN BİR SINIR YÜZEYİNDE YANSIMA VE KIRILMASI

Şekil 2.4 deki gibi, ışığın homojen ve izotrop iki ortamı ayıran bir sınır yüzeyine düşmesi halinde, yansıyan (E^r) ve kırılan



Şekil 2.4

lan (E^t) dalganın, elektrik vektörlerinin genliklerinin geliş düzlemine paralel (p) ve dik (s) bileşenleri ile gelen dalganın (E^i) elektrik vektörünün genliğinin aynı bileşenleri arasında;

$$E_p^r = \frac{n_2 \cos \phi_1 - n_1 \cos \phi_2}{n_2 \cos \phi_1 + n_1 \cos \phi_2} E_p^i ,$$

$$E_s^r = \frac{n_1 \cos \phi_1 - n_2 \cos \phi_2}{n_1 \cos \phi_1 + n_2 \cos \phi_2} E_s^i \quad (2-11)$$

$$E_p^t = \frac{2n_1 \cos \phi_1}{n_2 \cos \phi_1 + n_1 \cos \phi_2} E_p^i ,$$

$$E_s^t = \frac{2n_1 \cos \phi_1}{n_1 \cos \phi_1 + n_2 \cos \phi_2} E_s^i \quad (2-12)$$

bağıntıları vardır⁽³⁹⁾. Bu bağıntılar gelen elektromagnetik dalganın iki ortamı ayıran yüzeydeki sınır koşullarından elde edilir. Yani E elektrik ve H magnetik alan vektörlerinin paralel, D deplasman ve B indüksiyon vektörlerinin dik bileşenleri ayırma yüzeyinde süreklidirler. Burada n_1, n_2 iki ortamın mutlak kırılma indisini, ϕ_1, ϕ_2 geliş ve kırılma açılarını (gelen ve kırılan dalgaların normallerinin yüzey normali ile yaptığı açılar) göstermektedir.

Yukarıdaki (2-11) ve (2-12) nolu eşitlikleri ile verilen ifadeler r yansıtma, t geçirgenlik için genlik oranları olarak ve yalnız açılar cinsinden yazılırsa Fresnel katsayıları denen;

$$r_p = \frac{E_p^r}{E_p^i} = \frac{\text{tg}(\phi_1 - \phi_2)}{\text{tg}(\phi_1 + \phi_2)} ,$$

$$r_s = \frac{E_s^r}{E_s^i} = - \frac{\sin(\phi_1 - \phi_2)}{\sin(\phi_1 + \phi_2)} \quad (2-11a)$$

$$t_p = \frac{E_p^t}{E_p^i} = \frac{2\sin\phi_2 \cos\phi_1}{\sin(\phi_1 + \phi_2) \cos(\phi_1 - \phi_2)},$$

$$t_s = \frac{E_s^t}{E_s^i} = \frac{2\sin\phi_2 \cos\phi_1}{\sin(\phi_1 + \phi_2)} \quad (2-12a)$$

bağıntılar elde edilir. n_1 ve n_2 nin gerçel olması, örneğin, ışığın havadan gelerek iletken olmayan bir cismin (dielektrik ortam) yüzeyinde yansımaları ve kırılması halinde r_p, r_s, t_p, t_s gerçel büyüklüklerdir. p ve s bileşenleri arasında bir faz farkı yoktur. Yüzeğe gelen lineer polarize ışık, yine lineer polarize olarak yansır ve kırılır. $n_1 < n_2$ ise $\phi_1 > \phi_2$ olup $r_s < 0$ dır. Öte yandan $\phi_1 + \phi_2 > 90^\circ$ ise $r_p < 0$ olur. Buna göre yansıyan ve gelen dalgaların dik ve paralel bileşenleri zıt fazlı olurlar.

Birinci ortam hava ($n_1=1$), ikinci ortam cam ($n_2=1,6$) olarak seçilip Fresnel katsayıları yardımıyla, gelen dalganın genliğini birim alarak, yansıyan dalgaya ilişkin r_p, r_s genlikleri hesaplanabilir⁽³⁹⁾.

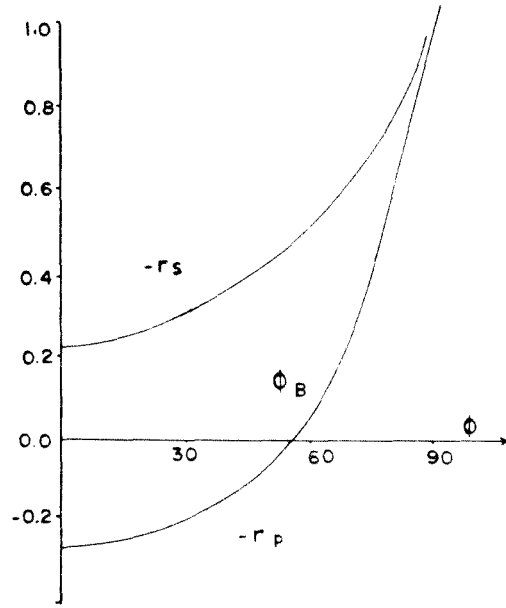
Çeşitli geliş açıları için hesaplanan r_p ve r_s genlikleri, geliş açısının fonksiyonu olarak Şekil 2.5 de gösterilmiştir.

Şekilden görüleceği gibi r_s genliği bütün geliş açıları için negatif olduğu halde, r_p genliği artan geliş açıları için azalarak polarizasyon açısı veya Brewster açısı olarak bilinen ϕ_B değerinde sıfır olur. Polarizasyon açısı altında ($\phi_1 + \phi_2 = 90^\circ$) ayırma yüzeyine gelen eliptik bir polarize dalga sınırdan yansıdığı anda geliş düzlemine paralel bileşen yansımaz ($r_p = 0$). Bu nedenle tek bir bileşeni (r_s) içeren yansıyan dalga düz-

lem veya lineer polarizedir. Polarizasyon açısının bu özelliğinden yararlanarak dielektrik ortamların kırılma indisi;

$$n = \operatorname{tg} \phi_B \quad (2-13)$$

Brewster bağıntısıyla belirlenebilir.



Şekil 2.5: r_p ve r_s genliklerinin geliş açısına bağlı olarak değişimi

Işığın dielektrik-metal yüzeyinde yansımaları halinde n_1 gerçel, n_2 karmaşık olacağından r_p ve r_s Fresnel katsayıları da karmaşıktır. Bu halde sınır yüzeyine gelen lineer polarize ışık yansımadan sonra, eliptik polarize olur. Işığın dielektrik-metal sınırında yansımaları halinde Fresnel katsayıları biçim yönünden (2-11a) ve (2-12a) bağıntıları ile verilenlere benzer.

Elipsometrik ölçmeler taşıyıcı olarak kullanılacak tek kalın örnek üstünde yapılırsa, ψ ve Δ parametreleri taşıyıcının optik sabitlerinin hesaplanmasını sağlar.

Işığın ϕ geliş açısı ile geldiği dış ortamın kırılma indisinin birim olması halinde;

$$n^2 - k^2 = t^2 \frac{\cos^2 2\psi - \sin^2 2\psi \sin^2 \Delta}{(1 + \sin 2\psi \cos \Delta)^2} + \sin^2 \phi,$$

$$2nk = t^2 \frac{\sin 4\psi \sin \Delta}{(1 + \sin 2\psi \cos \Delta)^2},$$

$$t = \sin \phi \operatorname{tg} \phi \quad (2-14)$$

bağıntıları elde edilir⁽³⁵⁾. $\Delta = 90^\circ$ olduğu zaman gelme açısına ($\bar{\phi}$) asal gelme açısı, ($\bar{\psi}$) ye de asal azimut denir. Bunlarla n, k arasında (2-14) den;

$$n^2 - k^2 = \bar{t}^2 \cos 4\bar{\psi} + \sin^2 \bar{\phi},$$

$$2nk = \bar{t}^2 \sin 4\bar{\psi} \quad (2-15)$$

bağıntıları yazılabilir.

