

Yüksek Sıcaklıklarda Ag/n-GaP Schottky Diyotunun Elektronik Parametrelerinin İncelenmesi

Fethi DAĞDELEN¹ ve Metin ÖZER^{2*}

¹Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye
(Geliş / Received : 14.11.2014 ; Kabul / Accepted : 15.12.2014)

ÖZ

Ag/n-GaP Schottky diyotları vakumda metal buharlaştırma metodu ile üretildi. Farklı sıcaklıklarda akım-gerilim(I-V) ölçümleri yapılarak elektronik parametreleri sıcaklığa bağlı olarak belirlendi. İdealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç parametreleri ileri beslem I-V metodu ve Cheung fonksiyonlarından hesaplandı. Ag/n-GaP Schottky diyotunun engel yüksekliğinin sıcaklık artarken arttığı ve idealite faktörünün ise sıcaklık artarken azaldığı belirlendi. 298 K sıcaklıkta, diyotun idealite faktörü 2,01, engel yüksekliği 0,424 eV ve seri direnci ise 4,284 kΩ bulundu.

Anahtar Kelimeler: Schottky engeli, idealite faktörü, seri direnç, n-GaP

Investigation of Electronic Parameters of Ag/N-Gap Schottky Barrier Diode

ABSTRACT

An Ag/n-GaP Schottky barrier diode was fabricated in vacuum with metal evaporating method. The electronic parameters were investigated by current-voltage (I-V) measurements at different temperatures. The electronic parameters such as ideality factor, barrier height and series resistance were determined from forward bias I-V measurement method and Cheung's functions at different temperatures. Results indicate that the barrier height of Ag/n-GaP diode increased with increase in temperature, while the ideality factor decreased. Ideality factor, barrier height and series resistance values are determined 2.01, 0.424 eV and 4.284 kΩ at 298 K, respectively.

Keywords: Schottky barrier, ideality factor, series resistance, n-GaP

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal-yarıiletken diyotların basit bir yapısı vardır ve yarıiletken teknolojisinde birçok kullanışlı cihazların yapımında önemli bir rol oynarlar. [1-15]. Doğrudan bant aralığına sahip olan GaP, yüksek elektron hareketliliğine (mobilitesine), yüksek doyum hızına ve kesme (doyma) gerilimine sahiptir. Bu fiziksel özellikler, bazı elektronik cihazların üretilmesinde çok önemlidir [15]. III-V grubu yarıiletkenler grubuna giren bu malzeme yüksek hızlı elektronik ve optoelektronik cihazlar için iyi bir gelecek vadetmektedir. Bu diyotların akım iletim mekanizması, yarıiletken yüzeyini temizleme sürecine, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka oluşumuna, arayüzey durumların yoğunluğuna, yarıiletkendeki safsızlık konsantrasyonuna, diyotun seri direncine, besleme voltajına ve yarıiletken ile metalin fiziksel özelliklerine bağlıdır [15-26]. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarında birçok akım iletim mekanizması oluşabilmektedir. Ancak belirli bir gerilim bölgesinde ve sıcaklık aralığında sadece bir, iki veya daha fazla akım iletim mekanizması baskın olabilmektedir [14-25].

Son yıllarda, birçok araştırmacı III-V yarıiletkenleri kullanarak fotovoltaik [1,2], Schottky bariyeri [3-6], nanoteller [7] ve ışık salımlı diyotlar (LED) [8-15] üze-

rinde yaptıkları çalışmalarla ilgili makaleler yayınladılar. GaAs ve InP üzerinde oluşturulan Schottky diyotları elektronik ve optoelektronik alanda birçok alternatifler sunmaktadır. Ancak, metal/GaP ile ilgili Schottky diyotları üzerinde bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen yeterli değildir, hatta oldukça azdır. Yapılan çalışmalarda, Schottky bariyerine ait elektronik parametreler, I-V, C-V ve fotovoltaik ölçümlerden elde edilen verilerden hesaplanmıştır. T.F. Lei ve arkadaşları [11], S. Duman ve arkadaşları [16], GaP üzerinde farklı metaller ile Schottky bariyerleri oluşturarak yapıların bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve diğer bazı elektronik parametrelerini incelemişlerdir. Schottky engelli diyotların akım iletim mekanizmaları ve elektronik parametreleri daha birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir(25-35).

