

Yarı - iletken Malzemelerin Özgül Dirençlerinin ölçülmesi İçin Bir Mikro - Dalga Boşluk Rezonatörü Metodu^{1*1}

Yazarlar :

Dr. J. G. LINHART,
Dr. B. DUNSMUIR,
Dr. I. M. TBMPLETON

Çeviren :

Eren Halil BAŞARAN
Elek. Y. Müh.
mü

Özet:

(Yazıda santimetrik dalga boylarında yarı iletkenlerin özgül dirençlerinin ölçülmesi için bir metod açıklanmaktadır. Bir küçük küresel ve kübik şekilli ölçü elemanı, TE_{011} modunda uyarılan bir boşluk rezonatörüne yerleştirilmiştir. Ölçülecek elemanda, alternatif magnetik alan içinde olmasından ötürü oluşan girdap akımları güç kaybına sebep olurlar. Rezonatör boşken ve içinde ölçü elemanı varken iyilik derecesi ölçülür. İyilik, dereceleri tanımından kayıp güçlerle orantılı olduğu biliniyor. İki Q ölçüvü yapıldıktan sonra, hesaplama sonucu özgül direnç değeri bulunur).

Santimetrik dalga boylarında boşluk rezonatörü kullanarak dielektrik kayıplarını ölçme tekniği (i) - özellikle yüksek özgül dirençli malzemeler için - oldukça basit ve kullanışlıdır. Bu ölçme tekniğinde ölçü elemanının herhangi bir boyutu, penetrasyon derinliğinden daha küçük olmalıdır. Bu ölçme tekniğine benzer şekilde, özgül dirençleri 0.005 ~ 10 ohm. cm arasında değişen malzemelerin özgül dirençlerini dolaylı olarak ölçmek olanaklıdır. Bu durumda, ölçü elemanında girdap akımlarından ötürü harcanan gücün ifadesi yazılırsa, bunun özgül dirençle orantılı olduğu görülür.

Yarı - iletken kristal parçayı diod ve transistor yapımında kullanmadan önce, yapım işlemine elverişliliğinin anlaşılabilmesi için germanyum ve silikon gibi yarı - iletkenlerin özgül dirençlerinin de bilinmesi gerekir.

Doğru akım ve radyo frekanslarında yarı - iletken malzemeler için alışlagelen özgül direnç ölçme metodlarında akım ve gerilim' sonda- lan (2) kullanılmaktadır. Bu tip ölçmeler değinme (= temas) direnci ve taşıyıcı dağılımından ötürü karmaşıklaşmaktadır. Çoğu zaman ölçü elemanı boy ve şekli sonda- lı ölçme düzenlerine de uygun gelmiyebilir.

Santimetrik dalga boyundaki rezonatör ölçme tekniğinde ise metalik değdirme zorunluluğu olmamasından pek küçük boydaki ölçü elemanlarıyla ölçme yapılabilmektedir.

(*) Bu yazı «British Journal of Applied Physcs» mecmuasının Ocak 1956 tarihli sayısından çevrilmiştir.

Boşluk Rezonatörü Metodu :

Küresel ölçü elemanı, TE_{011} modunda rezonansa gelecek şekilde uyarılmış olan silindirik rezonatörün merkezine yerleştirilir. Bu osilasyon modunun merkez yakınındaki dağılımı düzgün kabul edilebilir.

Q_0 : Boşluk rezonatörünün boş iken ölçülen iyilik derecesi

Q : Boşluk rezonatörüne ölçü elemanı konduktan sonra ölçülen iyilik derecesi

ölçü elemanındaki güç kaybı, Q_s ile orantılı olup şu şekilde yazılabilir.

$$1/Q_s = (VQ) - (1/Q_0) \quad (1)$$

Küçük özgül dirençli malzemeler ve santimetrik dalga boylan İçin kayıpların en baskını girdap akımlarından ötürü olup ölçü elemanı yüzeyinde toplanmıştır. Bu durumda „ özgül direncini aşğıdaki şekilde hesaplayabiliriz.

