

Ag/p-Si SCHOTTKY DİYOT YAPISININ BAZI PARAMETRELERİNİN TAYINI

Necati YALÇIN

Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, KAYSERİ

Abdülmecit TÜRÜT, Sebahattin TÜZEMEN

Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ERZURUM

ÖZET

Bu çalışmada [111] doğrultulu ve $\rho=11,50 \Omega\text{-m}$ öz dirençli p-tipi silisyum kristali ile hazırlanan Ag/p-Si Schottky diyodunun idealite faktörü (n), engel yüksekliği (ϕ_B), seri direnci (R), difüzyon potansiyeli (V_{dif}) ve akseptör yoğunluğu (N_a) gibi parametreleri bulundu. n , ϕ_B ve R için; $dV/d(\ln I) = IR + n/\beta$, $H(I) = V - (n/\beta)\ln(I/SA^*T^2)$ ve

$I(V) = I_s \exp[\alpha(V_{dif} + V)^{1/4}]$ fonksiyonları; V_{dif} ve N_a için

$C(V) = S[q\epsilon\epsilon_0 N_a/2(V_{dif} + V)]^{1/2}$ fonksiyonu kullanıldı.

DETERMINATION OF SOME PARAMETERS OF Ag/p-Si SCHOTTKY DIODE

SUMMARY

In this work, the parameters like the ideality factor (n), potential barrier height (ϕ_B), diode series resistance (R), diffusion potential (V_{dif}) and acceptor density of Ag/p-Si Schottky diode prepared from p-type silicon crystal having a resistivity of $11.50 \Omega\text{-m}$ and the [111] direction are found. The functions $dV/d(\ln I) = IR + n/\beta$, $H(I) = V - (n/\beta)\ln(I/SA^*T^2)$ and $I(V) = I_s \exp[\alpha(V_{dif} + V)^{1/4}]$ are used to determine n , ϕ_B and R . The function $C(V) = S[q\epsilon\epsilon_0 N_a/2(V_{dif}+V)]^{1/2}$ is also used for V_{dif} and N_a .

GİRİŞ

Metal-yarıiletken Schottky yapılarında akım-gerilim (I-V) karakteristikleri, seri direnç etkisi göz önünde bulundurularak, ilk defa Norde [1] tarafından Au/n-Si, PtSi/n-Si ve Pd₂/n-Si yapıları üzerinde incelenmiştir. Daha sonra benzer bir çalışma Sato ve Yasumura [2] tarafından yapılmıştır. Fakat Norde fonksiyonları ile yapılan incelemelerde en az iki farklı sıcaklıkta ölçülen I-V karakteristiklerine ihtiyaç vardır ve R seri direncin bulunmasında, Norde fonksiyonunun minimumunun tesbitindeki belirsizlikten dolayı, %40'a varan bir hata yapılabilmektedir. Bu konuda Cheung'lar [3] tarafından ortaya atılan $dV/d(\ln I) = IR + n/(q/kT)$ ve $H(I) = IR + n \phi_B$ fonksiyonları kullanılarak tek bir I-V karakteristiği ile diyot parametreleri (n, ϕ_B ve R) daha kolay ve sağlıklı bir şekilde tayin edilebilmektedir. Burada V uygulanan gerilim, I akım, R seri direnç, q elektron yükü, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, n idealite faktörü ve ϕ_B engel yüksekliğidir.

Bu çalışmada, Ag/p-Si Schottky diyodunun akım-gerilim (I-V) ve sıgagerilim (C-V) karakteristikleri seri direnç etkisi dahil edilerek incelendi. Doğru beslem I-V ölçülerinden $dV/d(\ln I) - I$ ve $H(I) - I$ grafikleri, ters beslem I-V ölçülerinden $\ln I - (V_{dif} + V)^{1/4}$ Schottky grafikleri çizilerek diyot parametreleri (n, ϕ_B ve R) tayin edildi. C-V karakteristiklerinden de akseptör yoğunluğu N_a ve difüzyon potansiyeli V_{dif} hesaplandı. Genel olarak üç ayrı yoldan elde edilen potansiyel engel yüksekliklerinin uyum içinde olduğu gösterildi.

