

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

77970

YARIİLETKEN VE YARIİZOLATÖR
KATI MADDELERİN İNCE FİLM HALİNDEKİ
ELEKTRONİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

77970

DENİZ DEĞER

Fizik Anabilim Dalı

(İnce Tabaka Fiziği Programı)

Danışman : Prof.Dr. Taner BULAT

OCAK -- 1998

ÖNSÖZ

Alüminyumoksit ve Selenyumun sabit ve değişken elektrik alandaki davranışlarının incelendiği bu çalışma, İ.Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenen 435-310590 numaralı "*Yarıiletken ve Yarıizolatör Katı Maddelerin İnce Film Halindeki Elektronik Davranışlarının İncelenmesi*" isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı tez adı aynı isimle verilmiştir. Ancak tez adının "*Alüminyumoksit ve Selenyum ince filmlerinde dielektrik dispersiyonun taşıyıcı cinsine bağlılığı*" olması daha uygundur.

Danışmanım Prof.Dr.Taner Bulat'a teşekkür ederim.

Sayın Dr. Atila Akseli 'ye teşekkür ederim.

Eşim Kemal Ulutaş, Saffettin Yıldırım, Ayşe Kızılersü, Nevin Kalkan ve diğer arkadaşlarım ile aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZ	III
ABSTRACT	IV
I. GİRİŞ	1
II. MATERYAL VE METOD	4
III. BULGULAR	30
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	55
V. ÖZET	58
SUMMARY	59
VI. KAYNAKLAR	60
VII. EK	65
VIII. ÖZGEÇMİŞ	90

ÖZ

“Yarıiletken ve yarıizolatör katı maddelerin ince film halindeki elektronik davranışlarının incelenmesi”

Bu çalışmada Alüminyum oksit ve Selenyumun dielektrik dispersiyonunun kalınlığa ve sıcaklığa bağılılığı araştırıldı. Yapıya bağılı olarak farklı frekans bölgelerinde hakim iki farklı polarizasyon mekanizmasının var olabileceğı üzerinde duruldu.



ABSTRACT

“Electronic behaviour of semiconductor and semiinsulator solid materials in thin film configuration.”

Thicknesses of samples and temperature dependence of the dielectric dispersion of Aluminium oxide and Selenium were investigated. It is concluded that there can be two different types of polarisation which is dominant in different regions of frequency depend on the structure of samples.



I. GİRİŞ

İletken olmayan düzensiz katıların elektronik yapısı elektrik iletkenlik çalışmaları ile belirli oranda açıklanabilmektedir. Değişken alan iletkenliği çalışmaları taşıyıcı davranışının zamana bağlılığını inceleme imkanı vermektedir. Bir dielektrik cisim değişken bir elektrik alanda bulunduğu yük taşıyıcılarının cinsine ve davranışına bağlı olarak çeşitli polarizasyon mekanizmaları meydana gelir. Relaksasyon zamanı dağılımı düzensiz yapılı dielektrik katıların karakteristik bir özelliğidir. Anderson, Halperin ve Varma [1] düşük sıcaklık davranışını iyonların tünelleme mekanizmasına göre açıklamışlardır. Sidebottom, Green ve Brow [2] farklı relaksasyon zamanlı polarizasyon mekanizmalarının meydana gelebileceğini göstermişlerdir. Değişken alan iletkenliğinin fonon frekansından küçük frekanslarda denel olarak $\sigma(\omega) \propto \omega^n$ şeklinde tayin edilmektedir. Dielektrik iletkenlik adı verilen değişken alan iletkenliğinin frekansa ω^n şeklinde bağlılığı teorik olarak Pollak ve Geballe [3] tarafından açıklanmıştır. Joncher [4], $\sigma(\omega)$ 'nın frekansa ω^n şeklindeki bağlılığını universal davranış olarak nitelemiştir. Jonscher'in n'nin iyon konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlı olacağı açıklamasına göre Lee, Liu ve Nowick [5], "n" nin sıcaklıkla ters orantılı olduğunu ve düşük sıcaklıklarda 1.0'e yaklaştığını göstermiştir .

Yapılan çalışmaların çoğunda maddelerin ince film halindeki örneklerinin kullanıldığı görülmektedir. Diğer taraftan ince film halinde yapının masif haldekinden farklı olduğu ve bu farklılığın ince film halinde gerilimin farklı olmasından ileri geldiği açıklanmıştır [6, 7, 8, 9]. Weaver gerilim nedeniyle yapının daha boşluklu olacağını ve void şeklindeki boşlukların gerilim arttıkça birleşerek yarıklar oluşturacağını göstermiştir. Génin [9], ise gerilimin granüler bir yapıya neden olacağını göstermiştir. Boşluklu ve granüler (parçalı) yapıdaki iletim mekanizmaları granüller arası tünelleme [10], etkin ortam (yapıda iletkenliğin farklı olduğu bölgelerin varlığı kabul ediliyor) [11] ve perkolasyon (taşıyıcının "cluster "adı verilen

bölgelerde ilerlediği kabul ediliyor.) kümeleri [12] yaklaşımlarına göre açıklanmaya çalışılmıştır.

Lohwasser ve grubu [13], granüler yapılu seryum oksit filmlerinde granül sınırlarında taşıyıcı birikimi olduğunu ve iletkenliğin granül boyutlarına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Abdullah, Bui, Loubiere [14] ZnO filmlerinde gözledikleri relaksasyon zamanı dağılımını yapının izolatör bir ortam içinde ayrı ZnO granülleri halinde olmasına atfetmişler ve relaksasyon zamanı dağılımına sıcaklığın etkisini inceleyerek farklı sıcaklıklar için farklı maksimumlar tayin etmişler. Ayrıca dissipasyon faktörünün frekansa bağlılığında 10^4 Hertz civarında sıcaklık arttıkça yüksek frekanslara kayan minimum tayin etmişler. Fakat herhangi bir yorum yapmamışlar. Joncsheer [15] benzer olarak çok tabakalı stearik asit filmlerinde 10^2 - 10^3 Hertz civarında $\chi''(\omega)$ minimumları tayin etmiş, fakat yorum yapmamıştır. ω^n bağlılığına sıcaklığın etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. [16,17]. Pollak tarafından sunulan HOB (hopping over the barrier) modelini gözönüne alan Gupta ve Mansingh [18] n'nin sıcaklığa bağlılığının, polarlamanın taşıyıcıların bir potansiyel engeli üzerinden hoptamasıyla meydana gelmesine bağlı olarak açıklanabileceğini göstermişlerdir. Höhler[19] taşıyıcının tünelleme olasılığının

$$hW_0/2 \left(\exp \left(- mV / 2 h^2 \right) d \right)$$

ile orantılı olduğunu göstermiştir. Burada $h W_0 / 2$ iki potansiyel minimumunun arasındaki enerji farkı , d potansiyel engelinin genişliği , V potansiyel engelinin yüksekliği ve m tünelleyen partikülün kütlesidir. Iwamoto [20] SiO₂ in dielektrik özelliklerini incelediği çalışmasında gözlediği uzun relaksasyon zamanı varlığını iyonik hoptama mekanizmasına göre açıklamıştır. Iwamoto iyonların ardışık potansiyel engelleri üzerinden hoptayarak elektrotlar arası deplasman yapabileceğini gözönüne almış ve büyük relaksasyon zamanı

nedeni olarak elektrotlar arası uzay yük polarizasyonunu ileri sürmüştür. Ayrıca relaksasyon zamanı dağılımını da potansiyel engellerinin farklılığına atfetmiştir. İnce film halinde yapı sürekli değildir. Yapıdaki süreksizlikler vacancy, void veya flaw (yarık) şeklinde olabilmektedir [8]. Yapıdaki gerilimin sonucu olarak meydana gelen yarıkların varlığında yapı parçalı veya granüler halde olur. Dietz ve grubu [21] SrTiO₃ filmlerindeki taşıyıcı davranışını inceledikleri çalışmalarında iletkenliğin granüller için hoplama mekanizmalarından başka granüller arası tünellemeyle de sınırlı olacağını söylemişlerdir.

Bu çalışmada, Weaver [6], Genin [9] ve Parfitt [8] tarafından tayin edildiği gibi dielektrik film yapısının boşluklu ve granüler olduğunu gözönüne alarak, uzun relaksasyon zamanlarının varlığı ve dissipasyon faktörü veya kayıp faktörünün frekansa bağlılığında gözlenen anomali açıklanmaya çalışıldı. İyonik polarizasyonun hakimiyetini irdeleyebilmek için Alüminyum okside ait sonuçlarla homopolar yapılı Selenyuma ait sonuçlar karşılaştırıldı.

II. MATERYAL VE METOD

Vakumda boyutlarıyla karşılaştırıldığında aralarındaki d mesafesi çok küçük olan iki paralel levhadan meydana gelen bir kondansatör gözönüne alalım. Levhaların sırasıyla $+ \eta A$ ve $- \eta A$ yükleriyle yüklendiğini düşünelim. A bir levhanın alanı ve η yüzey yük yoğunluğudur. Sabit bir potansiyel farkı uygulandığında levhalar arasında meydana gelen ve uniform olduğu kabul edilen elektrik alan değeri,

$$E = 4 \pi \eta \quad (\text{CGS}) \quad (1)$$

Bu kondansatörün iki levhası arasında değeri,

$$\Phi = E d \quad (2)$$

olan potansiyel farkı ölçülür. Levhalar üzerindeki yük değişmeden kalırken, levhalar arasındaki uzay homogen bir dielektrik madde ile doldurulursa, bu potansiyel farkı daha küçük bir değere düşer. Potansiyel farkının önceki değeri ile şimdiki değerinin oranı K_s dielektrik sabitidir. Dielektrikli kondansatörün levhaları arasındaki elektrik alanın değeri

$$E = 4 \pi \frac{\eta}{K_s} \quad (3)$$

olur. Görüldüğü gibi, levhalar arasındaki alan dielektrik yerleştirildikten sonra K_s

oranında azalmıştır. Levha yüzey yük yoğunluğu önce η olup, dielektrik yerleştirildikten sonra $\frac{\eta}{K_s}$ olmuş ve yüzey yük yoğunluğu $\eta - \frac{\eta}{K_s}$ kadar azalmıştır. Azalan yük yoğunluğu miktarı P ile gösterilir ise

$$P = \eta - \frac{\eta}{K_s} = \eta \left(\frac{K_s - 1}{K_s} \right) \quad (4)$$

yazılır. Yüzey yük yoğunluğu sabittir. Kondansatör levhalarına paralel dielektriğin birim yüzeyinden geçen yük dielektriğin yüzeyindekiyle aynı olduğundan P 'ye dielektriğin polarizasyonu denir. Sabit alan uygulandığında polarizasyon zamana bağlı olarak değişir ve denge değerine $t \rightarrow \infty$ 'da ulaşır. Kondansatör levhalarındaki yükler gerçek yükler, dielektrikte elektrik alanın etkisiyle yer değiştiren yükler bağlı yükler olarak adlandırılırsa, gerçek yükler cinsinden bir elektrik deplasman tarif edilebilir.

$$D = 4\pi\eta \quad (5)$$

Levhalar arasında dielektrik bulunmadığında

$$D = E$$

olur. Dielektrik bulunduğu hal için (3) ve (5) denklemlerini kullanarak

$$D = K_s E \quad (6)$$

ve (4, 5, 6) denklemlerinden de,

$$D = E + 4\pi P \quad (7)$$

bağıntıları elde edilir. Dielektriğe ait elektrik dipol momenti M olmak üzere,

$$\frac{M}{V} = P \quad (8)$$

olup $V = A.d$ dir. 6, 7 ve 8 denklemlerinden,

$$K_s - 1 = 4\pi M \frac{V}{E} = 4\pi \frac{P}{E}$$

elde edilir. $\frac{P}{E} = \chi$ ye ortamın süsseptibilitesi denir. Dolayısıyla

$$K_s - 1 = 4\pi \chi$$

olur. Dielektrik sabitinin polarizlenebilirliğe bağlılığı genel olarak

$$\frac{K_s - 1}{K_s + 2} = \frac{1}{3\epsilon_0} \sum n_i \alpha_i \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilen Clausius - Mosotti denklemi ile verilir. Burada n_i i. ci polarizasyon

mekanizmasına ait dipol konsantrasyonu, α , polarizlenebilirliği göstermektedir.

Ele alınan kondansatöre

$$E = E_0 \cos \omega t$$

şeklinde bir alan uygulandığında D ile E aynı fazda olmayacaktır, aralarında ϕ kadarlık bir faz farkı vardır. Yani

$$D = D_0 \cos(\omega t - \phi) = D_1 \cos \omega t + D_2 \sin \omega t \quad (10)$$

dır. Burada

$$D_1 = D_0 \cos \phi \quad D_2 = D_0 \sin \phi \quad (11)$$

dir. D_0 , E_0 ile orantılıdır ve D_0 / E_0 oranı çoğunlukla frekansa bağlı olacaktır. Bu yüzden ikiside frekansa bağlı iki farklı dielektrik sabiti kullanılarak .

$$D_1 = K_1 E_0 \quad \text{ve} \quad D_2 = K_2 E_0 \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. (11,12) den dielektrikteki enerji kaybıyla orantılı bir büyüklük olan

$$\tan \delta = \frac{K_2}{K_1} \quad (13)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemler kompleks ifade kullanılarak bileşke formda

$$K = K_1 + i K_2 \quad (14)$$

yazılabilir. Permittivite ile dielektrik sabiti arasındaki ilgi $K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ şeklindedir.

ϵ_0 boşluğun permittivitesi, ϵ dielektrik ortamın permittivitesidir.

Sinüzoidal bir elektrik alan bulunan bir dielektrik ortamda gözönüne alınan deplasman alanının elektrik alan ile aynı fazda olmaması polarizasyonun uygulanan alanı aynı fazda takip edememesinden ileri gelmektedir [24]. Böylece ölçülen permittivitenin bir relaksasyonu ortaya çıkar. Bu davranış aşağıdaki denklemle formal olarak ifade edilir:

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \int_0^\infty \alpha(t) e^{i\omega t} dt \quad (15)$$

ϵ_∞ yüksek frekansta permittivitenin değeridir ve bir sabite eşittir. $\alpha(t)$ uygulanan elektrik alanın arkasından polarizasyonun geri kalışını hesaplamak için konulmuş bir sönüm fonksiyonudur. $\omega \rightarrow \infty$ iken $\alpha(t) \rightarrow 0$ dir. Çünkü frekans bir bozunmaya yol açmayacak kadar büyüktür veya frekans bir bozunmanın olabilmesi için geçen zamandan çok büyük olduğundan hiç bozunma olmaz. $\alpha(t)$ ise sabit bir elektrik alanın aniden kesilmesi veya aniden uygulanmasından sonra polarizasyonu tarif etmelidir.

Debye etkileşmeyen eşdeğer dipollerden meydana gelen model bir dielektrik sistemin polarizasyon davranışını, polarize olmuş bir halden kararlı hale dönme sürecini relaks süreci olarak gözönüne almış ve sönüm fonksiyonunu τ relaksasyon zamanı cinsinden

$$\alpha(t) = \alpha(0) e^{-t/\tau} \quad (16)$$

şeklinde ifade etmiştir. (15) nolu denklemde bu ifadeyi yerine yazarak

$$\varepsilon (\omega) = \varepsilon _{\infty } + \int _0^{\infty } \alpha (0) e^{(i\omega - \frac{1}{\tau})t} dt \quad (17)$$

elde edilir. $\omega(0)$ da $\varepsilon (\omega) = \varepsilon_s$ dir. Buna göre, $\varepsilon_s = \varepsilon_{\infty} + \tau \alpha (0)$ ve

$$\alpha(0) = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{\tau} \quad (18)$$

elde edilir. $\alpha (0)$ 'ı (16) da yerine yazarsak,

$$\alpha(t) = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (19)$$

bulunur. Bu ifadeyi (17) denklemde yerine yazarsak,

$$\varepsilon (\omega) = \varepsilon _{\infty } + \int _0^{\infty } \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{\tau} e^{-t/\tau} e^{i\omega t} dt \quad (20)$$

Buradan

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{1 + i\omega\tau} \quad (21)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde reel ve sanal kısımları ayrı ayrı yazıp düzenlersek,

$$\epsilon_1 = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (22)$$

$$\epsilon_2 = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty) \omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (23)$$

elde edilir. Bu denklemlere Debye denklemleri denir.

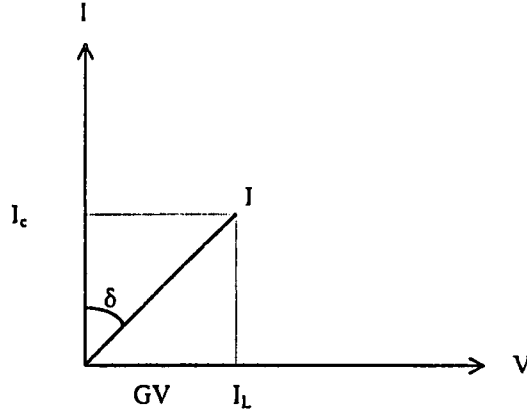
Bir hava kondansatörüne [24]

$$V = V_0 e^{i\omega t} \quad (24)$$

şeklinde bir alternatif potansiyel farkı uygulanırsa akım

$$I = i \omega C_0 V \quad (25)$$

olur. Burada C_0 hava kondansatörünün kapasitansdır ve değeri $C_0 = \epsilon_0 A / d$ dir. Akım uygulanan potansiyelden 90° ileridedir. Yani aralarında $\pi/2$ kadar faz farkı vardır. İncelenecek dielektrik paralel plakalı bir kondansatörün elektrotları arasına yerleştirilerek elde edilen kondansatöre aynı potansiyel farkı uygulandığında faz farkı $\pi/2$ 'den küçük olur. Yani faz farkı $\pi/2$ değil $\pi/2 - \delta$ kadar olur.



I_L kayıp akımı (loss current),

I_C yükleme akımı (charging current)

Bu, akımın uygulanan voltajla aynı fazda bir bileşeni olması demektir, ve şekildeki diyagramla gösterilebilir. Bu durumda akım

$$\vec{I} = (i \omega C + G) \vec{V} \quad (26)$$

olur. C dielektrikli kondansatörün kapasitansdır, ve değeri $C = \epsilon A / d$ dir. ϵ dielektrik ortamın permitivitesidir. Dielektriğe ait konduktans olan G

$$G = \sigma \frac{A}{d} \quad (27)$$

şeklinde ifade edilir. Konduktans ifadesi (26) denkleminde yerine konursa,

$$\vec{I} = (i \omega \epsilon \frac{A}{d} + \sigma \frac{A}{d}) \vec{V} \quad (28)$$

elde edilir. Buradan akım yoğunluğu,

$$\vec{J} = i \omega \epsilon \frac{\vec{V}}{d} + \sigma \frac{\vec{V}}{d} = (i \omega \epsilon + \sigma) \vec{E} \quad (29)$$

olarak elde edilir.

$i \omega \epsilon + \sigma = \sigma^*$ dersek

$$\vec{I} = \sigma^* \vec{E} \quad (30)$$

olur. Permittiviteye geçmek için kompleks olarak ifade edilen iletkenliği,

$$\frac{\sigma^*}{i \omega} = \epsilon - i \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon' \quad (31)$$

şeklinde düzenleyip permittivite $\epsilon^* = \epsilon_1 - i \epsilon_2$ olarak tanımlanırsa akım yoğunluğu için

$$\begin{aligned} \vec{J} &= i \omega \epsilon^* \vec{E} = i \omega (\epsilon_1 - i \epsilon_2) \vec{E} \\ &= i \omega \epsilon_1 \vec{E} + \omega \epsilon_2 \vec{E} \end{aligned} \quad (32)$$

elde edilir. Burada ϵ_1 ve ϵ_2 permittivitenin gerçek ve sanal kısımlarıdır. Bu durumda iletkenlik,

$$\sigma = \frac{J}{E} = i \omega \varepsilon_1 + \omega \varepsilon_2 \quad (33)$$

olur. $\omega \varepsilon_1$ kondansatörün yüklenme akımına ait iletkenliktir. $\omega \varepsilon_2$ ise dielektrik ortamın iletkenliğidir.

Akımın uygulanan potansiyel ile aynı fazda olan bileşeni ile 90° ileride olan diğer bileşenin oranı

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_L}{I_c} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (34)$$

disipasyon faktörünü verir.

Net yük içermeyen ve e_i yüklerinden meydana gelen bir dielektrik için $\sum e_i = 0$ dır. Sabit bir noktaya göre bir e_i yükünün dipol momenti $e_i \vec{l}_i$ dir. \vec{l}_i , sabit noktadan e_i 'ye doğru olan vektördür. Sistemin toplam momenti, bütün bağımsız dipollerin vektörel toplamı olan $\sum e_i \vec{l}_i$ dir. Böyle bir sistemde polarlanma yoksa

$$\sum e_i \vec{l}_{i0} = 0 \quad (35)$$

dır. Buradaki \vec{l}_{i0} , polarlanma olmadığı zaman e_i yükünün yerini gösterir. Eğer sistem polarlanmışsa yüklerin yeri \vec{r}_i kadar değişmiştir. Yani $\vec{l}_i = \vec{l}_{i0} + \vec{r}_i$ olmuştur. Bu durumda sistemin toplam momenti

$$M(\bar{x}) = \sum_i e_i \bar{r}_i \quad (36)$$

dir. Sistemin atom , molekül veya daha büyük birimlerden meydana geldiği gözönüne alınabilir. Her birim $e_{j1}, e_{j2}, \dots, e_{js}$ yüklerini içersin. Her bir birimdeki yüklerin koordinatlarını

$$\bar{X}_j = (\bar{r}_{j1}, \bar{r}_{j2}, \dots, \bar{r}_{js}) \quad (37)$$

olmak üzere bir X_j takımı ile gösterelim. Bu durumda j.nci birimin dipol momenti

$$\bar{m}(x_j) = \sum_{k=1}^s e_{jk} \bar{r}_{jk} \quad (38)$$

olur. Bütün birimlerin dipol momentlerinin toplamı, sistemin yani dielektriğin dipol momentini verir.

$$\bar{M}(x) = \sum_j \bar{m}(x_j) \quad (39)$$

Bu toplam gözönüne alınabilecek her birim türü için geçerlidir.

Elektrik dipol momentine, partikülün deplasmanının katkılarını tayin etmek için iki durum gözönüne alınabilir:

1- Partikülün denge konumuna elastik bağlı olduğu durum:

m kütleli e yüklü bir partikül \vec{r} mesafesi kadar yer değiştirmişse $-\vec{r}$ ile orantılı bir kuvvete maruz kalır. - işareti partikül üzerine etkiyen kuvvetin deplasmana karşı yönde olduğunu gösterir. Eğer sabit bir \vec{f} alanı partiküle etki ediyorsa, bu durumda hareket denklemi

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = -m \omega_0^2 \vec{r} + e \vec{f} \quad (40)$$

olur. $\omega_0 / 2\pi$ doğal salınım frekansı, $-m \omega_0^2 \vec{r}$ geri çağırıcı kuvvet, $e \vec{f}$ ise elektrik alan nedeniyle etkiyen kuvvettir. e yükü \vec{r} noktası civarında osilasyon yapar.

$$\vec{r} = \vec{r} + C \cos(\omega t + \Theta) \quad (41)$$

$$\vec{r} = \frac{e \vec{f}}{m \omega_0^2}$$

ortalama deplasman, C ve Θ ise sabittir. Bu duruma ait ortalama dipol

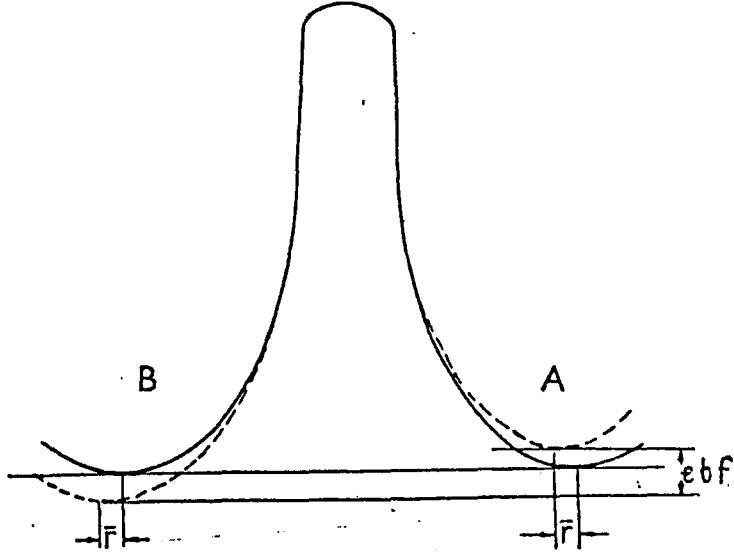
moment

$$e \vec{r} = \frac{e^2}{m \omega_0^2} \vec{f} \quad (42)$$

olur.

2- Partikülün farklı iki denge konumunda bulunması durumu:

e yüklü partikül aralarında b mesafesi bulunan A ve B gibi iki denge konumunda bulunabilsin.



Şekil 1: İki denge konumuna sahip yüklü bir partikülün potansiyel enerjisi. Kesikli çizgiler bir \bar{f} dış alanının varlığındaki durumu gösterir.

Elektrik alan yokken partikülün her iki konumda da potansiyel enerjisi aynı olsun. Böylece partikülün A' da ve B' de bulunma olasılıkları eşit olur. Bir f alanı uygulanırsa alan bu partiküle iki şekilde etkiyecektir: Birincisi, A ve B konumları \bar{f} kadar kayacaklardır. İkinci olarak , partikülün her iki konumdaki V_A ve V_B potansiyel enerjileri değişecektir. Bu durumda

$$V_A - V_B = e(\bar{b} \cdot \bar{f}) \quad (43)$$

olur. $e(\bar{b} \cdot \bar{f})$: partikülün alanla etkileşme enerjisidir. Buna göre, zaman ortalaması olarak B durumunda A' dakinden daha çok kalır. İstatistik mekaniğe göre, bir partikülün bir V

potansiyel enerjisinde bulunma olasılığı $e^{-V/kT}$ ile orantılı olup, buna göre partikülün A' da bulunma olasılığı

$$P_A = \frac{e^{-V_A/kT}}{e^{-V_A/kT} + e^{-V_B/kT}} \quad (44)$$

ve B' de bulunma olasılığı

$$P_B = \frac{e^{-V_B/kT}}{e^{-V_A/kT} + e^{-V_B/kT}} \quad (45)$$

olur. Partikülün iki konumdan birinde mutlaka bulunma koşulundan dolayı

$$P_A + P_B = 1 \quad (46)$$

dır. (45) ve (46) denklemlerinden

$$P_B - P_A = \frac{e^{(\bar{v}_f)/kT} - 1}{e^{(\bar{v}_f)/kT} + 1} > 0 \quad (47)$$

elde edilir. Uzun bir t_1 zamanını gözönüne alırsak, partikül A konumunda

$$P_A t_1 = [1/2 - 1/2 (P_B - P_A)] t_1$$

zamanını ve B konumunda

$$P_{Bt_1} = [1/2 + 1/2 (P_B - P_A)] t_1$$

zamanını harcar. Böylece zamanının $1/2 (P_B - P_A)$ kısmında A' dan B' ye b mesafesi kadar yer değiştirmiştir. Alanla meydana gelen ortalama moment

$$1/2 e b (P_B - P_A) \quad (48)$$

dir. (45) ve (46) denklemlerini kullanarak momentin alan yönündeki değeri

$$\frac{1}{2} e b \cos \theta \frac{e^{e b f \cos \theta / k T} - 1}{e^{e b f \cos \theta / k T} + 1} \quad (49)$$

olur. θ \vec{b} ve \vec{f} arasındaki açıdır. $f = 300 \text{ V / cm} = 1 \text{ esü}$, $b = 10^{-8} \text{ cm}$ (yaklaşık olarak komşu atomlar arasındaki uzaklık) ve $T = 300 \text{ }^{\circ}\text{K}$ (oda sıcaklığı) alınırsa

$$e b f / k T \cong 10^{-4}$$

elde edilir. Buna göre

$$e b f \ll k T \quad (50)$$

olur. Böylece (49) denklemini bu sonuca göre geliştirirsek, alan yönündeki ortalama moment

$$\frac{\left(\frac{1}{2} e b \right)^2 \cos^2 \theta f}{k T} + e \bar{r} \quad (51)$$

olur. $e\bar{r}$ elastik deplasmanlara ait terimdir.

