



Au/n-Si Schottky Diyotlarında Termal Tavlama ve Numune Sıcaklığının Akım-Gerilim Karakteristiklerine Etkileri

Nezir YILDIRIM^{1*}, Mücahide GÖNDÜK², İkrâm ORAK³

¹Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye,

²Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 12000, Bingöl, Türkiye,

³Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 12000, Bingöl, Türkiye,

Received: 17.03.2017; Accepted: 09.04.2017

Özet: Günümüz elektronik teknolojisinde ve elektronik sanayinde çok fazla kullanılan Schottky kontaklar geniş bir uygulama alanına ve önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple bu yapılar oldukça önemlidir ve birçok araştırmanın konusu olmuştur. Diyodun tavlama ve numune sıcaklığıyla karakteristik parametrelerinin değişip değişmediği görmek için diyotların tavlama ve numune sıcaklığına bağlı akım-gerilim karakteristikleri incelendi. Yapılan hesaplamalar sonucunda tavlama yapılmamış diyot için oda sıcaklığında idealite faktörü ve engel yüksekliği I-V ölçümlerinden sırasıyla 1,24 ve 0,77 eV elde edildi. Yine 200°C tavlama yapılmış diyot için oda sıcaklığında idealite faktörü ve engel yüksekliği sırasıyla 1,08 ve 0,76 eV olarak hesaplanmıştır. Buna göre tavlama neticesinde diyot tavlama sıcaklığına bağlı olarak daha kararlı hale geldiği söylenebilir. Bu durum, metal yarıiletken ara yüzeyindeki istenmeyen fazların tavlama sıcaklığına bağlı olarak azaldığının bir kanıtıdır. Au/n-Si/Al Schottky diyotların tavlama yapılmadan önce ve 200°C'de tavlandıktan sonra seri direnç ve engel yüksekliği değerleri Norde Fonksiyonları kullanılarak tüm sıcaklıklar için hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Schottky diyod, Termal tavlama, Engel yüksekliği, Seri Direnç, Norde Fonksiyonları.

The Effects of Thermal Annealing and Sample Temperature on Current-Voltage Characteristics of Au/n-Si/Al Schottky Diodes

Abstract: Schottky contacts that have been used at electronic technology and electronics industry are very important and has a large application field. Because of this, these devices are extremely important and they are popular for many research areas. Current-voltage characteristics that depend on annealing temperature and the sample temperature parameters of the diode were investigated. Ideality factor and barrier height at 1.24 and 0.77 eV respectively were obtained from I-V measurements for as-deposited sample at room temperature. Likewise, the calculations from I-V measurements for 200°C annealed sample were obtained ideality factor and barrier height at 1.08 and 0.76 eV at room temperature respectively. As a result of this, annealing diode will become more stable. This result confirms that unwanted phases decrease depend on annealing temperature. Using Norde Function, series resistance and barrier height values were calculated for as-deposited and annealed Au/n-Si/Al Schottky diodes at 200°C.

Keywords: Schottky diode, Thermal annealing, Barrier height, Series Resistance, Norde Functions.

1. GİRİŞ

Schottky diyotlar, günümüzde yarıiletken tabanlı elektronik teknolojisinin vazgeçilmez öğeleri haline gelmişlerdir. Bu aygıtların en yaygın kullanım alanları mikrodalga diyotlar, alan etkili transistörler (FET's), güneş pilleri, fotodedektörler, MESFET ve MOSFET olarak sayılabilir. Bu alanda yaklaşık

* Corresponding author. Email address: nyildirim@bingol.edu.tr

yarım yüzyıldır yapılan çalışmalar sayesinde büyük ilerlemeler kaydedilmesine rağmen hala bu diyotların çalışma mekanizması ve elektronik doğası hakkında birçok soru işareti bulunmaktadır. Schottky diyotlardan maksimum verim elde edebilmek için özellikle diyotların elektronik karakteristiklerini etkileyen gerek fabrikasyon aşamasından kaynaklanan, gerekse de kullanılan metal ve yarıiletkenlerin asal özelliklerinden kaynaklanan tüm etkiler ayrı birer araştırma konusu olmuştur. Oluşturulmalarının kolay olması ve karakteristiklerinin bilinmesi nedeni ile Schottky diyotlarının önemi, her geçen gün daha da artmaya devam etmektedir. Metal-yarıiletken Schottky kontaklar; teknoloji, sanayi ve elektronik devre elemanları endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Schottky diyotlar, teknolojik alanda, anahtarlama devreleri, güneş pilleri, yarıiletken dedektör uygulamaları, mikrodalga devre elemanları, modülatör gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1-5].