TEORİ

Termiyonik emisyon modelinin geçerli olduğu ideal Schottky diyotlarında doğru beslem I-V karakteristikleri

$$I = I_s [\exp(qV_D/kT) - 1] \quad (1)$$

denklemleriyle verilir [4]. Fakat birçok halde ideal durumdan sapmalar nedeniyle I-V karakteristikleri

$$I = I_S[\exp(qV_D/nkT) - 1] \quad (2)$$

şeklindedir. Burada V_D Schottky engelinde düşen gerilim ve n idealite faktörüdür ve ideal diyot halinde $n=1$ olur. Doyma akım I_S

$$I_S = SA^*T^2 \exp(-q \phi_B/kT) \quad (3)$$

olup, burada A^* Richardson sabiti ve S diyodun etkin alanıdır. p-tipi silisyum için $A^* = 93 \times 10^4 \text{ A/K}^2 \text{ m}^2$ şeklinde verilebilir [5].

Diyodun R gibi bir seri dirence sahip olması durumunda, yapıya uygulanan gerilim, Schottky bölgesinde düşen gerilimle R direnci üzerinde düşen gerilimin toplamı olacağından (2) denklemi

$$I = I_S \exp[q(V - IR)/nkT] - 1 \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V uygulanan gerilim ve IR de seri direnç üzerinde düşen gerilimdir. $(V-IR) \gg 3kT/q$ şartını sağlayan gerilimlerde doyma akımı, doğru beslem akımı yanında ihmal edilebilir ve (4) denklemi

$$I = I_S \exp[q(V - IR)/nkT] \quad (5)$$

haline gelir. Bu denklemlerden V çözülürse;

$$V = IR + n \phi_B + (n/\beta) \ln(I/SA^*T^2) \quad (6)$$

elde edilir. Burada $\beta = q/kT$ 'dir. (6) denkleminin $\ln I$ 'ya göre türevi alınırsa;

$$dV/d(\ln I) = IR + n/\beta \quad (7)$$

ifadesi elde edilir. Cheung'lar [3], engel yüksekliği ϕ_B 'yi bulmak için;

$$H(I) = V - (n/\beta) \ln(I/SA^*T^2) \quad (8)$$

fonksiyonunu tanımlamışlardır. (6) denklemi (8) denklemine yerine yazılmak suretiyle;

$$H(I) = IR + n \phi_B \quad (9)$$

olduğu görülebilir. Böylece (7) ve (9) denklemlerine göre $dV/d(\ln I) - I$ ve $H(I) - I$ grafikleri birer doğrudur. Bu doğruların $dV/d(\ln I)$ ve $H(I)$ eksenlerini kestiği noktalardan sırasıyla n ve ϕ_B , eğimlerinden de R tayin edilebilir.

Ters beslem durumunda, akım iletimi termiyonik emisyonla ϕ_B engelini aşarak metalden yarı iletkene geçen taşıyıcılarla sağlandığından, akım bağıntısı (3) denklemiyle verilir. Ancak Schottky etkisinden dolayı engelin gerilime bağlı olarak alçalması nedeniyle akım, zayıfca gerilime bağlıdır ve I-V karakteristiği;

$$I = SA^*T^2 \exp(-q \phi_B/kT) \exp[\alpha (V_{dif} + V)^{1/4}] \quad (10)$$

ile verilir [6]. α sabiti

$$\alpha = \{ (q^7 N_a) / [8(\epsilon \epsilon_0)^3 \pi^2 (kT)^4] \}^{1/4} \quad (11)$$

şeklindedir. Burada N_a akseptör yoğunluğu, $\epsilon (=11,8)$ Si yarıiletkeninin dielektrik sabiti ve $\epsilon_0 (=8,85 \times 10^{-12} \text{F/m})$ serbest uzayın elektriksel geçirgenliğidir. (10) denklemine göre $\ln I - (V_{dif} + V)^{1/4}$ Schottky grafiğinin $\ln I$ eksenini kestiği noktadan (3) denklemi kullanılarak, engel yüksekliği;

$$\phi_B = (kT/q) \ln(SA^*T^2/I_S) \quad (12)$$

ifadesinden bulunur.