Aralarında d mesafesi bulunan $+e$ ve $-e$ yüklerinden meydana gelen $\bar{\mu} = e\bar{d}$ elektrik dipol momentini gözönüne alalım. Alanla dipol arasındaki etkileşme enerjisi

$$-\bar{\mu} \cdot \vec{f} \quad (52)$$

ile verilir. $\bar{\mu}$ ve \vec{f} arasındaki açı θ olmak üzere dipolün iki denge konumu arasındaki enerji farkı $2 \mu f \cos \theta$ olur. Bu durum

$$\bar{\mu} = (1/2) e \bar{b} \quad (53)$$

alındığında (43) denklemine eşittir. A ve B'nin ortasına sabit bir $-e$ yükü koyalım. A ve B den $-e'$ nin uzaklığı $b/2$ olacağından $\bar{\mu} = (1/2) e \bar{b}$ dipol momentine yol açar. (51) denkleminde yerine koyarsak, alan yönünde moment

$$\frac{\mu^2 \cos^2 \theta}{kT} f + e\bar{r} \quad (54)$$

olarak elde edilir.

İLETKENLİK

A - Sabit alan iletkenliği [26]

A1- Yaygın Durum İletkenliği: Lokal orbitallerin yeterli oranda örtüşmesi ile meydana gelen yaygın orbitallerin işgali, işgal edilen orbitallerin kesri çok küçük olduğu için $\left(\frac{G(\epsilon)}{D(\epsilon)} \ll 1 \right)$ Boltzmann istatistiği kullanılarak

$$f(\epsilon) = \frac{1}{\exp\left(\frac{\epsilon - \epsilon_F}{kT}\right)} \quad (55)$$

olarak ifade edilebilir. Burada $D(\epsilon)$ durum yoğunluğu, $G(\epsilon)$ işgal edilen durumların yoğunluğudur. Bir ϵ enerjisi ile $\epsilon+d\epsilon$ enerjisi aralığındaki durum sayısı $D(\epsilon) d\epsilon$ dir. Bu durumların işgal edilme olasılığı $f(\epsilon)$ dir. Dolayısıyla

$$D(\epsilon) f(\epsilon) d\epsilon$$

$d\epsilon$ aralığındaki elektron sayısı olmak üzere yaygın orbitallerdeki elektron sayısı

$$\begin{aligned} n &= \int_{\epsilon_c}^{\infty} D(\epsilon_c) \exp\left[-\frac{(\epsilon_c - \epsilon_F)}{kT}\right] d\epsilon \\ &= D(\epsilon_c) k T \exp\left[-\frac{\epsilon_c - \epsilon_F}{kT}\right] \end{aligned} \quad (56)$$

olur. ϵ_f : Fermi enerji düzeyidir. ϵ_c : en küçük enerjili yaygın orbital enerjisidir. Buna göre yaygın orbital iletkenliği, iletkenlik

$$\sigma = ne\mu \quad (57)$$

olmak üzere (μ : mobilite)

$$\sigma = eD(\epsilon_c) \mu_c kT \exp\left[-\frac{(\epsilon_c - \epsilon_f)}{kT}\right] \quad (58)$$

olarak ifade edilebilir. μ_c : yaygın durum mobilitesidir.

$$\sigma_0 = eD(\epsilon_c) \mu_c kT$$

yazılırsa

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left[-\frac{(\epsilon_0 - \epsilon_f)}{kT}\right] \quad (59)$$

olur.

A2-Lokal Durum İletkenliği: Elektronların aralarındaki enerji farkı $\Delta \epsilon$ olan iki durum arasındaki termal yardımlı geçiş (hoplama) oranı üç ayrı faktöre bağlıdır.

1) $\Delta \epsilon$ enerjili bir fonon bulunma olasılığına ait Boltzman faktörü

$$\exp\left(-\frac{\Delta \epsilon}{kT}\right)$$

2) Hoplama teşebbüs frekansı faktörü v_{ph} .

3) Dalga fonksiyonlarının örtüşmesini tayin eden $\exp(-2\alpha R)$ faktörü. R geçişin meydana geldiği lokal durumlar arası uzaklıktır (hoplama uzaklığı)

Böylece geçiş oranı veya hoplama olasılığı

$$v_{hop} = v_{ph} \exp\left(-2\alpha R - \frac{\Delta \epsilon}{kT}\right) \quad (60)$$

olur. Bu geçiş oranına göre difüzyon katsayısı, $D = \langle vR^2 \rangle$ olmak üzere

$$D = \frac{1}{6} v_{hop} R^2 \quad (61)$$

olur. Buradan mobilite Einstein bağıntısına göre

$$\mu = \frac{eD}{kT} = \frac{e}{kT} \frac{1}{6} v_{hop} R^2 \quad (62)$$

olarak yazılır. Diğer taraftan kT enerji aralığındaki elektron yoğunluğu

$$n = \int_{\epsilon_F}^{\epsilon_F + kT} 2D(\epsilon_F) f(\epsilon_F) d\epsilon \quad \text{ve} \quad f(\epsilon) = 1/2 \quad (63)$$

olmak üzere

$$n = 2D(\epsilon_f) \frac{1}{2} \int_{\epsilon_f}^{\epsilon_f + kT} dE = D(\epsilon_f) kT \quad (64)$$

olup, iletkenlik

$$\sigma = \frac{1}{6} e^2 R^2 D(\epsilon_f) v_p h \exp\left(-2\alpha R - \frac{\Delta \epsilon}{kT}\right) \quad (65)$$

olur. kT , aralarındaki uzaklık R 'nin küçük olduğu yakın durumlar arası hoplamaya yeterli olmazsa, taşıyıcının, enerji farkı $\Delta \epsilon$ nin daha az olduğu daha uzak durumlar arası hoplama olasılığı daha büyük olur. Mott [27] bu olasılığa göre Fermi enerji düzeyi civarındaki lokal durumlarda yer alan iletkenliği “değişken erimli hoplama iletkenliği” olarak tayin etmiştir. Birim hacimde Fermi enerji düzeyi civarında $\Delta \epsilon$ enerji aralığındaki durum sayısı $D(\epsilon_f) \Delta \epsilon$ olmak üzere, bir elektronun R uzaklığına hoplama olasılığı

$$\exp\left[-2\alpha R - \frac{3}{4\pi R^3 D(\epsilon_f) kT}\right] \quad (66)$$

dır. Hoplama olasılığının maksimum olması için

$$2\alpha R + \frac{3}{4\pi R^3 D(\epsilon_f) kT} = Z$$

minimum olmalıdır. Buna göre

$$\frac{dZ}{dR} = 0$$

tain edilirse

$$\frac{dZ}{dR} = 2\alpha - \frac{h}{4\pi D(\epsilon_F)kTR^4} = 0$$

olmak üzere, maximum hoplama olasılığı için

$$R = \left[\frac{9}{8\pi\alpha D(\epsilon_F)kT} \right]^{1/4} \quad (67)$$

elde edilir. Bu değer T sıcaklığı için en muhtemel hoplama uzaklığı olup, hoplama oranı

$$A = 2,1 \left[\frac{\alpha^3}{kD(\epsilon_F)} \right]^{1/4}$$

olmak üzere

$$v_{hop} = v_{ph} \exp \left(-\frac{A}{T^{1/4}} \right) \quad (68)$$

olup, iletkenlik

$$\sigma = \frac{1}{6} e^2 R^2 v_{ph} D(\epsilon_F) \exp \left(-\frac{A}{T^{1/4}} \right) \quad (69)$$

olur.

B- Değişken Alan İletkenliği: AC iletkenliği, değişken alanda dielektrik ortamda meydana gelen polarizasyona harcanan enerji ile orantılı olup, polarizasyon mekanizmalarına bağlı olarak açıklanabilir. Polarizasyon mekanizmaları yaygın durumlara ve lokal durumlara ait olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir. Yaygın durumlara ait polarizasyon ancak yüksek frekanslarda ölçülebilen bir iletkenliğe neden olabilir ve meydana gelen ac

iletkenliğinin frekansın karesi ile orantılı olduğu gözlenmektedir. ω^2 bağılılığı klasik Drude teorisine göre [28]

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma(0)}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (70)$$

olarak tayin edilebilir. $\sigma(0)$, dc iletkenliğine özdeşdir. Yaygın durum polarizasyonuna ait relaksasyon zamanı çok küçük olup 10^{-15} sn mertebesindedir. Serbest taşıyıcı davranışına ait olan ω^2 bağılılığının küçük frekanslarda ac iletkenliği $\sigma(\omega)$ ya katkısı yoktur. Küçük frekans iletkenliğinin lokal durumlardaki davranışlara ait olup frekansa $\sigma(\omega) \propto \omega^n$ şeklinde bağlı olduğu bilinmektedir. n denel sonuçlara göre <1 olarak elde edilmektedir. Dielektrik ortamda birden çok farklı denge konumuna sahip dipoller bulunduğu gözönüne alınır ve dipollerin farklı denge konumları arasında $\Delta \epsilon$ kadar bir enerji farkı ile bulunabildiği kabul edilirse, dipoler yönelime ait τ relaksasyon zamanının dağılımı oldukça geniş bir zaman aralığında olur.

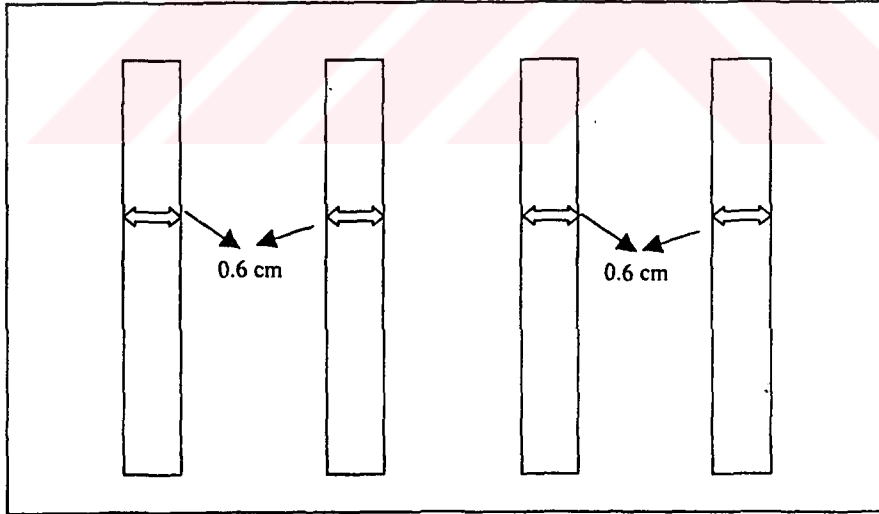
$\sigma(\omega) \propto \omega^n$ bağılılığı teorik olarak ilk defa 1961 de Pollak ve Geballe [3] tarafından tayin edilmiştir. Austin ve Mott [29] ac iletkenliği için

$$\sigma(\omega) = \frac{\pi}{3} [D(\epsilon_F)]^2 k T e^2 \alpha^{-5} \omega \left[\ln \left(\frac{v_{ph}}{\omega} \right) \right]^4 \quad (71)$$

ifadesini elde etmişlerdir. İfadedeki $\left[\ln \left(\frac{v_{ph}}{\omega} \right) \right]^4$ terimine göre $\sigma(\omega)$ nun frekansa ω^n şeklinde bağlı olduğu görülmektedir.

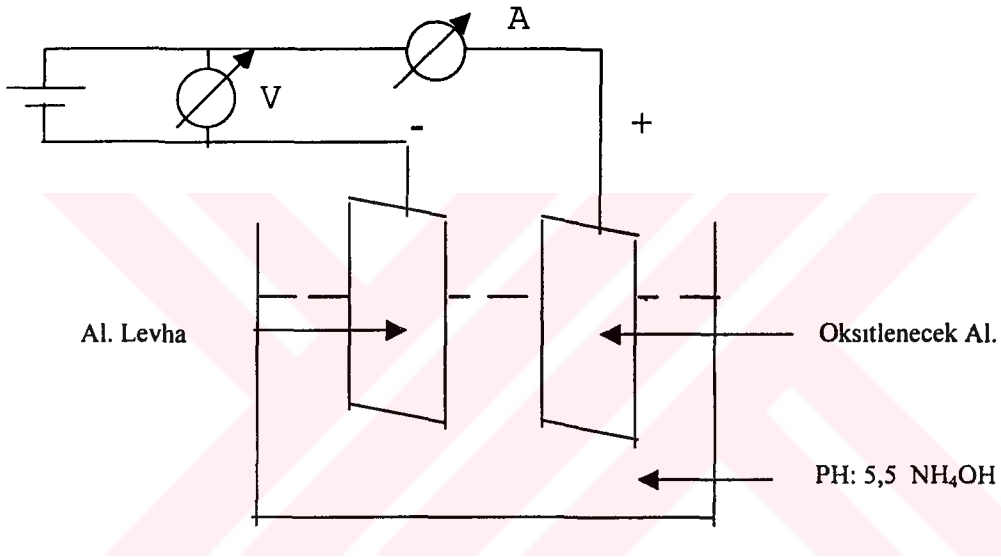
DENEY KISMI

Örneklerin hazırlanması : ac ve dc iletkenliği incelenecek örnekler metal-izolatör-metal sandviçler halinde hazırlandı. Bu örnekler iki metal elektrot arasında Al_2O_3 ve Se ince filmleri şeklindedir. Kondansatör halindeki bu örnekler için taşıyıcı olarak mikroskop lamları kullanıldı. Önce su ve deterjanla ovularak temizlenen, sonra bol su ve saf su ile yıkanan taşıyıcılara ultrasonik temizleyici de 15 dakika aseton ve 15 dakika saf su banyosu yaptırıldı. Böylece temizlenen taşıyıcılar kurumak üzere desikatörde bekletildi. Kuruduktan sonra taşıyıcılar vakuma yerleştirildi. 10^{-5} Torr'luk vakumda yaklaşık $50 \text{ A}^\circ/\text{s}$ 'lik buharlaştırma hızıyla % 99,999 saflıktaki alüminyum buharlaştırılarak birinci elektrot elde edildi. Termal buharlaştırma yolu ile elde edilen elektrotlar yaklaşık 3000 A° kalınlığında olacak şekilde hazırlandı.



Şekil 2: Alt Elektrodu Hazırlarken Kullanılan Maske

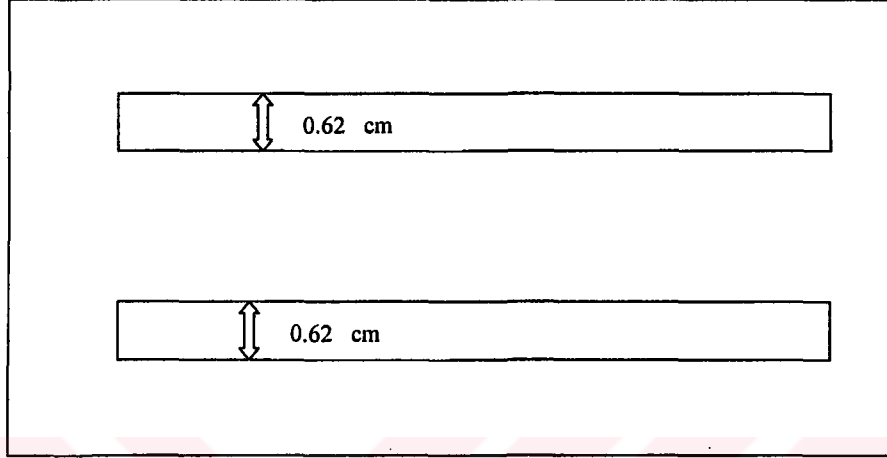
İstenilen kalınlıkta bir film elde edebilmek için kullanılması gereken Alüminyum miktarı buharlaştırma geometrisine göre hesaplandı. Buharlaştırmada spiral şeklinde hazırlanmış tungsten ve molibden flaman kullanıldı. Alüminyum buharlaşmadan çıkan kirliliklerin taşıyıcı üzerine gelmemesi için buharlaştırmanın başlangıcında taşıyıcı flaman arasına bir ekran yerleştirildi. Bir buharlaştırmada sekiz örneğin elde edilmesini sağlayan şekildeki gibi bir maske kullanıldı.



Şekil 3 : Anodizasyon Devresi

Böylece elde edilen alt elektrotlar Şekil 3'deki anodizasyon devresine anot olarak bağlandı. Katot olarak Alüminyum levha kullanıldı. Anodizasyonda elektrolit olarak kullanılmak üzere % 3'lük tartarik asit çözeltisine pH 5,5 oluncaya kadar amonyak ilave edilerek amonyum tartarat çözeltisi hazırlandı. Anodizasyonda Phillips'in PE 4830/00 tipli bir gerilim kaynağı kullanıldı. Anodizasyon oranı olarak G.Hass [30] tarafından tayin edilen $13,5 \text{ A}^\circ/\text{V}$ değeri gözönüne alındı. Örneklere, oksit tabakasını elde etmek için 2V dan 110 V a kadar farklı değerlerde potansiyel farkları uygulandı. Oksidasyon işlemi oda sıcaklığında ve

farklı oksit kalınlıklarına göre 10-40 dakika kadar sürdü. Bu sürenin sonunda devreden geçen akım 5-60 μ A arasında değişmekteydi.



Şekil 4: Üst Elektrodu Hazırlarken Kullanılan Maske

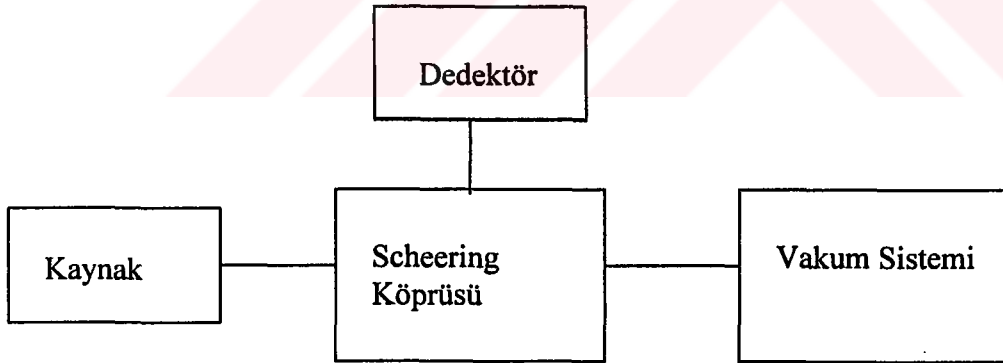
Oksitlenen örnekler amonyumtartarat çözeltisinin üzerlerinde kalmaması için saf su ile bolca yıkandı. Ve kuruması için desikatörde bekletildi. Örneklerin üst elektrotları, alt elektrotların hazırlandığı vakum şartlarında Şekil 4'deki gibi bir maske kullanılarak yapıldı. Böylece Al-Al₂O₃-Al kapasitörleri hazırlama işlemi tamamlandı. Bu örnekler iki gün bekletildikten sonra ölçüleri alındı.

Dielektrik ortam olarak Selenyum kullanılan örneklerin alt ve üst elektrotları için Al-Al₂O₃-Al kapasitörleri hazırlanırken kullanılan maskelere benzer maskeler kullanıldı. Alt elektrot 10⁻⁵ Torr'luk vakumda yaklaşık 50 A°/s'lik buharlaştırma hızıyla % 99,999 saflıktaki Alüminyum buharlaştırılarak elde edildi. Üzerine aynı vakum şartlarında önce 20 A°/s'lik buharlaştırma hızıyla % 99,9999 saflıktaki Selenyum daha sonra tekrar Alüminyum termal olarak buharlaştırılarak Al-Se-Al kapasitörleri hazırlandı. Aynı şartlarda bu kez elektrot olarak % 99,9 saflıktaki Ag kullanılarak Ag-Se-Ag kapasitörleri hazırlandı. Elektrot

olarak Al veya Ag kullanmanın ölçü sonuçlarına bir etkisi olmadığı gözlemlendi. Se tabakasının kalınlığı yaklaşık 150 \AA ile 8500 \AA arasında farklı kalınlıklarda hazırlandı.

Ölçü Sistemi: Hazırlanan Al_2O_3 ve Se örneklerinin kapasitans ve dissipasyonu

100-100.000 Hz arasındaki çeşitli frekanslarda ölçüldü. Ölçü sisteminde Gen-Rad 1615-A kapasitans köprüsü, Gen-Rad 1232-A null dedektörü ve Good Will GFG-8016 D jeneratörü kullanıldı. Ölçümler 10^{-4} Torr' luk vakumda alınmıştır. Oda sıcaklığının üzerindeki ölçülerin alınması için vakum hücresinin içine bir radyant heater (ısıtıcı) yerleştirildi. Oda sıcaklığının altındaki ölçülerin alınması için vakum hücresinin içine sıvı azot sirkülasyonunu sağlayan bir sistem yerleştirildi. Sıcaklıklar Bakır - Bakırkonstant termocift kullanılarak tayin edilmiştir. Örneklerin dc iletkenliği ölçüleri oda sıcaklığında alınmıştır. dc ölçü sisteminde bir Heathkit IP-27 kaynağı ve Kithley 410 A ampermetresi kullanılmıştır. Elektrot yüzeyleri bir vernier mikroskop kullanılarak ölçüldü. Bağlantı kablolarına ait kapasitans etkileri elimine edilmiştir.



Şekil 4 a : Ölçü Sistemine ait blok şema

BULGULAR

Çalışma;

1- Dielektrik sabitinin gerçek kısmı K_1 in dielektrik film kalınlığı azaldıkça azalması (Şekil 5, 6)

2- Dielektrik iletkenlik $\sigma(\omega)$ nın frekansa ω^n şeklinde bağlı olması ve n nin azalan sıcaklıkta artması (Şekil 7, 8)

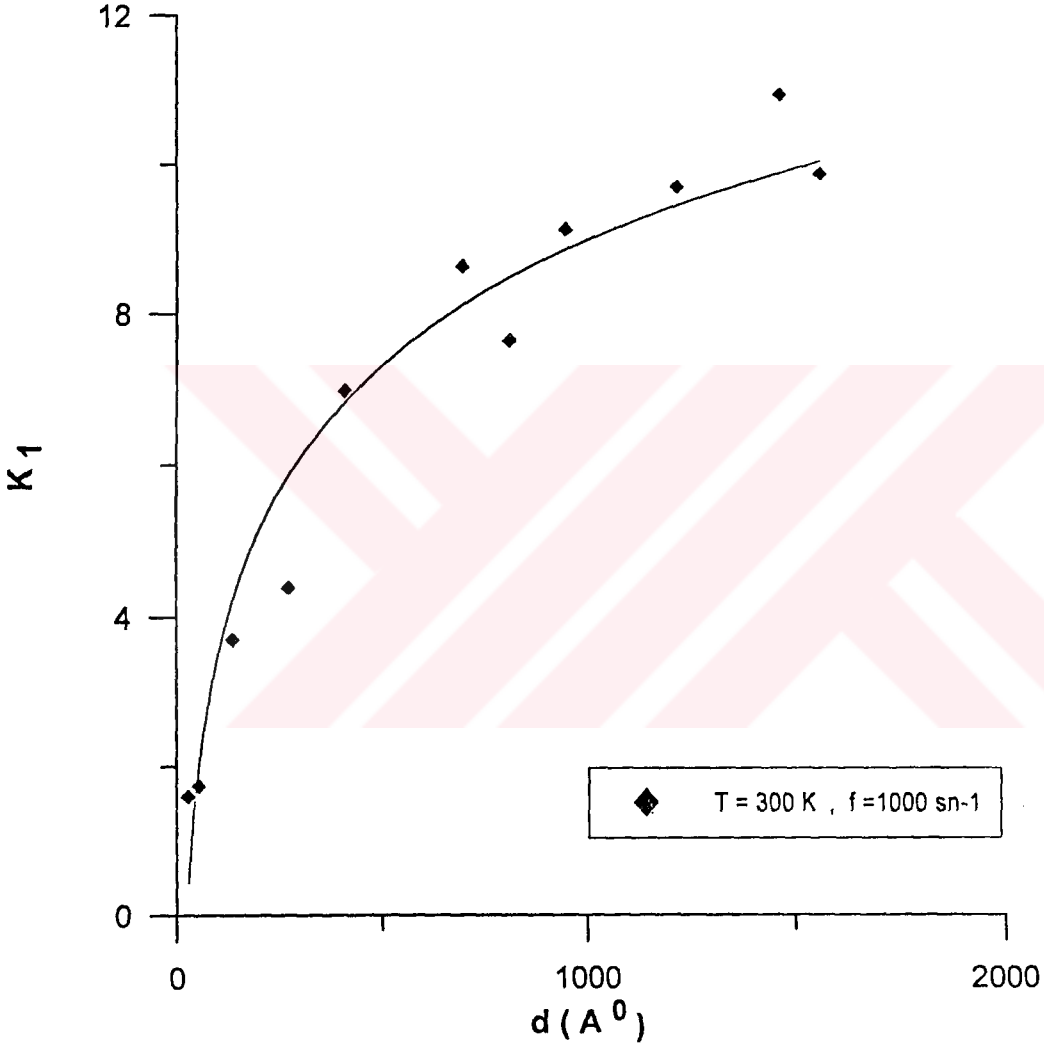
3- Dielektrik sabitinin sanal kısmı K_2 nin 1000 Hz ten küçük frekanslara doğru artması (Şekil 15 – 19)

4- K_2 nin frekansa bağlılığında 1000 Hz civarında ve sıcaklık arttıkça hafifçe yüksek frekanslara kayan bir minimum olması (Şekil 15 – 19)