2.3 İNCE FİLMLEİN OPTİK SABİTLERİ

Soğurucu ince filmleri, izotropik, homojen ve iki düzlem paralel yüzeyle sınırlanmış kabul edersek, filmi karakterize eden optik sabitleri kalınlık (d), kırılma indisi (n) ve sönüm indisi (k) ile belirlenir. Bu optik sabitler genel olarak filmin yapıldığı kalın maddeninkinden farklıdır. Ayrıca belirli kalınlıkta bir filmin optik sabitleri taşıyıcının özelliğine, vakum basıncı ve sıcaklığına, filmin yapımı sırasında metal atomlarının yoğunlaşma hızına, film yapım tekniğine, film yapıldıktan sonra geçen süreye bağlıdır. Bunların dışında optik sabitler kullanılan ışığın dalgaboyuna da bağlıdır.

n ve k optik sabitlerini teker teker belirlemek yerine çoğunlukla $2nk$ ve $n^2 - k^2$ leri belirlemek daha uygun olur. Bu iki büyüklük metalin $\hat{\epsilon}$ dielektrik sabitine;

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_1 - i\epsilon_2 = (n - ik)^2 = n^2 - k^2 - 2ink \quad (2-16)$$

ile bağlıdır. Bu bağıntı sonuçları açısından son derece önemlidir. Burada soğurucu bir örneğin karmaşık kırılma indisi $\hat{n} = n - ik$ biçiminde tanımlı olup ϵ_1 ve ϵ_2 dielektrik katsayısının gerçel ve sanal bileşenleridir.

2.4 YANSITMA KATSAYISI

Birim yüzeyde, birim zamanda yansıyan enerjinin, birim yüzeye birim zamanda gelen enerjiye oranına, enerji yansıtma katsayısı denir. Enerji Poynting vektörü ile bellidir. e.s.C.G.S. sisteminde;

$$P = cEH/4\pi \quad (2-17)$$

dir. Burada c ışık hızıdır. Eğik geliş halinde enerji yüzeyde dağılır;

$$J^i = P^i \cos\phi_i \quad (2-17a)$$

yazılabilir. Ortamların dielektrik olması durumunda;

$$H = (n/\mu)E \quad (2-18)$$

ve magnetik olmayan ortamlarda $\mu=1$ alınarak;

$$J^i = P^i \cos\phi_i = (c/4\pi)n_1 E^{i2} \cos\phi_i,$$

$$J^r = P^r \cos\phi_i = (c/4\pi)n_1 E^{r2} \cos\phi_i \quad (2-17b)$$

yazılabilir. Böylece enerji yansıtma katsayısı;

$$R = \frac{J^r}{J^i} = \frac{E^r}{E^i} \quad (2-19)$$

bulunur. R ile genellikle karmaşık olan \hat{r} genlik yansıtma katsayısı arasında (2-19) ve (2-11a) bağıntılarının karşılaştırılmasından ;

$$R = |\hat{r}|^2 \quad (2-19a)$$

olduğu, burada yansıyan ışına ilişkin paralel ve dik bileşenler için enerji yansıtma katsayısının;

$$R_p = \frac{J_p^r}{J_p^i} = \frac{\text{tg}^2(\phi_i - \phi_t)}{\text{tg}^2(\phi_i + \phi_t)} ,$$

$$R_s = \frac{J_s^r}{J_s^i} = \frac{\sin^2(\phi_i - \phi_t)}{\sin^2(\phi_i + \phi_t)} \quad (2-19b)$$

olarak yazılabileceği görülür.

Işın yüzeye dik geliyorsa ve birinci ortam hava ikinci ortam bir dielektrikse $E=H$ ve ayrıca $\mu=1$ ise yansıtma katsayısı;

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \quad (2-20)$$

olur. Burada $n=n_2/n_1$ dir. n_2, n_1 ortamların mutlak kırılma indisleridir.

Şimdi yansımanın olduğu ikinci ortamı bir metal olarak düşünürsek, iletken bir ortamda elektrik ve magnetik alanların şiddetleri arasında, (2-18) bağıntısına benzeyen;

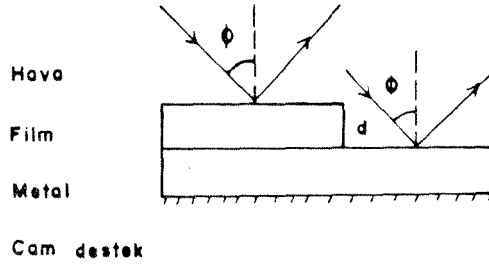
$$H = (\hat{n}/\mu) E \quad (2-18a)$$

eşitliğini kullanarak ve $\mu=1$ olması durumunda;

$$R = \frac{P^r}{P^i} = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (2-21)$$

elde edilir.

2.5 IŞIĞIN METAL ÜZERİNDE İNCE BİR DİELEKTRİK FİLM BULUNMASI HALİNDE YANSIMASI (Şekil 2.6)



Şekil 2.6

Hava içinde yapılan ölçmelerde, genellikle sınır yüzeyinin tümüyle keskin olmayıp üzerinde indisleri farklı, ince fakat sonlu kalınlıkta bir sınır tabakası ile örtülü olması, metal sınır yüzeylerinde ise bunların yanı sıra metal oksidin varlığı da sınır koşullarını değiştirmektedir. Bu hal yansımada, r_p ve r_s bileşenleri arasındaki Δ faz farkında, gözlenebilir bir değişmeye neden olur. Bu olay ilk kez Drude⁽⁷⁾ tarafından incelenmiştir. Üzerinde ince bir tabaka bulunmayan metal yüzeyi için (2-4) bağıntısı;

$$\frac{\hat{r}_p}{\hat{r}_s} = \text{tg} \bar{\psi} e^{i\bar{\Delta}} \quad (2-22)$$

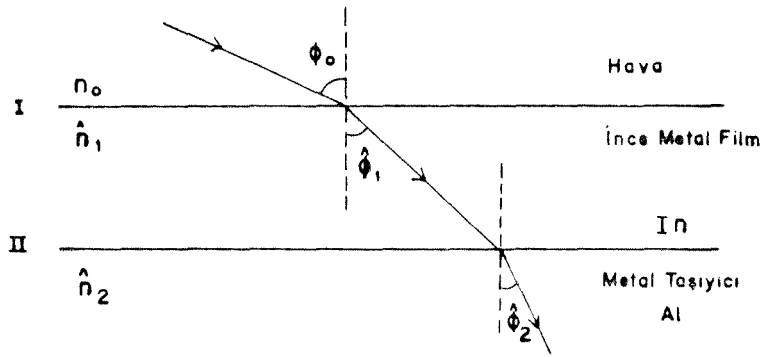
şeklinde yazılabilir. Filmle kaplı bir yüzey için ise;

$$\text{tg} \bar{\psi} e^{i\bar{\Delta}} = \text{tg} \bar{\psi} e^{i\bar{\Delta}} (1+\eta) \quad (2-23)$$

yazılabilir⁽⁴⁰⁾.

Burada $\bar{\psi}$ ve $\bar{\Delta}$ sınır yüzeyinde bir geçiş filminin bulunmaması halinde, ψ ve Δ ise geçiş filminin bulunması halinde elipsometrik parametreler, η ise bir düzeltme terimidir ve ϕ geliş açısı, d tabaka kalınlığı ve ortamların optik sabitlerine bağlı bir büyüklüktür.

2.6 IŞIĞIN METAL ÜZERİNDEKİ İNCE BİR METAL FİLMDEN YANSIMA VE KIRILMASI (Şekil 2.7)



Şekil 2.7

Burada da yine metal filmin homojen, izotrop ve düzlem paralel olduğu, dış ortam ve taşıyıcı ile keskin bir sınır yüzeyi oluşturduğu kabul edilmektedir. Üç ortama ilişkin büyüklükler (hava, film ve taşıyıcı) sırası ile 0,1,2 indisi ile gösterilip, E, D, B ve H nın sınır yüzeyine ilişkin süreklilik koşullarından yansıyan ve kırılan ışın genliklerinin oranları için;

$$r_p e^{i\delta_p} = \frac{r_{0,1}^p + r_{1,2}^p e^{-ix}}{1 + r_{0,1}^p r_{1,2}^p e^{-ix}},$$

$$r_s e^{i\delta_s} = \frac{r_{0,1}^s + r_{1,2}^s e^{-ix}}{1 + r_{0,1}^s r_{1,2}^s e^{-ix}} \quad (2-24)$$

$$t_p e^{i\delta'_p} = \frac{t_{0,1}^p + t_{1,2}^p e^{-ix/2}}{1 + t_{0,1}^p t_{1,2}^p e^{-ix}},$$

$$t_s e^{i\delta'_s} = \frac{t_{0,1}^s + t_{1,2}^s e^{-ix/2}}{1 + t_{0,1}^s t_{1,2}^s e^{-ix}} \quad (2-25)$$

bağıntıları elde edilir^(41,42). Burada $x = (4\pi/\lambda) d \hat{n}_1 \cos \hat{\phi}_1$ $r_{0,1}$, $r_{1,2}$, $t_{0,1}$, $t_{1,2}$ ler 0-1 ve 1-2 sınır yüzeylerine ilişkin Fresnel katsayıları, $\hat{n}_1 = n_1 - ik_1$ metal filmin kırılma indisi, d metal filmin kalınlığıdır. Film iletken olduğundan buradaki Fresnel kütsayıları karmaşıktırlar. Yukarıdaki (2-24) ve (2-25) bağıntıları genelleştirilmiş Fresnel bağıntıları adını alırlar.