Schottky tabakasının genişliği

$$d = \{ [(2\epsilon\epsilon_0)/(qN_a)](V_{dif} + V) \}^{1/2} \quad (13)$$

şeklinde verilmektedir. Bu tabakadaki yük yoğunluğu $-qN_a$ olduğundan, d genişliği ve S yüzeyine sahip Schottky engeli bölgesindeki toplam yük;

$$Q = -qN_a S d = -S [2\epsilon\epsilon_0 q N_a (V_{dif} + V)]^{1/2} \quad (14)$$

olur. Küçük sinyal sığası, uygulanan gerilimle Q yükünün değişim miktarı olduğundan, C-V karakteristiği;

$$C = (dQ/dV) = -S [(\epsilon\epsilon_0 q N_a) / 2 (V_{dif} + V)]^{1/4} \quad (15)$$

olarak elde edilir. Böylece C-V karakteristiği

$$C^{-2} = [2(V_{dif} + V) / (S^2 q \epsilon \epsilon_0 N_a)] \quad (16)$$

denkleminde uyacaktır [6]. Buna göre C^{-2} -V grafiğinin eğiminden akseptör yoğunluğu N_a ve doğrunun V eksenini kestiği noktadan difüzyon potansiyeli V_{dif} bulunabilir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan [111] doğrultulu p-tipi silisyum kristallerinin öz direncinin $p=11,50 \Omega \cdot m$ olduğu van der Pauw tekniği ile yapılan Hall olayı ölçümleri ile tayin edilmiştir [7]. Schottky diyot yapımı için, kimyasal olarak temizlenmiş (chemically etched) 20-35 m kalınlığındaki silisyum kristallerinin yüzeylerinden birine Al (99,99 saflıkta) metali ile omik kontak, diğerine de Ag (99,99 saflıkta) metali ile doğrultucu kontak uygulandı. Buharlaştırma işlemleri 10^{-5} Torr basınçta gerçekleştirildi.

Ag/p-Si Schottky diyodun klasik dc yöntemiyle ölçülen I-V karakteristiği Şekil-1'de görülmektedir. Doğru beslem karakteristiğinin $V \gg IR$ bölgesindeki I-V verilerinden elde edilen $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I

grafikleri Şekil-2'de verilmiştir. Bu grafiklerden diyot parametreleri; $n=1,34$, $q \phi_B=0,62$ eV ve $R=515 \Omega$ olarak elde edilmiştir.

Şekil-1'deki ters beslem I-V grafiğinin doyma bölgesinde akımın gerilime kısmen bağlı olduğu görülmektedir. Bu, imaj-kuvvet etkisi ile engel alçalmasından ileri gelmektedir. Bu durumda, I-V bağıntısı (10) denklemiyle verilecektir ve $\ln I-(V_{dif}+V)^{1/4}$ Schottky grafiği, Şekil-3'te görüldüğü gibi bir doğrudur. Bu grafikten, (12) bağıntısı yarımınıyla engel yüksekliği $q \phi_B=0,60$ eV olarak bulunmuştur. Grafik çiziminde, Şekil-4'deki $C^{-2}-V$ grafiğinden bulunan $qV_{dif}=0,30$ eV değeri kullanılmıştır. Engel yüksekliği için $H(I)-I$ ve $\ln I-(V_{dif}+V)^{1/4}$ grafiklerinden bulunan değerlerin birbiriyle uyum içinde oldukları görülmektedir.