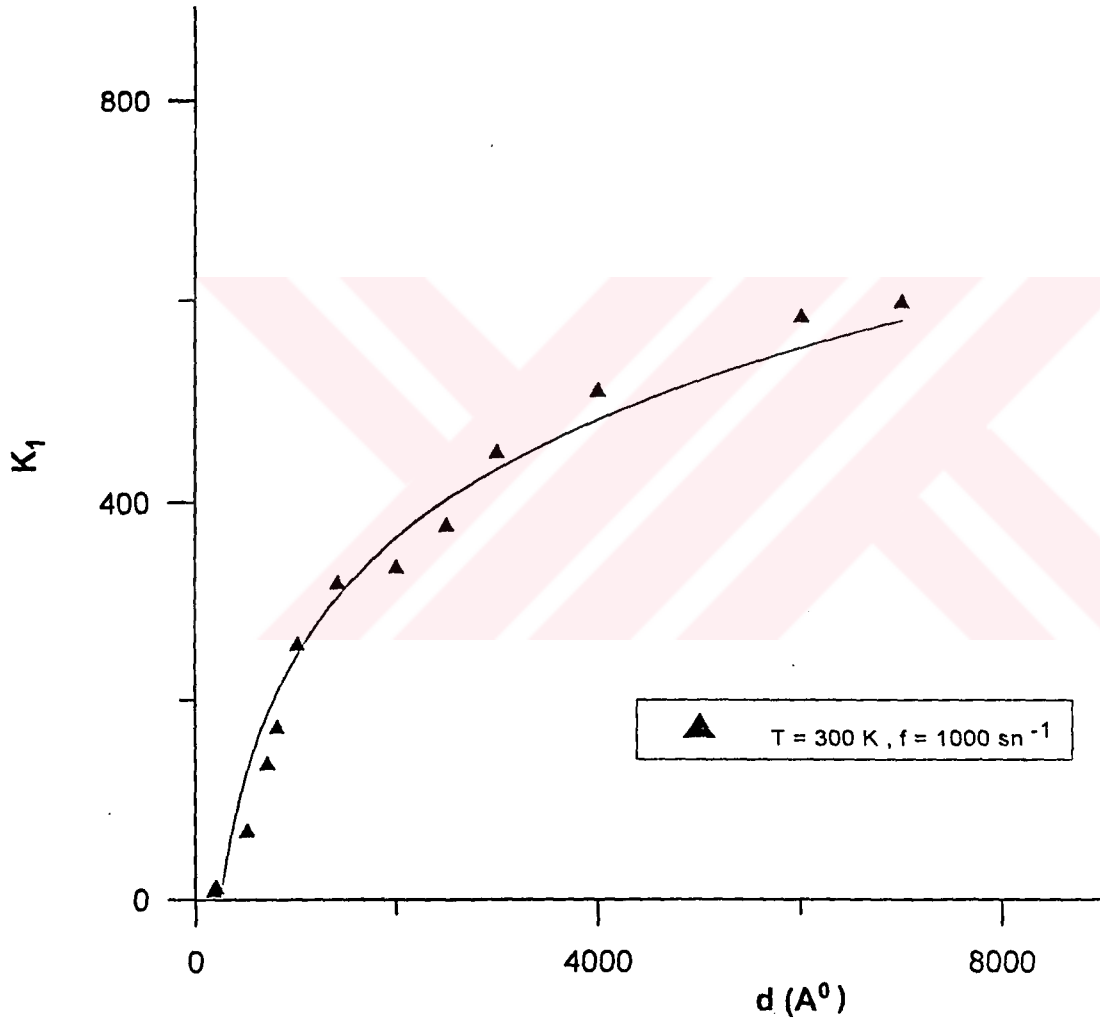
5- Dielektrik iletkenlik ile sabit alan iletkenliğinin kalınlığa bağlılıklarında benzerlik olması (Şekil 27, 28) olmak üzere 5 farklı bulgu üzerinde değerlendirildi. Herbir oksit kalınlığı için elde edilen kapasitans ve disipasyon ölçümlerine göre C-f ve tg-f tabloları oluşturulmuş ve grafikleri çizilmiştir. Yüzey ölçüleri ve oksit kalınlığı aşağıdaki bağıntılarda kullanılarak

$$C = K_1 \varepsilon \frac{A}{d} \quad \text{ve} \quad \text{tg}\delta = \frac{K_2}{K_1}$$

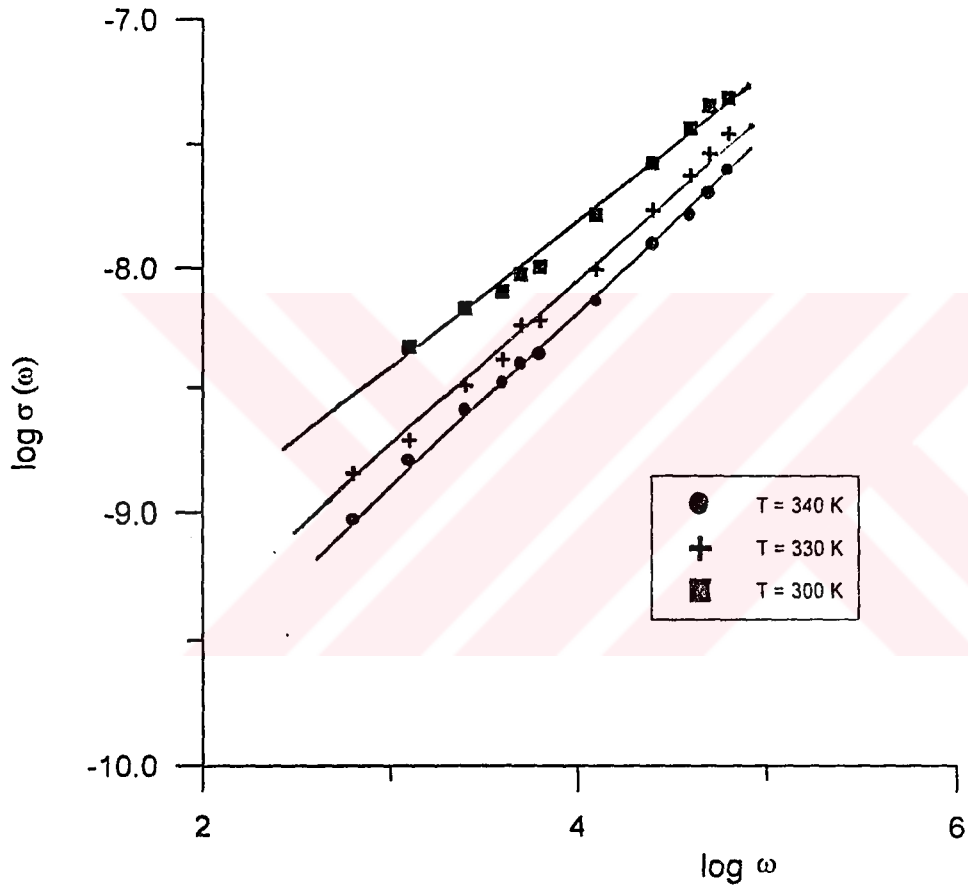
K_1 -f ve K_2 -f tabloları oluşturulmuş ve grafikleri çizilmiştir. Elde edilen K_2 değerleri kullanılarak $\log\sigma(\omega)$ - $\log \omega$ tabloları yapıp grafikleri çizilmiştir. Bütün örneklerin sıcaklığa bağlı $\text{tg}\delta$ - f ve C - f ölçüleri alınmıştır. Bu ölçülerden sadece tesadüfi seçilen kalınlıklara ait oda sıcaklığının altındaki ve üzerindeki ölçüleri verilmiş, grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklere ait tablolar EK 'tedir.



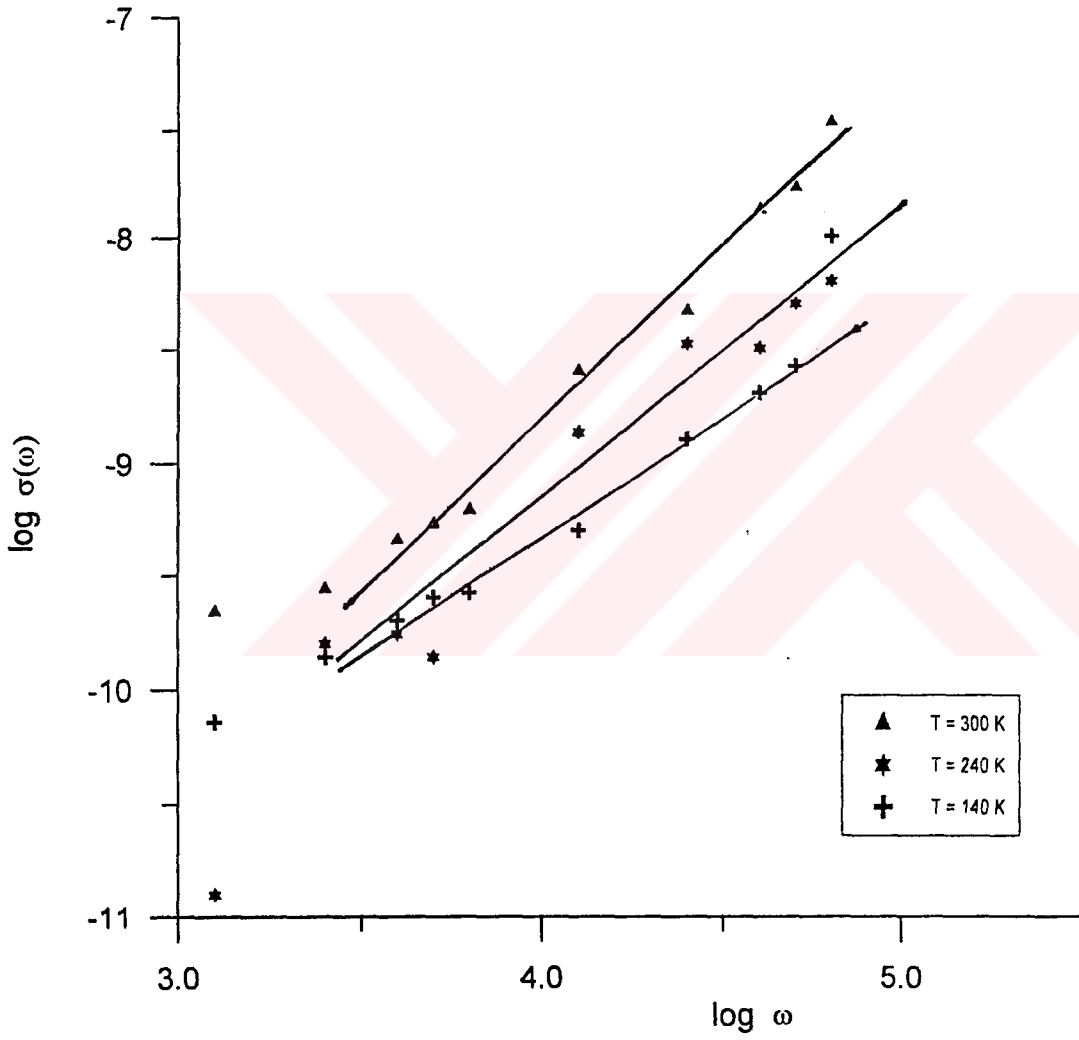
Şekil 5 : Al - Al₂O₃ - Al Kapasitörlerde dielektrik sabitinin gerçek kısmının oksit kalınlığına göre değişimi.



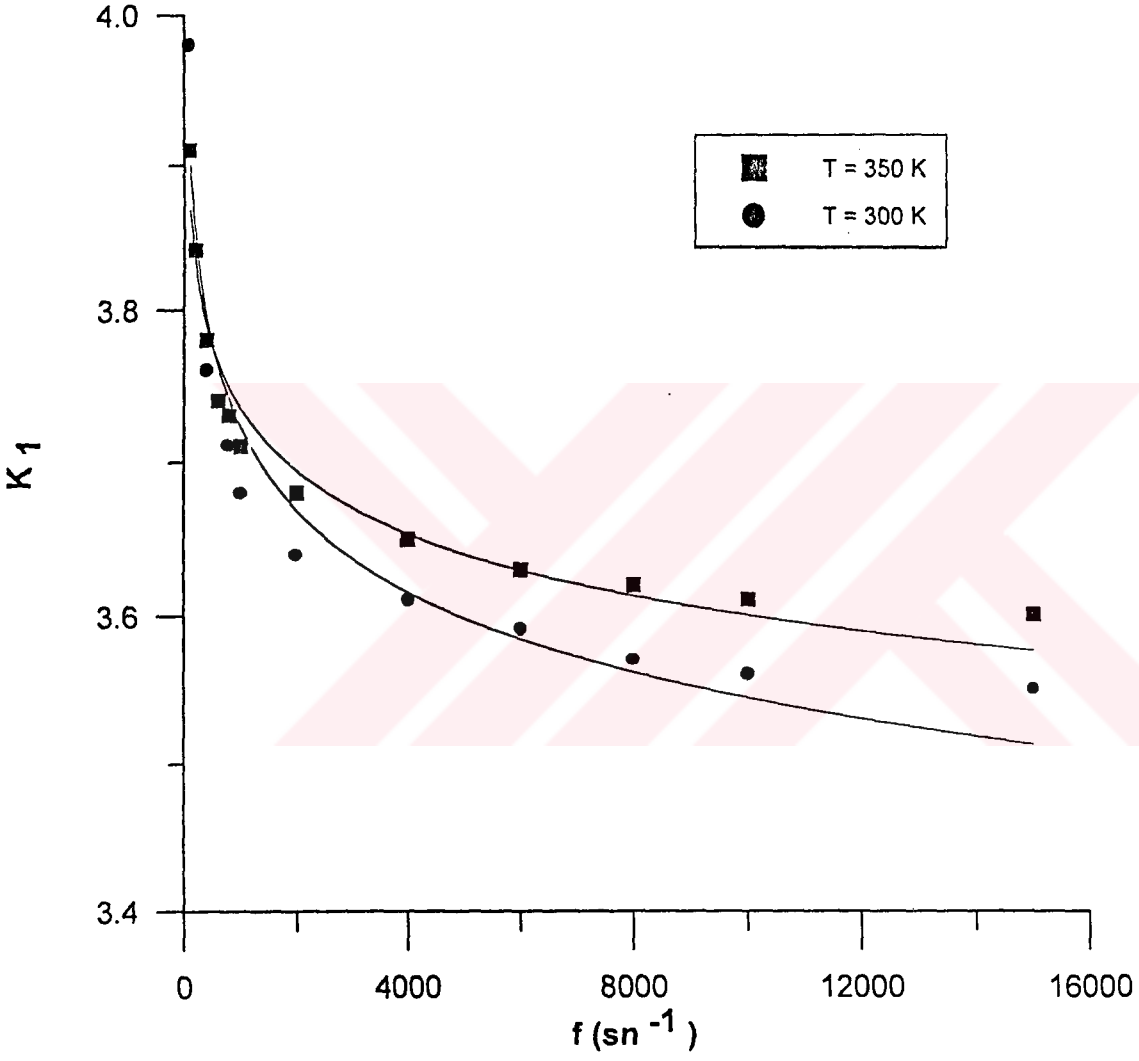
Şekil 6 : Al - Se - Al Kapasitörlerde dielektrik sabitinin gerçek kısmının Se kalınlığına göre değişimi.



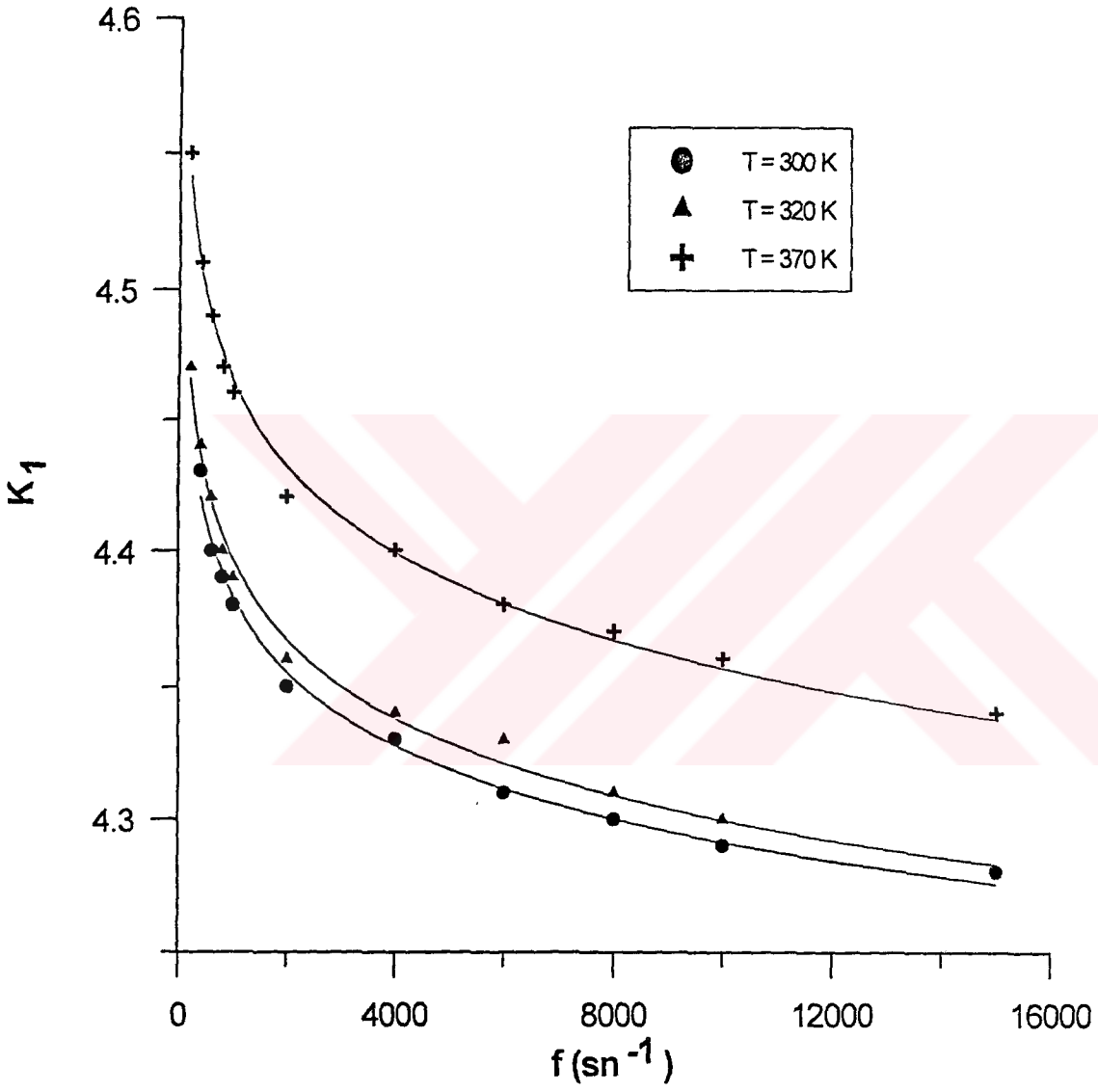
Şekil 7 : Se kalınlığı 1000 Å olan Al - Se - Al Kapasitörlere ait $\log \sigma (\omega) - \log \omega$ değişimi.



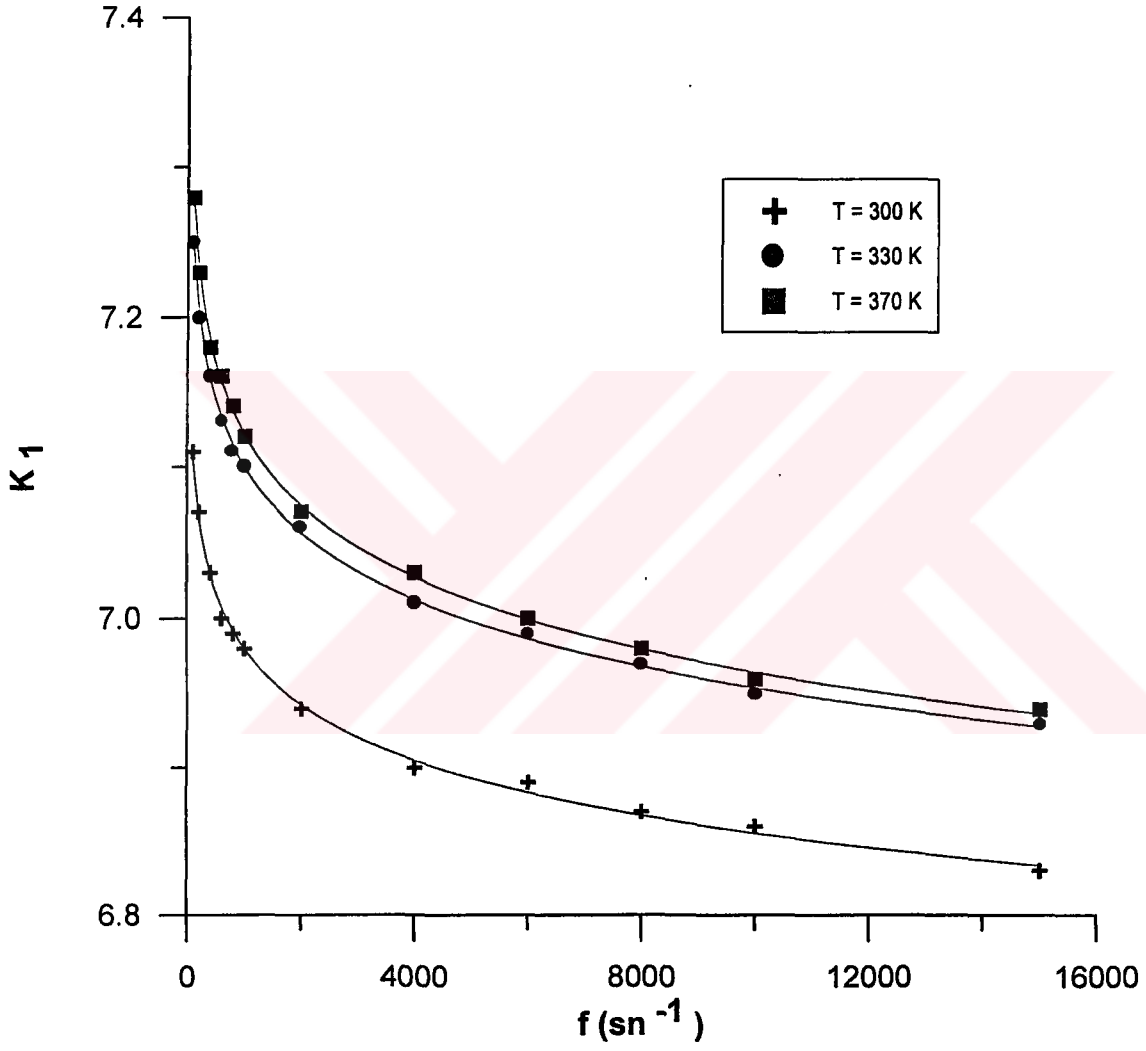
Şekil 8 : Al_2O_3 kalınlığı 1450 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait $\log \sigma(\omega) - \log \omega$ değişimi.



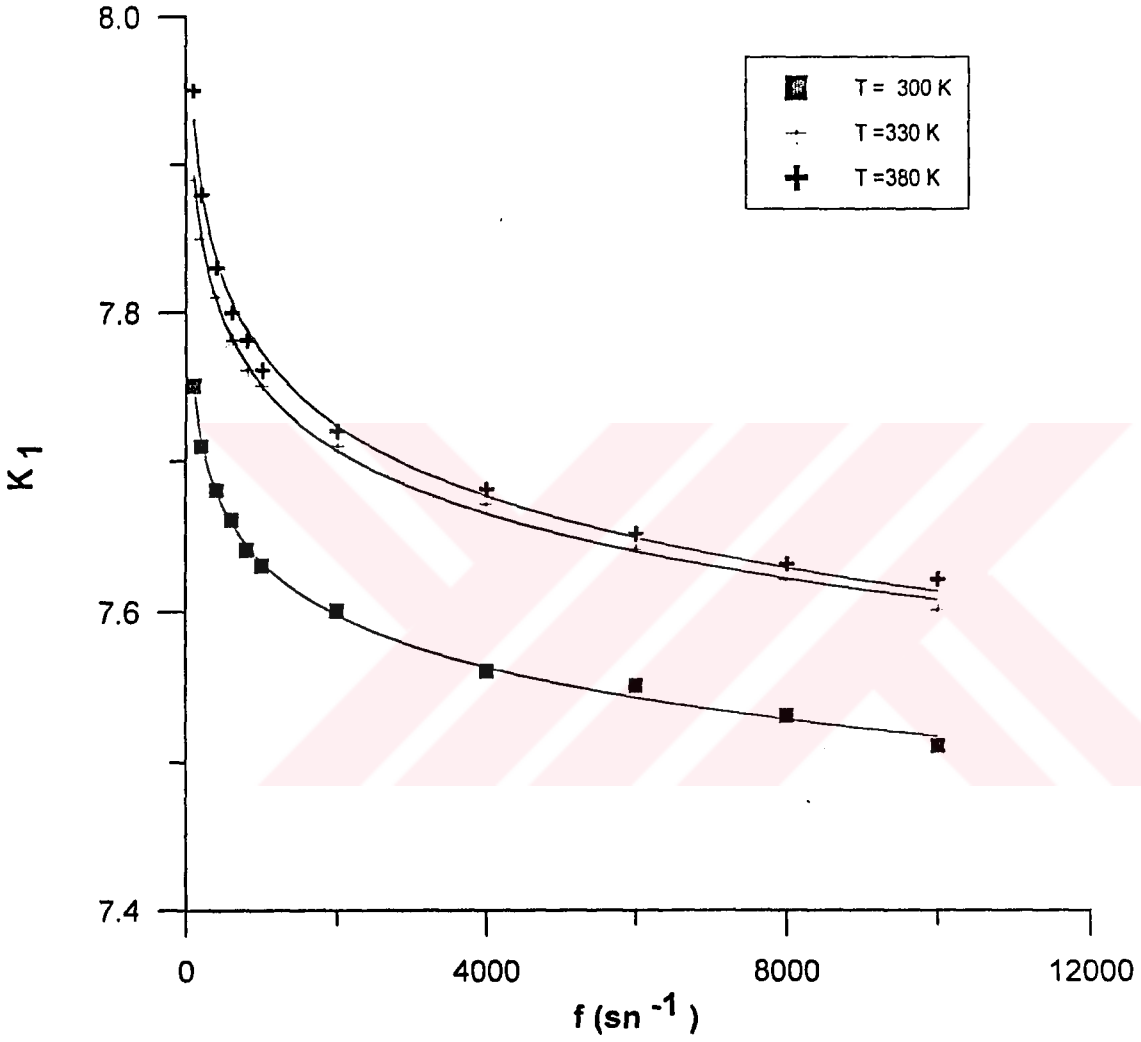
Şekil 9 : Al_2O_3 kalınlığı 135 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