$$(r_p/r_s) = \text{tg} \psi, \quad \delta_p - \delta_s = \Delta$$

ölçülebilen büyüklükler olup p ve s bileşenleri için (2-24) oranlanarak;

$$\text{tg} \psi e^{i\Delta} = \frac{r_{0,1}^p + r_{1,2}^p e^{-ix}}{1 + r_{0,1}^p r_{1,2}^p e^{-ix}} \cdot \frac{1 + r_{0,1}^s r_{1,2}^s e^{-ix}}{r_{0,1}^s + r_{1,2}^s e^{-ix}} \quad (2-26)$$

yazılabilir. Elipsometre yardımıyla ψ, Δ ölçülür, (2-26) bağıntısı ile Şekil 2.7 de görülen ince metal filmin n, k, d büyüklükleri hesaplanabilir.

BÖLÜM 3. DENEY

3.1 ÖRNEK FİMLERİN HAZIRLANMASI

İncelenen iki katlı film sistemi, Bölüm 2.6 da anlatılan örneğe uymaktadır. Metal taşıyıcı olarak alüminyum (Al), ince metal film olarak indium (In) seçilmiştir. Ölçmelerde kullanılan örnekler, optikçe düzlem ve paralel yüzlü mikroskop lamları üzerine hazırlanmıştır. Bu taşıyıcılar ilk önce su ve deterjanla iyice temizlendikten sonra uzun bir süre ılık kromik asitte bekletilerek kimyasal olarak temizlenmiş, daha sonra bol damıtık su ile yıkanmış ve 200°C de etüvde kurutulmuştur.

Bu şekilde temizlenen taşıyıcıların tümü Al un özelliklerini belirlemek için 2000-2500 Å kalınlığındaki Al la kaplanmıştır. Bu kalınlıkta Al filmler, optik bakımdan geçirgen değildir. Daha sonra uçta setler bırakılarak 500-3000 Å kalınlığında In filmler, Al üzerine, bir Edwards High Vacuum ünitesinde ısısız buharlaştırma ile kaplanmıştır. Kaplamada kullanılan Al ve In %99.99 saflıkta metallerdir.

Bu metaller 0,5 mm çaplı tungsten telden helis şeklinde kıvrılmış potalarda buharlaştırılmıştır. Vakum 10^{-5} torr basamağındadır. Yüksek vakumda buharlaştırma, film hazırlamak için en uygun yöntemdir. Buharlaşmanın hızlı olması film için üstün bir niteliklerdir. Yavaş buharlaşma destek üzerinde kümelenmelere yol açar. Hızlı buharlaştırma desteğin yüzey düzgünlüğüne uyan, homojen bir film oluşmasını sağlar. Mikroskop lamları bu iş için uygundur. Çünkü yüzey pürüzleri 10 Å dolayındadır.

Kaplamada kullanılan vakum ünitesi 20 cm çaplı bir fanus altında kısa zamanda 10^{-5} - 10^{-6} torr basamağında vakum sağlamaktadır. Bu vakum, sistemde bulunan Penning manometresi ile kontrol edilebilmektedir. Kaplamada kullanılan potalar, daha önce vakumda akkor hale getirilerek degaze edilmiştir. Pota ile destek uzaklığı yaklaşık 7 cm dir. Buharlaştırılan maddenin m kütlesi, ρ yoğun-

luğu ve destek-pota arasındaki r uzaklığı yardımıyla;

$$d = m/\pi pr^2 \quad (3-1)$$

bağıntısından d film kalınlığı hesaplanmıştır^(39,43,44). Tartılar 10^{-5} gr duyarlıklı mikro terazi ile yapılmıştır.

İncelenen örnekler özdeş yapıdaki Al taşıyıcı üzerine benzer koşullarda 500,750,1000,1500,2000,3000 Å kalınlıkta In un kaplanmasıyla oluşan çift tabakalı örneklerdir. Bu incelemede 500 Å Ö.1, 750 Å Ö.2, 1000 Å Ö.3, 1500 Å Ö.4, 2000 Å Ö.5, 3000 Å Ö.6 ile gösterilmiştir.

3.2 KULLANILAN ÖLÇÜ ALETLERİ

Buharlaştırma ile elde edilen Al tabakaları ve üzerindeki In filmlere ilişkin elipsometrik parametrelerin ölçümünde Gaertner'in L 119 tipi bir elipsometresi, polarizör ve analizör olarak 14 mm lik Glan-Thomson prizmaları kullanılmıştır. Bunların konumları $0,01^\circ$, geliş açısı $20''$,kompansatör faz farkları $0,12^\circ$ duyarlıkla ölçülebilir. Kompansatör olarak Babinet-Soleil kompansatörü kullanılmıştır. Bu kompansatör 0,36-2 mikron gibi geniş bir dalgaboyu aralığında çeyrek dalga levha olabilmektedir. Bu ise mika levhaya göre bir üstünlük sağlamaktadır. Detektör olarak görünür bölgede duyarlı bir fotokatlandırıcı ile 5.10^{-12} A duyarlı bir elektrometre kullanılmıştır.

Elipsometrik ölçmelerde yüksek basınçlı Hg buharlı lambanın verdiği ışık kullanılmış, ayrıca istenilen dalga boyunda ışık elde edebilmek amacıyla Hg lambası ile elipsometrenin kolimatörü arasına büyük açıklıklı bir monokromatör yerleştirilmiştir.

3.3 DENEYSEL VERİLER VE TARTIşMA

Bütün elipsometrik ölçmeler Bölüm 2.1.5 de anlatılan denel yöntemle 60° lik geliş açısı altında yapılmıştır. Ölçmelerde, geliş açısı olarak asal geliş açısı seçildiğinde yüksek duyarlık sağlanmaktadır. Hazırlanan

bütün örneklerin, vakumdan çıkarıldıktan sonra, görünür dalgaboyu aralığında, çift ışın yollu bir Varian spektrofotometresinde dik geliş halinde T geçirgenlikleri ve hemen sonra elipsometrede, Hg buharlı lambanın verdiği 4047,4358,4916,5461,5790 Å dalgaboylarında ψ ve Δ elipsometrik parametreleri ölçüldü.

Al taşıyıcı üzerinde yapılan ölçmelerle elde edilen ψ ve Δ parametreleri ile bunlar yardımıyla (2-14) den hesaplanan n_T, k_T ve (2-21) den hesaplanan R_T yansıtma katsayısının değerleri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1

Al taşıyıcıya ilişkin deneysel parametreler ve hesaplanan n_T, k_T ve R_T değerleri

$\phi(^{\circ})$	$\lambda(\text{Å})$	$\psi(^{\circ})$	$\Delta(^{\circ})$	n_T	k_T	R_T
60	4047	43.17	137.460	0.371	3.725	0.905
60	4358	43.24	140.840	0.416	4.092	0.911
60	4916	43.44	144.840	0.452	4.616	0.922
60	5461	42.99	147.600	0.671	5.013	0.903
60	5790	42.77	150.060	0.868	5.418	0.894

Hesapla bulunan değerler Şekil 3.1, 3.2, 3.3 de, ölçü sonucu bulunan parametreler de Şekil 3.4 ve 3.5 de gösterilmiştir. Spektrumun görünür bölgesinde n_T nin dalgaboyu ile doğrusala yakın, k_T nin doğrusal olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Her üç büyüklüğün gerek değişim yönü gerekse büyüklük basamakları literatürle uygunluk göstermektedir^(4,45-50). Yansıtma katsayısı en çok 0,02 kadar bir değişime uğramaktadır. R_T nin büyüklüğü spektrumun görünür bölgesinde çoğu metallere beklenen özelliği yansıtmaktadır.

Şekil 3.4 ve 3.5 de, Al taşıyıcı üstünde 500,750, 1000,1500 Å kalınlıkta hazırlanan In örneklerinde (Ö.1-4)

ölçülen ψ, Δ parametrelerinin dalgaboyu ile değişimi gösterilmiştir. Aynı yerde karşılaştırma amacı ile Al taşıyıcıya ilişkin değerler de verilmiştir. Her iki grafikte de, üst film kalınlığı arttıkça parametre değerleri alt taşıyıcının değerlerinden uzaklaşmaktadır. Tüm örneklerde Δ , dalgaboyu ile doğrusala yakın olarak değişmektedir.