Çalışmada kullanılan p-tipi silisyum kristalleri için oda sıcaklığındaki öz direnç $p=11,50 \Omega\text{-m}$, taşıyıcı hareketliliği $\mu_p=450 \text{ cm}^2/V\text{-s}$ ve valans bandındaki hal yoğunluğu $N_v=1,04 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ değerleri [4]

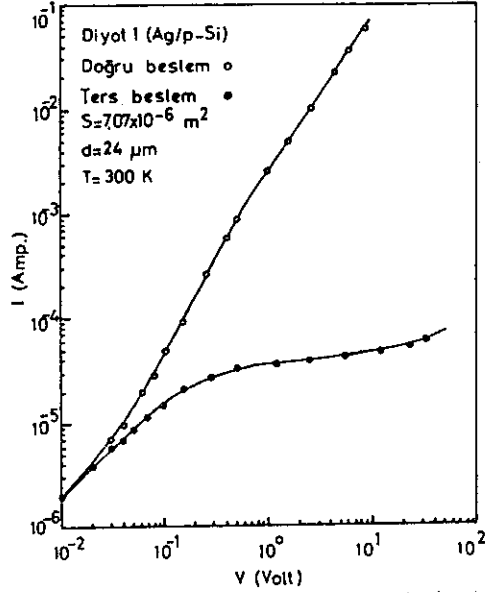
$$p = 1/(\rho \mu_p q) = N_v \exp(-E_f/kT) \quad (17)$$

denkleminde yerlerine yazılırsa, $p=1,21 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ve $E_f=0,34$ eV elde edilir. Burada p yarıiletkenindeki serbest taşıyıcı yoğunluğu ve E_f valans bandından ölçülen Fermi enerjisidir. Bu durumda, engel yüksekliği $q \phi_B=qV_{dif}+E_f=0,64$ eV olmalıdır. Bu da I-V verilerinden elde edilen engel yükseklikleri ile uyumaktadır.

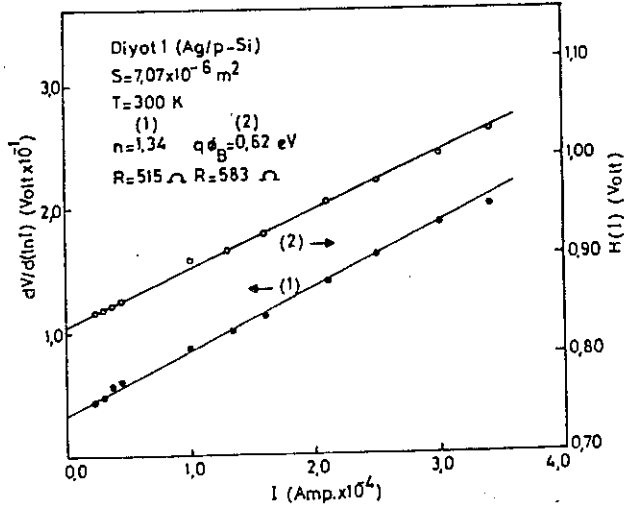
Oda sıcaklığında ve küçük sinyal frekansının $f=500$ kHz olması durumunda elde edilen Şekil-4'deki $C-V$ karakteristiğinden akseptör yoğunluğu $N_a=1,15 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ olarak tayin edilmiştir. Yarıiletkeninde serbest taşıyıcı yoğunluğunun tamamı, iyonize olmuş akseptörlerden sağlanıyorsa $N_a=p$ olmalıdır. Bu değer, $p=11,50 \Omega\text{-m}$ öz direnci kullanılarak (17) denkleminde bulunan serbest taşıyıcı yoğunluğu değeri olan $p=1,21 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ sonucu ile uyum içindedir. Bu, serbest taşıyıcıların hemen hemen tamamının iyonlaşmış akseptörlerle sağlandığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