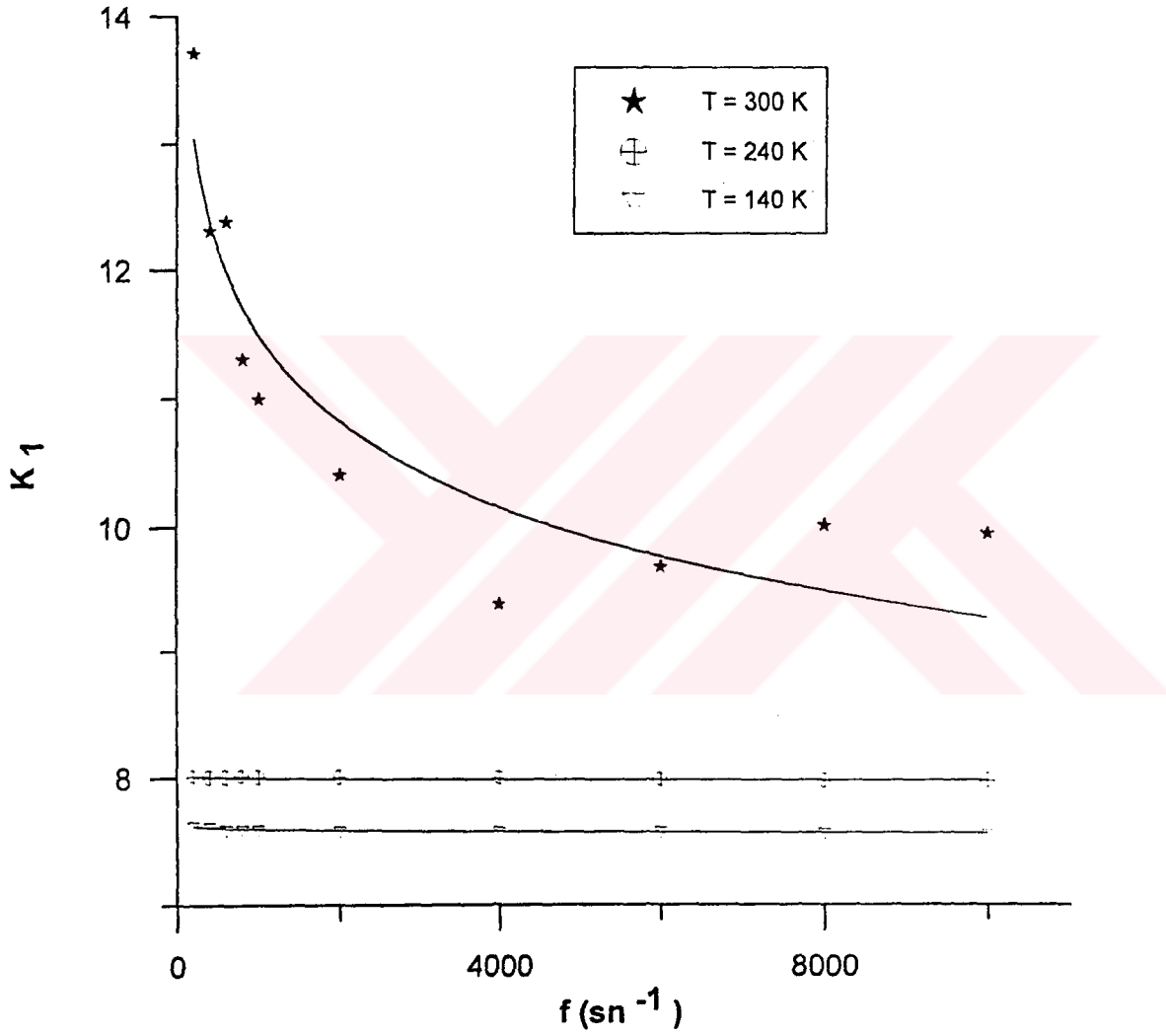
Şekil 10 : Al - Al₂O₃ - Al Kapasitörlerde 270 Å⁰ Al₂O₃ ün farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



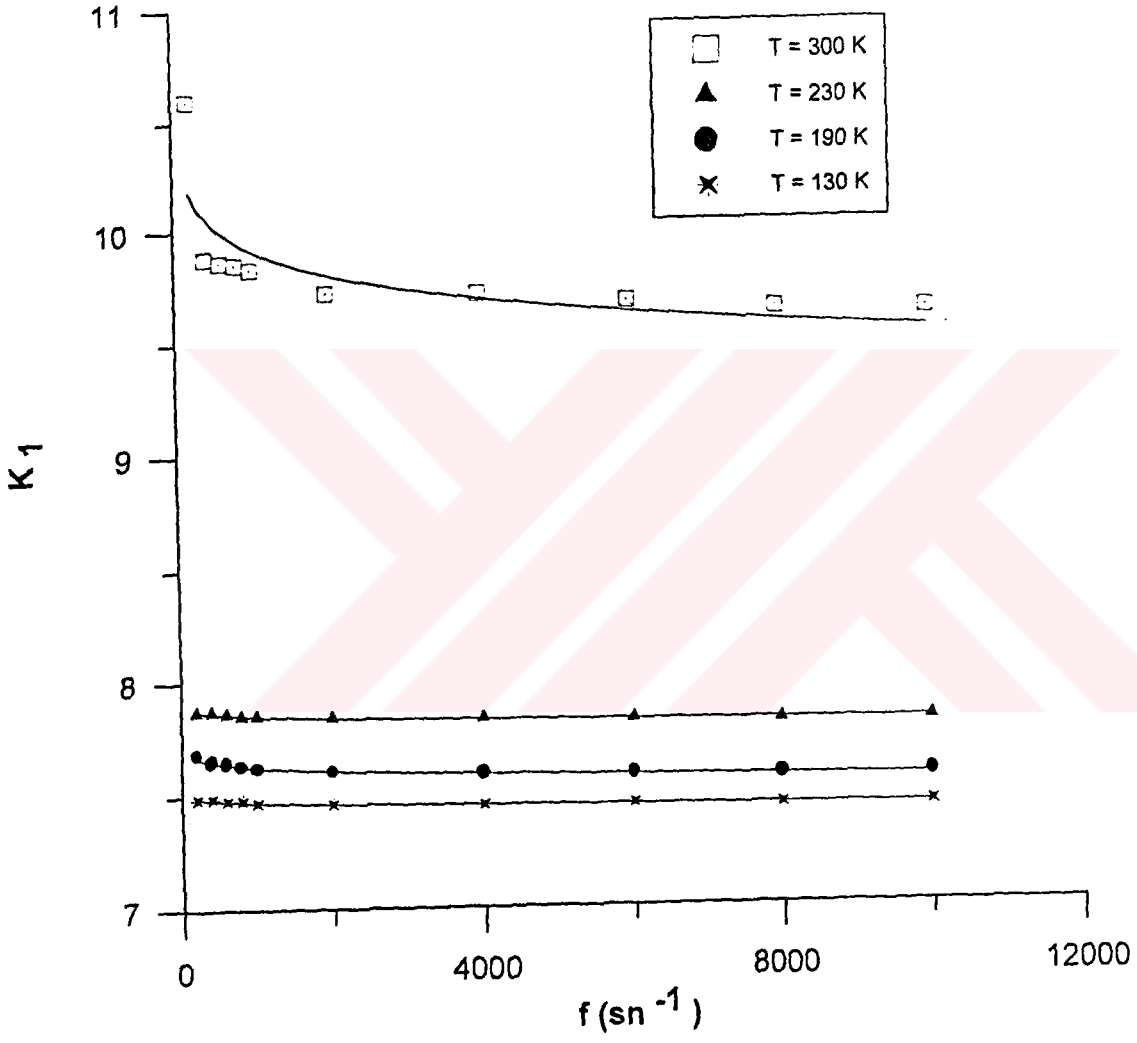
Şekil 11 : Al_2O_3 kalınlığı 405 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



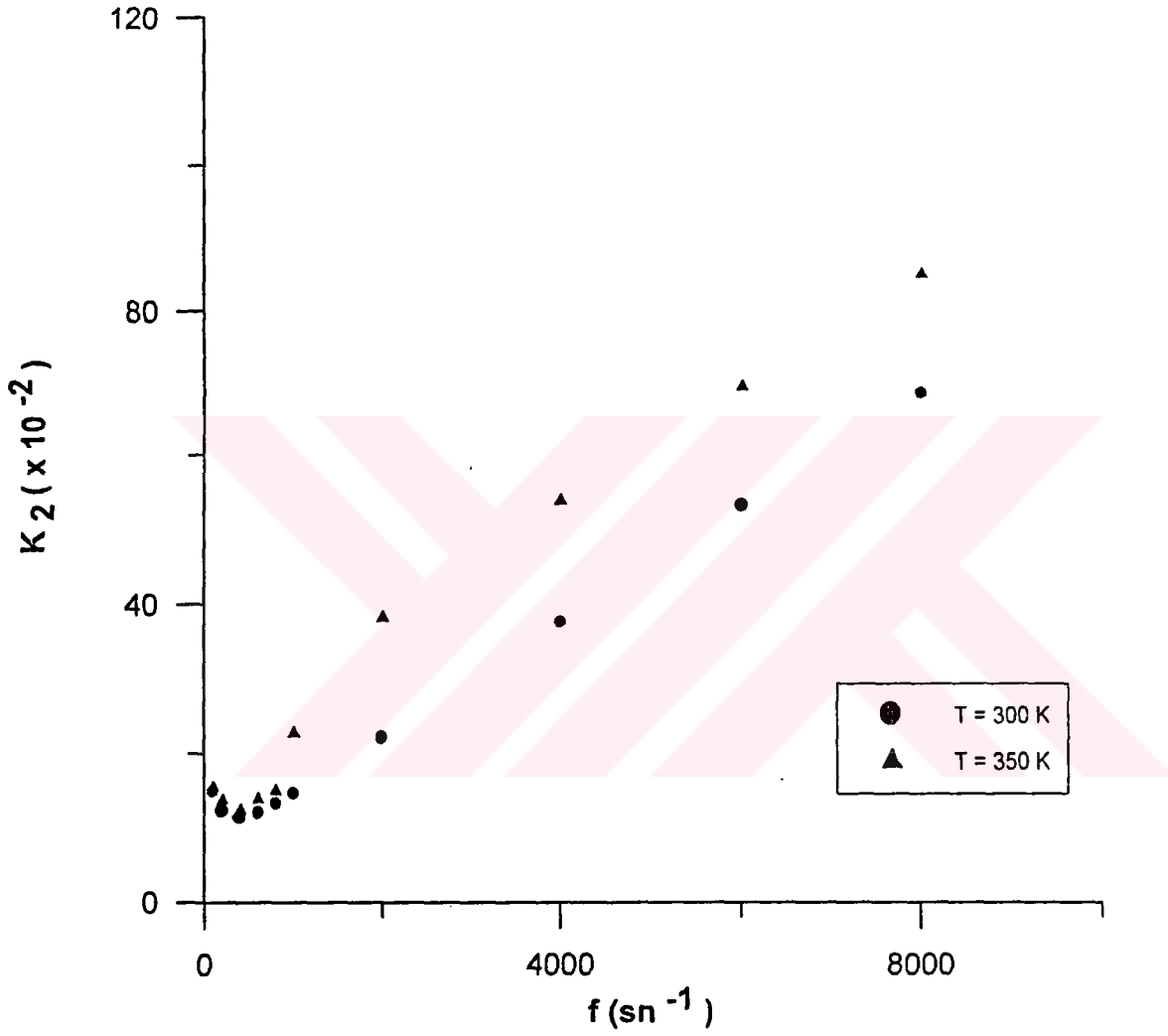
Şekil 12 : Al_2O_3 kalınlığı 810 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



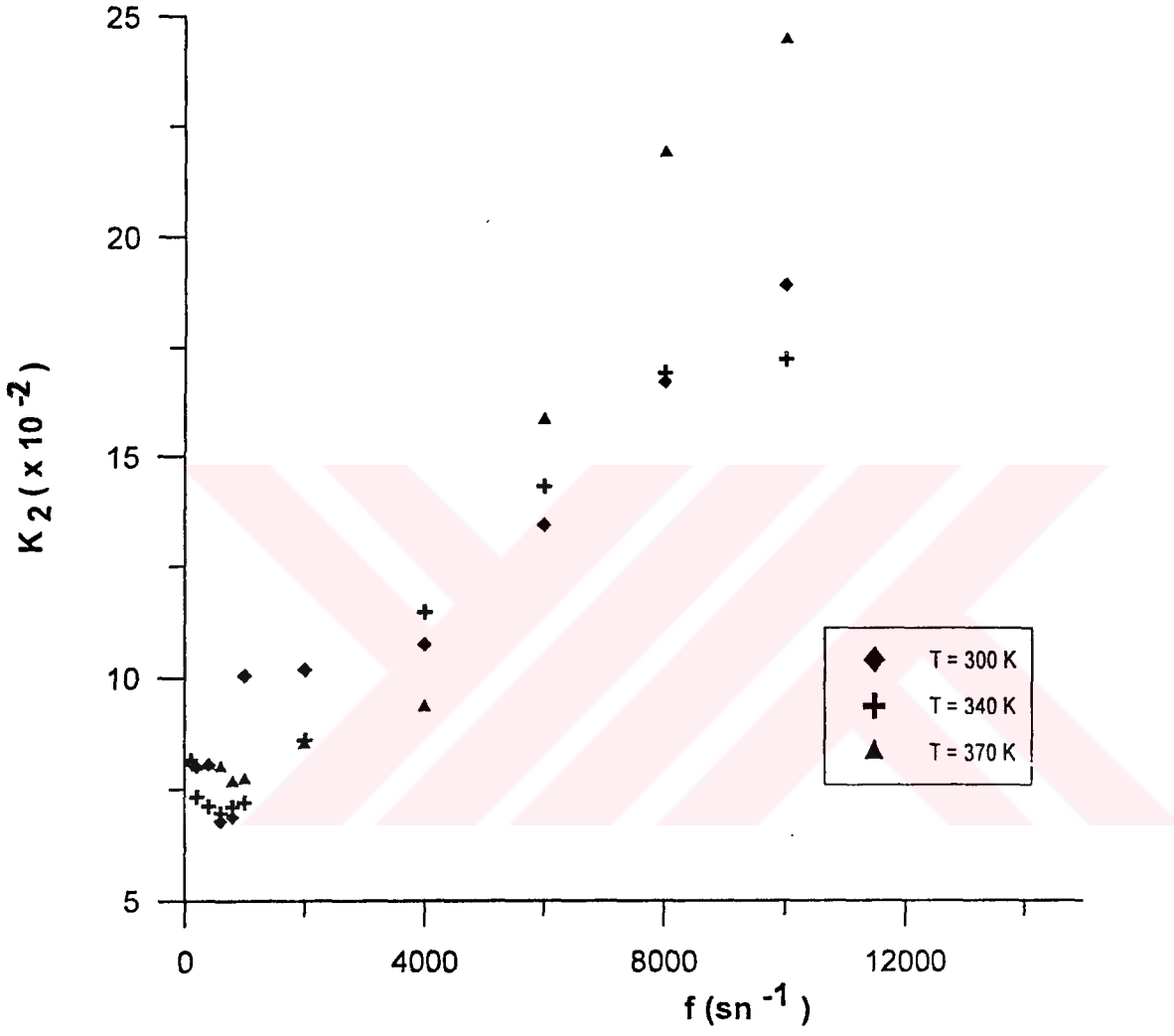
Şekil 13 : Al_2O_3 kalınlığı 1450 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



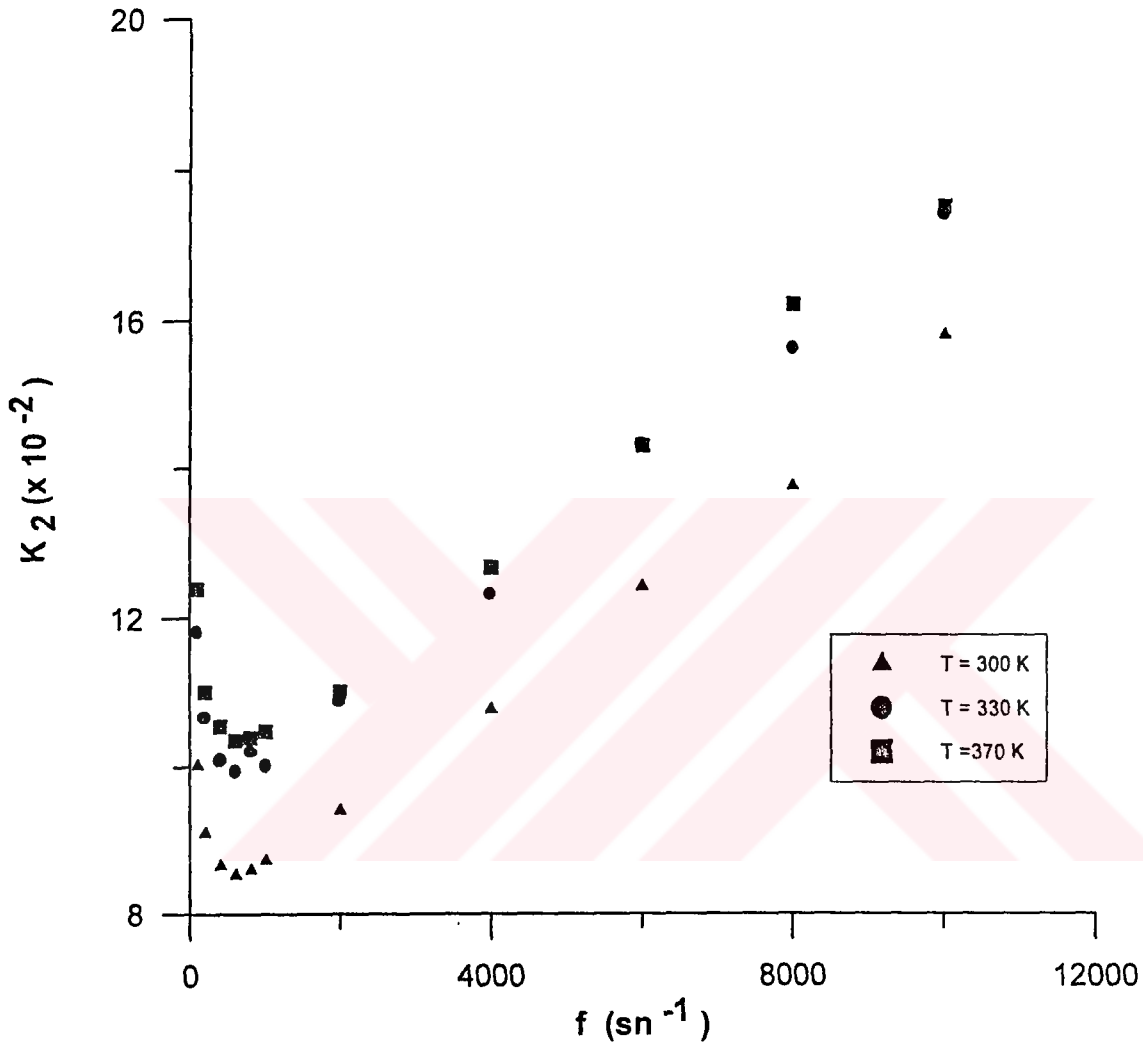
Şekil 14 : Al_2O_3 kalınlığı 1550 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al Kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



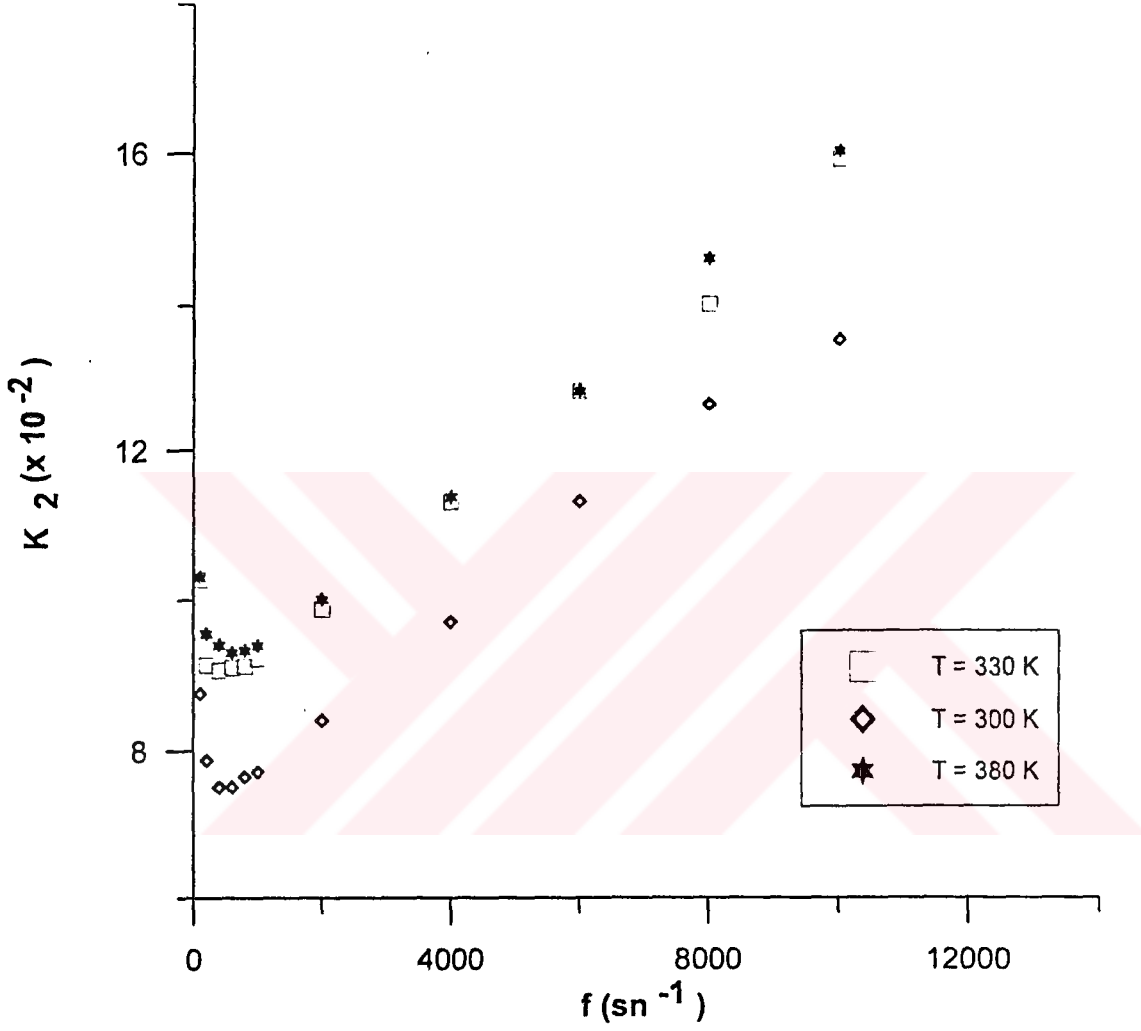
Şekil 15 : Al_2O_3 kalınlığı 135 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



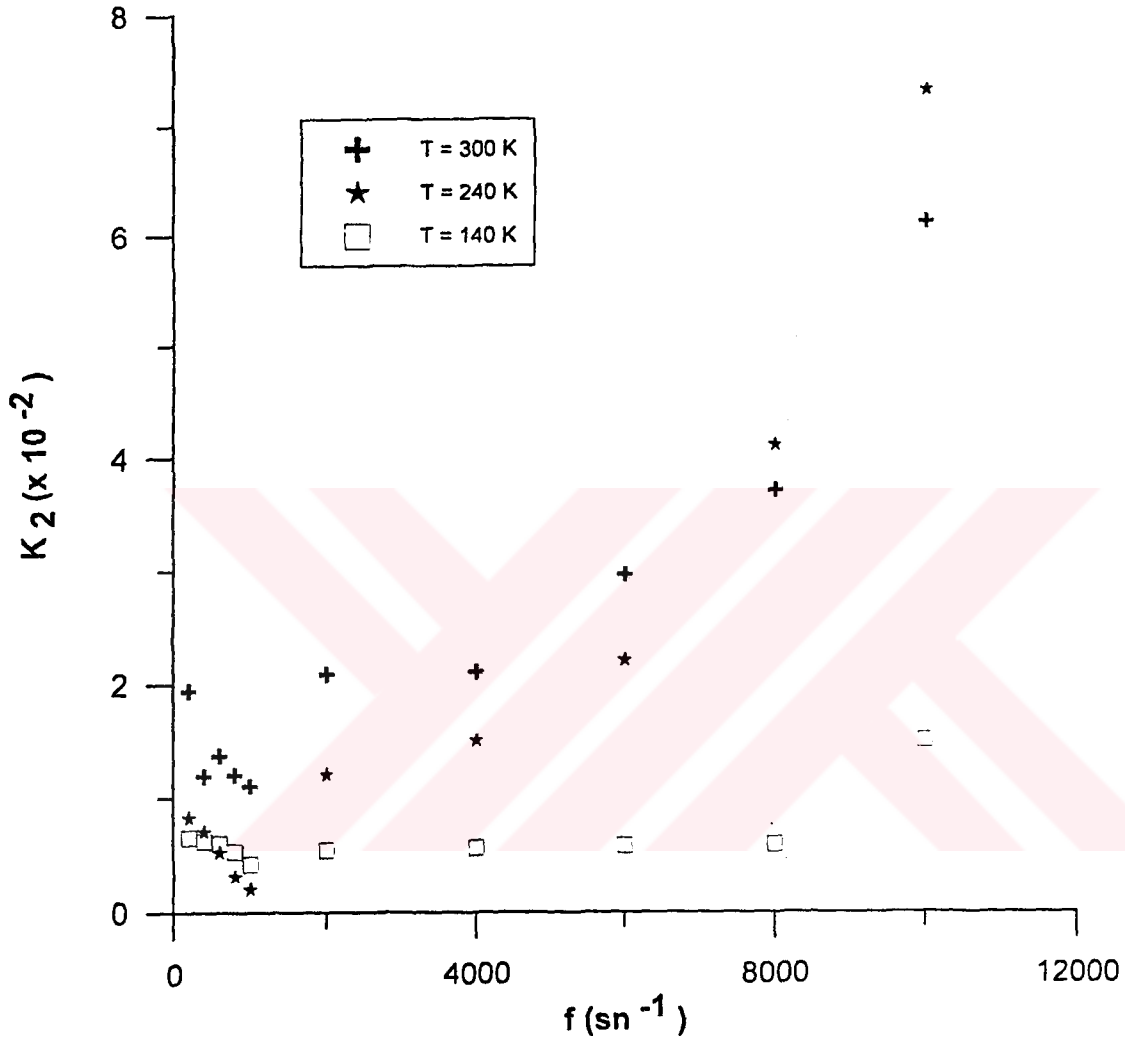
Şekil 16 : Al_2O_3 kalınlığı 270 \AA olan $Al - Al_2O_3 - Al$ kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