ψ, Δ değerleri ile (2-14) ve (2-21) bağıntılarından Ö.1-4 için hesaplanan n, k, R değerleri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2

Ö.1-4 de ölçülen parametreler ve hesaplanan n, k, R değerleri

Örnek	$\phi (^{\circ})$	$\lambda (\text{Å})$	$\psi (^{\circ})$	$\Delta (^{\circ})$	n	k	R
Ö.1	60	4047	39.67	126.86	1.447	2.449	0.517
"	60	4358	39.77	131.15	1.583	2.718	0.550
"	60	4916	39.82	136.57	1.759	3.137	0.597
"	60	5461	39.60	142.03	1.886	3.692	0.656
"	60	5790	39.30	144.70	1.886	4.030	0.693
Ö.2	60	4047	36.55	115.76	0,889	2.027	0.537
"	60	4358	37.09	121.60	1.040	2.278	0.555
"	60	4916	37.58	126.88	1.191	2.549	0.578
"	60	5465	36.96	135.84	1.242	3.200	0.675
"	60	5790	36.51	138.81	1.185	3.465	0.717
Ö.3	60	4047	34.11	112.04	0.631	1.949	0.609
"	60	4358	35.38	117.18	0.804	2.125	0.586
"	60	4916	36.51	121.08	0.971	2.272	0.571
"	60	5461	38.32	131.07	1.374	2.789	0.590
"	60	5790	37.03	134.59	1.239	3.097	0.661
Ö.4	60	4047	32.37	121.26	0.546	2.365	0.726
"	60	4358	33.30	122.57	0.648	2.418	0.697
"	60	4916	35.45	126.03	0.919	2.564	0.642
"	60	5461	37.11	131.92	1.214	2.895	0.634
"	60	5790	37.61	134.84	1.338	3.100	0.645

Bu hesaplamada In ve Al dan oluşan iki katlı film yerine eşdeğer tek katlı bir film örneği göz önüne alınmıştır. n, k, R nin grafikleri Şekil 3.6-8 de verilmiştir. Şekil 3.8 de yansıtma katsayısı eğrisinde alüminyum taşıyıcı üstünde 2000 ve 3000 Å kalınlığında yapılan indium örneklerine (Ö.5 ve Ö.6) ilişkin değerler de gösterilmiştir. Ö.6 örneğinde alttaki alüminyumun etkisi söz konusu olmamaktadır. Böylelikle Ö.6 eğrisi kalın indium filme özgü değerleri sergilemektedir. Al üstüne ara kalınlıklarda In kaplandığında eşdeğer sistemin yansıtması azalmaktadır.

Ö.5 ve Ö.6 nolu örneklerin karşılaştırılması amacı ile Şekil 3.9 ve 3.10 da denel elipsometrik parametrelerin dalgaboyu ile değişimi grafik olarak verilmiştir. İki örneğin farklılığı açıkça görülmektedir. Aynı örneklerde hesaplanan n, k optik sabitleri değişimi, Al taşıyıcınınınki ile birlikte Şekil 3.11 ve 3.12 de çizilmiştir. 3000 Å luk örnek 2000 Å luk örneğe göre daha soğurucu olmakta ve k görünür bölgede yine doğrusal değişim göstermektedir. Ö.5 ve Ö.6 için ölçü ve hesap sonuçları Çizelge 3.3 de sıralanmıştır.

Çizelge 3.3

Ö.5 ve Ö.6 da ölçülen parametreler ve hesaplanan n, k, R değerleri

Örnek	$\phi (^{\circ})$	$\lambda (\text{Å})$	$\psi (^{\circ})$	$\Delta (^{\circ})$	n	k	R
Ö.5	60	4047	35.36	134.89	1.535	2.904	0.586
"	60	4358	35.37	134.85	1.532	2.903	0.587
"	60	4916	36.41	137.96	1.570	3.210	0.628
"	60	5461	36.15	139.62	1.708	3.285	0.628
"	60	5790	35.17	133.01	1.464	2.783	0.576
Ö.6	60	4047	40.77	140.41	0.950	3.887	0.800
"	60	4358	40.78	139.16	0.897	3.762	0.798
"	60	5461	42.40	142.75	0.669	4.278	0.873
"	60	5790	42.05	144.98	0.846	4.539	0.859

Aynı fiziksel koşullarda, özdeş Al taşıyıcılar üstünde hazırlanan Ö.1-6 örneklerinde, denel olarak elde edilen ψ, Δ elipsometrik parametrelerinin üsteki indium filmin kalınlığına göre değişimleri de Şekil 3.13 ve 3.14 de 4358 ve 5461 Å dalgaboyları için çizilmiştir.

İncelenen altı farklı örnekte spektrofotometre ile 3000-9000 Å aralığında elde edilen geçirgenlik eğrilerinin grafiği Şekil 3.15 de görülmektedir. Görünür bölgede ilk üç örnek için T dalgaboyu ile belirgin bir değişim sergilerken özellikle 3000 Å kalınlığındaki örneğin pratikçe geçirgen olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer dördüne göre daha kalın olan Ö.5 ve Ö.6 ların, özellikle de tümünden indiumun optik özelliklerini sergileyen Ö.6 için hesaplanan n, k, R değerleri, yapımı ve inceleme koşulları dikkate alındığında, literatürle iyi bir uyum göstermektedir⁽⁵¹⁻⁵⁶⁾.

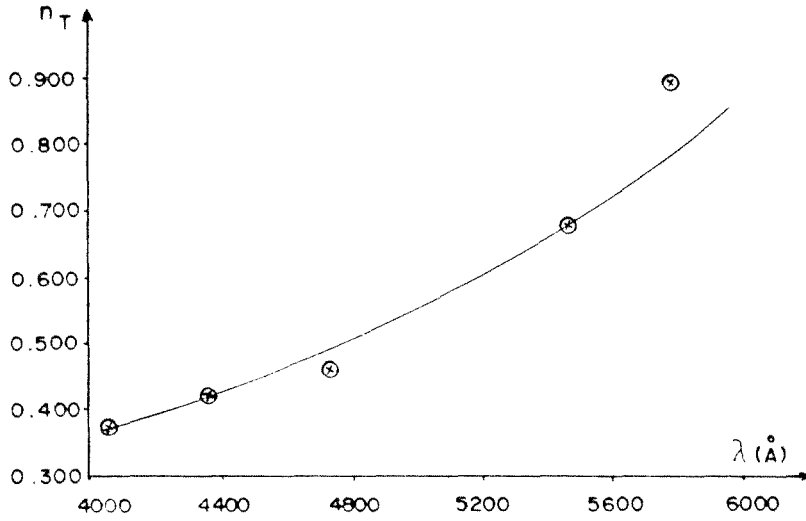
Elipsometrik ölçmelerdeki hata sınırlarını belirlemek üzere, 60° geliş açısı ve 5461 Å luk ışıkla bir Al taşıyıcı üzerinde bir seri ölçüm yapılmış ve değerler Çizelge 3.4 de verilmiştir.