İlk metal-yarıiletken yapı, nokta kontak diyotlardır. Bu yapılar yarıiletken malzemenin yüzeyine ince sivriltilmiş bir telin temas haline getirilmesiyle elde edilmiştir. Nokta kontak diyotların gelişmiş hali Schottky kontak olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılar, eklem alanı üzerinde daha homojen kontak potansiyeli ve akım dağılımı elde etmek için yarıiletken yüzeyine sınırlı alanlarda metal buharlaştırılarak oluşturulan düzlemsel kontaklardır. Metal-yarıiletken kontakların elektriksel özelliklerinden yeterli derecede faydalanmak için karakteristiklerinin iyi bilinmesi gereklidir. İlk olarak metal-yarıiletken doğrultucular, detektör olarak kullanılmıştır ve zamanla mikrodalga radarlarının gelişmesi ile nokta kontak diyotların yeniden önemi artmaya başladı. Nokta kontak diyotları, en çok frekans dönüştürücüsü olarak ve mikrodalga detektör diyotu olarak kullanıldı. Metal-yarıiletken doğrultucuların, yükseltmesinin düşük olması nedeni ile yerini, vakum tüplerine terk etti. Uzun müddet sadece mikrodalga ölçümlerinde kullanıldı [6-7].

Schottky, yaptığı çalışmalarla Schottky engelini silisyum transistörle birleştirerek, Schottky engel kapılı metal-yarıiletken alan etkili transistörü bulmuştur. Chandra ve ark. Metal-yarıiletken yapıların karakteristikleri, daha sonra yapılan araştırmalarda sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüş ve bu yapılar sıcaklığın tayininde kullanılmışlardır [8].

Metal-yarıiletken doğrultucu kontak ve omik kontakların teorik açıklaması, bu yapıların pratikte uygulamalarından çok sonradır. Ayrıca bu yapılarda yüzey hallerindeki elektronların net yükünden ve ters işaretli uzay yükünden dolayı bir dipol tabakası oluşabileceği gösterilmiştir. Batı, Schottky engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonuna, arayüzey hallerine ve arayüzey tabaka kalınlığına bağlılığını incelemiştir [9]. Si yarıiletkeni üzerine yapılan çalışmalar, Si-metal kontaklar üzerine kullanışlı bilgileri bilim adamlarının hizmetine sunmuştur. Kontak özelliklerinin yeniden oluşturulabilmesi ve bu özelliklerin kararlılığı, yüksek kalitede Schottky diyotların üretilmesine imkan sağlamaktadır. Seçilen malzemeyle birlikte üretimde kullanılan metodun da diyot performansı açısından önemi büyüktür [10].

Bu çalışmadaki amacımız, metal-yarıiletken (Schottky) kontakların elektriksel karakteristiklerini termal tavlama ve numune sıcaklığına bağlı incelemektir. Bir Schottky kontakın karakteristik parametrelerinden olan idealite faktörü, engel yüksekliği ile Norde fonksiyonlarından engel yüksekliği ve seri direnç değerlerini elde etmektir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1 Numunenin Temizlenmesi ve Kontak için Hazır Hale Getirilmesi