Bu çalışmada, n tipi GaP yarıiletken üzerinde vakumda metal buharlaştırma metodu ile Ag/n-GaP Schottky diyotu hazırlanarak farklı sıcaklıklarda akım-gerilim ölçümleri yapıldı ve idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi bazı temel parametreler incelendi.

2.DENEYSSEL SÜREÇ (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Bu çalışmada, yarıiletken malzeme olarak (100) yönelimli, 330 mikrometre kalınlıklı ve $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:metinoz@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.2, 93-97

taşıyıcı yoğunluklu, kükürt(S) katkılanmış n tipi GaP (GaP 1:1) kullanıldı. n tipi GaP, yüzeyindeki yağ ve kirleri temizlemek için önce trikloretilen, aseton ve metil alkol içerisinde 5'er dakika ultrasonik temizleme yapıldı ve her bir aşamadan sonra ise deiyonize su (18 Mohm) içerisinde iyice çalkayarak yıkandı. Daha sonra H₂SO₄:H₂O (1:10) karışımı içerisinde birkaç dakika tutularak yüzey parlatıldı ve deiyonize su ile iyice çalkayarak kimyasaldan temizlendi. Bu işlemten sonra, yüzeydeki doğal oksit tabakasını kaldırmak için HF:H₂O(1: 10) karışımı içinde 1 dakika tutulup, deiyonize su içerisinde iyice temizlendi. Temizlemeden hemen sonra, n-GaP metal buharlaştırma sistemine yerleştirilip vakumlu ortamda (10⁻⁶ Torr) saf alüminyum (Al %99,999) buharlaştırılarak arka mat yüzeyin tamamına 200 nm Al film çöktürüldü. 500 C da, saf azot gazı içerisinde, 3 dakika tavlansak omik kontak yapıldı. Bu işlemten sonra, 1 mm çapında delikleri olan maske kullanılarak ön yüzüne (parlak yüzey) yine vakumda saf gümüş(Ag %99,999) metali buharlaştırıldı ve 150 nm Ag film kaplandı. Film kalınlıkları, quartz kristalli sayısal kalınlık ölçer sistemi kullanılarak ölçüldü. Böylece Ag/n-GaP/Al yapısında Schottky diyotlar hazırlanmış oldu. Elektriksel ölçümleri yapabilmek için, elektrik kablosu içindeki çoklu tellerden kesilen küçük parça tel gümüş pastası kullanılarak, 1mm çapındaki diyot yüzeyine yapıştırıldı. Keithley 4200 cihazı kullanılarak 298-403 K sıcaklık aralığında, farklı sıcaklıklarda, akım-gerilim ölçümleri yapıldı. I-V ölçümleri ve sıcaklıklar, Janes-475 kryostat içerisinde, bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirildi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Farklı sıcaklıklarda, ileri ve ters beslem gerilim ölçümlerinden elde edilen verilerle yarı logaritmik LnI-V grafikleri çizildi (Şek.1). Şekilden görüldüğü gibi, üretilen numune diyot özelliği göstermektedir.

Diyottaki akım-iletim mekanizmasını belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanıldı (15, 16);

$$I=I_0[\exp(q(V-IR_S)/nkT)-1] \quad (1)$$

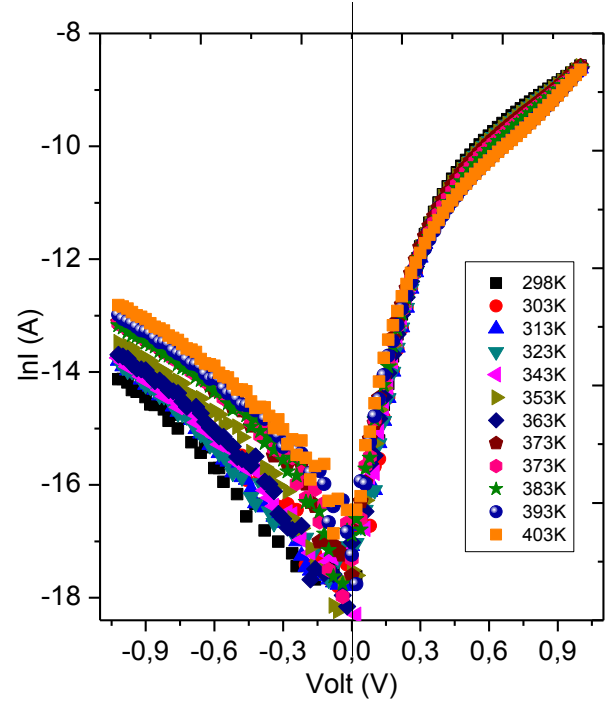
Burada, I₀ doyum akımını, V uygulama voltajını, n idealite faktörünü, R_S ise seri direnci göstermektedir. I₀ aşağıdaki formdadır;