Çizelge 3.4

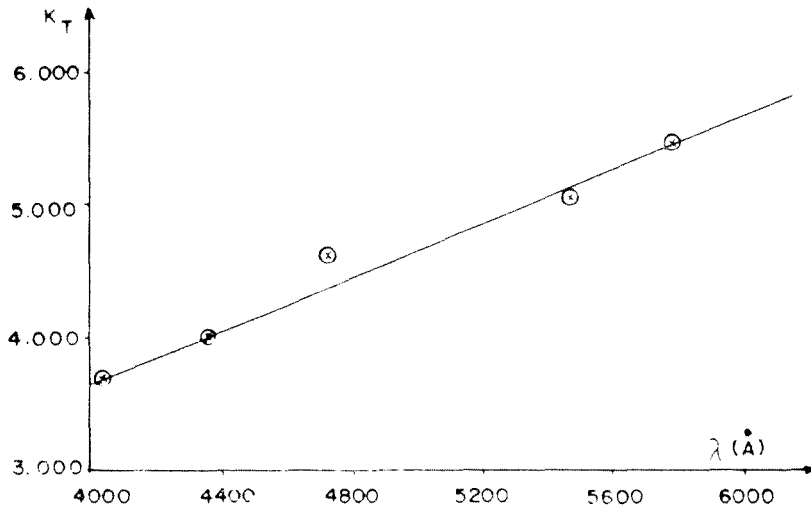
Aluminyum taşıyıcı üzerinde tek dalgaboyu ile yapılan ölçmeler ve hesaplanan hata değerleri

λ	$\phi(^{\circ})$	$\psi(^{\circ})$	$\Delta(^{\circ})$	n	k	R
5461	60	42.96	147.93	0.700	5.061	0.902
"	60	43.08	148.18	0.669	5.113	0.907
"	60	43.09	148.75	0.689	5.212	0.905
"	60	43.04	148.25	0.686	5.122	0.905
<hr/>						
Δn	Δk	ΔR	$\Delta n/n$	$\Delta k/k$	$\Delta R/R$	
0.006	0.031	0.001	0.009	0.006	0.001	

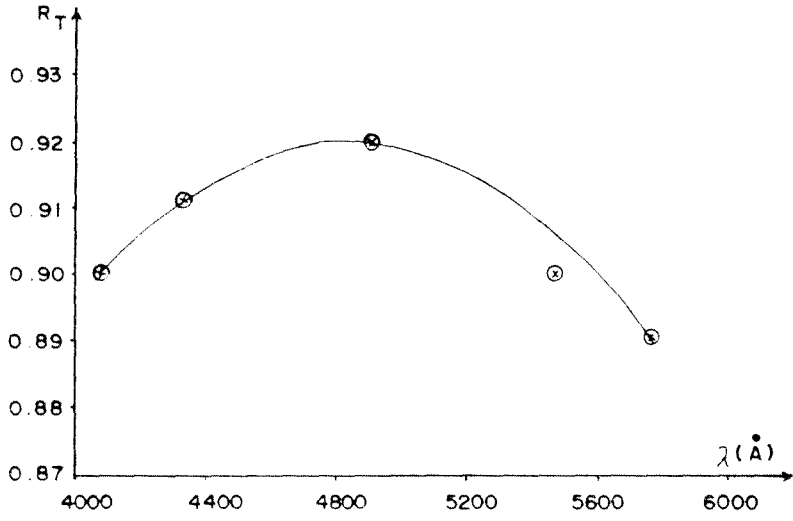
Çizelge 3.4 den anlaşılacağı üzere n , k ve R değerlerinin dört anlamlı rakamla verilebileceği anlaşılmaktadır.



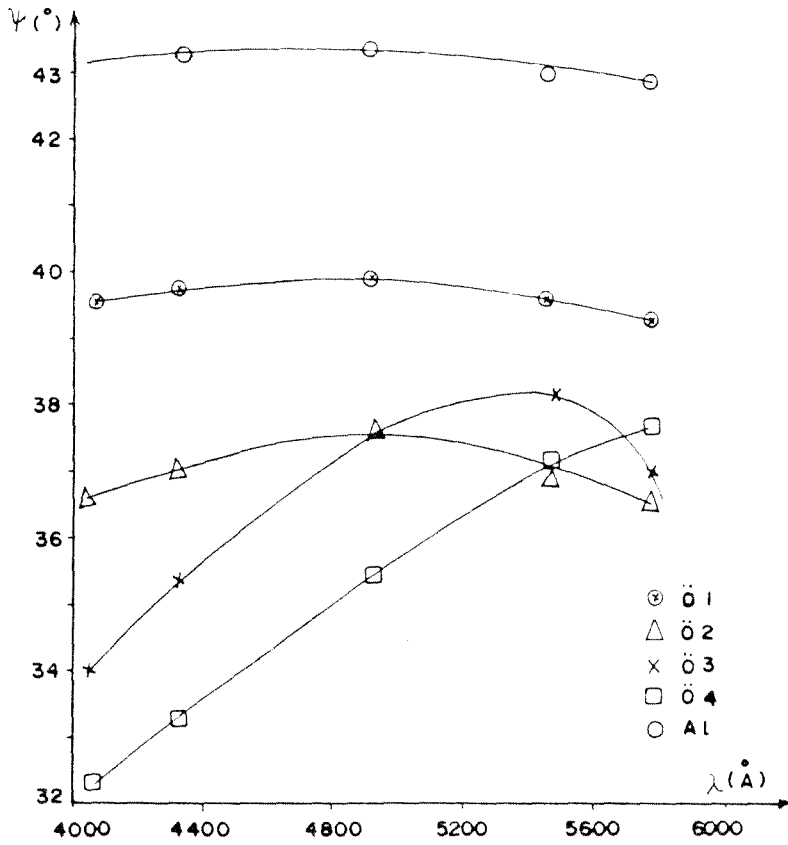
Şekil 3.1: Alt metal Al için kırılma indisinin dalgaboyu ile değişimi



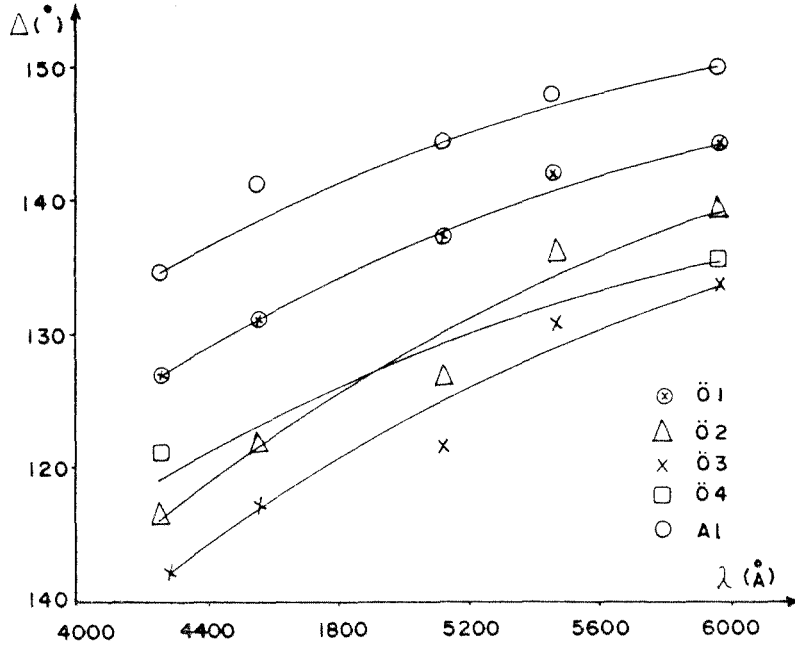
Şekil 3.2: Alt metal Al için sönüm indisinin dalgaboyu ile değişimi



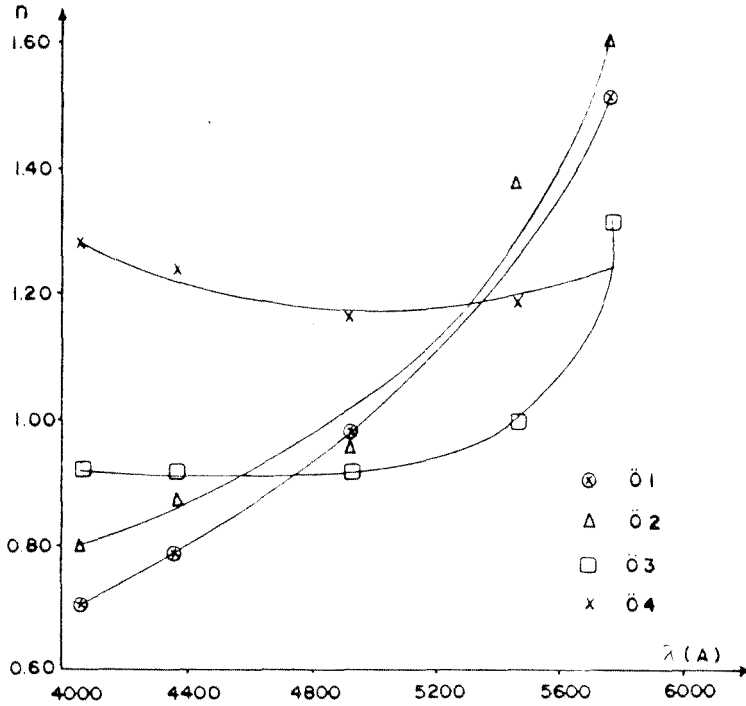
Şekil 3.3: Alt metal Al için yansıtma katsayısının dalgaboyu ile değişimi