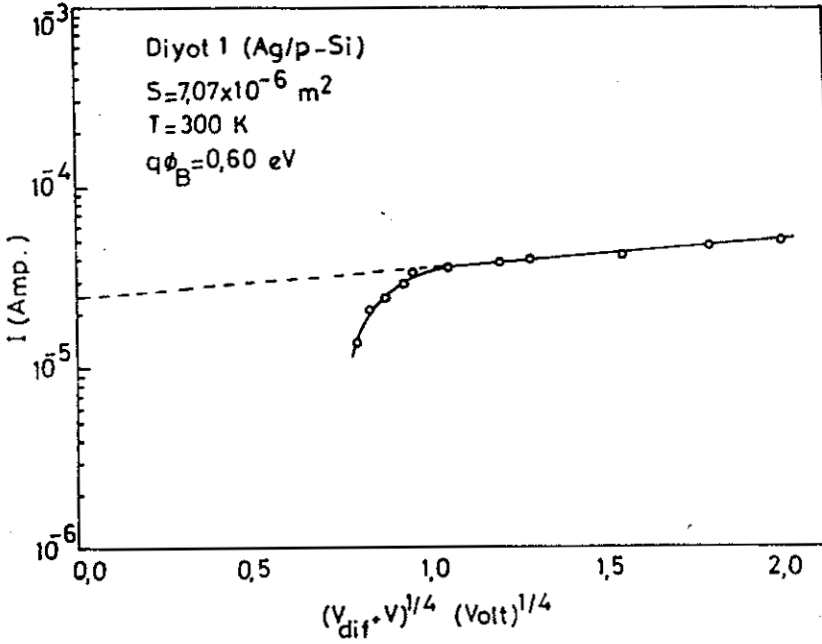
- [1] Norde, H., A Modified Forward I-V plot for Schottky Diodes with High Series Resistance, J.Appl.Phys., 50(7), 5052-53,1979.
- [2] Sato, K., Yasumura, Y., Study of Forward I-V plot for Schottky Diodes with High Series Resistance, J.Appl.Phys., 58(9), 3655-57, 1985.
- [3] Cheung, S.K., Cheung, N.W., Extraction of Schottky Diode Parameters from Forward Current-Voltage Characteristics, Appl.Phys. Lett, 49(2) 85-87, 1986.
- [4] Sze, S. M., Physics of Semiconductor Devices, Second Edition, New York, J.Willey and Sons, 254-58,850, 1981.
- [5] Güvenç, M. G., Büget, U., Current Flow in p-Type Space-Charge-Limited Silicon Diodes J.Phys. D:Appl.Phys., 3,1990-92, 1970.
- [6] van der Ziel, A., Solid State Physical Electronics, Second Edition, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 266-72, 1968.
- [7] Yıldırım, M., Efeoğlu, H., Yoğurtçu, Y.K. Nötronlarla Işınlamanın ve Su Veriminin P-tipi Silisyumun Öz direnci ve Taşıyıcı Yoğunluğu Üzerine Etkileri, Türk Fizik Derneği 9. Ulusal Fizik Kongresi, Bursa, YMF-1.6, 1987.



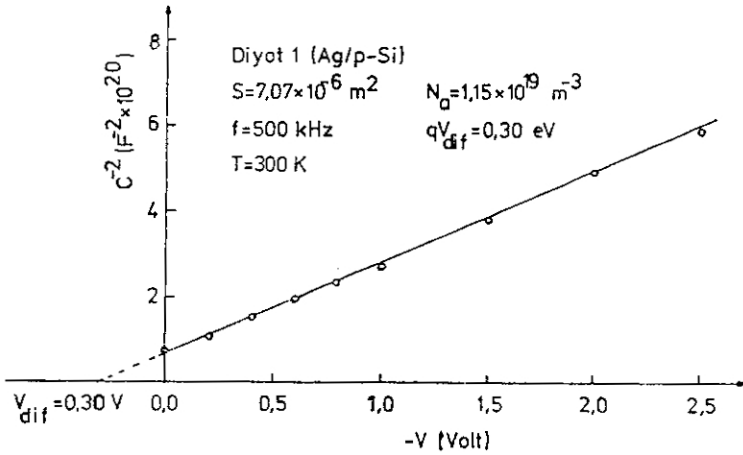
Şekil - 1 : Ag/p-Si Schottky diyodun doğru ve ters beslem akım gerilim karakteristiği.



Şekil - 2 : Ag/p-Si Schottky diyodun doğru beslem I-V karakteristiğinden çizilen $[(dV)/d(\ln I)]-V$ ve $H(I)-V$ grafikleri.



Şekil - 3 : Ters beslem akım gerilim değerlerinden çizilen Schottky grafiği.



Şekil - 4 : Ag/p-Si Schottky diyodun ters beslem sağa gerilim ölçülerinden çizilen $C^{-2}-v$ grafiği.