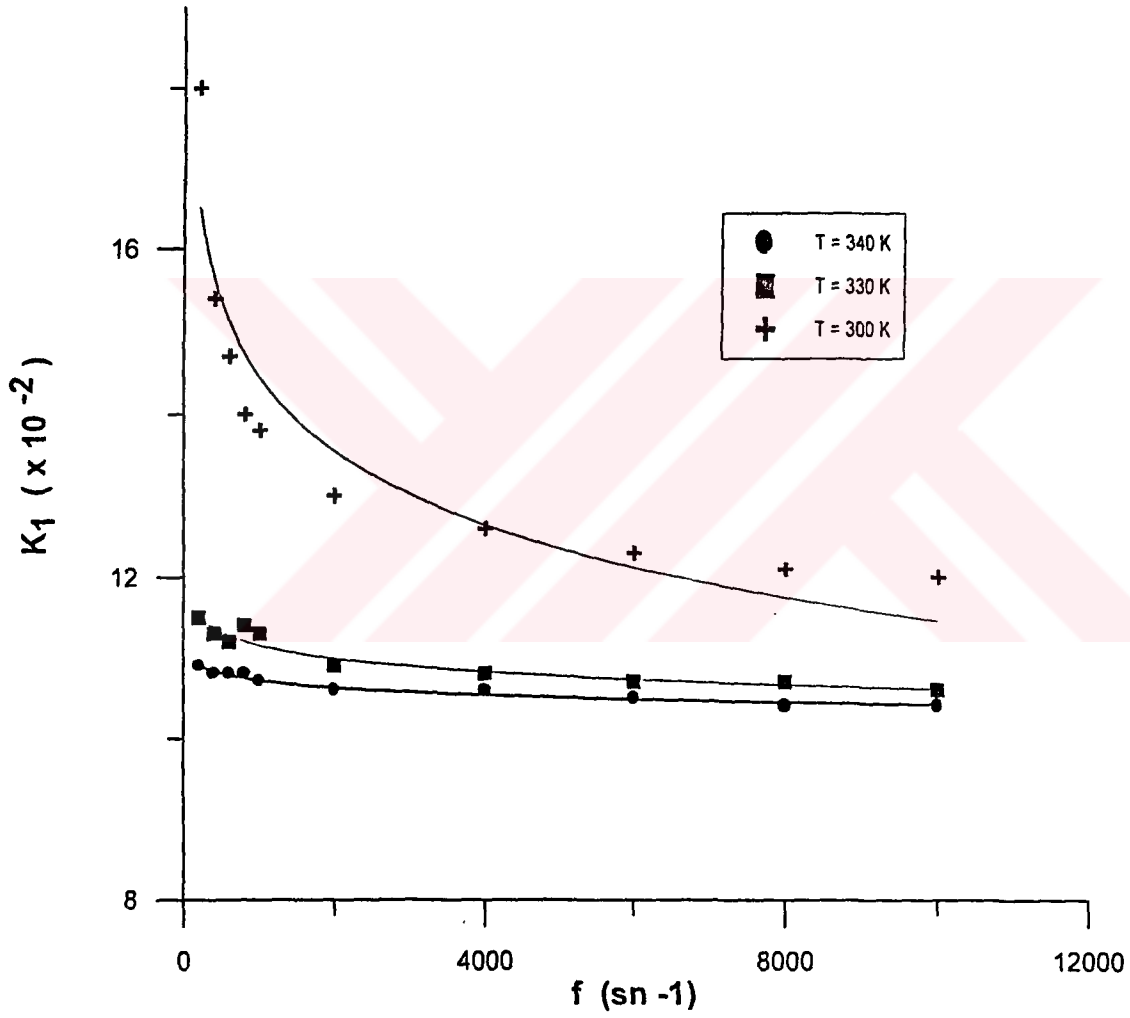
Şekil 17 : Al_2O_3 kalınlığı 405 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



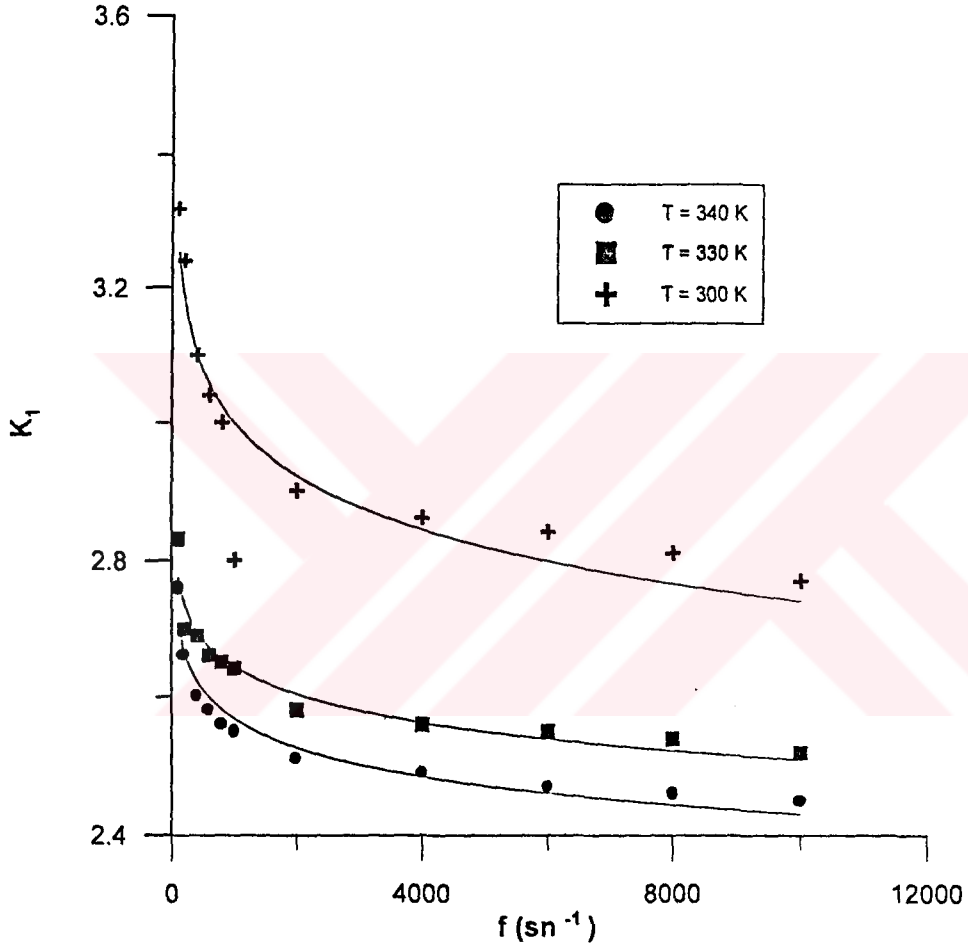
Şekil 18 : Al_2O_3 kalınlığı 810 \AA olan Al - Al_2O_3 - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



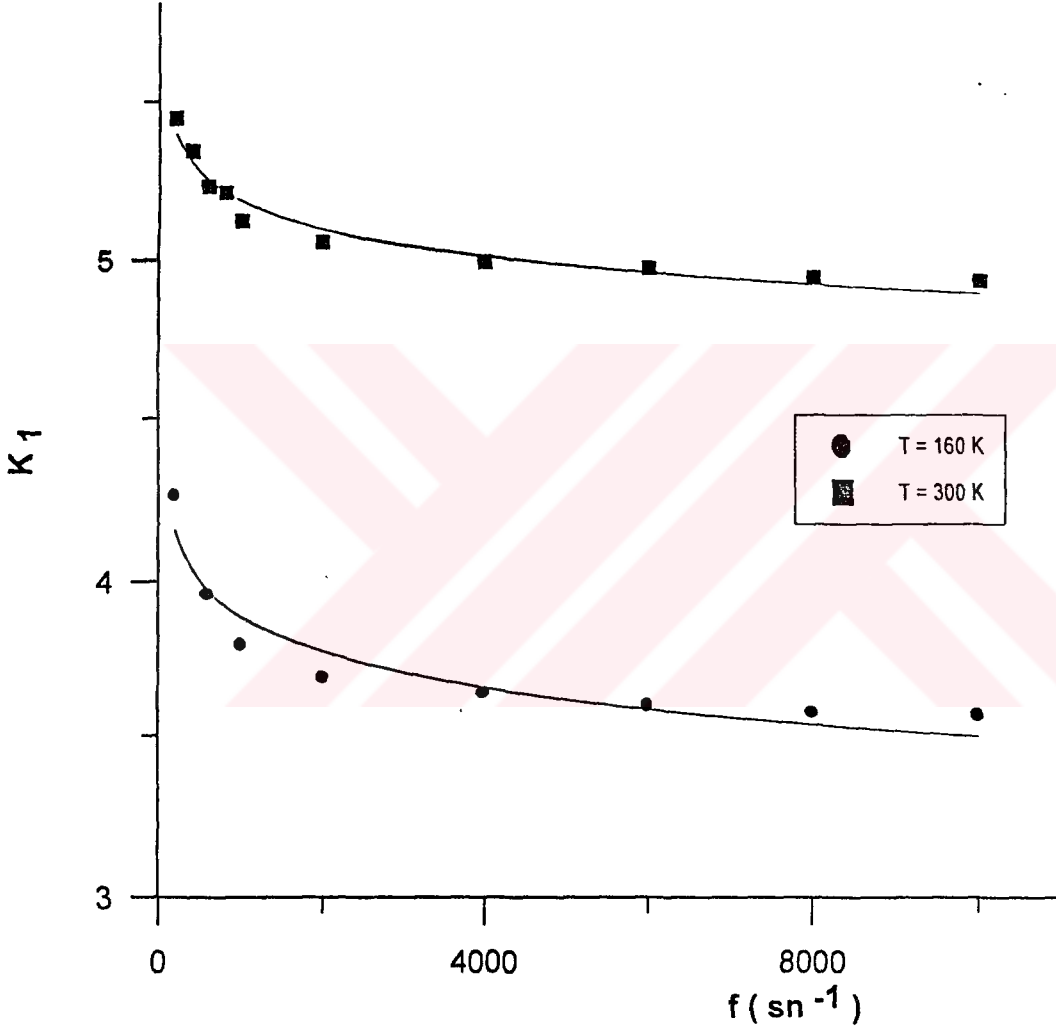
Şekil 19 : Al_2O_3 kalınlığı 1450 \AA olan $\text{Al} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}$ kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



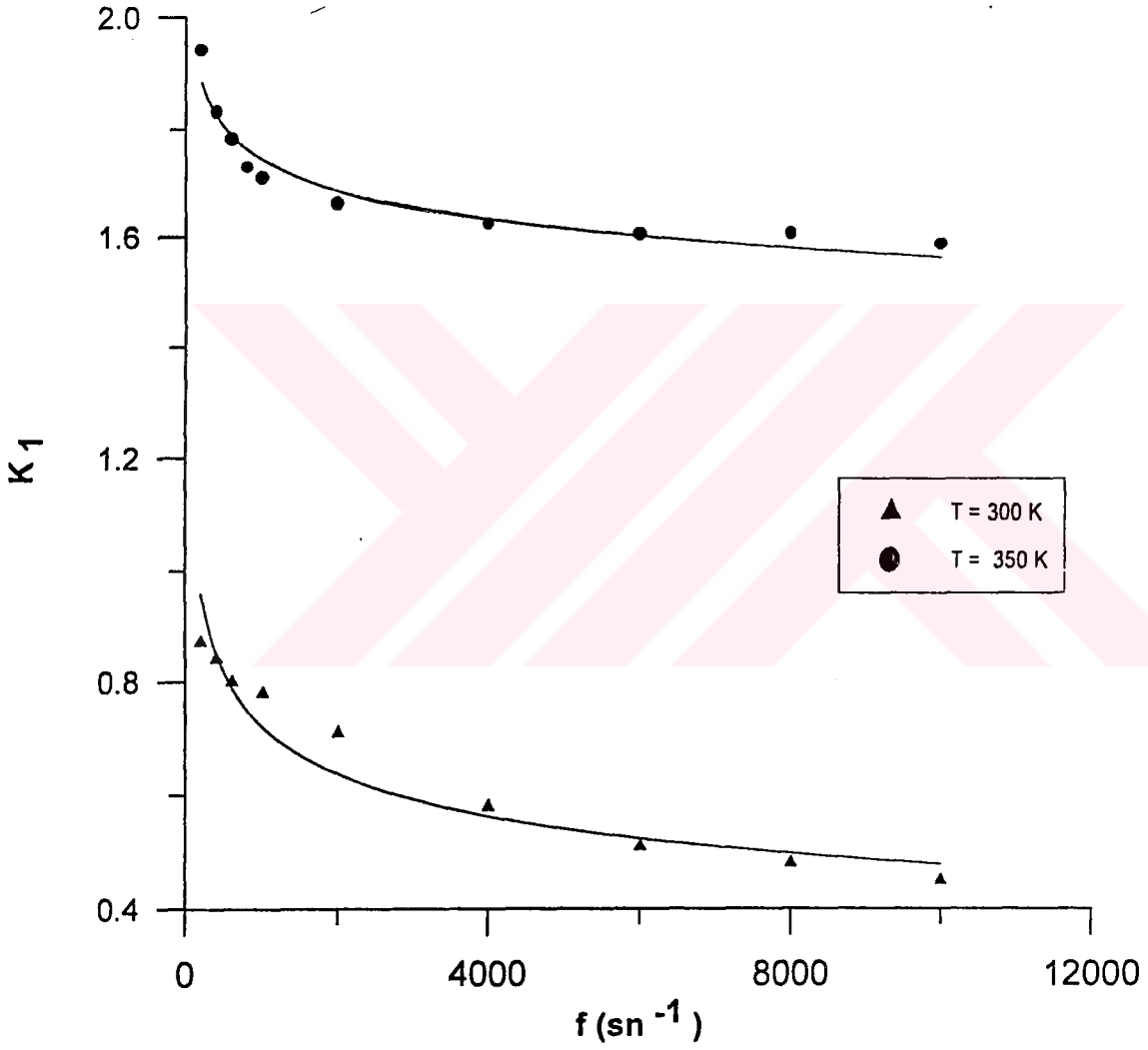
Şekil 20 : Se kalınlığı 200 Å olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



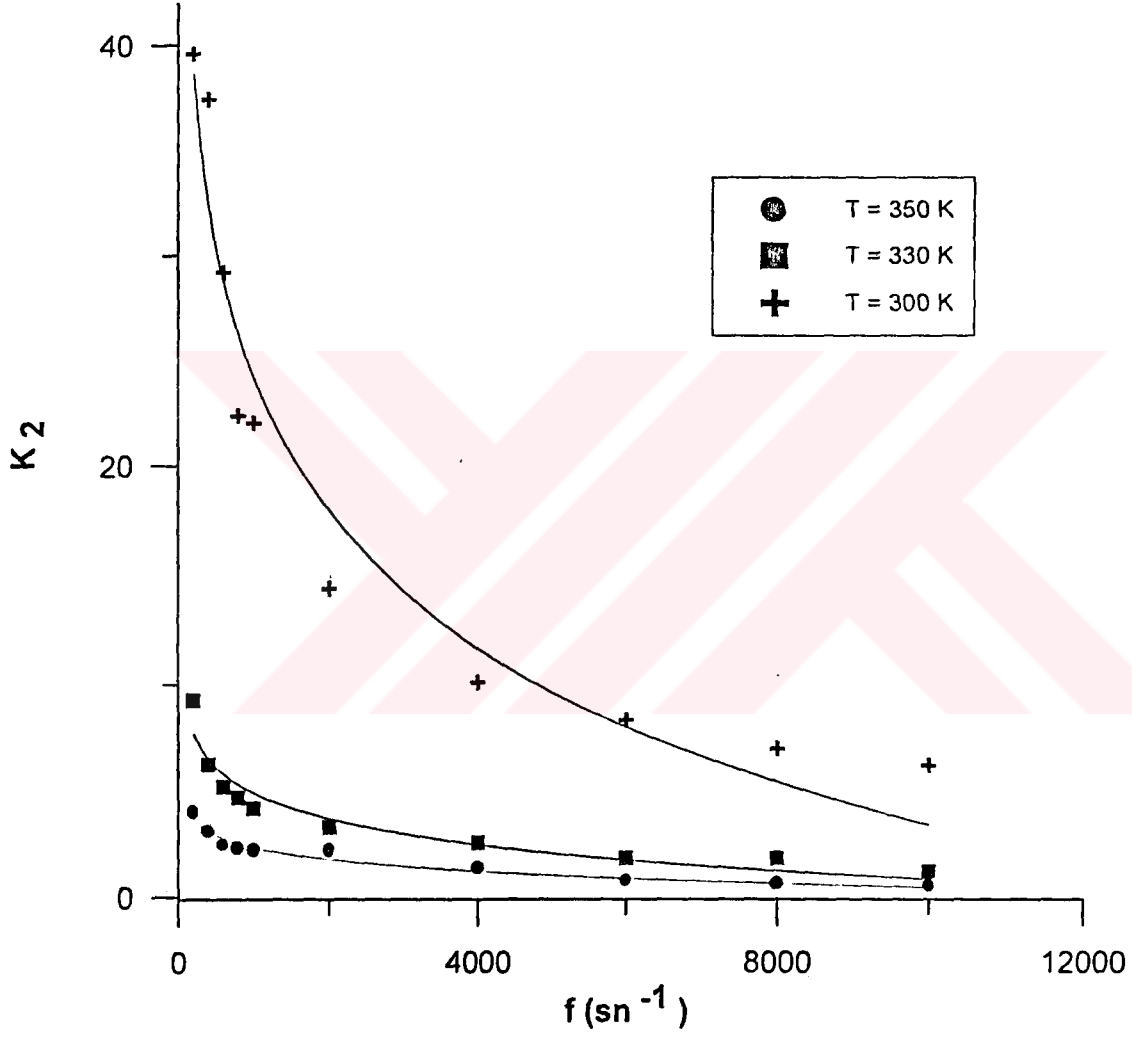
Şekil 21 : Se kalınlığı 1000 \AA olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



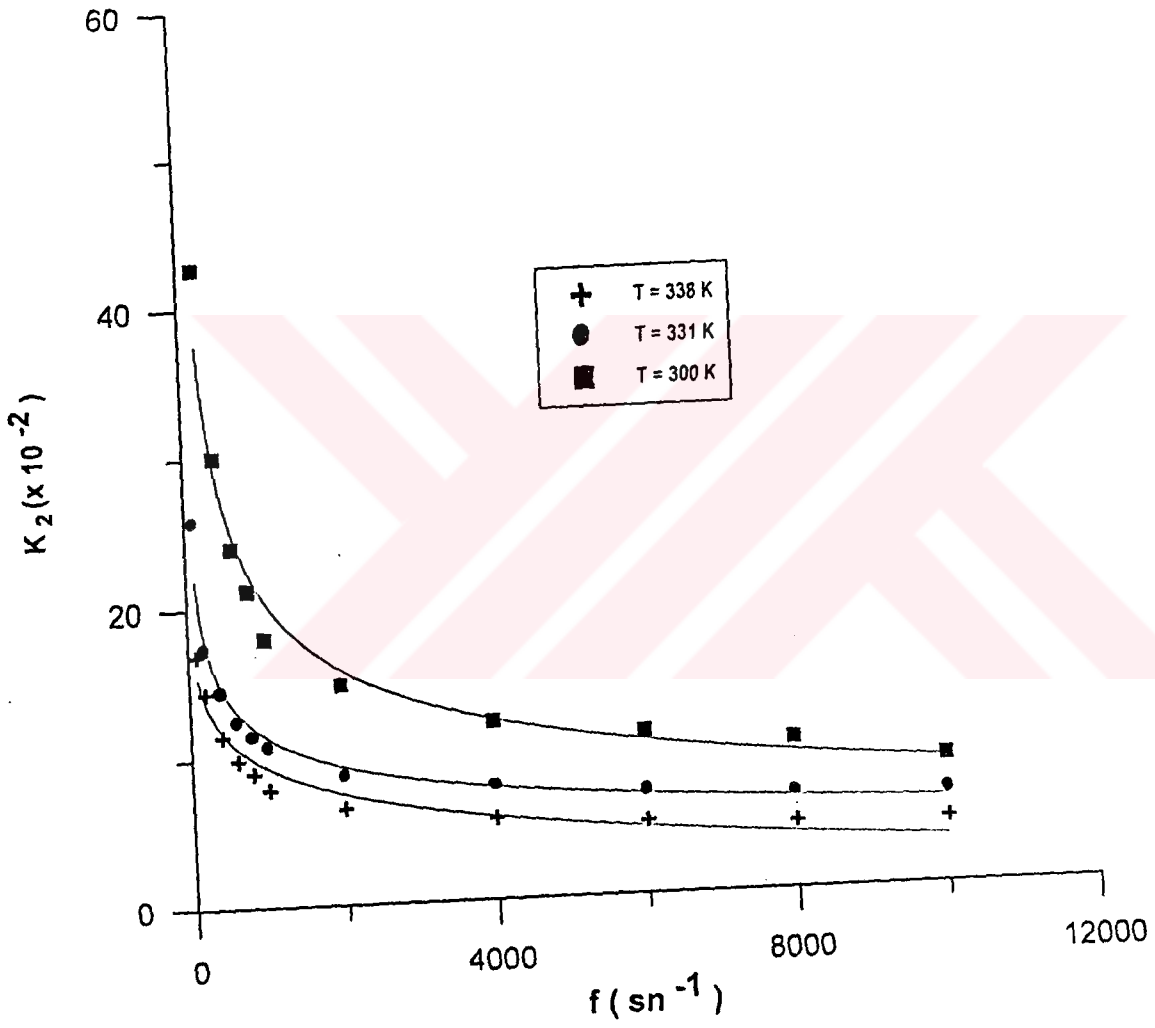
Şekil 22 : Se kalınlığı 4000 \AA olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



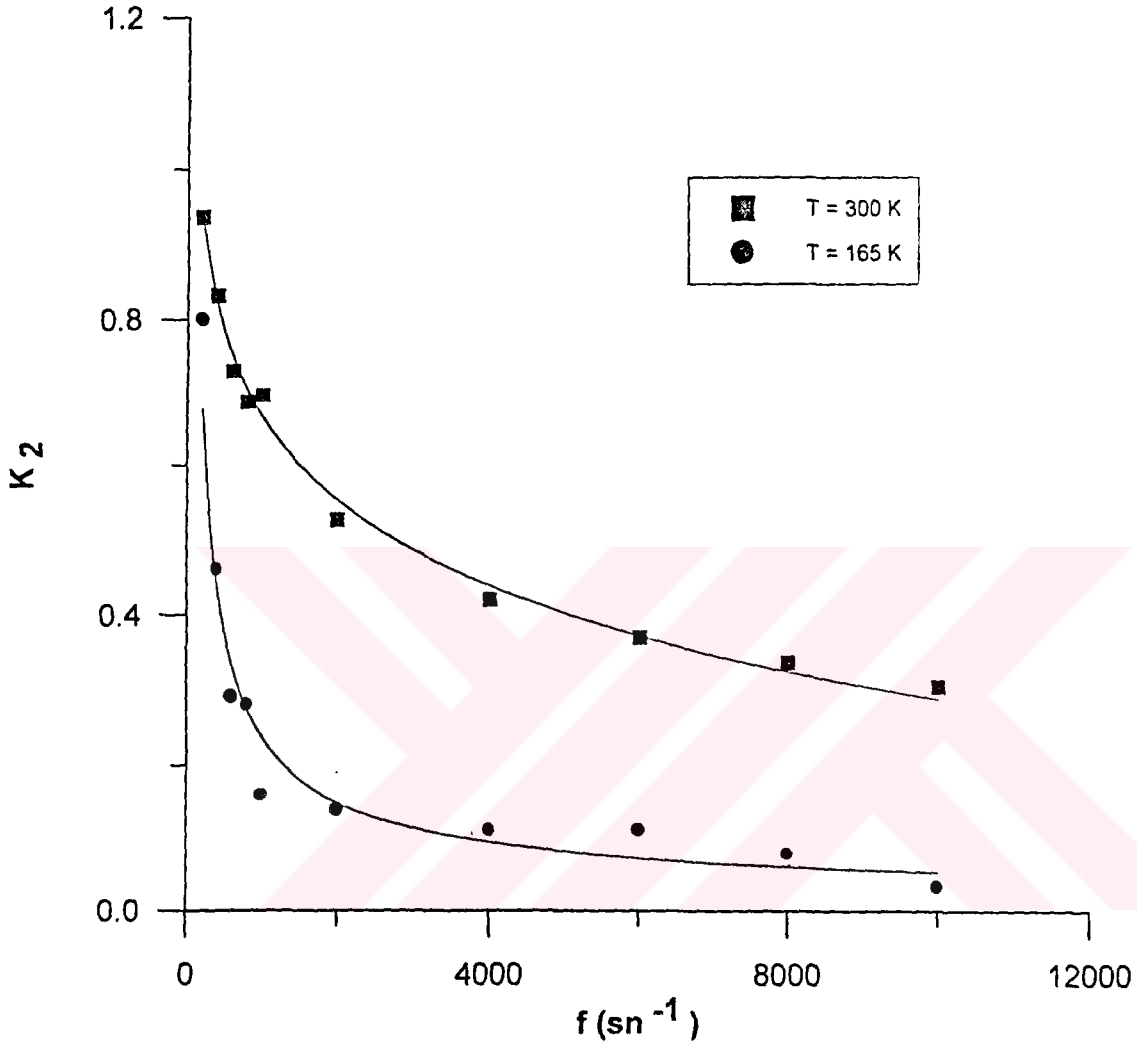
Şekil 23 : Se kalınlığı 800 \AA olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin gerçek kısmının frekansla değişimi.