Schottky diyotlar, 400µm kalınlıkta, [100] doğrultusunda büyütülmüş, donör konsantrasyonu $2,5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ olan ve iki yüzü parlatılmış n-Si kristalleri kullanılarak yaklaşık 1,5 mm çapında Au/n-Si/Al Metal-yarıiletken/metal kontak Schottky diyot (SD) numuneler elde edildi. Numunenin her iki yüzünün parlatılmış olmasından dolayı, yüzeylerde herhangi bir mekanik temizlemeye ihtiyaç duyulmadı. Ayrıca

numunenin yüzeyinin organik ve mekanik kirlilerden arındırılması elde edilecek sonuçların güvenilir olabilmesi için oldukça önemlidir [11]. İdeal ve kaliteli bir diyot yapılabilmesi için kontak haline getirilecek maddelerin yüzeylerinin çok iyi bir şekilde temiz, parlak, oksitsiz ve pürüzsüz, organik ve ağır metal kirliliklerden arındırılmış olmalarının önemi büyüktür. Bu parçaların kimyasal olarak temizlenmesinde RCA1 ve RCA2 prosedürleri takip edildi [12-13].

Buharlaştırmada kullanılan Al metali, kullanılmadan önce metanol de 5 dakika ve kullanılan ısıtıcılar kullanılmadan önce H₂O+HCl (10:1) 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı [14-15]. Buharlaştırma işleminden önce buharlaştırma cihazının temizliği yapıldı. Omik kontak yapılırken buharlaştırma işleminden sonra numune tavlanaacağı için, tavlama işlemi sırasında numune fırın içine konulurken kullanılan kuartz potada asetonla ve metanolla 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı. Kimyasal olarak temizlenen ve omik kontak yapımı için kullanılacak olan Al metali, molibden ısıtıcının üzerine yerleştirilerek, vakum ortamında eritildi ve 10⁻⁵ torr basınçta Si diliminin bir yüzeyine termal olarak buharlaştırıldı. Vakum ortamından alınan numune kontakın homojen olması ve yarıiletkenin içine nüfuz etmesi için buharlaştırma işleminden sonra numune N₂ ortamında 570°C'de 3 dakika tavlama fırınında tavlanaarak omik kontak elde edildi. Omik kontak işleminden hemen sonra Schottky kontak yapmak için Au metali molibden ısıtıcıya yerleştirildi, termal buharlaştırma ile Si wafer in diğer yüzeyine yaklaşık 1,5 mm çapında Schottky kontaklar yapıldı. Sonuç olarak Au/n-Si/Al Metal-yarıiletken/metal kontak (Schottky diyot) numuneler elde edildi. Sıcaklığa bağlı I-V ölçümleri; 20-450 K aralığında Lake Shore 331 model sıcaklık kontrol ünitesi ile Leybold Heraeus kapalı-devre helyum kryostat ve Keithley 487 Picoammeter/Voltage kaynağı kullanılarak 60-400 K aralığında 20 K'lik basamaklarla karanlıkta alınmıştır.

Üretilen Schottky diyotların tavlandıktan önce ve 200°C sıcaklığında 2 dakika tavlandıktan sonra oda sıcaklığında akım gerilim ölçümleri alındı. Sıcaklığa bağlı ölçümler 60-400K aralığında 20 K'lik basamaklarla ölçülmüştür. I-V ölçümlerinden diyodun karakteristik parametreleri olan idealite faktörü (*n*) ve engel yüksekliği (Φ_b) değerleri elde edildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Akım-voltaj karakteristikleri

Diyodun idealite faktörünün hesaplanmasında deneysel I-V ölçümleri termiyonik emisyon (TE) teorisi ile analiz edilebilir ($V \geq 3kT/q$) [3,7,9]

$$I = I_0 \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad (1)$$

Burada, I_0 doyma akım yoğunluğu

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{b0}}{kT}\right) \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A diyot alanı, A^* Richardson sabiti olup n-tipi Si için $A^*=112 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$, T Kelvin olarak sıcaklık, k Boltzmann sabiti, q elektronun yükü ve Φ_{b0} sıfır gerilimde engel yüksekliği olarak tanımlanmıştır. R_s seri direnç ve IR_s seri dirençten dolayı diyodun voltaj düşmesidir. İdealite faktörü n termiyonik emisyon teorisindeki akım taşıma mekanizmasına göre hesaplanır.