$$I_0=AA*T^2\exp(-q\phi_B/kT) \quad (2)$$

Burada, q elektrik yükünü, A diyot alanını, A* Richardson sabitini, k Boltzmann sabitini, T mutlak sıcaklığı ve ϕ_B engel yüksekliğini göstermektedir. n tipi GaP için Richardson sabiti 120(m*/m) Acm⁻²K⁻² dir [4]. İdealite faktörü n, Şekil 1 de gösterilen grafikteki küçük doğru beslem voltajı bölgesindeki eğimden,

$$n=(q/kT)(dV/dLnI) \quad (3)$$

bağıntısı kullanılarak elde edildi. İdealite faktörleri, 298 K ve 403 K sıcaklıklarında sırasıyla 2,01 ve 1,63 bulundu. Tablo 1'den ve Şekil 2'den görüleceği gibi, n idealite faktörü sıcaklık artarken azalmaktadır.

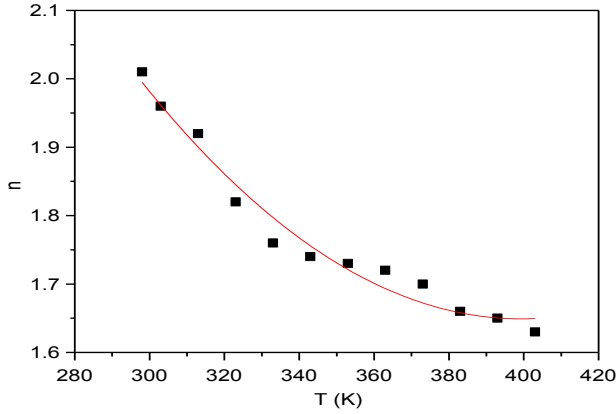


Şekil 1. Üretilen Ag/n-GaP diyotunun değişik sıcaklıklar için LnI-V grafikleri (Plots of LnI vs.V for Ag/n-GaP diode at different temperatures)

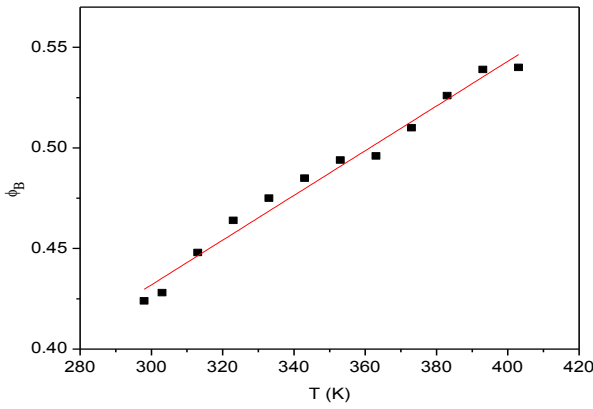
Ölçüm yapılan sıcaklıklardaki I₀ doyum akım değerleri, ileri beslem voltaj bölgelerinde, her bir sıcaklık için, akım-gerilim eğrileri uzatılarak, akım eksenini kestiği yerlerden belirlendi. I₀ değerleri 2 nolu ifadede yerine konularak, üretilen diyot için engel yüksekliği 298 K için 0,424 eV ve 403 K için ise 0,540 eV bulundu.

298 K - 403 K sıcaklık aralığında, farklı sıcaklıklar için belirlenen n idealite faktörleri, I₀ doyum akımları ve ϕ_B engel yükseklikleri Tablo 1 de verildi. Sıcaklığa bağlı çizilen engel yüksekliği eğrisinden görüleceği gibi, ϕ_B engel yüksekliği sıcaklık artarken artmaktadır (Şekil 3). Engel yüksekliğindeki ve idealite faktöründeki sıcaklığa bağlı bu değişme, diyot alanında bölgesel olarak farklı engel yüksekliklerinin olması ve sıcaklık arttıkça düşük engeli geçen elektronların sayısının artmasından dolayıdır.