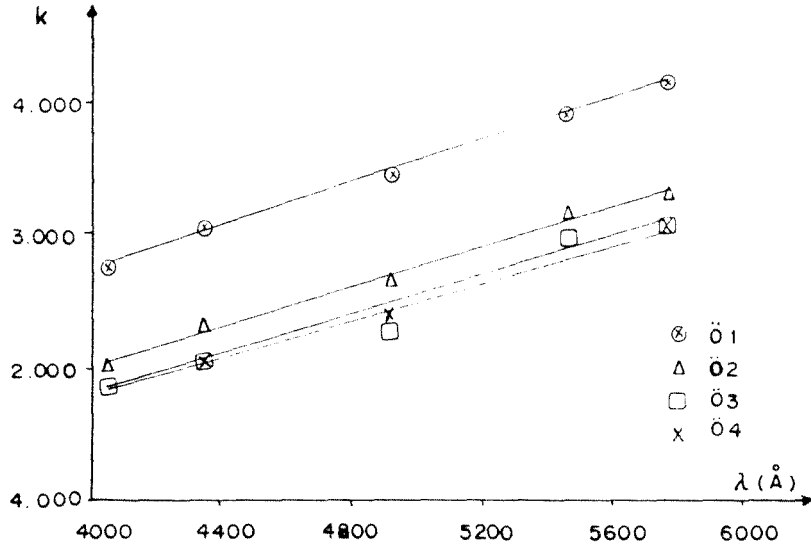
Şekil 3.4: ψ (°) nin dalgaboyu ile değişimi



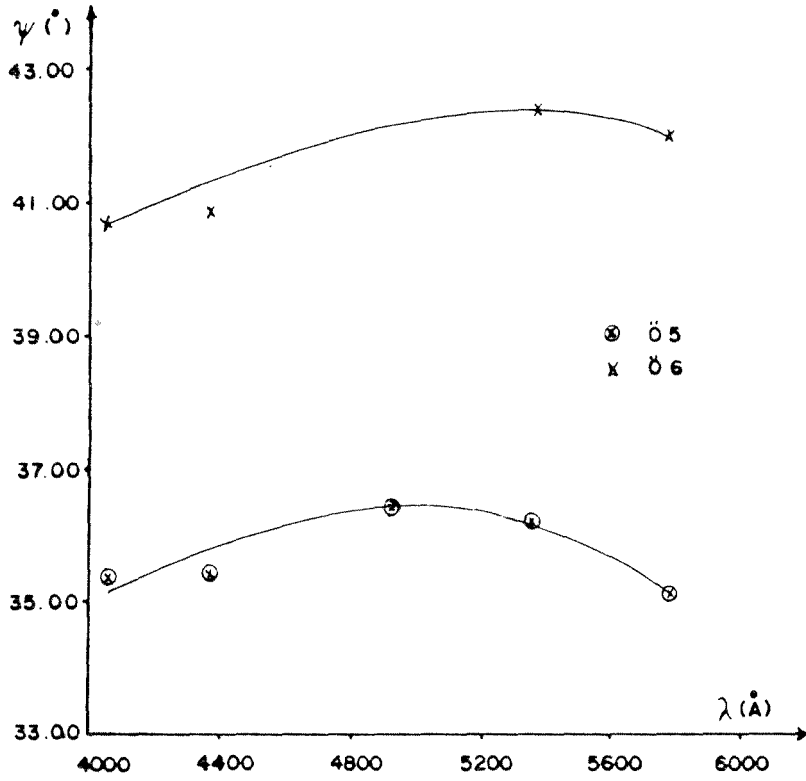
Şekil 3.5: Δ (°) nın dalgaboyu ile değişimi



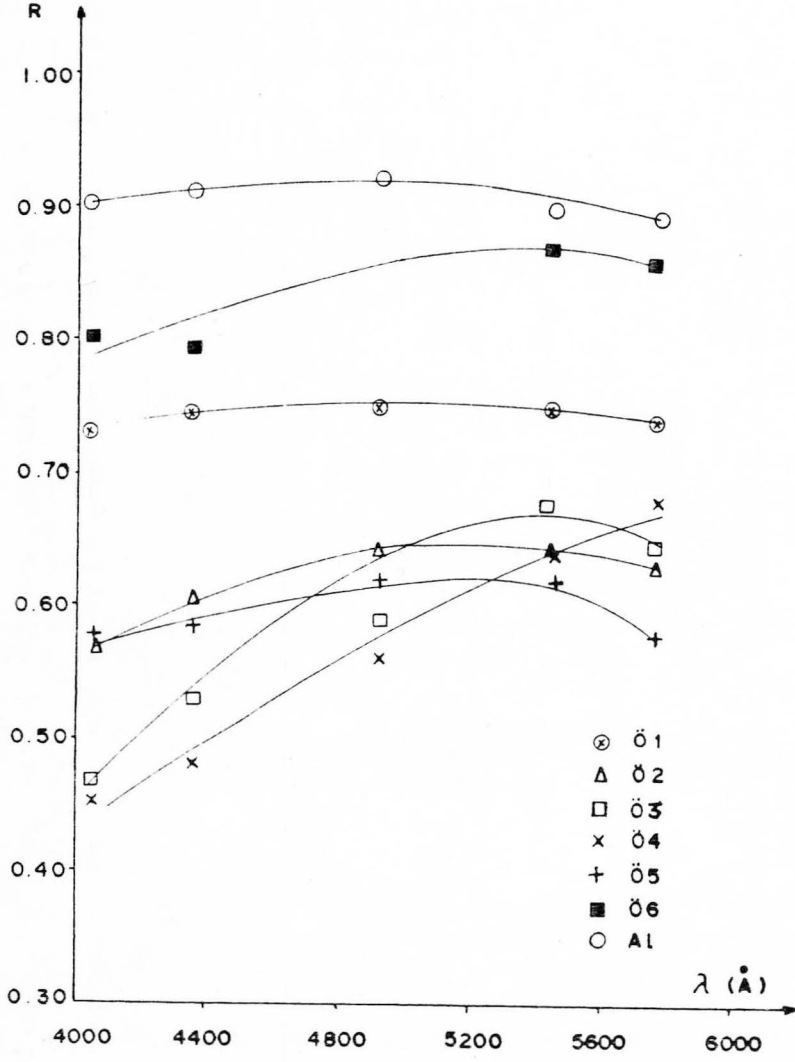
Şekil 3.6: Tek tabaka olarak düşünölen In-Al filmlerde kırılma indisinin dalgaboyu ile değişimi



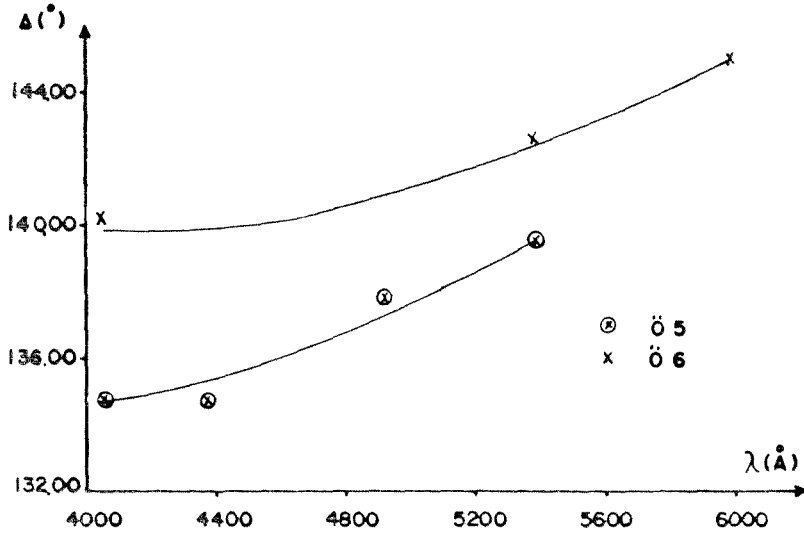
Şekil 3.7: Tek tabaka olarak düşünülen In-Al filmde sönüm indisinin dalgaboyu ile değişimi