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (3)$$

İdealite faktörü, diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir. İdeal bir diyot için bu faktör yaklaşık olarak 1'e eşit olmalı. Grafiklerin doğru beslem bölgesindeki lineer kısmına fit edilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve düşey eksenini kestiği noktadan doyma akımı yardımıyla termiyonik emisyon teorisinden idealite faktörleri ve engel yükseklikleri elde edilir. $\ln I-V$ grafiğinin doğrusal kısmına fit edilen doğrunun $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akımını verir. (2) ifadesindeki I_0 doyma akımı

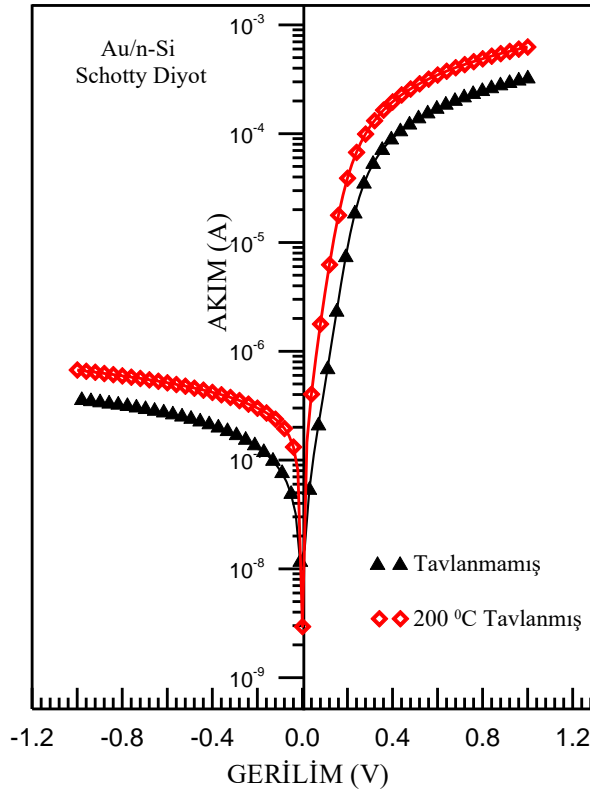
$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_b}{kT}\right) \quad (4)$$

şeklinde verilmektedir. (4) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, Φ_b 'ye göre çözümlerse

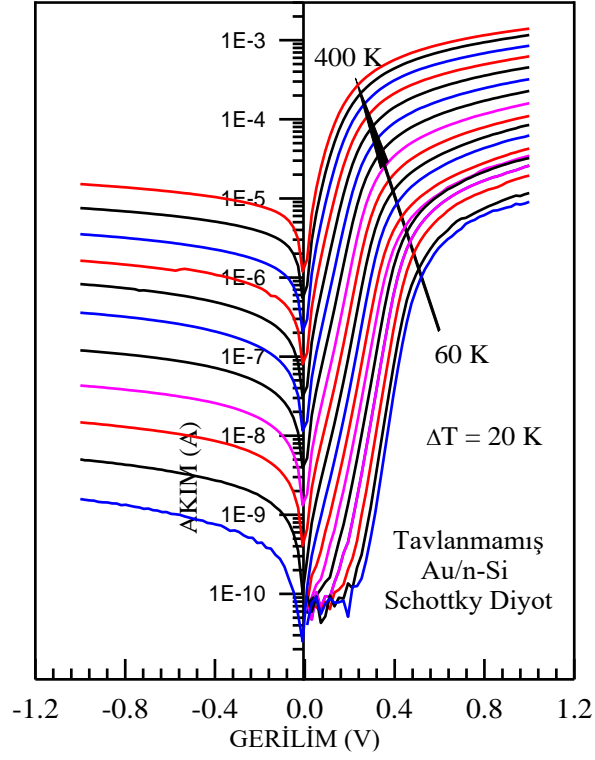
$$\Phi_b = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^* T^2}{I_0}\right) \quad (5)$$

olarak engel yüksekliği ifadesi elde edilir. Bulunan bu değerler ve diğer sabit veriler (3) ve (5) denklemlerinde yerine yazılarak idealite faktörü ve engel yüksekliği hesaplanır.