Bölgesel olarak farklı engel yüksekliklerinin oluşmasının sebebi ise doğal oksit tabakasının kimyasal temizleme sırasında tamamen kaldırılamamış olmasından kaynaklanmaktadır.



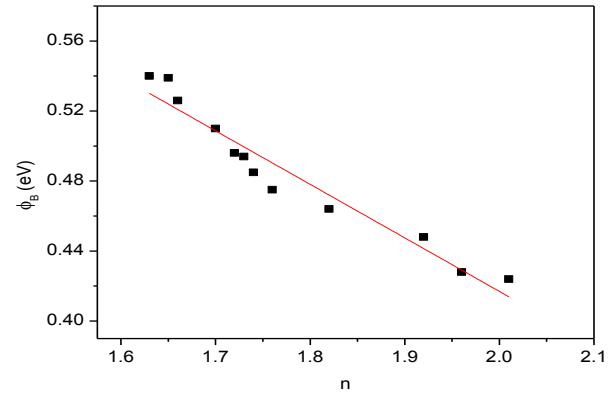
Şekil 2. İdealite faktörünün sıcaklıkla değişim grafiği (Variation of ideality factor n with temperature)



Şekil 3. Engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı grafiği (Variation of barrier height ϕ_B with temperature)

Sıcaklığa bağlı bu değişim, birçok başka metal-yarıiletken Schottky diyotlarında da bulunmuştur [8-25]. Tung tarafından yapılan teorik çalışmada, n idealite faktörü ve ϕ_B engel yüksekliği arasında lineer bir bağlantı olduğu önerildi [22]. Şekil 4, Ag/nGaP diyotunda n ile ϕ_B arasında lineer bir bağlantının olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, örnek diyotun bölgesel olarak homojen olmayan engel yüksekliğine sahip olduğunu belirtmektedir. Bu grafikten engel yüksekliği için 0,723 eV değeri bulundu.

İdealite faktörü n'in l'den daha büyük çıkması, Ag ile nGaP arayüzeyinde ince bir yalıtkan doğal oksit tabakasının varlığını göstermektedir. Diyot hazırlanması esnasında yarıiletken yüzey farklı metotlarla temizlenmektedir. Ancak yarıiletken yüzeyinde doğal olarak oluşan oksit tabakasının tamamını temizlemek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, deneysel çalışmalarda idealite faktörü genel olarak l'den daha büyük çıkmaktadır [5-8, 23-29]. Metal ile yarıiletken arayüzeyindeki oksit tabakasının varlığı engel yüksekliğinin bölgesel olarak farklı oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. Ag/nGaP Schottky engelinin n idealite faktörü ile değişim grafiği (The variation of ϕ_B vs. n plot for Ag/n-GaP Schottky diode)

III-V yarıiletkenler tabanlı Schottky diyotlarında yüzeyde metal veya oksijen depolanması sırasında arayüzey yakınında örgü bozuklukları oluşabilmektedir [12-26]. Bunlar, yani arayüzeydeki oksit tabakası ve örgü bozuklukları seri direncin artmasına sebep olmaktadır. Seri direnç, Schottky engelli diyotların I-V karakteristiğini önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Bu parametre, genel olarak ileri beslemin yüksek voltaj bölgesinde daha belirgin olarak ortaya çıkmakta ve LnI-V grafiğinde bu voltaj bölgesinde lineerlikten ayrılma gözlenmektedir. Schottky engelli diyotların seri direncinin hesaplanmasında Cheung metodu kullanılmaktadır [29]. Üretilen Ag/nGaP diyotunun parametrelerinin hesaplanmasında bu metot kullanıldı. Cheung fonksiyonları,