Bir küredeki girdap akımı kayıpları :

(Şekil 1) de gösterilen küresel eleman bir homogen, alternatif magnetik alan içine konsun. Bu alan ifadesini yazalım :

$$B = z. \exp(j\omega t)$$

Bu magnetik alan çevreleyen ve silindir eksenine dik girdap - akımı akacaktır. I_0 akım yoğunluğu ifadesi (3) bilinmekle beraber oldukça karışıktır. 5 cidar derinliğini, « küre yançapından pek küçük kabul ederek i 0 ifadesi epeyce basitleşir ve şu şekli alır :

$$i 0 = \frac{3}{8 \pi r} \cdot B V (j p) \frac{a}{T} [\exp - V (j p)$$

(a - r p (s i j, > 0). exp (j ^ t) (2)
burk j f a p', = (4 ^ m ^) / c = 2 / g^2 ve p, ise özgül dirençtir.

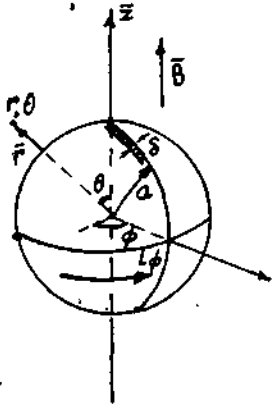
$$dV = r. dr. d f.$$

sin g. d \$ hacim elemanındaki kayıp g-üç ifadesi,

$$dW = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \cdot \sin g. d\phi$$

$$dW = \frac{9}{32 \cdot \pi} \cdot \rho \cdot B^2 a^2 \left(\right)$$

$$\exp [-y \{ \& , u n / \} a - r \}] \sin^* 0. d\theta d\phi. dr (3)$$



Şekil : 1 - Yüksek frekanslı magnetik alan içinde kayıplı küresel eleman

ölçü elemanındaki toplam güç kaybı, (3) ifadesinin küre hacmi içinde integralini alarak,

$$W = 0.15 B^2 a^2 V \rho (erg/s) \quad (4)$$

olarak bulunur.

$$\rho = 1 \text{ alınır ve } \rho \text{ fi}^{\text{cm}} \text{ olarak birimlendirilirse, } W = 0.475 \times 10^{-10} B^2 a^2 V \rho < 0 / 1 \text{ (erg/s)} \quad (4a)$$

elde edilir. Daha tutarlı bir ifade elde etmek için S/a nın Jkinci dereceden üslü terimi de ele alınır,

$$W = 0.457 \times 10^4 B^2 a^2 V \rho \cdot d + V^2 (g/a) \quad (4b)$$

$$\text{olur ve burada } s = 0.892 \times 10^8 V (P / < a) \quad (\text{cm})$$

Silindirik rezonatördeki TE₀₁₁ modunun oluşturduğu magnetik alanın düzgün olması, ve küresel ölçü elemanının konmasıyla alan dağılımının bozulmaması için; küresel ölçü elemanı yarıçapının, \ rezonans dalga boyundan pek küçük olması gerekmektedir, a (\ / 8 tutarlı ölçü sonuçları veren bir kriter sayılabilir. Tanıma göre,

$$Q_s = \omega \cdot W_o / W \quad (5)$$

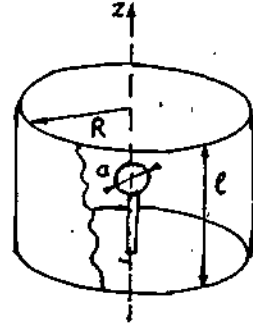
W_o : TE₀₁₁ modunda rezonatörde biriken enerji

W : ölçü elemanındaki kayıp güç

Rezonatörde biriken enerjinin ifadesini yazalım;

$$W_o = B^2 \frac{R^4}{2 \pi} (1.49 \frac{1}{R} + 1) \cdot 10^{-2} \text{ (erg)} \quad (6)$$

burada R silindirik rezonatör yarıçapı, ve l silindirik rezonatör yüksekliğidir. TE₀₁₁ modunda, dşışasyon yapan, rezonans frekansı /2, olup R ve l cinsinden, ifadesi



Şekil 2 - İçinde ölçü elemanı bulunan boşluk rezonatörü

$$\frac{\omega}{2 \pi} = \frac{c}{2l} \sqrt{1.49 \frac{1}{R} + 1} \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Bunu (6) da yerine koyarak,

$$W_o = B^2 \frac{R^4 l}{1.49} \cdot \frac{\omega^2}{\pi^2 c^2} \cdot 10^{-2} \text{ (erg)} \quad (8)$$

elde edilir.