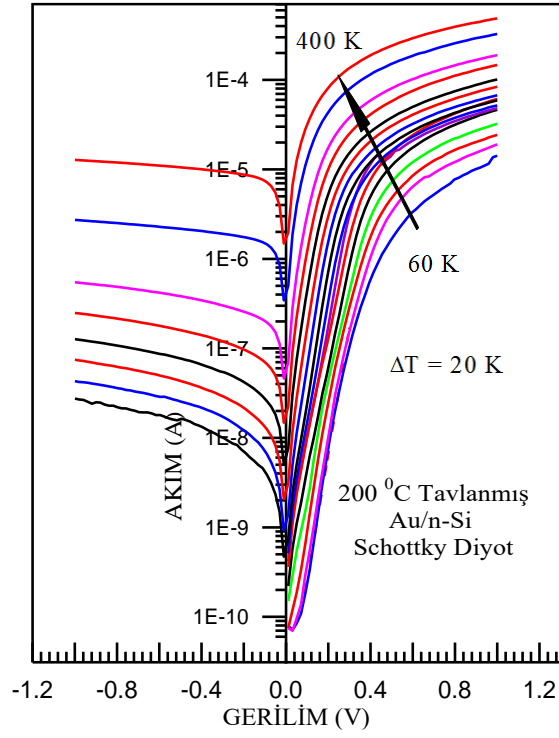
Şekil 1'de Akım-Voltaj ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak bir adet tavlınmamış ve 200 °C'ye tavlınmış diyodun oda sıcaklığında yarı logaritmik akım-gerilim grafiği verilmiştir. Tavlınmamış diyot için 300 K'de idealite faktörü ve engel yüksekliği I-V ölçümlerinden 1,24 ve 0,77 eV, 200°C Tavlınmış diyot için 1,08 ve 0,76 eV olarak sırasıyla hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler Nuhoğlu ve ark. elde ettikleri sonuçlarla uyum içindedir [17]. Diyodun 200°C'de tavlınmasıyla karakteristiklerinde fazla bir değişiklik gözlenmemiştir.



Şekil 1. (Online color) Tavlınmamış ve 200°C'de tavlınmış Au/n-Si Schottky diyodun oda sıcaklığında (300 K) $\ln I-V$ grafiği

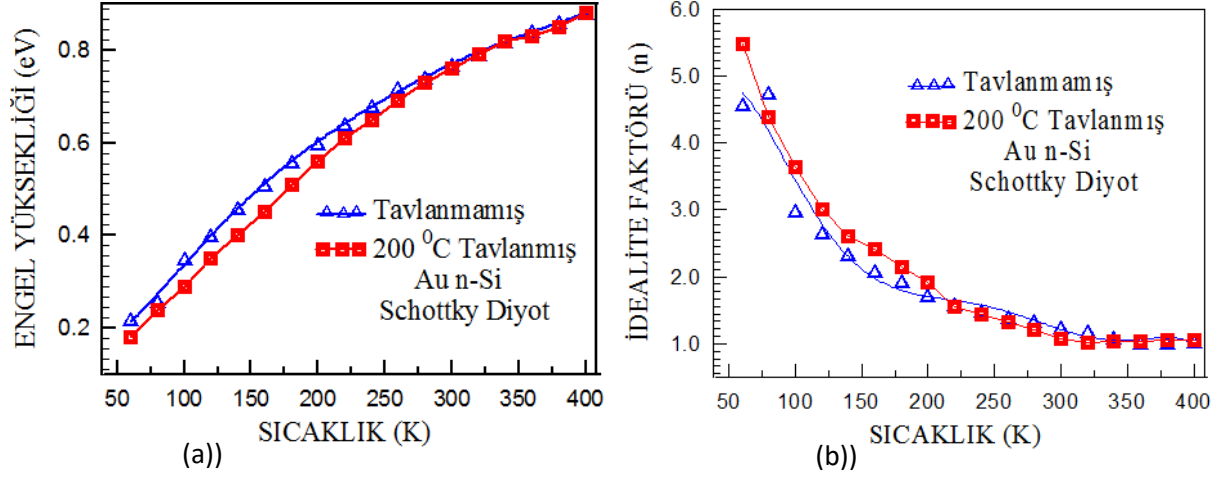


Şekil 2. (Online color) Tavlanmamış Au/n-Si Schottky diyodun sıcaklığa bağlı $\ln I$ - V grafiği