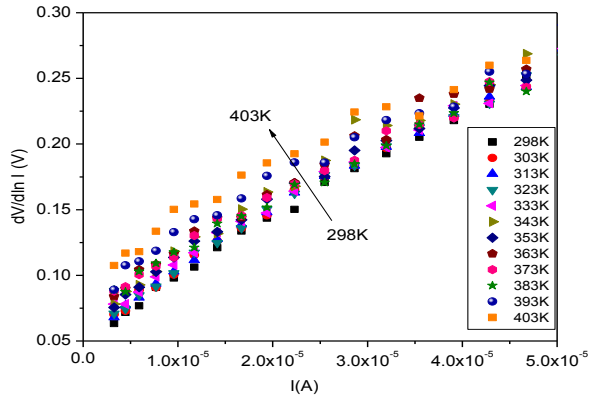
$$dV/dLnI = (nkT/q) + IR_S \quad (4)$$

$$H(I) = V - n(kT/q) \ln(I/AA^*T^2) \quad (5)$$

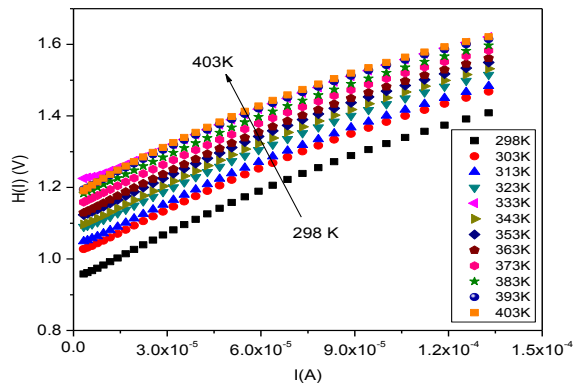
$$H(I) = IR_S - n\phi_B \quad (6)$$

şekindedir [25]. 4 eşitliği, ileri beslemin eğri kısımları için lineer bir eğri verir. $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinin eğiminden ve lineer bölgenin uzantısının y eksenini kestiği yerden sırasıyla R_S seri direnç ve nkT/q hesaplanabilir. Üretilen Schottky diyotunun farklı sıcaklıklar için hesaplanan seri direnç değerleri Tablo 1'de verildi. Cheung metodundan elde edilen n değerleri bir miktar daha büyük bulundu. Bu fark arayüzey durumlarından ve seri dirençten kaynaklanmaktadır. Şekil 5b H(I)-I grafiği lineer bir doğruyu vermektedir.

Bu doğrunun y eksenini kestiği yer $n\phi_B$ verir. Bu eğrinin eğiminden ise R_S değeri hesaplanarak Cheung metodundan bulunan değerle karşılaştırıldı. $dV/d(\ln I)$ -I ve H(I)-V grafiklerinden bulunan seri direnç değerleri Tablo 1'den görülebileceği gibi birbirine oldukça yakın bulundu. Seri direncin $k\Omega$ mertebesinde bir miktar büyük çıkması, yarıiletken yüzeyinden tamamen temizlenemeyen doğal oksit tabakasına ve arayüzeyde oluşan örgü bozukluklarına ve dolayısıyla diyottaki arayüzey durumlarının varlığına bağlanabilir.



(a)



(b)

Şekil 5. Ag/n-GaP diyotunun farklı sıcaklıklardaki a) $dV/d(\ln I)$ -I ve b) $H(I)$ - I grafikleri (The experimental characteristics of Ag/n-GaP at the different temperature a) $dV/d(\ln I)$ - I, b) $H(I)$ - I)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Vakumda kaplama sistemiyle, yarıiletken üzerine metal buharlaştırma metodu kullanılarak Ag/nGaP kontağı hazırlandı. Üretilen numunenin LnI-V grafiği incelendiğinde Schottky bariyer özelliği gösterdiği görüldü. 298 K - 403 K sıcaklık aralığında, değişik sıcaklıklarda akım-gerilim ölçümleri yapıldı. İdealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri farklı metotlar kullanılarak hesaplandı. Sıcaklık artarken bariyer yüksekliğinin arttığı, idealite faktörünün ise azaldığı gözlemlendi. Farklı metotlardan elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görüldü.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi BAP 05/2011-73 ve BAP 05/2011-39 kodlu projeler tarafından desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Allen, C. R., Jeon, J.-H., Woodell, J. M., "Simulation assisted design of a gallium phosphide p-n photovoltaic junction", *Solar Energy Materials & Solar cells*, 94, 865-868, (2010).
- Allen, C. R., Woodall, J. M., Jeon, J.-H., "Results of a gallium phosphide photovoltaic junction with an AR coating under concentration of natural sunlight", *Solar Energy Materials & Solar cells*, 95, 2655-2658, (2011).
- Ludeke, R., Prietsch, M., and Samsavar, A., "Ballistic electron emission spectroscopy of metals on GaP (110)", *J. Vacuum Science Technol B* 9, 2342-2348, (1991).
- Mientus, R.; Wolf, R.; Kloth, B.; Protsch, M.; Pikhtin, A.N. "A highly UV-selective Schottky-barrier photo diode based on a Ag-GaP contact", *Surface and Coatings*