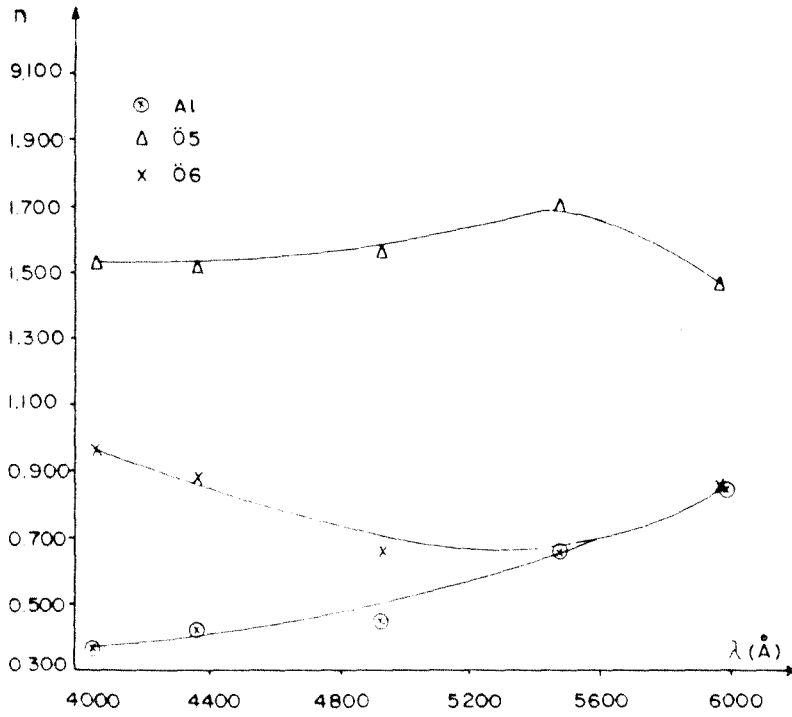
Şekil 3.9: Kalın In filmlerinde $\psi (^{\circ})$ nin dalgaboyu ile değişimi



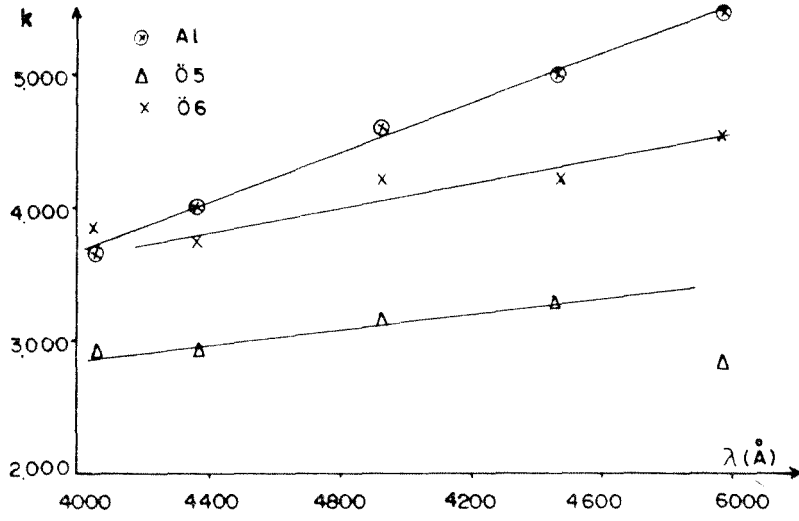
Şekil 3.8: Tek tabaka olarak düşünölen In-Al filmleri ile kalın In örneklelerinde yansıtma katsayısının dalgaboyu ile değişimi



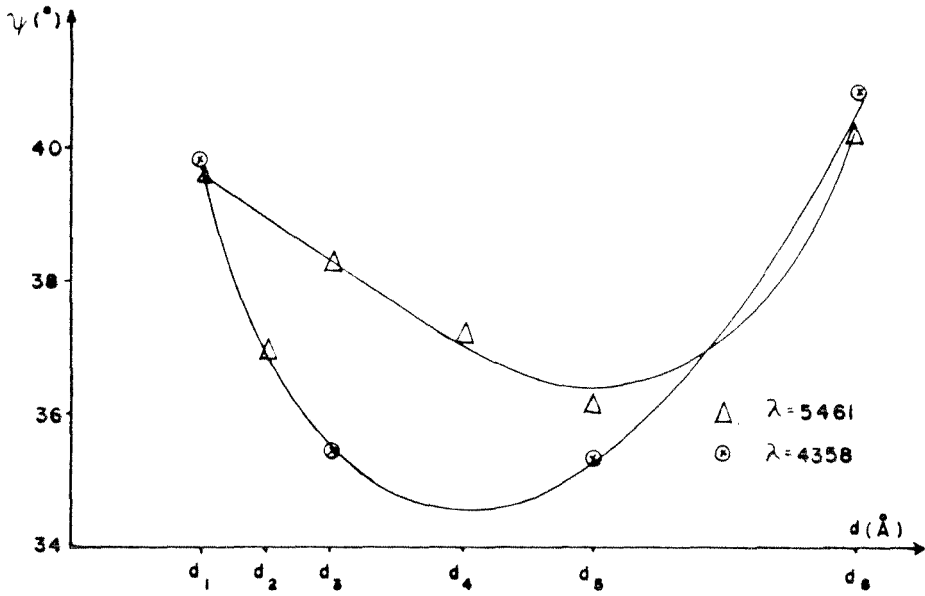
Şekil 3.10: Kalın In filmlerinde $\Delta(^{\circ})$ nın dalgaboyu ile değişimi



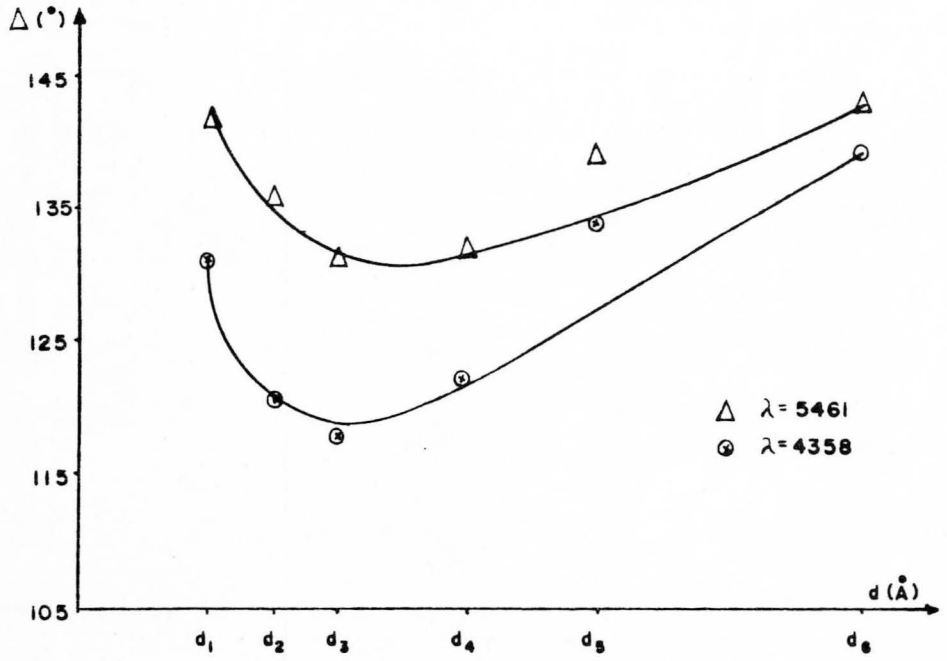
Şekil 3.11: Kalın In örneklerle Al un kırılma indisinin dalgaboyu ile değişimi



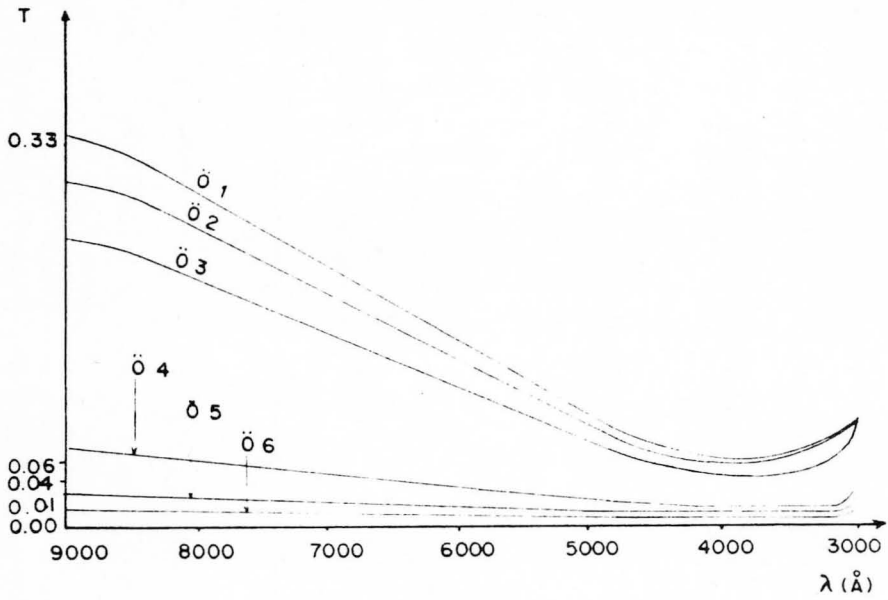
Şekil 3.12: Kalın In örneklerle Al un sönüm indisinin dalgaboyu ile değişimi