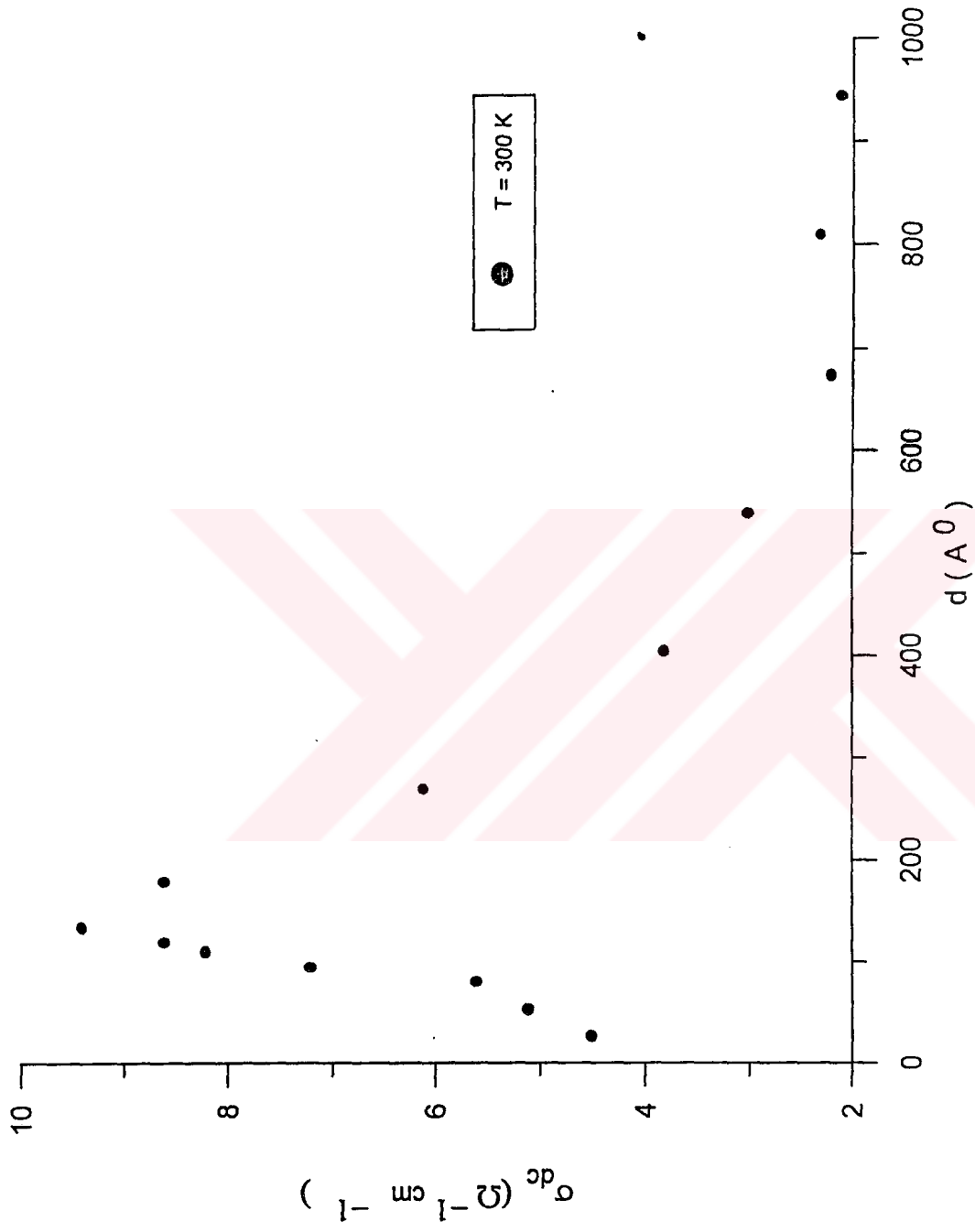
Şekil 24 : Se kalınlığı 200 \AA olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



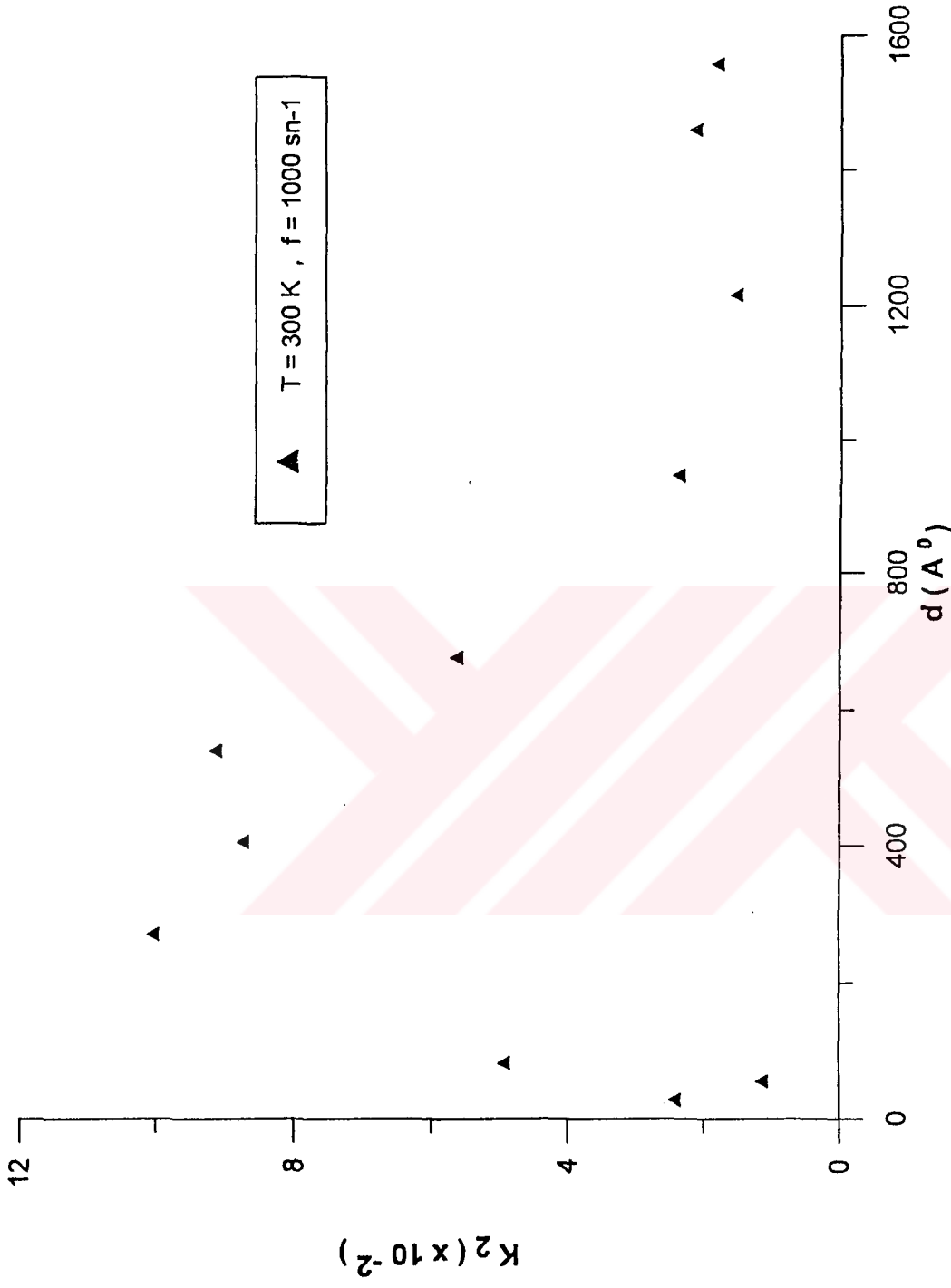
Şekil 25 : Se kalınlığı 1000 Å olan Al - Se - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



Şekil 26 : Se kalınlığı 4000 \AA olan Al - Sc - Al kapasitörlere ait farklı sıcaklıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansla değişimi.



Şekil 27 : Al_2O_3 e ait dc iletkenliğinin oksit kalınlığına bağlılığı $E = 5 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$.



Şekil 28 : Al₂O₃ 'e ait dielektrik sabitinin sanal kısmının oksit kalınlığına bağlılığı.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekil 5 de Alüminyumoksidin, Şekil 6 da Selenyumun dielektrik sabitinin gerçek kısmı K_1 ' in oksit kalınlığına bağılılığı verilmiştir. Oksit kalınlığı azaldıkça dielektrik sabitinin gerçek kısmının azalması, (9) bağıntısıyla verilen Clausius – Mosotti eşitliğine göre toplam polarizasyonun azaldığını gösterir. K_1 in azalması ve dolayısıyla toplam polarizasyonun azalması, oksit kalınlığı azaldıkça daha belirgin hale gelmektedir. Abelfotoh ve Feger [31] aromatik polimit filmleri için $K_1 - d$ değişimini incelemişler ve K_1 in yaklaşık $3000 A^0$ dan daha küçük kalınlıklara doğru azaldığını bulmuşlardır. Weaver [6] film kalınlığı azaldıkça yapı geriliminin arttığını ve gerilimin artmasına bağılı olarak yapının daha boşluklu hale geldiğini göstermiştir. Genin [9] ince film yapısının granüler bir yapı olduğunu ve gerilimin artması sonucu granüllerin daha büyük olacağını ve boşluklarında biraraya gelerek yarıkları oluşturacağını göstermiştir. Bu iki yorumdan da ortaya çıktığı gibi, film kalınlığı azaldıkça yapı daha boşluklu hale gelmektedir. O halde yapıya bağılı olarak polarizasyonun azalması şöyle açıklanabilir. Film kalınlığı azaldıkça yapıdaki boşluk konsantrasyonu artıyorsa madde ortamı azalıyor demektir. Oysa polarizasyon için ortam gereklidir. Film kalınlığı azaldıkça madde ortamı ya da etkin ortam azaldığına göre polarizasyonda azalacaktır.

Dielektrik iletkenlik $\sigma (\omega)$ nın tayininde ölçülen K_2 değerleri kullanılarak $K_2 = \epsilon_2 / \epsilon_0$ bağıntısından ϵ_2 değerleri elde edildi. Bu değerler (33) denkleminde verilen $\sigma (\omega) = \omega \epsilon_2$ bağıntısında kullanılarak $\sigma (\omega)$ değerleri tayin edildi. Dielektrik iletkenliğin frekansla değişimini veren $\log \sigma (\omega) - \log \omega$ grafiklerinde dielektrik iletkenliğin frekansa $\sigma (\omega) \propto \omega^n$ şeklinde bağılı olduğu görülmektedir. Bu sonuç (71) denkleminde elde edilen sonuçla uyumludur. ω^n bağılılığı düzensiz katılarda fonon frekansından daha küçük frekanslarda görünmekte olup, Pollak ve Geballe [3] bu bağılılığın geniş bir rölaksasyon zamanı dağılımından ileri geldiğini göstermişlerdir. Aynı grafiklerde $\sigma (\omega) \propto \omega^n$ bağılılığına sıcaklığın etkisi görülmektedir. $\log \sigma (\omega) - \log \omega$ grafiklerinin eğimi “ n ” sayısını verir.

Şekil 8 den Alüminyumoksit için 300 °K de $n = 0.60$; 240 °K de 0.80 ve 140 °K de 0.98 olarak elde edilmiştir. Şekil 7 'den 1000 Å kalınlığındaki Selenyum için 300 °K de $n = 0.80$; 330 °K de 0.75; 350 °K de 0.70 olarak elde edilmiştir. Çalışmada verilen bütün Alüminyumoksit ve Selenyum filmleri için yaklaşık 100 °K – 400 °K arasındaki sıcaklık bölgesi için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan “n” in sıcaklıkla ters orantılı olduğu görülmektedir. D.Emin ve grubu [32] Boronkarbit örneklerinde, A.Ghosh [33] Tellirium cuprate örneklerinde Gupta ve Mansing [18] ZnO örneklerinde, Chorin, Möller ve Koch [34] benzer olarak n’ in sıcaklıkla ters orantılı olduğunu bulmuşlardır. “n” in sıcaklığa bağlı olarak değişmesi dielektrik iletkenliğin değişmesi demektir. Dielektrik iletkenlik polarizasyon mekanizmaları sonucunda ortaya çıkan enerji kaybıyla ilgili olduğuna göre dielektrik iletkenliğin sıcaklıkla değişmesi polarizasyon mekanizmalarının termal aktivasyonlu olduğunu göstermektedir.

Şekil 9 - 14 de Alüminyumoksitin farklı kalınlıklarda oda sıcaklığının üzerinde ve altındaki sıcaklıklar için $K_1 - f$ değişimleri verilmiştir. Şekil 15 - 19 da Alüminyumoksitin farklı kalınlıklarda oda sıcaklığının üzerinde ve altındaki sıcaklıklar için $K_2 - f$ değişimleri verilmiştir. Farklı kalınlıklarda Selenyuma ait oda sıcaklığının üzerinde ve altındaki sıcaklıklar için Şekil 20 - 23 de $K_1 - f$ değişimleri gözlenmiştir. Şekil 24 - 26 de $K_2 - f$ değişimleri gözlenmiştir. Diğer kalınlıklarda da aynı değişimler gözlenmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi, iyonik yapılı Alüminyumoksit de tüm kalınlıklarda dielektrik sabitinin sanal kısmı olan K_2 nin frekansa bağlılığında yaklaşık 1000 sn^{-1} civarında bir minimum gözlenmektedir. Oysa homopolar yapılı Selenyumda tüm kalınlıklar için böyle bir minimum gözlenmemektedir. Teorik kısımda verilen Debye modeline göre böyle bir minimum olmaması gerekirdi. Çünkü Debye modeline göre $K_2 - \omega$ değişiminde minimum yoktur. O halde iyonik yapılı Alüminyumoksitde gözlenen minimum bir anomalidir. Bu çalışma esas itibariyle Alüminyumoksitde gözlenen fakat homopolar yapılı Selenyumda görülmeyen ve sıcaklıkla yüksek frekanslara kayan bu minimumun sebebini ortaya koymak için yapılmıştır.

alan iletkenliğinin kalınlığa bağlılığına benzerliği ile doğrulanmaktadır. Sonuç olarak küçük frekanslardaki polarizasyonun iyonik olabileceği ve uzun relaksasyon zamanlarının da iyonların boşluklu yapıdaki süreksizlik ara yüzeyleri arası veya Iwamota'nun ileri sürdüğü gibi elektrotlar arası uzay-yük polarizasyonundan ileri gelebileceği gözönüne alınabilir.



ÖZET

Metal-izolator-metal halinde yaptığımız örneklerle Alüminyumoksit ve Selenyumun dielektrik iletkenlik ve dielektrik sabitinin frekansa, sıcaklığa ve kalınlığa bağlılığını inceledik. Elde ettiğimiz sonuçları sabit alan sonuçları ile karşılaştırdık ac iletkenliğinin frekansa bağlılığını $\sigma(\omega) \propto \omega^n$ şeklinde elde ettik. n exponentinin sıcaklığa bağlılığı polarizasyonun, taşıyıcıların termal aktivasyonlu hareketine bağlı olduğunu göstermektedir. $K_1(\omega)$ ve $K_2(\omega)$ bağlılığında gözlediğimiz alçak frekanslardaki artışı uzun mesafeli deplasmanlar yapan taşıyıcıların granül ve/veya elektrod sınırlarında birikmesi ile meydana gelen geniş bir uzun röleksasyon zamanı dağılımı ile açıkladık. Alüminyumoksidin $K_2(\omega)$ bağlılığında elde ettiğimiz ve artan sıcaklıkla yüksek frekanslara doğru kayan minimumun iki farklı polarizasyon mekanizmasının varlığından ileri geldiği sonucuna vardık: alçak frekanslarda hakim olan uzun röleksasyon zamanlı polarizasyonun iyonik, yüksek frekanslarda hakim olan küçük röleksasyon zamanlı polarizasyonun ise elektronik olduğu gözönüne alınabilir.

SUMMARY

“Electronic behaviour of semiconductor and semi insulator solid materials in thin film configuration”

We have studied the frequency, temperature and thickness dependence of the dielectric conductivity and dielectric constant of aluminium oxide and selenium thin films in the regime 0,1-100 Khz and compared the obtained dielectric response data with those of the constant field response of the same specimens. The specimens were in metal-insulator-metal configuration. The ac conductivity was found to obey the “power law” frequency dependence which can be expressed as $\sigma(\omega) \propto \omega^n$. The temperature dependence of the exponent n indicates that thermally activated motion of carriers is responsible for polarization. The increase of $K_1(\omega)$ and $K_2(\omega)$ in the region of low frequency was attributed to the long-range movements of charge carriers which are blocked at the grain boundaries and/or the electrodes giving rise to a broad distribution of long relaxation times. The observed minimum shifting towards higher frequencies with increasing temperature in the frequency dependence of $K_2(\omega)$ led us to conclude that two different polarization mechanisms must exist in aluminium oxide: the one with longer relaxation time dominant at lower frequencies might be ionic, while the other one with shorter relaxation time dominant at higher frequencies might be electronic ionic in nature.

VI. KAYNAKLAR

- 1- ANDERSON, P.W., HALPERIN, D.I. and VARMA, C.M. (1972): Anomalous Low Temperature Thermal Properties of Glasses and Spin Glasses, 25, 1-9.
- 2- SIDEBOTTOM, D.L., GREEN, P.F. and BROW, R.K. (1995): Anomalous-Diffusion Model of Ionic Transport in Oxide Glasses, Phys. Rev. B, 51, 5, 2770-2776.
- 3- POLLAK, M. and GEBALLE, T.H., (1961): Low-Frequency Conductivity due to Hopping Processes in silicon, Phys. Rev, 122, 6, 1742-1754.
- 4- JONSHER, A.K. (1977): The universal dielectric response, Nature, 267, 673-679.
- 5- LEE, W.K. LIU, J.F. and NOWICK, A.S. (1991): Limiting Behaviour of ac Conductivity in Ionically Conducting Crystals and Glasses an New Universality, Phys. Rev. Lett, 67, 12, 1559-1561.
- 6- WEAVER, C., (1965): Structure and Properties of Dielectric Films, 15, 4, 171-176.
- 7- THURNER, G. and ABERMANN, R. (1990): Chromium and Iron Films an Their Dependence on Substrate Temperature end Oxygen Partial Pressure During Deposition, Thin Solid Films, 192, 277-285.
- 8- PARFITT, L., GOLDINGER, M., JONES, J.W. and WAS, G.S. (1995): Residual Stresses in Amorphous Alumina Films Synthesized by Ion Beam Assited Deposition, Y. Appl. Phys., 77, 7, 3029-3036.

9- GENIN, F.Y. (1995): Effect of Stress on Grain Boundary Motion in Thin films, J. Appl. Phys., 77, 10, 51305137.

10- CUSACK, N.E. (1987): The Physics of structurally disordered matter, 1, University of Sussex Press, Great Britain.

11- LONG, A.R. (1991): Hopping Conductivity in the Intermediate Frequency Regime, Hopping transport in solids edited by M. POLLAK and B. SHKLOVSKII, Elsevier Science Publishers B.V.

12- POLLAK, M. and HUNT, A (1991): Slow Processes in Disordered Solids. Hopping transport in solid edited by M. POLLAK and B. SHKLOVSKII, Elsevier Science Publishers B.V.

13- LOHWASSER, W., GERBLINGER, J., LAMPE, u. and MEIXNER, H. (1994): Effect of Grain size of sputtered cerium-oxide films on Their Electrical and kinetic behavior at high Temperatures, J. Appl. Phys, 75, 8, 3991-3999.

14- ABDULLAH, K. A., BUI, A. and LOUBIERE, A. (1991): Low Frequency and Low Temperature Behaviour of ZnO Basen Vazistor by ac Impedance Measurements. J. Appl. Phys, 69, 7, 4046-4052.

15- MILLANY, H.M., JONSCHER, A.K., (1980): Dielectric Properties of Stearic Acid Multilayers, Thin Solid Films, 68, 257-273.

16- POLLAK., M., (1971): On the Frequency Dependence of Conductivity in Amorphous Solids, Phil. Mag. (GB), 23, 183, 519-542.

17- DYRE, J.C., (1987): Master-equation Approach to the Glass Transition, Phys-Rev. Lett, 58, 8, 792-795.

18- GUPTA, V. and MANSINGH, A., (1994): Hopping Conduction in Insulating rf-sputtered Zinc.oxide Films, Phys. Rev. B, 49, 3, 1989-1995.

19- HÖHLER, R., MÜNDEL, J., KASPER, G. and HUNKLINGER, S. (1991): Dielectric Long-time Relaxation of Amorphous Materials at Low Temperatures., Phys. Rev. B., 43, 11, 9220-27.

20- IWAMOTO, M. (1995): The Dielectric Dispersion of Insulating Films with Long-range Movements of Charge Carrers, y. Appl. Phys., 77, 10, 5314-5321.

21- DIETZ, G.W. and ANTPÖHLER, W., KLEE, M., WASER, R., (1995): Electrode Influence on the charge Transport Through SrTiO₃ Thin Films, J. Appl. Phys. 78, 10, 6113.

22- FRÖHLICH, H., (1958): Theory of dielectrics, 2, Clarendon press, Oxford

23 – KITTEL, C. (1971) : Introduction to Solid State Physics, 4, John Wiley USA.

24- ANDERSON, J.C., (1964): Dielectrics, 1, Chapman and Hall Ltd. and Science paperbacks, London.

- 25- COELHO, R., (1979): Physics of dielectrics, 1, Elsevier Scientific publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.
- 26- LE COMBER, P.G and MORT, J; (1973) Electronic and Structural Properties of Amorphous Semiconductors, Academic Press, London, 1973
- 27- MOTT. N.F. and DAVIS, E.A. (1979) : Electronic Processes in Non-crystalline Materials, Clarendon Press, Oxford, 1979
- 28- SACHS, M., (1963) Solid State Theory, Mc Graw - Hill Book Com., Inc., USA, 1963
- 29- AUSTIN, I.G., and MOTT, N.F. (1969): Polarons Crystalline and Non-crystalline Materials. Advan. Phys., 18, 41-102.
- 30- HASS, G. (1954): On the Preparation of Hard oxide Films with Precisely Controlled Thickness on Evaporated Aluminium mirrors., J. Opt. Soc. Amer., 39, 532-540.
- 31- ABOELFOTOH, M.O. and FEGER, C., (1993): Frequency Dependence of Dielectric Loss in Thin Aromatic Polyimide, Films, Phys. rev. B, 47, 20, 13395-13400.
- 32- SAMARA, G.A., TARDY, H.L. VENTURINI, E.L., ASELAGÉ, T.L.. and EMIN, D. (1993): ac Hopping Conductivities Dielectric Constants and Reflectivities of Boron Carbides, Phys. rev. B, 48, 3, 1468-1477.
- 33- GHOSH, A. (1993): Complex ac Conductivity of Tellurium cuprate Glassy Semiconductors. Phys. Rev. B, 47, 23, 15537-15542.

34- CHORIN, M.B., MÖLLER, F. and KOCH, F. (1995): Hopping Transport on a Fractal: ac Conductivity of porous Silicon, *Phys. Rev. B*, 51, 4, 2199-2213.

35- NOWROOZI, E.R. and MACLEY, G.J. (1990): Complex Impedance Measurements of Capacitor Structures on Silicon with Copper Phthalocyanine Dielectric, *J. Appl. Phys.*, 67, 7, 3409-3418.

36- DUTTA, C.R. and BARUA, K. (1982): Dielectric Properties of Vacuum-deposited Yb_2O_3 films, *Thin Solid Films*, 92, 281, 285.

VII. EK

Se

$$d = 175 \text{ \AA} \quad A = 25.21 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
200	971	$36.0 \cdot 10^{-3}$	0.076	$2.74 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-11}$
400	965	$27.2 \cdot 10^{-3}$	0.075	$2.04 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-11}$
600	961	$22.9 \cdot 10^{-3}$	0.075	$1.69 \cdot 10^{-3}$	$5.6 \cdot 10^{-11}$
800	956	$22.2 \cdot 10^{-3}$	0.074	$1.66 \cdot 10^{-3}$	$7.4 \cdot 10^{-11}$
1000	955	$20.1 \cdot 10^{-3}$	0.074	$1.51 \cdot 10^{-3}$	$8.4 \cdot 10^{-11}$
2000	946	$16.0 \cdot 10^{-3}$	0.074	$1.19 \cdot 10^{-3}$	$13.2 \cdot 10^{-11}$
4000	938	$9.2 \cdot 10^{-3}$	0.073	$0.68 \cdot 10^{-3}$	$15.1 \cdot 10^{-11}$
6000	934	$7.2 \cdot 10^{-3}$	0.073	$0.53 \cdot 10^{-3}$	$17.7 \cdot 10^{-11}$
8000	926	$6.4 \cdot 10^{-3}$	0.072	$0.46 \cdot 10^{-3}$	$20.5 \cdot 10^{-11}$
10000	918	$3.0 \cdot 10^{-3}$	0.072	$0.22 \cdot 10^{-3}$	$12.2 \cdot 10^{-11}$

Se

$$d = 200 \text{ \AA} \quad A = 25.15 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
200	1220	$36.0 \cdot 10^{-3}$	0.109	3.94	$4.38 \cdot 10^{-8}$
400	1204	$28.0 \cdot 10^{-3}$	0.108	3.07	$6.82 \cdot 10^{-8}$
600	1207	$22.2 \cdot 10^{-3}$	0.108	2.41	$8.04 \cdot 10^{-8}$
800	1203	$20.9 \cdot 10^{-3}$	0.108	2.26	$10.05 \cdot 10^{-8}$
1000	1199	$20.1 \cdot 10^{-3}$	0.107	2.17	$12.07 \cdot 10^{-8}$
2000	1190	$20.2 \cdot 10^{-3}$	0.106	2.16	$24.02 \cdot 10^{-8}$
4000	1182	$12.4 \cdot 10^{-3}$	0.106	1.32	$29.36 \cdot 10^{-8}$
6000	1173	$7.2 \cdot 10^{-3}$	0.105	0.76	$25.35 \cdot 10^{-8}$
8000	1167	$5.6 \cdot 10^{-3}$	0.104	0.59	$26.24 \cdot 10^{-8}$
10000	1161	$5.0 \cdot 10^{-3}$	0.104	0.52	$28.91 \cdot 10^{-8}$

Se

$$d = 200 \text{ \AA} \quad A = 25.15 \text{ mm}^2 \quad T = 330 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
200	1280	$80.4 \cdot 10^{-3}$	0.115	9.25	$1.03 \cdot 10^{-7}$
400	1260	$54.8 \cdot 10^{-3}$	0.113	6.20	$1.38 \cdot 10^{-7}$
600	1252	$45.6 \cdot 10^{-3}$	0.112	5.13	$1.71 \cdot 10^{-7}$
800	1240	$41.6 \cdot 10^{-3}$	0.114	4.64	$2.06 \cdot 10^{-7}$
1000	1239	$37.0 \cdot 10^{-3}$	0.113	4.12	$2.29 \cdot 10^{-7}$
2000	1220	$29.6 \cdot 10^{-3}$	0.109	3.24	$3.60 \cdot 10^{-7}$
4000	1208	$23.2 \cdot 10^{-3}$	0.108	2.52	$5.61 \cdot 10^{-7}$
6000	1199	$16.8 \cdot 10^{-3}$	0.107	1.81	$6.04 \cdot 10^{-7}$
8000	1192	$16.8 \cdot 10^{-3}$	0.107	1.80	$8.00 \cdot 10^{-7}$
10000	1190	$11.0 \cdot 10^{-3}$	0.106	1.17	$6.51 \cdot 10^{-7}$

Se

$$d = 200 \text{ \AA} \quad A = 25.15 \text{ mm}^2 \quad T = 350 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
200	2000	$220 \cdot 10^{-3}$	0.180	39.6	$4.40 \cdot 10^{-7}$
400	1720	$242 \cdot 10^{-3}$	0.154	37.4	$8.32 \cdot 10^{-7}$
600	1640	$198.6 \cdot 10^{-3}$	0.147	29.19	$9.74 \cdot 10^{-7}$
800	1560	$159.2 \cdot 10^{-3}$	0.140	22.31	$9.92 \cdot 10^{-7}$
1000	1538	$159.0 \cdot 10^{-3}$	0.138	21.97	$12.2 \cdot 10^{-7}$
2000	1450	$110 \cdot 10^{-3}$	0.130	14.33	$15.9 \cdot 10^{-7}$
4000	1400	$80.0 \cdot 10^{-3}$	0.126	10.06	$22.4 \cdot 10^{-7}$
6000	1370	$67.2 \cdot 10^{-3}$	0.123	8.27	$27.6 \cdot 10^{-7}$
8000	1352	$56.8 \cdot 10^{-3}$	0.121	6.90	$30.7 \cdot 10^{-7}$
10000	1336	$51.0 \cdot 10^{-3}$	0.120	6.12	$34.0 \cdot 10^{-7}$

Se

$$d = 500 \text{ \AA} \quad A = 25.7 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C_1 (pF)	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma(\omega)$
200	3230	$76.0 \cdot 10^{-3}$	0.700	0.054	$0.60 \cdot 10^{-9}$
600	3100	$60.0 \cdot 10^{-3}$	0.680	0.041	$1.37 \cdot 10^{-9}$
800	3090	$64.0 \cdot 10^{-3}$	0.679	0.043	$1.91 \cdot 10^{-9}$
1000	3030	$49.0 \cdot 10^{-3}$	0.660	0.033	$1.84 \cdot 10^{-9}$
2000	3020	$40.0 \cdot 10^{-3}$	0.660	0.027	$3.00 \cdot 10^{-9}$
4000	2965	$28.0 \cdot 10^{-3}$	0.651	0.018	$4.06 \cdot 10^{-9}$
6000	1370	$67.2 \cdot 10^{-3}$	0.301	0.020	$6.75 \cdot 10^{-9}$
8000	1352	$56.8 \cdot 10^{-3}$	0.297	0.017	$7.51 \cdot 10^{-9}$
10000	1336	$51.0 \cdot 10^{-3}$	0.293	0.015	$8.31 \cdot 10^{-9}$