Tablo 1. Ag/n-GaP Schottky diyotunun değişik sıcaklıklarda, farklı metotlar kullanılarak hesaplanan elektronik parametreleri (Electronic parameters of Ag/n-GaP Schottky diode using different methods at different temperatures)

T (K)	I_0 (A)($\times 10^{-8}$)	I-V n	Φ_B (eV)	dV/dlnI		H(I) - I	
				n	R_s (k Ω)	Φ_B (eV)	R_s (k Ω)
298	2.670	2.01	0.424	2.13	4.272	0.442	4.284
303	2.302	1.96	0.428	2.14	4.428	0.474	4.005
313	2.189	1.92	0.448	2.12	4.340	0.488	4.008
323	2.093	1.82	0.464	2.15	4.272	0.438	4.284
333	2.329	1.76	0.475	2.29	4.161	0.520	3.664
343	4.190	1.74	0.485	2.06	4.444	0.523	4.119
353	3.244	1.73	0.494	2.29	4.163	0.490	3.958
363	4.728	1.72	0.496	2.01	4.397	0.557	3.951
373	4.713	1.70	0.510	2.00	4.742	0.577	4.344
383	4.380	1.66	0.526	1.98	4.289	0.590	4.211
393	4.538	1.65	0.539	1.95	5.521	0.600	6.278
403	6.787	1.63	0.540	1.91	7.245	0.607	6.383