(4a), (5) ve (8) denklemlerini kullanarak Q_s gu şekli alır :

$$Q_s = 0.159 \times 10^{-2} \frac{\omega \cdot V^2 \cdot R^4 l}{V_o \cdot a^2} \quad (9)$$

ve buradan da özgül direnç elde edilir :

$$\rho = (0.159 \times 10^{-27} \frac{1}{Q_s} \cdot \frac{R < 1}{a^2})^2 \text{ (}\Omega \text{ cin)}$$

özgül direnç için daha tutarlı bir formül (4a) yerine, (4b) yi kullanarak

$$\rho = \left\{ \frac{1.26 \times 10^4}{Q_s \cdot V \omega} \right\}^2 \text{ (Qcm)} \quad (10a)$$

yazılır. Bu ifade de < * = 0.159 x 10⁻²⁷. (M V² R⁴ / a⁴) dir.

Deneyin düzenlenmesi :

Doğru akım özgül direnci yaklaşık olarak 0.1 ohmcm. olan, bir kristal silikon malzeme İçin X-bandında ölçme yapılmıştır. (Şekil-3 de gö-



Şekil : 3 — Deney düzemi.

rüldüğü gibi çapı 0.5 cm olan ölçülecek eleman ondometre tipi bir silindirik rezonatörün merkezinde tutturulmuştur. Bunun için gövdesi 0.2 cm çapında olan bir distrene kapsül silindir eksenine doğrultusunda konulmuştur. Rezonatörün 0.7 cm çapında bir deliği vardır. Böylece rezonatörü sökmeden ölçü elemanı değiştirilebiliyor. Destek olarak kullanılan distrene kapsülün rezonatörün iyilik derecesini azaltma miktarı % 1 den azdır.

Rezonatörün 2.5 cm yüksekliği ve 2.5 cm. lik yarıçapı vardır. Deneyde yüksek frekans kaynağı olarak (3 KHz'e modüle edilmiş kare dalgalı) CV. 323 tipi bir refleks klitron osilatörü ve bir kristal dedektör ile 3 KHz'e akordlu amplifikatör kullanılmıştır.

Deney sonuçları :

	Rezonator dalgaboyu (cm)	Rezonans genişliği (cm)	Q
Rezonator ve mesnet	3.162	0.00111	2850 (Q ₀)
Rezonator, mesnet ve ölçü elemanı	3.144	0.00675	406 (Q)

Denklem (1)'den $Q_s = 577$ olarak bulunur ve (10a)'dan silikon özgül direnci $\rho = 0.145$ ohmcm bulunur. $\lambda = 3$ cm. lik dalga boyunda elde edilen bu değer doğru akım metodlarından elde edilen değerden pek az farklı olduğu görülüyor.

Sonuç :

ölçülen Q değerlerinden özgül direnç hesabında- şekil düzeltme katsayısı kullanılırsa - ölçülecek elemanın küresel olması gerekmez Hacmi bir küresel elemanın hacmine eşit olan kübik eleman için şekil düzeltme katsayısı 1.20 olarak bulunmuştur Açıkça $Q_{stf}(küre) = 1.20 Q_s$ (kübik) yazılabilir. Bu şekil düzeltme katsayısı kabaca yüzey alanları oranı olan 1.24 değerine eşittir, diyebiliriz.

Bu ölçme tekniğini 0.005 + 10 ohmcm. lik özgül dirençler arasına sınırlamamızın nedeni 2500 değerinden daha büyük Q_1 ın ve 50 den daha küçük $<J$ lan elverişli bir doğrulukla ölçemediğimizdir. Ayrıca daha yüksek özgül dirençlerin hesabında kullanılacak olan yaklaşık formüller de tutarlı sonuç vermemektedir.

Referanslar :

- (1) HORNER, F., TAYLOR, T. A., DUNSMUIR, R., LAMB, F., and JACKSON, W. J. Instn Elect. Engrs, 93 (III), p. 53 (1946).
- (2) VALDES, L. B. Proc. Inst. Radio Engrs. 42, p. 420 (1954).
- (3) SYMTHE W. R; Static and Dynamic Electricity, p. 396 (New York : McGraw-Hill Book Co. Inc. 1939).

İ L Â N

Askerlik görevini tamamlamış 30 yaşından aşağı Fransızca bilir Elek. Y. Mühendisi aranmaktadır. Mektupla müracaat edeceklerin hal tercümelelerini ve istedikleri ücreti bildirmeleri ve bir vesikalık fotoğraf göndermeleri rica olunur.

ETİTAŞ
P. K. 552 - İZMİR