Se

$$d = 800 \text{ \AA} \quad A = 38.605 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C_1 (pF)	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	8300	$142.0 \cdot 10^{-3}$	1.943	0.276
400	7830	$120.4 \cdot 10^{-3}$	1.833	0.221
600	7620	$102.6 \cdot 10^{-3}$	1.784	0.171
800	7380	$96.0 \cdot 10^{-3}$	1.728	0.166
1000	7310	$91.0 \cdot 10^{-3}$	1.711	0.156
2000	7100	$68.0 \cdot 10^{-3}$	1.662	0.113
4000	6930	$55.6 \cdot 10^{-3}$	1.622	0.090
6000	6850	$50.4 \cdot 10^{-3}$	1.603	0.081
8000	6801	$47.2 \cdot 10^{-3}$	1.592	0.075
10000	6750	$46.0 \cdot 10^{-3}$	1.581	0.072
20000	6590	$44.0 \cdot 10^{-3}$	1.543	0.068
50000	6200	$44.5 \cdot 10^{-3}$	1.452	0.065
100000	6100	$40.0 \cdot 10^{-3}$	1.428	0.057

Se

$$d = 1000 \text{ \AA} \quad A = 27.87 \text{ mm}^2 \quad T = 330 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
100	6996	$91.00 \cdot 10^{-3}$	2.83	0.257	$1.4 \cdot 10^{-9}$
200	6670	$64.00 \cdot 10^{-3}$	2.70	0.173	$1.9 \cdot 10^{-9}$
400	6647	$53.60 \cdot 10^{-3}$	2.69	0.144	$3.2 \cdot 10^{-9}$
600	6573	$46.80 \cdot 10^{-3}$	2.66	0.124	$4.1 \cdot 10^{-9}$
800	6532	$42.88 \cdot 10^{-3}$	2.65	0.114	$5.7 \cdot 10^{-9}$
1000	6507	$40.70 \cdot 10^{-3}$	2.64	0.107	$5.9 \cdot 10^{-9}$
2000	6368	$33.60 \cdot 10^{-3}$	2.58	0.087	$9.7 \cdot 10^{-9}$
4000	6326	$30.00 \cdot 10^{-3}$	2.56	0.077	$17.1 \cdot 10^{-9}$
6000	6300	$27.60 \cdot 10^{-3}$	2.55	0.070	$23.3 \cdot 10^{-9}$
8000	6259	$25.60 \cdot 10^{-3}$	2.54	0.065	$28.9 \cdot 10^{-9}$
10000	6231	$25.00 \cdot 10^{-3}$	2.52	0.063	$35.0 \cdot 10^{-9}$

Se

$$d = 1000 \text{ \AA} \quad A = 27.87 \text{ mm}^2 \quad T = 350 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
100	8200	$400.0 \cdot 10^{-3}$	3.32	1.328	$7.4 \cdot 10^{-9}$
200	7996	$132.0 \cdot 10^{-3}$	3.24	0.427	$4.7 \cdot 10^{-9}$
400	7650	$96.80 \cdot 10^{-3}$	3.10	0.300	$6.7 \cdot 10^{-9}$
600	7490	$78.60 \cdot 10^{-3}$	3.04	0.239	$7.9 \cdot 10^{-9}$
800	7408	$70.40 \cdot 10^{-3}$	3.00	0.211	$9.4 \cdot 10^{-9}$
1000	7348	$64.00 \cdot 10^{-3}$	2.80	0.179	$9.9 \cdot 10^{-9}$
2000	7195	$50.60 \cdot 10^{-3}$	2.90	0.147	$16.3 \cdot 10^{-9}$
4000	7065	$41.60 \cdot 10^{-3}$	2.86	0.119	$26.5 \cdot 10^{-9}$
6000	7010	$38.40 \cdot 10^{-3}$	2.84	0.109	$36.4 \cdot 10^{-9}$
8000	6948	$36.00 \cdot 10^{-3}$	2.81	0.101	$44.9 \cdot 10^{-9}$
10000	6231	$31.00 \cdot 10^{-3}$	2.77	0.086	$47.8 \cdot 10^{-9}$

Se

$$d = 800 \text{ \AA} \quad A = 38.605 \text{ mm}^2 \quad T = 350 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	3700	$166.0 \cdot 10^{-3}$	0.87	0.144
400	3590	$196.4 \cdot 10^{-3}$	0.84	0.164
600	3440	$202.8 \cdot 10^{-3}$	0.80	0.163
1000	3320	$200.0 \cdot 10^{-3}$	0.78	0.156
2000	3050	$197.0 \cdot 10^{-3}$	0.71	0.139
4000	2490	$180.0 \cdot 10^{-3}$	0.58	0.104
6000	2210	$160.0 \cdot 10^{-3}$	0.51	0.083
8000	2030	$120.0 \cdot 10^{-3}$	0.48	0.057
10000	1910	$118.0 \cdot 10^{-3}$	0.45	0.053
20000	1510	$28.0 \cdot 10^{-3}$	0.35	0.035
50000	1100	$12.0 \cdot 10^{-3}$	0.26	0.031

Se

$$d = 1000 \text{ \AA} \quad A = 27.87 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma (\omega)$
100	6810	$61.30 \cdot 10^{-3}$	2.76	0.169	$9.4 \cdot 10^{-10}$
200	6562	$54.00 \cdot 10^{-3}$	2.66	0.144	$16.0 \cdot 10^{-10}$
400	6432	$44.40 \cdot 10^{-3}$	2.60	0.115	$25.6 \cdot 10^{-10}$
600	6364	$38.64 \cdot 10^{-3}$	2.58	0.099	$33.0 \cdot 10^{-10}$
800	6315	$35.28 \cdot 10^{-3}$	2.56	0.090	$40.0 \cdot 10^{-10}$
1000	6283	$32.20 \cdot 10^{-3}$	2.55	0.079	$43.9 \cdot 10^{-10}$
2000	6201	$26.00 \cdot 10^{-3}$	2.51	0.065	$72.3 \cdot 10^{-10}$
4000	6135	$22.00 \cdot 10^{-3}$	2.49	0.055	$122.3 \cdot 10^{-10}$
6000	6100	$19.80 \cdot 10^{-3}$	2.47	0.049	$163.5 \cdot 10^{-10}$
8000	6075	$18.40 \cdot 10^{-3}$	2.46	0.045	$200.1 \cdot 10^{-10}$
10000	6054	$18.00 \cdot 10^{-3}$	2.45	0.044	$244.7 \cdot 10^{-10}$

Se

$$d = 1400 \text{ \AA} \quad A = 23.5 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	4720	$46.0 \cdot 10^{-3}$	3.178	0.147
400	4717	$33.6 \cdot 10^{-3}$	3.175	0.106
600	4715	$25.2 \cdot 10^{-3}$	3.174	0.08
800	4714	$24.8 \cdot 10^{-3}$	3.173	0.079
1000	4712	$22.0 \cdot 10^{-3}$	3.172	0.069
2000	4708	$22.0 \cdot 10^{-3}$	3.169	0.069
4000	4702	$16.0 \cdot 10^{-3}$	3.165	0.051
6000	4693	$12.0 \cdot 10^{-3}$	3.159	0.038
8000	4691	$8.0 \cdot 10^{-3}$	3.158	0.025
10000	4683	$1.0 \cdot 10^{-3}$	3.153	0.0315

Se

$$d = 2000 \text{ \AA} \quad A = 40.704 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	7610	$14.0 \cdot 10^{-3}$	4.22	0.059
200	6730	$12.8 \cdot 10^{-3}$	3.74	0.048
400	6510	$12.6 \cdot 10^{-3}$	3.61	0.046
600	6210	$12.2 \cdot 10^{-3}$	3.45	0.042
800	6120	$8.8 \cdot 10^{-3}$	3.39	0.030
1000	5990	$8.6 \cdot 10^{-3}$	3.33	0.029
2000	5770	$8.4 \cdot 10^{-3}$	3.30	0.027
4000	5420	$8.0 \cdot 10^{-3}$	3.01	0.024
6000	5410	$7.4 \cdot 10^{-3}$	3.00	0.022
8000	5310	$6.6 \cdot 10^{-3}$	2.95	0.020
10000	5300	$6.2 \cdot 10^{-3}$	2.94	0.018

Se

$$d = 2500 \text{ \AA} \quad A = 25.75 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K_1	K_2
200	3440	46.0 10^{-3}	3.77	0.174
400	3430	44.4 10^{-3}	3.76	0.167
600	3428	40.0 10^{-3}	3.76	0.150
800	3423	37.2 10^{-3}	3.75	0.139
1000	3422	28.0 10^{-3}	3.75	0.105
2000	3421	25.0 10^{-3}	3.75	0.094
4000	3411	24.0 10^{-3}	3.74	0.089
6000	3406	12.0 10^{-3}	3.73	0.045
8000	3400	8.0 10^{-3}	3.72	0.029
10000	3390	6.0 10^{-3}	3.71	0.023

Se

$$d = 3000 \text{ \AA} \quad A = 45.2 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K_1	K_2
200	6060	38.0 10^{-3}	4.54	0.173
400	6050	37.8 10^{-3}	4.53	0.172
600	6032	31.0 10^{-3}	4.52	0.140
800	6018	30.0 10^{-3}	4.51	0.135
1000	6000	28.0 10^{-3}	4.50	0.126
2000	5980	22.0 10^{-3}	4.49	0.098
4000	5960	12.0 10^{-3}	4.47	0.054
6000	5920	8.0 10^{-3}	4.44	0.355
8000	5900	5.0 10^{-3}	4.42	0.221
10000	5870	3.0 10^{-3}	4.40	0.132

Se

$$d = 4000 \text{ \AA} \quad A = 41.47 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^0\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂	σ (ω)
200	5000	171.0 10 ⁻³	5.45	0.936	13.2 10 ⁻⁹
400	4910	155.3 10 ⁻³	5.35	0.831	23.8 10 ⁻⁹
600	4810	140.0 10 ⁻³	5.24	0.730	31.7 10 ⁻⁹
800	4790	134.0 10 ⁻³	5.22	0.680	40.0 10 ⁻⁹
1000	4710	135.0 10 ⁻³	5.13	0.690	47.8 10 ⁻⁹
2000	4640	104.0 10 ⁻³	5.06	0.520	67.9 10 ⁻⁹
4000	4580	83.0 10 ⁻³	4.99	0.420	80.5 10 ⁻⁹
6000	4560	74.0 10 ⁻³	4.97	0.370	169.0 10 ⁻⁹
8000	4530	68.0 10 ⁻³	4.94	0.340	201.0 10 ⁻⁹
10000	4520	62.0 10 ⁻³	4.93	0.300	238.0 10 ⁻⁹
20000	4440	46.6 10 ⁻³	4.84	0.230	359.0 10 ⁻⁹
50000	4100	21.0 10 ⁻³	4.47	0.094	386.0 10 ⁻⁹
100000	3000	14.0 10 ⁻³	3.27	0.046	423.0 10 ⁻⁹

Se

$$d = 4000 \text{ \AA} \quad A = 41.47 \text{ mm}^2 \quad T = 165 \text{ }^0\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂	σ (ω)
200	3910	188.0 10 ⁻³	4.26	0.800	8.9 10 ⁻⁹
600	3630	115.2 10 ⁻³	3.96	0.460	15.3 10 ⁻⁹
1000	3480	78.0 10 ⁻³	3.79	0.290	16.1 10 ⁻⁹
2000	3380	62.0 10 ⁻³	3.68	0.280	31.1 10 ⁻⁹
4000	3330	44.0 10 ⁻³	3.63	0.160	35.6 10 ⁻⁹
6000	3290	37.8 10 ⁻³	3.59	0.140	46.7 10 ⁻⁹
8000	3280	31.2 10 ⁻³	3.57	0.110	48.9 10 ⁻⁹
10000	3270	32.0 10 ⁻³	3.56	0.110	61.2 10 ⁻⁹
20000	3240	22.0 10 ⁻³	3.53	0.078	86.7 10 ⁻⁹
50000	2870	10.0 10 ⁻³	3.13	0.031	86.2 10 ⁻⁹
100000	2100	10.0 10 ⁻³	2.29	0.022	122.3 10 ⁻⁹

Se

$$d = 6000 \text{ \AA} \quad A = 15.9 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
100	1130	93.0 · 10 ⁻³	5.72	0.532
200	1154	62.0 · 10 ⁻³	5.84	0.362
400	1153	52.0 · 10 ⁻³	5.83	0.303
600	1152	37.2 · 10 ⁻³	5.83	0.217
800	1151	32.8 · 10 ⁻³	5.82	0.191
1000	1150	31.0 · 10 ⁻³	5.82	0.180
2000	1150	22.0 · 10 ⁻³	5.82	0.128
4000	1146	12.0 · 10 ⁻³	5.80	0.069
6000	1143	6.0 · 10 ⁻³	5.78	0.035
8000	1139	5.0 · 10 ⁻³	5.76	0.029
10000	1130	3.0 · 10 ⁻³	5.72	0.017

Se

$$d = 7000 \text{ \AA} \quad A = 15.9 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
100	1400	80.8 · 10 ⁻³	6.96	0.563
200	1300	66.6 · 10 ⁻³	6.94	0.463
400	1200	48.4 · 10 ⁻³	5.97	0.289
600	1202	46.0 · 10 ⁻³	5.97	0.275
800	1199	44.0 · 10 ⁻³	5.96	0.262
1000	1198	42.0 · 10 ⁻³	5.96	0.250
2000	1196	31.0 · 10 ⁻³	5.95	0.184
4000	1193	20.0 · 10 ⁻³	5.93	0.187
6000	1188	18.0 · 10 ⁻³	5.91	0.106
8000	1184	8.0 · 10 ⁻³	5.89	0.047
10000	1180	6.0 · 10 ⁻³	5.87	0.035

Se
 $d = 8500 \text{ \AA}$ $A = 14.487 \text{ mm}^2$ $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	1160	$40.4 \cdot 10^{-3}$	7.60	0.309
200	1156	$39.0 \cdot 10^{-3}$	7.66	0.298
400	1155	$35.0 \cdot 10^{-3}$	7.65	0.268
600	1154	$34.0 \cdot 10^{-3}$	7.65	0.260
800	1152	$32.8 \cdot 10^{-3}$	7.64	0.251
1000	1151	$20.0 \cdot 10^{-3}$	7.63	0.153
2000	1150	$16.0 \cdot 10^{-3}$	7.62	0.122
4000	1146	$12.0 \cdot 10^{-3}$	7.59	0.091
6000	1143	$8.0 \cdot 10^{-3}$	7.58	0.061
8000	1140	$6.0 \cdot 10^{-3}$	7.56	0.045
10000	1130	$3.0 \cdot 10^{-3}$	7.49	0.024

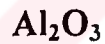
Se
 $f = 1000 \text{ sn}^{-1}$

K_1	$d (\text{\AA})$
0.075	175
0.108	200
0.670	500
1.340	700
1.710	800
2.550	1000
3.170	1400
3.330	2000
3.750	2500
4.500	3000
5.100	4000
5.820	6000
5.960	7000
7.600	8500



$d = 27 \text{ A}^\circ \quad A = 36.9 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	194000	$10.00 \cdot 10^{-3}$	1.604	0.016
200	193930	$9.60 \cdot 10^{-3}$	1.603	0.015
400	193290	$9.40 \cdot 10^{-3}$	1.598	0.015
600	192930	$9.20 \cdot 10^{-3}$	1.595	0.146
800	192680	$11.68 \cdot 10^{-3}$	1.593	0.186
1000	192480	$15.30 \cdot 10^{-3}$	1.591	0.243
2000	191950	$23.60 \cdot 10^{-3}$	1.587	0.375
4000	191494	$40.00 \cdot 10^{-3}$	1.583	0.633
6000	191210	$56.40 \cdot 10^{-3}$	1.580	0.891
8000	191090	$73.60 \cdot 10^{-3}$	1.580	1.163
10000	191010	$90.00 \cdot 10^{-3}$	1.579	1.421



$d = 54 \text{ A}^\circ \quad A = 36.5 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	104200	$4.00 \cdot 10^{-3}$	1.742	$6.97 \cdot 10^{-3}$
200	103780	$7.76 \cdot 10^{-3}$	1.735	$13.5 \cdot 10^{-3}$
400	103452	$6.70 \cdot 10^{-3}$	1.729	$11.5 \cdot 10^{-3}$
600	103278	$6.50 \cdot 10^{-3}$	1.726	$11.2 \cdot 10^{-3}$
800	103170	$5.90 \cdot 10^{-3}$	1.725	$10.2 \cdot 10^{-3}$
1000	103070	$5.30 \cdot 10^{-3}$	1.723	$9.1 \cdot 10^{-3}$
2000	102770	$7.80 \cdot 10^{-3}$	1.718	$13.4 \cdot 10^{-3}$
4000	102478	$12.10 \cdot 10^{-3}$	1.713	$20.7 \cdot 10^{-3}$
6000	102330	$16.80 \cdot 10^{-3}$	1.711	$28.7 \cdot 10^{-3}$
8000	102230	$27.20 \cdot 10^{-3}$	1.709	$46.5 \cdot 10^{-3}$
10000	102200	$32.00 \cdot 10^{-3}$	1.708	$54.7 \cdot 10^{-3}$

Al_2O_3

$$d = 135 \text{ \AA} \quad A = 38.43 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	97800	$38.20 \cdot 10^{-3}$	3.91	$14.94 \cdot 10^{-2}$
200	96100	$32.40 \cdot 10^{-3}$	3.84	$12.4 \cdot 10^{-2}$
400	94400	$30.40 \cdot 10^{-3}$	3.78	$11.5 \cdot 10^{-2}$
600	93580	$32.40 \cdot 10^{-3}$	3.74	$12.1 \cdot 10^{-2}$
800	93120	$35.68 \cdot 10^{-3}$	3.73	$13.3 \cdot 10^{-2}$
1000	92730	$39.30 \cdot 10^{-3}$	3.71	$14.6 \cdot 10^{-2}$
2000	91930	$59.60 \cdot 10^{-3}$	3.68	$21.9 \cdot 10^{-2}$
4000	91250	$102.40 \cdot 10^{-3}$	3.65	$37.4 \cdot 10^{-2}$
6000	90860	$145.8 \cdot 10^{-3}$	3.63	$52.9 \cdot 10^{-2}$
8000	90600	$188.0 \cdot 10^{-3}$	3.62	$68.1 \cdot 10^{-2}$
10000	90380	$231.0 \cdot 10^{-3}$	3.61	$83.5 \cdot 10^{-2}$
15000	90050	$339.0 \cdot 10^{-3}$	3.60	$122.0 \cdot 10^{-2}$

 Al_2O_3

$$d = 135 \text{ \AA} \quad A = 38.43 \text{ mm}^2 \quad T = 350 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	99500	$39.00 \cdot 10^{-3}$	3.98	$15.5 \cdot 10^{-2}$
200	96000	$36.00 \cdot 10^{-3}$	3.84	$13.8 \cdot 10^{-2}$
400	94100	$33.20 \cdot 10^{-3}$	3.76	$12.5 \cdot 10^{-2}$
800	92700	$37.68 \cdot 10^{-3}$	3.71	$13.97 \cdot 10^{-2}$
1000	92000	$40.80 \cdot 10^{-3}$	3.68	$15.0 \cdot 10^{-2}$
2000	91100	$62.20 \cdot 10^{-3}$	3.64	$22.6 \cdot 10^{-2}$
4000	90260	$105.60 \cdot 10^{-3}$	3.61	$38.1 \cdot 10^{-2}$
6000	89720	$149.4 \cdot 10^{-3}$	3.59	$53.6 \cdot 10^{-2}$
8000	89370	$193.6 \cdot 10^{-3}$	3.57	$69.1 \cdot 10^{-2}$
10000	89100	$238.0 \cdot 10^{-3}$	3.56	$84.7 \cdot 10^{-2}$
15000	88660	$348.0 \cdot 10^{-3}$	3.55	$123.5 \cdot 10^{-2}$

Al_2O_3

$$d = 270 \text{ \AA} \quad A = 38.11 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	56200	$18.00 \cdot 10^{-3}$	4.45	$8.10 \cdot 10^{-2}$
200	55810	$17.20 \cdot 10^{-3}$	4.68	$8.00 \cdot 10^{-2}$
400	55280	$15.60 \cdot 10^{-3}$	4.43	$8.05 \cdot 10^{-2}$
600	55020	$15.42 \cdot 10^{-3}$	4.40	$6.78 \cdot 10^{-2}$
800	54846	$15.68 \cdot 10^{-3}$	4.39	$6.88 \cdot 10^{-2}$
1000	54720	$22.10 \cdot 10^{-3}$	4.38	$10.05 \cdot 10^{-2}$
2000	54380	$23.40 \cdot 10^{-3}$	4.35	$10.18 \cdot 10^{-2}$
4000	54056	$24.80 \cdot 10^{-3}$	4.33	$10.74 \cdot 10^{-2}$
6000	53868	$31.2 \cdot 10^{-3}$	4.31	$13.4 \cdot 10^{-2}$
8000	53730	$37.6 \cdot 10^{-3}$	4.30	$16.17 \cdot 10^{-2}$
10000	53630	$44.0 \cdot 10^{-3}$	4.29	$18.88 \cdot 10^{-2}$
15000	53420	$60.0 \cdot 10^{-3}$	4.28	$25.68 \cdot 10^{-2}$

 Al_2O_3

$$d = 270 \text{ \AA} \quad A = 38.11 \text{ mm}^2 \quad T = 340 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	56330	$18.10 \cdot 10^{-3}$	4.51	$8.16 \cdot 10^{-2}$
200	55800	$16.40 \cdot 10^{-3}$	4.47	$7.33 \cdot 10^{-2}$
400	55420	$16.04 \cdot 10^{-3}$	4.44	$7.12 \cdot 10^{-2}$
600	55154	$15.78 \cdot 10^{-3}$	4.42	$6.97 \cdot 10^{-2}$
800	54980	$16.16 \cdot 10^{-3}$	4.40	$7.10 \cdot 10^{-2}$
1000	54840	$16.50 \cdot 10^{-3}$	4.39	$7.20 \cdot 10^{-2}$
2000	54500	$19.80 \cdot 10^{-3}$	4.36	$8.60 \cdot 10^{-2}$
4000	54230	$26.40 \cdot 10^{-3}$	4.34	$11.46 \cdot 10^{-2}$
6000	54040	$33.0 \cdot 10^{-3}$	4.33	$14.29 \cdot 10^{-2}$
8000	53880	$39.2 \cdot 10^{-3}$	4.31	$16.90 \cdot 10^{-2}$
10000	53726	$46.0 \cdot 10^{-3}$	4.30	$17.20 \cdot 10^{-2}$
15000	53500	$63.0 \cdot 10^{-3}$	4.28	$26.96 \cdot 10^{-2}$

Al_2O_3 $d = 270 \text{ \AA} \quad A = 38.11 \text{ mm} \quad T = 370 \text{ }^\circ\text{K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	56820	$17.60 \cdot 10^{-3}$	4.55	$8.00 \cdot 10^{-2}$
400	56400	$17.80 \cdot 10^{-3}$	4.51	$8.03 \cdot 10^{-2}$
600	56060	$17.80 \cdot 10^{-3}$	4.49	$7.99 \cdot 10^{-2}$
800	55852	$17.12 \cdot 10^{-3}$	4.47	$7.65 \cdot 10^{-2}$
1000	55680	$17.30 \cdot 10^{-3}$	4.46	$7.71 \cdot 10^{-2}$
2000	55320	$19.20 \cdot 10^{-3}$	4.42	$8.50 \cdot 10^{-2}$
4000	54960	$21.20 \cdot 10^{-3}$	4.40	$9.33 \cdot 10^{-2}$
6000	54760	$36.00 \cdot 10^{-3}$	4.38	$15.78 \cdot 10^{-2}$
8000	54610	$50.00 \cdot 10^{-3}$	4.37	$21.85 \cdot 10^{-2}$
10000	54500	$56.00 \cdot 10^{-3}$	4.36	$24.43 \cdot 10^{-2}$
15000	54240	$73.00 \cdot 10^{-3}$	4.34	$31.70 \cdot 10^{-2}$

 Al_2O_3 $d = 405 \text{ \AA} \quad A = 39.667 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	61610	$14.10 \cdot 10^{-3}$	7.11	$10.02 \cdot 10^{-2}$
200	61250	$12.90 \cdot 10^{-3}$	7.07	$9.10 \cdot 10^{-2}$
400	60930	$12.32 \cdot 10^{-3}$	7.03	$8.66 \cdot 10^{-2}$
600	60741	$12.18 \cdot 10^{-3}$	7.00	$8.53 \cdot 10^{-2}$
800	60610	$12.32 \cdot 10^{-3}$	6.99	$8.61 \cdot 10^{-2}$
1000	60498	$12.50 \cdot 10^{-3}$	6.98	$8.73 \cdot 10^{-2}$
1500	60310	$12.90 \cdot 10^{-3}$	6.96	$8.98 \cdot 10^{-2}$
2000	60178	$13.60 \cdot 10^{-3}$	6.94	$9.40 \cdot 10^{-2}$
3000	59994	$14.40 \cdot 10^{-3}$	6.92	$9.96 \cdot 10^{-2}$
4000	59860	$15.60 \cdot 10^{-3}$	6.90	$10.76 \cdot 10^{-2}$
6000	59684	$18.00 \cdot 10^{-3}$	6.89	$12.40 \cdot 10^{-2}$
8000	59550	$20.00 \cdot 10^{-3}$	6.87	$13.74 \cdot 10^{-2}$
10000	59440	$23.00 \cdot 10^{-3}$	6.86	$15.78 \cdot 10^{-2}$
15000	59220	$28.50 \cdot 10^{-3}$	6.83	$19.50 \cdot 10^{-2}$

Al_2O_3

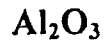
$$d = 405 \text{ \AA} \quad A = 39.667 \text{ mm}^2 \quad T = 330 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	62830	$16.30 \cdot 10^{-3}$	7.25	$11.81 \cdot 10^{-2}$
200	62410	$14.80 \cdot 10^{-3}$	7.20	$10.66 \cdot 10^{-2}$
400	62041	$14.08 \cdot 10^{-3}$	7.16	$10.08 \cdot 10^{-2}$
600	61813	$13.92 \cdot 10^{-3}$	7.13	$9.92 \cdot 10^{-2}$
800	61650	$14.40 \cdot 10^{-3}$	7.11	$10.20 \cdot 10^{-2}$
1000	61530	$14.20 \cdot 10^{-3}$	7.10	$10.01 \cdot 10^{-2}$
1500	61320	$14.85 \cdot 10^{-3}$	7.07	$10.50 \cdot 10^{-2}$
2000	61160	$15.40 \cdot 10^{-3}$	7.06	$10.87 \cdot 10^{-2}$
3000	60940	$16.50 \cdot 10^{-3}$	7.03	$11.60 \cdot 10^{-2}$
4000	60793	$17.60 \cdot 10^{-3}$	7.01	$12.30 \cdot 10^{-2}$
6000	60570	$20.40 \cdot 10^{-3}$	6.99	$14.30 \cdot 10^{-2}$
8000	60400	$22.40 \cdot 10^{-3}$	6.97	$15.60 \cdot 10^{-2}$
10000	60268	$25.00 \cdot 10^{-3}$	6.95	$17.38 \cdot 10^{-2}$
15000	60030	$31.50 \cdot 10^{-3}$	6.93	$21.80 \cdot 10^{-2}$