- Technology* 116–119, 711–715 (1999).
5. Soyly, M., Abay, B. "Analysing space charge-limited conduction in Au/n-InP Schottky barriers", *Physica E*, 43, 534-538, (2010).
 6. Soyly, M. and Yakuphanoglu, F., "Analysis of barrier height inhomogeneity in Au/n-GaAs Schottky barrier diodes by Tung model", *Journal of Alloys and Compounds*, 506, 418-422, (2010).
 7. Seo, H.W., Bae, S.Y., Park, J., Kang, M.-İl, Kim, S., "Nitrogen-doped gallium phosphide nanowires", *Chemical Physics Letters*, 378, 420-428, (2003).
 8. Götz, W., Chen, C.H., Liu, H., Steigerwald, D.A., Fletcher, R.M., "Hall effect characterization of III-V nitride semiconductors for high efficiency light emitting diodes", *Materials Science and Engineering B* 59, 211-217, (1999).
 9. Nakamura, S., "First laser-diodes fabricated from III-V nitride based materials", *Materials Science and Engineering B* 43, 258-264, (1997).
 10. S.M. Sze, Metal-Semiconductor Contacts, *Physics of Semiconductor Devices*, Second ed., Wiley, New York, 225-247, (1981).
 11. Lei, T. F., Lee, C.L., "Metal/n-GaP Schottky barrier heights", *Solid State Electronics*, 22, 1035-1037 (1979).
 12. Göksu, T., Yıldırım, N., Korkut, H., Özdemir, A.F., Türüt, A., Kökçe, A., "Barrier height temperature coefficient in ideal Ti/n-GaAs Schottky contacts", *Microelectronic Engineering*, 87, 1781-1784, (2010).
 13. Kuriyama, K., Ushiyama, K., Ohbora, K., Miyamoto, Y., and Takeda, S., "Characterization of porous GaP by photo acoustic spectroscopy: The relation between band-gap widening and visible photoluminescence", *Physical Review B* 58, 1103-1107, (1998).
 14. Sanchez, B., Mendez, B., Piqueras, J., Sirbu, L., Tiginyanu, I.M., and Ursaki, V.V., "Cathodo luminescence characterization of rare earth doped composite materials based on porous GaP", *Journal of Materials Science*, 43, 680-683, (2008).
 15. Korucu, D., Duman, S., "Current-voltage-temperature characteristics of Au/p-InP Schottky barrier diode", *Thin Solid Films*, 531, 436-441, (2013).
 16. Duman, S., Ejderha, K., Yiğit, Ö., Türüt, A., "Determination of contact parameters of Ni/n-GaP Schottky contacts", *Microelectronics Reliability*, 52, 1005-1011, (2012).
 17. Cimilli, F. E., Sağlam, M., Efeoglu, H., Türüt, A., "Temperature-dependent current-voltage characteristics of the Au/n-InP diodes with inhomogeneous Schottky barrier height", *Physica B*, 404, 1558-1562, (2009).
 18. Reddy, M. B., Kumar, A. A., Janardhanam, V., Reddy, V. R., Reddy, P. N., "Current-voltage-temperature (I-V-T) characteristics of Pd/Au Schottky contacts on n-InP (111)", *Current Applied Physics*, 9, 972-977, (2009).
 19. Rhoderick, H. and Williams, R.H., Metal-Semiconductor Contacts, Clarendon, Oxford, 89-139, (1981).
 20. Karatas, S., Altındal, S., "Temperature dependence of barrier heights of Au/n-type GaAs Schottky diodes" *Solid State Electronics*, 49, 1052-1054, (2005).
 21. Tataroglu, A., Altındal, S., "The distribution of barrier heights in MIS type Schottky diodes from current-voltage-temperature (I-V-T) measurements." *Journal of Alloys and Compounds*, 479, 893-897, (2009).
 22. Hudait, M.K., Krupanidhi, S.B., "Doping dependence of the barrier height and ideality factor of Au/n-GaAs Schottky diodes at low temperatures" *Physica B*, 307 125-137, (2001).
 23. Cimilli, F.E., Sağlam, M., Efeoglu, H., Turut, A., "Temperature dependent current-voltage characteristics of the Au/n-InP diodes with inhomogeneous Schottky barrier height", *Physica B*, 404, 1558-1562, (2009).
 24. Tung, R.T., "Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General Theory", *Physical Review B*, 45, 13509-13523, (1992).
 25. Ejderha, K., Yıldırım, N., Türüt, A., Abay, B., "Influence of interface states on the temperature dependence and current-voltage characteristics of Ni/p-InP Schottky diodes." *Superlattices and Microstructures*, 47, 241-252, (2010).
 26. Mohammad, S.N., "Contact mechanisms and design principles for Schottky contacts to group-III nitrides." *J. Applied Physics*, 97, 063703-1/063703-19, (2005).
 27. Motayed, A., Mohammad, S.N., "Chemical surface treatment and the experimental demonstration of Schottky Mott rules for metal-semiconductor heterostructure interfaces" *J. Chemical Physics*, 123, 194703-1/194703-8, (2005).
 28. Spicer, W.E., Lindau, I., Skeath, P., Su, C.Y., and Chye, P., "Unified mechanism for Schottky barrier formation and III-V Oxide interface states", *Physical Review Letters*, 44, 420-423, (1980).
 29. Cheung, S.K., Cheung, N.W., "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics", *Appl. Phys. Lett.*, 49, 85-87, (1986).
 30. Çetinkara, H.A., Turut, A., Zengin, D. M., Erel, S., "The energy distribution of the interface state density of Pb/p-Si Schottky contacts exposed to clean room air", *Applied Surface Science*, 207, 190-199, (2003).
 31. Erol, S., "Preparation of GaP/Metal Schottky diode and investigation of electronic properties", Yüksek Lisans Tezi, 23-34, *Firat Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
 32. Demir, D.A., Kökçe, A., Özdemir, A.F., "Temperature dependent ideality factor and barrier height of Ni/n-GaAs/In Schottky diodes", *Microelectronic Engineering*, 98, 6-11, (2012).
 33. Ashok, A., Kumar, L., Rao, D., Reddy, V. R., Choi, C.-J., "Analysis of electrical characteristics of Er/p-InP Schottky diode at high temperature range" *Current Applied Physics*, 13, 975-980, (2013).
 34. Demircioğlu, Ö., Karataş, Ş., Yıldırım, N., Bakkaloğlu, Ö.F., "Effects of temperature on series resistance determination of electro deposited Cr/n-Si/Au-Sb Schottky structures", *Microelectronic Engineering*, 88, 2997-3002, (2011).
 35. Keffous, A., Siad, Mamma, M., Belkacem, S. Y., Chaouch C. L., Menari, H. D., Chergui, A. W., "Effect of series resistance on the performance of high resistivity silicon Schottky diode", *Applied Surface Science*, 218, 337-343, (2003).