Şekil 3.13: $\psi(^{\circ})$ nin iki dalgaboyu için film kalınlığı $d(\text{Å})$ ile değişimi



Şekil 3.14: Δ (°) nın iki dalgaboyu için film kalınlığı d (Å) ile değişimi



Şekil 3.15: Ö.1-6 için geçirgenliğin dalgaboyu ile değişimi

3.4 SONUÇ

Spektrofotometrik verilere göre, optikçe düzlem camlar üstünde 2000-2500 Å kalınlığında hazırlanan alüminyum kalın filmler ile yaklaşık 3000 Å kalınlığında hazırlanan indium kalın filmler spektrumun görünür bölgesinde % 1 den daha küçük geçirgenliğe sahiptirler. Bu özellikteki metal taşıyıcılar ardışık yansımalar yönünden alttaki cam taşıyıcıdan etkilenmezler. Bunun sonucu olarak, aynı bir örnek üstünde çok sayıda elipsometrik ölçüm yapılarak bunların optik parametreleri büyük bir duyarlılıkla belirlenebilir.

Alüminyum taşıyıcı üstüne kaplanan indium filmin kalınlığı 500-3000 Å arasında artarken, eşdeğer sistemin elipsometrik parametreleri alüminyumunkinden giderek uzaklaşmakta ve belli bir kalınlıkta artık alüminyum alt katmandan etkilenmemektedir.

Metallere özgü bir durum olan spektrumun görünür bölgesinde k sönüm indisinin dalgaboyu ile doğrusal değişimi özelliği, incelenen alüminyum ve indium film örneklerinde doğrulanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. J.Shewchun and E.C.Rowe; J.Appl. Phys. 41(1970)4128.
2. K.L.Chopra, S.K.Sharma; Thin Solid Films 20(1974)209.
3. E.F.Idczak; Opt. and Spect. XXIX(1970)103.
4. Ö.Ergenekon; Altın Taşıyıcı Üzerindeki İnce Alüminyum Filmleri Üzerinde Elipsometrik Ölçmeler,K.T.Ü. Matbaası,Trabzon,(1975).
5. T.Sato, K.Y.Szeto, and G.D.Scott; Appl.Opt.18(1979) 3119.
6. N.Kavcar; E.U.Faculty of Science Journal, Series A, Vol 5, NR 1,(1980-1981)13-21.
7. P.Drude; Wied.Ann. 36(1889)532.
8. P.Drude; Annal d. Phys. 34(1889)88.
9. D.Beaglehole; Appl.Opt. 7(1968)2218-20.
10. M.Rasigni, G.Rasigni, and J.P.Palmari; Phys.Rev.B 23(1981)527-31.
11. P.B.Johnson and R.W. Christy; Phys. Rev.B 6(1972) 4370.
12. W.J.Anderson and W.N.Hansen; J.Opt.Soc.Amer. 67(1977)1051-58.
13. V.K.Miloslawskii; Opt. and Spect.21(1966)193-95.
14. H.W.Verluer; J.Opt.Soc.Amer. 58(1968)1356-64.
15. R.J.Archer and G.W. Gobeli; J.Phys. Chem. Solids 26(1965)343.
16. R.J. Archer; in "Ellipsometry in the Measurment of Surfaces and Thin Films", (E.Passaglia ve ark.), Nat. Bur. Std. Misc Publ.256, U.S. Govt Printing Office, Wash. D.C. (1964)225.
17. A.C.Hall; J.Opt. Soc.Amer. 55(1965)911-15.
18. P.H.Smith; in "Recent Developments in Ellipsometry", ed.by N.M.Bashara, A.B.Buckman,and A.J.Hall, North-Holland. Publ. C.,Amsterdam,(1969)34-47.
19. J.A.Johnson and N.M.Bashara; J.Opt.Soc.Amer. 60(1970)221.
20. T.Kodama; J. Phys. D 5 (1972)1160.

21. W.E.J. Neal; Surface Techn. 6(1977)81-110.
22. M.M. El Oker ve arkadaşları; Phys. Stat. Sol. A 73(1982)389-94.
23. O.S. Heavens; Opt. Prop. of Thin Solid Films, Dover Publ. Inc. New York, (1965)46-154.
24. T.J. Coutts; Lab. Prac. 16(1967)161.
25. S. Tolansky; An Int. to Interferometry, W.Clowes and Sons Ltd. London, (1962).
26. F. Abelés; Progress in Optics II(1968)251.
27. H.E. Bennett and Jean M. Bennett; Phys. of Thin Films 4, ed. by G. Hass and Rudolf E. Thun, Academic Press, New York and London, (1967)1-90.
28. K.H. Zaininger and A.G. Revesz; RCA Review 25(1964)85.
29. P. Rourard, P. Bousquet; Progress in Optics IV(1965)147.
30. S.M. Sze; Physics of Semiconductor Devices, John Wiley Inc., New York, Chap. II(1969).
31. N.F. Foster; Handbook of Thin Films Technology, Mc. Graw Hill C., New York, (1968).
32. G. Hass and R.E. Thun; Physics of Thin Films, Academic Press, P.K. Weimer, V 2(1964),
P.E. Bode, V 3(1966),
C.R. Crowell and S.N. Sze, V 4(1967).
33. P. Cotton and P. Rouard; J. Phys. Radium 11(1950)461.
34. A. Vasicek; Optics of Thin Films, North-Holland Publ.C., Amsterdam, (1960).
35. R.J. Archer; Manual on Ellipsometry, (1968)7.
36. H.P. Layer; in "Recent Developments in Ellipsometry", ed. by N.M. Bashara, A.B. Buckman, and A.C. Hall, North-Holland. Publ. C., Amsterdam, (1969)177.
37. H.G. Jerrard; in "Recent Developments in Ellipsometry", ed. by N.M. Bashara, A.B. Buckman, and A.C. Hall, North-Holland. Publ. C., Amsterdam, (1969)137.

38. R.J. Archer; Phys. Rev. 110(1958)345.
39. H. Birey; İnce Film Optiği, İst. Üniv. Fen Fakültesi Genel Fizik Kürsüsü, İstanbul, (1977).
40. H. Mayer; Physik Dünner Schichten, Band 4 Teil 1, (1950).
41. A. Vasicek; Czech. Journ. Phys. 7(1957)367,
42. A. Vasicek; Mitteilungen d. Tschech. Academie d. Wiss, II Klasse, 20(1941)51.
43. L. Holland; Vacuum Deposition of Thin Films, Chapman-Hall. Ltd., London, (1961)141.
44. G. Rank; Çev. M. Küçük, İnce Tabakalar Tekniği, T.F. Derneği Yayını, İstanbul, (1964).
45. B. Aksoy; Anodik Aluminyum Oksit Tabakalarının İndis ve Kalınlıkları, Doktora Tezi, İst. Üniv. Fen Fakültesi Fizik Bölümü, İstanbul, (1975).
46. R.W. Fane and W.E.J. Neal; J. Opt. Soc. Amer. 60(1970)790.
47. H.M.O. Brayn; J. Opt. Soc. Amer. 26(1936)122.
48. G. Hass; Optik 1 (1946)8.
49. T.H. Hollstein, U. Kreibig, and F. Leis; Phys. Stat. Sol. (b) 83(1977)49.
50. P.B. Barna, Z.Bodo, G. Gergely, P. Croce, J.Adam, and P. Jakab; Thin Solid Films 120(1984)249-56.
51. A.I. Golovashkin, I.S. Levchenko, G.P. Motulevich, and A.A. Shubin; Soviet Phys. JETP 24(1967)1093.
52. M.L. Theye and G. Devant; Thin Solid Films 4(1969)205-210.
53. R.Y. Koyama, N.W. Smith, and W.E. Spicer; Phys. Rev. B 8(1973)2426-31.
54. J.C. Lemonnier, G. Jezequel, and J. Thomas; J. Phys. C.Solid State Phys. 8(1975)2812-18.
55. J.M. Elridge, Y.J. Vander Meulen, and D.W. Dong; Thin Solid Films 12(1972)447-51.
56. L.A. Ageev and I.N. Shklyarevskii; Soviet Phys. Solid State 9(1968)2324.