 Al_2O_3

$$d = 405 \text{ \AA} \quad A = 39.667 \text{ mm}^2 \quad T = 370 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	63110	$17.00 \cdot 10^{-3}$	7.28	$12.38 \cdot 10^{-2}$
200	62670	$15.22 \cdot 10^{-3}$	7.23	$11.00 \cdot 10^{-2}$
400	62278	$14.68 \cdot 10^{-3}$	7.18	$10.54 \cdot 10^{-2}$
600	62042	$14.46 \cdot 10^{-3}$	7.16	$10.35 \cdot 10^{-2}$
800	61869	$14.56 \cdot 10^{-3}$	7.14	$10.39 \cdot 10^{-2}$
1000	61721	$14.70 \cdot 10^{-3}$	7.12	$10.47 \cdot 10^{-2}$
1500	61470	$15.00 \cdot 10^{-3}$	7.09	$10.64 \cdot 10^{-2}$
2000	61289	$15.60 \cdot 10^{-3}$	7.07	$11.03 \cdot 10^{-2}$
3000	61082	$16.80 \cdot 10^{-3}$	7.05	$11.84 \cdot 10^{-2}$
4000	60910	$18.00 \cdot 10^{-3}$	7.03	$12.65 \cdot 10^{-2}$
6000	60679	$20.40 \cdot 10^{-3}$	7.00	$14.28 \cdot 10^{-2}$
8000	60510	$23.20 \cdot 10^{-3}$	6.98	$16.19 \cdot 10^{-2}$
10000	60370	$25.00 \cdot 10^{-3}$	6.96	$17.49 \cdot 10^{-2}$
15000	60122	$31.50 \cdot 10^{-3}$	6.94	$21.86 \cdot 10^{-2}$



$$d = 540 \text{ \AA} \quad A = 36.3 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	48600	$19.00 \cdot 10^{-3}$	8.17	$15.50 \cdot 10^{-2}$
200	48250	$14.60 \cdot 10^{-3}$	8.07	$11.84 \cdot 10^{-2}$
400	48020	$13.56 \cdot 10^{-3}$	8.03	$10.94 \cdot 10^{-2}$
800	47790	$13.10 \cdot 10^{-3}$	8.02	$10.56 \cdot 10^{-2}$
1000	47730	$11.50 \cdot 10^{-3}$	7.98	$9.17 \cdot 10^{-2}$
2000	47520	$16.30 \cdot 10^{-3}$	7.97	$13.00 \cdot 10^{-2}$
3000	47400	$23.10 \cdot 10^{-3}$	7.95	$18.40 \cdot 10^{-2}$
4000	47310	$28.00 \cdot 10^{-3}$	7.93	$22.26 \cdot 10^{-2}$
6000	47190	$36.60 \cdot 10^{-3}$	7.92	$29.02 \cdot 10^{-2}$
8000	47097	$46.40 \cdot 10^{-3}$	7.91	$36.70 \cdot 10^{-2}$
10000	47040	$55.00 \cdot 10^{-3}$	7.89	$43.50 \cdot 10^{-2}$
15000	46910	$79.50 \cdot 10^{-3}$	6.94	$62.73 \cdot 10^{-2}$



$$d = 540 \text{ \AA} \quad A = 36.3 \text{ mm}^2 \quad T = 350 \text{ }^\circ\text{K}$$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
100	50200	$23.00 \cdot 10^{-3}$	8.44	$19.40 \cdot 10^{-2}$
200	49800	$19.60 \cdot 10^{-3}$	8.37	$16.40 \cdot 10^{-2}$
400	49420	$17.28 \cdot 10^{-3}$	8.30	$14.34 \cdot 10^{-2}$
600	49200	$16.86 \cdot 10^{-3}$	8.27	$13.94 \cdot 10^{-2}$
800	49050	$17.28 \cdot 10^{-3}$	8.24	$14.24 \cdot 10^{-2}$
1000	48957	$17.80 \cdot 10^{-3}$	8.23	$14.60 \cdot 10^{-2}$
2000	48670	$21.80 \cdot 10^{-3}$	8.18	$17.80 \cdot 10^{-2}$
4000	48350	$30.80 \cdot 10^{-3}$	8.13	$25.04 \cdot 10^{-2}$
6000	48181	$40.20 \cdot 10^{-3}$	8.10	$32.56 \cdot 10^{-2}$
8000	48060	$50.40 \cdot 10^{-3}$	8.08	$40.70 \cdot 10^{-2}$
10000	47970	$60.00 \cdot 10^{-3}$	8.06	$48.36 \cdot 10^{-2}$
15000	47770	$84.00 \cdot 10^{-3}$	8.03	$67.50 \cdot 10^{-2}$

Al₂O₃

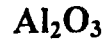
$$d = 675 \text{ \AA} \quad A = 40.51 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
200	37680	16.4 · 10 ⁻³	7.09	11.60 · 10 ⁻²
400	37390	14.72 · 10 ⁻³	7.04	10.36 · 10 ⁻²
800	37130	14.08 · 10 ⁻³	6.99	9.84 · 10 ⁻²
1000	37040	13.80 · 10 ⁻³	6.97	9.62 · 10 ⁻²
2000	36830	14.20 · 10 ⁻³	6.93	9.84 · 10 ⁻²
4000	36640	16.80 · 10 ⁻³	6.90	11.59 · 10 ⁻²
6000	36530	19.80 · 10 ⁻³	6.88	13.62 · 10 ⁻²
8000	36440	22.40 · 10 ⁻³	6.86	15.37 · 10 ⁻²
10000	36370	25.00 · 10 ⁻³	6.85	17.10 · 10 ⁻²

Al₂O₃

$$d = 810 \text{ \AA} \quad A = 38.125 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
100	32300	11.30 · 10 ⁻³	7.75	8.76 · 10 ⁻²
200	32130	10.20 · 10 ⁻³	7.71	7.87 · 10 ⁻²
400	31980	9.76 · 10 ⁻³	7.68	7.50 · 10 ⁻²
600	31892	9.84 · 10 ⁻³	7.66	7.50 · 10 ⁻²
800	31840	10.00 · 10 ⁻³	7.64	7.64 · 10 ⁻²
1000	31790	10.10 · 10 ⁻³	7.63	7.71 · 10 ⁻²
2000	31646	11.00 · 10 ⁻³	7.60	8.40 · 10 ⁻²
4000	31510	12.80 · 10 ⁻³	7.56	9.67 · 10 ⁻²
6000	31430	15.00 · 10 ⁻³	7.55	11.30 · 10 ⁻²
8000	31360	16.80 · 10 ⁻³	7.53	12.60 · 10 ⁻²
10000	31289	18.00 · 10 ⁻³	7.51	13.50 · 10 ⁻²
15000	31194	22.50 · 10 ⁻³	7.50	16.80 · 10 ⁻²



$$d = 810 \text{ \AA} \quad A = 38.125 \text{ mm}^2 \quad T = 330 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
100	32900	13.00 10 ⁻³	7.89	10.27 10 ⁻²
200	32710	11.64 10 ⁻³	7.85	9.14 10 ⁻²
400	32520	11.60 10 ⁻³	7.81	9.07 10 ⁻²
600	32416	11.70 10 ⁻³	7.78	9.10 10 ⁻²
800	32316	11.76 10 ⁻³	7.76	9.12 10 ⁻²
1000	32279	11.90 10 ⁻³	7.75	9.22 10 ⁻²
2000	32104	12.80 10 ⁻³	7.71	9.87 10 ⁻²
4000	31938	14.80 10 ⁻³	7.67	11.3 10 ⁻²
6000	31837	16.80 10 ⁻³	7.64	12.80 10 ⁻²
8000	31762	18.40 10 ⁻³	7.62	14.03 10 ⁻²
10000	31702	21.00 10 ⁻³	7.60	15.98 10 ⁻²
15000	31570	25.50 10 ⁻³	7.58	19.30 10 ⁻²



$$d = 810 \text{ \AA} \quad A = 38.125 \text{ mm}^2 \quad T = 380 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
100	33100	13.00 10 ⁻³	7.95	10.33 10 ⁻²
200	32820	12.12 10 ⁻³	7.88	9.55 10 ⁻²
400	32630	12.04 10 ⁻³	7.83	9.43 10 ⁻²
600	32500	12.00 10 ⁻³	7.80	9.36 10 ⁻²
800	32410	12.00 10 ⁻³	7.78	9.33 10 ⁻²
1000	32340	12.10 10 ⁻³	7.76	9.39 10 ⁻²
2000	32150	13.00 10 ⁻³	7.72	10.03 10 ⁻²
4000	31980	14.80 10 ⁻³	7.68	11.36 10 ⁻²
6000	31870	16.80 10 ⁻³	7.65	12.85 10 ⁻²
8000	31802	19.20 10 ⁻³	7.63	14.66 10 ⁻²
10000	31740	21.00 10 ⁻³	7.62	16.00 10 ⁻²
15000	31610	27.00 10 ⁻³	7.59	20.49 10 ⁻²

Al₂O₃

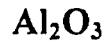
$$d = 945 \text{ \AA} \quad A = 36.42 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C ₀ (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
200	32350	10.00 10 ⁻³	9.19	1.19 10 ⁻²
400	31202	10.04 10 ⁻³	9.15	1.18 10 ⁻²
600	31120	10.08 10 ⁻³	9.10	1.17 10 ⁻²
800	31060	10.16 10 ⁻³	9.11	2.26 10 ⁻²
1000	31013	10.30 10 ⁻³	9.09	2.36 10 ⁻²
2000	30882	11.00 10 ⁻³	9.06	2.96 10 ⁻²
4000	37750	13.20 10 ⁻³	9.02	2.90 10 ⁻²
6000	30670	15.00 10 ⁻³	8.99	3.49 10 ⁻²
8000	30620	17.60 10 ⁻³	8.98	5.80 10 ⁻²
10000	30560	19.00 10 ⁻³	8.96	7.02 10 ⁻²

Al₂O₃

$$d = 1215 \text{ \AA} \quad A = 38.10 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

f (sn ⁻¹)	C ₀ (pF)	tg δ	K ₁	K ₂
200	27810	16.4 10 ⁻³	10.37	17.00 10 ⁻²
400	27580	16.40 10 ⁻³	9.71	15.92 10 ⁻²
600	27490	15.78 10 ⁻³	9.71	15.32 10 ⁻²
800	27370	15.20 10 ⁻³	9.68	14.71 10 ⁻²
1000	27310	15.8 10 ⁻³	9.66	15.26 10 ⁻²
2000	27151	14.80 10 ⁻³	9.59	14.19 10 ⁻²
4000	27000	16.40 10 ⁻³	9.54	15.64 10 ⁻²
6000	26880	18.60 10 ⁻³	9.51	17.68 10 ⁻²
8000	26830	20.00 10 ⁻³	9.49	18.98 10 ⁻²
10000	26740	23.00 10 ⁻³	9.46	21.76 10 ⁻²
20000	26080	36.00 10 ⁻³	9.22	33.19 10 ⁻²
50000	24860	35.00 10 ⁻³	8.79	30.77 10 ⁻²
100000	22800	40.00 10 ⁻³	8.07	32.28 10 ⁻²



$d = 1215 \text{ \AA} \quad A = 38.10 \text{ mm}^2 \quad T = 230 \text{ }^\circ\text{K}$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	23580	$5.40 \cdot 10^{-3}$	8.34	$45.04 \cdot 10^{-2}$
400	23540	$5.68 \cdot 10^{-3}$	8.33	$47.30 \cdot 10^{-2}$
600	23510	$6.06 \cdot 10^{-3}$	8.32	$50.39 \cdot 10^{-2}$
800	23500	$5.84 \cdot 10^{-3}$	8.31	$48.55 \cdot 10^{-2}$
1000	23480	$6.00 \cdot 10^{-3}$	8.30	$49.84 \cdot 10^{-2}$
2000	23412	$5.20 \cdot 10^{-3}$	8.28	$43.07 \cdot 10^{-2}$
4000	23300	$9.20 \cdot 10^{-3}$	8.24	$75.84 \cdot 10^{-2}$
6000	23288	$10.20 \cdot 10^{-3}$	8.24	$84.05 \cdot 10^{-2}$
8000	23280	$12.00 \cdot 10^{-3}$	8.23	$98.85 \cdot 10^{-2}$
10000	23273	$13.00 \cdot 10^{-3}$	8.23	$107.06 \cdot 10^{-2}$
20000	23170	$20.00 \cdot 10^{-3}$	8.20	$164.00 \cdot 10^{-2}$



$d = 1458 \text{ \AA} \quad A = 38.10 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2	$\sigma(\omega)$
200	31700	$1.42 \cdot 10^{-3}$	13.70	$1.94 \cdot 10^{-2}$	$2.16 \cdot 10^{-10}$
400	29910	$0.97 \cdot 10^{-3}$	12.30	$1.19 \cdot 10^{-2}$	$2.65 \cdot 10^{-10}$
600	28630	$1.11 \cdot 10^{-3}$	12.37	$1.37 \cdot 10^{-2}$	$4.57 \cdot 10^{-10}$
800	27730	$1.06 \cdot 10^{-3}$	11.30	$1.20 \cdot 10^{-2}$	$5.33 \cdot 10^{-10}$
1000	26930	$1.00 \cdot 10^{-3}$	10.99	$1.10 \cdot 10^{-2}$	$6.12 \cdot 10^{-10}$
2000	25500	$2.00 \cdot 10^{-3}$	10.4	$2.08 \cdot 10^{-2}$	$23.1 \cdot 10^{-10}$
4000	23300	$2.24 \cdot 10^{-3}$	9.37	$2.10 \cdot 10^{-2}$	$96.7 \cdot 10^{-10}$
6000	23870	$3.06 \cdot 10^{-3}$	9.67	$2.96 \cdot 10^{-2}$	$131.7 \cdot 10^{-10}$
8000	24410	$3.76 \cdot 10^{-3}$	9.83	$3.70 \cdot 10^{-2}$	$165 \cdot 10^{-10}$
10000	23010	$6.60 \cdot 10^{-3}$	9.27	$6.10 \cdot 10^{-2}$	$339 \cdot 10^{-10}$

Al₂O₃

$d = 1458 \text{ \AA} \quad A = 38.10 \text{ mm}^2 \quad T = 240 \text{ }^\circ\text{K}$

F (sn ⁻¹)	C (pF)	tg δ	K ₁	K ₂	σ (ω)
200	18530	26.20 10 ⁻³	8.01	0.82 10 ⁻²	1.14 10 ⁻¹¹
400	18520	19.72 10 ⁻³	8.00	0.70 10 ⁻²	1.56 10 ⁻¹⁰
600	18518	23.74 10 ⁻³	8.00	0.52 10 ⁻²	1.73 10 ⁻¹⁰
800	18516	18.08 10 ⁻³	8.01	0.31 10 ⁻²	1.38 10 ⁻¹⁰
1000	18514	22.90 10 ⁻³	8.00	0.2 10 ⁻²	1.11 10 ⁻¹⁰
2000	18510	52.00 10 ⁻³	8.00	1.2 10 ⁻²	13.3 10 ⁻¹⁰
4000	18470	60.40 10 ⁻³	7.99	1.5 10 ⁻²	30.00 10 ⁻¹⁰
6000	18444	88.80 10 ⁻³	7.98	2.2 10 ⁻²	73.4 10 ⁻¹⁰
8000	18431	116.80 10 ⁻³	7.97	4.1 10 ⁻²	137.0 10 ⁻¹⁰
10000	18430	121.00 10 ⁻³	7.97	7.3 10 ⁻²	406.0 10 ⁻¹⁰

Al₂O₃

$d = 1458 \text{ \AA} \quad A = 38.10 \text{ mm}^2 \quad T = 140 \text{ }^\circ\text{K}$

f (sn ⁻¹)	C (pF)	Tg δ	K ₁	K ₂	σ (ω)
200	17630	0.85 10 ⁻³	7.63	0.65 10 ⁻²	7.22 10 ⁻¹¹
400	17620	8.10 10 ⁻³	7.62	0.62 10 ⁻²	1.38 10 ⁻¹⁰
600	17610	7.90 10 ⁻³	7.60	0.60 10 ⁻²	2.00 10 ⁻¹⁰
800	17610	6.90 10 ⁻³	7.60	0.53 10 ⁻²	2.34 10 ⁻¹⁰
1000	17603	5.50 10 ⁻³	7.60	0.42 10 ⁻²	2.60 10 ⁻¹⁰
2000	17570	7.10 10 ⁻³	7.59	0.54 10 ⁻²	5.10 10 ⁻¹⁰
4000	17550	7.30 10 ⁻³	7.58	0.56 10 ⁻²	1.20 10 ⁻⁹
6000	17535	7.60 10 ⁻³	7.58	0.58 10 ⁻²	1.90 10 ⁻⁹
8000	17519	7.80 10 ⁻³	7.57	0.59 10 ⁻²	2.62 10 ⁻⁹
10000	17505	19.80 10 ⁻³	7.56	1.50 10 ⁻²	8.35 10 ⁻⁹

Al_2O_3

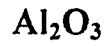
$d = 1555 \text{ \AA} \quad A = 40.70 \text{ mm}^2 \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{Tg } \delta$	K_1	K_2
200	23240	$2.02 \cdot 10^{-2}$	10.60	$2.14 \cdot 10^{-3}$
400	23110	$1.68 \cdot 10^{-2}$	9.88	$1.66 \cdot 10^{-3}$
600	23010	$1.75 \cdot 10^{-2}$	9.86	$1.72 \cdot 10^{-3}$
800	22980	$1.50 \cdot 10^{-2}$	9.85	$1.48 \cdot 10^{-3}$
1000	22910	$1.80 \cdot 10^{-2}$	9.83	$1.79 \cdot 10^{-3}$
2000	22680	$1.50 \cdot 10^{-2}$	9.72	$1.46 \cdot 10^{-3}$
4000	22530	$2.08 \cdot 10^{-2}$	9.71	$2.02 \cdot 10^{-3}$
6000	22443	$2.22 \cdot 10^{-2}$	9.67	$2.15 \cdot 10^{-3}$
8000	22370	$2.48 \cdot 10^{-2}$	9.63	$2.39 \cdot 10^{-3}$
10000	22320	$2.70 \cdot 10^{-2}$	9.62	$2.60 \cdot 10^{-3}$
50000	20710	$4.50 \cdot 10^{-2}$	8.03	$4.20 \cdot 10^{-3}$
100000	18700	$6.00 \cdot 10^{-2}$	8.02	$4.80 \cdot 10^{-3}$

Al_2O_3

$d = 1555 \text{ \AA} \quad A = 40.70 \text{ mm}^2 \quad T = 230 \text{ }^\circ\text{K}$

$f \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	$C \text{ (pF)}$	$\text{tg } \delta$	K_1	K_2
200	18260	$4.20 \cdot 10^{-3}$	7.87	$3.30 \cdot 10^{-2}$
400	18250	$4.44 \cdot 10^{-3}$	7.87	$3.49 \cdot 10^{-2}$
600	18230	$4.38 \cdot 10^{-3}$	7.86	$3.45 \cdot 10^{-2}$
800	18221	$4.88 \cdot 10^{-3}$	7.85	$3.84 \cdot 10^{-2}$
1000	18210	$4.90 \cdot 10^{-3}$	7.85	$3.84 \cdot 10^{-2}$
2000	18180	$8.80 \cdot 10^{-3}$	7.84	$6.89 \cdot 10^{-2}$
4000	18158	$15.60 \cdot 10^{-3}$	7.83	$9.04 \cdot 10^{-3}$
6000	18140	$15.60 \cdot 10^{-3}$	7.82	$12.20 \cdot 10^{-3}$
8000	18130	$11.20 \cdot 10^{-3}$	7.81	$8.75 \cdot 10^{-3}$
10000	18120	$13.00 \cdot 10^{-3}$	7.81	$10.20 \cdot 10^{-3}$
20000	18060	$22.00 \cdot 10^{-3}$	7.79	$15.83 \cdot 10^{-3}$



$d = 1555 \text{ \AA} \quad A = 40.70 \text{ mm}^2 \quad T = 190^\circ \text{ K}$

$f (\text{sn}^{-1})$	$C (\text{pF})$	$Tg \delta$	K_1	K_2
200	17820	$4.20 \cdot 10^{-3}$	7.68	$3.22 \cdot 10^{-2}$
400	17750	$4.04 \cdot 10^{-3}$	7.65	$3.10 \cdot 10^{-2}$
600	17720	$3.78 \cdot 10^{-3}$	7.64	$2.89 \cdot 10^{-2}$
800	17710	$4.08 \cdot 10^{-3}$	7.63	$3.11 \cdot 10^{-2}$
1000	17690	$4.10 \cdot 10^{-3}$	7.62	$3.13 \cdot 10^{-2}$
2000	17650	$5.60 \cdot 10^{-3}$	7.60	$4.26 \cdot 10^{-2}$
4000	17620	$7.20 \cdot 10^{-3}$	7.59	$5.47 \cdot 10^{-2}$
6000	17600	$9.00 \cdot 10^{-3}$	7.58	$6.82 \cdot 10^{-2}$
8000	17578	$11.20 \cdot 10^{-3}$	7.57	$8.47 \cdot 10^{-2}$
10000	17570	$12.00 \cdot 10^{-3}$	7.57	$9.08 \cdot 10^{-2}$

$f = 1000 \text{ sn}^{-1}$

$d (\text{A}^\circ)$	K_2
27	$2.40 \cdot 10^{-2}$
54	$1.10 \cdot 10^{-2}$
81	$4.94 \cdot 10^{-2}$
135	$14.60 \cdot 10^{-2}$
270	$10.00 \cdot 10^{-2}$
405	$8.70 \cdot 10^{-2}$
540	$9.10 \cdot 10^{-2}$
675	$5.60 \cdot 10^{-2}$
945	$2.36 \cdot 10^{-2}$
1215	$1.52 \cdot 10^{-2}$
1458	$2.10 \cdot 10^{-2}$
1555	$0.18 \cdot 10^{-2}$

$$f = 1000 \text{ sn}^{-1}$$

$d (A^{\circ})$	K_1
27	1.59
54	1.73
81	3.71
135	4.38
270	6.98
405	11.50
540	8.60
675	7.63
945	9.09
1215	9.66
1458	10.9
1555	9.83

$d (A^{\circ})$	σ_{dc}
27	$4.5 \cdot 10^{-16}$
54	$5.1 \cdot 10^{-16}$
81	$5.6 \cdot 10^{-16}$
95	$7.2 \cdot 10^{-16}$
110	$8.2 \cdot 10^{-16}$
120	$8.6 \cdot 10^{-16}$
135	$9.4 \cdot 10^{-16}$
180	$8.6 \cdot 10^{-16}$
270	$6.1 \cdot 10^{-16}$
405	$3.8 \cdot 10^{-16}$
540	$3.0 \cdot 10^{-16}$
675	$2.2 \cdot 10^{-16}$
810	$2.3 \cdot 10^{-16}$
945	$2.2 \cdot 10^{-16}$

VII. ÖZGEÇMİŞ

1962 Siirt doğumluyum. İlk orta, lise öğrenimimi İstanbul'da, üniversite öğrenimimi 1987 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde tamamladım. Yüksek lisans öğrenimimi İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde "Bi ince filmlerinin Optik Özellikleri" adlı tez çalışmasıyla 1990 yılında tamamladım. 1988 yılından beri İ.Ü. Fen Fakültesi Genel Fizik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.

Katıldığım bilimsel toplantılar:

TFD 10. Ulusal Fizik Kongresi 1988, İstanbul

TFD 11 Ulusal Fizik Kongresi 1989, Ankara

II. Trakya Teorik Fizik Seminerleri 1989, Edirne

TFD 12 Ulusal Fizik Kongresi, 1990, İzmir (Bildirili)

TFD 14 Ulusal Fizik Kongresi, 1993, Kıbrıs, Lefkoşe

III. International Bodrum School of Physics on Highlights of Condensed Matter Theory, 1990, Bodrum TÜRKİYE (Bildirili)

Research Workshop in Condensed Matter, 1991, Trieste, İtalya.

1st General Conference of the Balkan Physical Union, 1991, Selanik, Yunanistan.

EK II

Grafiklerde kullanılan fit programları :

Şekil 5: $y = 2.3619 \log (x) - 7.3538$

Şekil 6 : $y = 170.878 \log (x) - 938.01$

Şekil 7 – 8 : Polynomial Degree : 1

Şekil 9 : □ : $y = - 0.07725 \log (x) + 4.256$

• : $y = - 0.020719 \log (x) + 1.4568$

Şekil 10 : + : $\log y = -0.010638 \log (x) + 1.56964$

∇ : $\log y = -0.0096896 \log (x) + 1.5478$

• : $\log y = - 0.0106382 \log (x) + 1.5696$

Şekil 11 : □ : $y = - 0.068159 \log (x) + 7.59233$

• : $y = - 0.068159 \log (x) + 7.59233$

+: $y = - 0.054243 \log (x) + 7.35494$

Şekil 12 : + : $y = -0.069145 \log (x) + 8.2491$

* : $y = - 0.062045 \log (x) + 8.1783$

□ : $y = - 0.05025 \log (x) + 7.9794$

Şekil 13 : * : $y = - 0.96460 \log (x) + 18.1489$

O : $y = 0.009980 \log (x) + 8.06692$

∇ : $y = - 0.015567 \log (x) + 7.70831$

Şekil 14 : □ : $\log y = - 0.01677 \log (x) + 2.41$

▽ : $y = - 0.01664 \log (x) + 7.9643$

• : $y = - 0.027164 \log (x) + 7.8142$

* : $y = - 0.014245 \log (x) + 7.5705$

Şekil 20 : + : $y = - 1.28994 \log (x) + 23.3447$

□ : $y = - 0.23655 \log (x) + 12.7922$

• : $y = - 0.12848 \log (x) + 11.6017$

Şekil 21 : • : $y = - 0.05949 \log (x) + 2.9792$

□ : $y = - 0.05761 \log (x) + 3.0412$

+ : $y = - 0.11140 \log (x) + 3.7677$

Şekil 22 : □ : $y = - 0.6570 \log (x) + 3.09164$

• : $y = - 0.6570 \log (x) + 3.09164$

Şekil 23 : • : $\log (y) = - 0.048426 \log (x) + 0.890187$

▽ : $\log (y) = - 0.177173 \log (x) + 0.895643$

Şekil 24 : + : $y = - 9.0202 \log (x) + 86.4282$

□ : $y = - 9.0202 \log (x) + 86.4282$

• : $y = - 1.74206 \log (x) + 16.8916$

Şekil 25 : □ : $\log (y) = - 0.378672 \log (x) + 5.6329$

• : $\log (y) = - 0.28524 \log (x) + 4.39913$

+ : $\log (y) = - 0.28524 \log (x) + 4.39913$

Şekil 26 : □ : $\log (y) = - 0.6570 \log (x) + 3.09164$

• : $\log (y) = - 0.6570 \log (x) + 3.09164$

Ölçülere ait hata hesabı :

Kapasite Ölçümlerinde :

1 kHz de , $\pm (0.01 \% + 0.00003 \text{ pF})$

daha yüksek frekanslarda ve büyük kapasitelerle ek hata

$(\pm 3 \times 10^{-5} \% + 2 (C_{\mu\text{F}}) \times 10^{-3} \% \pm 3 \times 10^{-7} \text{ pF}) \times (f_{\text{kHz}})^2$

Düşük frekans ve küçük kapasitelerle doğruluk köprü hassasiyeti ile sınırlandırılmıştır.

Kayıp Faktörü Ölçümlerinde :

$\pm (0.1 \% \text{ ölçülen değer} + 10^{-5} (1 + f_{\text{kHz}} + 5 f_{\text{kHz}} C_{\mu\text{F}})$