Şekil 3. (Online color) 200°C'de tavlanmış Au/n-Si Schottky diyodun sıcaklığa bağlı $\ln I$ - V grafiği

Au/n-Si Schottky Diyotlarında Termal Tavlama



Şekil 4. (Online color) Schottky diyodun sıcaklığa bağlı I - V ölçümlerinden elde edilen tavlansız ve 200°C 'de tavlansız diyodun a) Sıcaklık- Engel Yüksekliği grafiği, b). Sıcaklık- İdealite Faktörü grafiği,

Tablo 1. Tavlansız ve 200°C 'ye tavlansız Au/n-Si/Al Schottky diyodun 60-400 K sıcaklık aralığında TE teorisine göre hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği

Sıcaklık (K)	Tavlansız		200°C 'ye Tavlansız	
	Engel Yüksekliği (eV)	İdealite Faktörü (n)	Engel Yüksekliği (eV)	İdealite Faktörü (n)
60	0,22	4,57	0,18	5,48
80	0,26	4,75	0,24	4,38
100	0,35	2,99	0,29	3,63
120	0,40	2,67	0,35	3,01
140	0,46	2,34	0,40	2,60
160	0,51	2,08	0,45	2,41
180	0,56	1,93	0,51	2,14
200	0,60	1,72	0,56	1,91
220	0,64	1,60	0,61	1,56
240	0,68	1,49	0,65	1,43
260	0,72	1,40	0,69	1,33
280	0,74	1,34	0,73	1,20
300	0,77	1,24	0,76	1,08
320	0,79	1,19	0,79	1,02
340	0,82	1,10	0,82	1,04
360	0,84	1,02	0,83	1,04
380	0,86	1,02	0,85	1,05
400	0,88	1,04	0,88	1,05

Diyodun tavlama ve numune sıcaklığıyla karakteristik parametrelerinin değişimini görmek için diyotların sıcaklığa bağlı akım-gerilim karakteristikleri incelenmelidir.

Tavlammamış ve 200⁰C'ye tavllanmış Al/n-Si Schottky diyotların tavlamaya ve numune sıcaklığına bağlı $\ln I-V$ grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Schottky diyodun sıcaklığa bağlı $I-V$ ölçümlerinden elde edilen ve Tablo 1'deki veriler kullanılarak çizilen sıcaklığa bağlı tavlammamış ve 200⁰C 'de tavllanmış numunenin engel yüksekliği ile idealite faktörü grafikleri Şekil 4'de görülmektedir. İdealite faktörü değerlerinin artan numune sıcaklığı ile azaldığı tavlammamış ve 200⁰C tavllanmış numuneler için değerler Tablo 1'de görülmektedir. Tablo 1 engel yükseklikleri açısından incelendiğinde numune sıcaklığına bağlı olarak engel yüksekliğinin azalan numune sıcaklığı ile azaldığı görülmektedir. Buna göre tavlama neticesinde diyot tavlama sıcaklığına bağlı olarak daha kararlı hale gelmiştir. Bu durum, metal yarıiletken arayüzeyindeki istenmeyen fazların tavlama sıcaklığına bağlı olarak azaldığının kanıtıdır [18].

3.2. Norde Modeli Yardımı ile Engel Yüksekliği ve Seri Direncin Hesaplanması

Norde, engel yüksekliği hesabı ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metot ileri sürmüştür [19]. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şöyle yazılabilir.

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (6)$$

fonksiyonu kullanılarak Schottky diyotların akım-gerilim karakteristikleri gösterildi. $F(V)$ fonksiyonunun minimum noktası düşünüldüğünde, minimum V_0 voltajına karşılık gelen $F(V_0)$ değeri kullanılarak engel yüksekliği;

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (7)$$

formülünden elde edilir. Seri direnç değeri V_0 'a karşılık gelen I_0 değeri kullanılarak;

$$R_s = \frac{kT}{q} \frac{(\gamma - n)}{I_0} \quad (8)$$

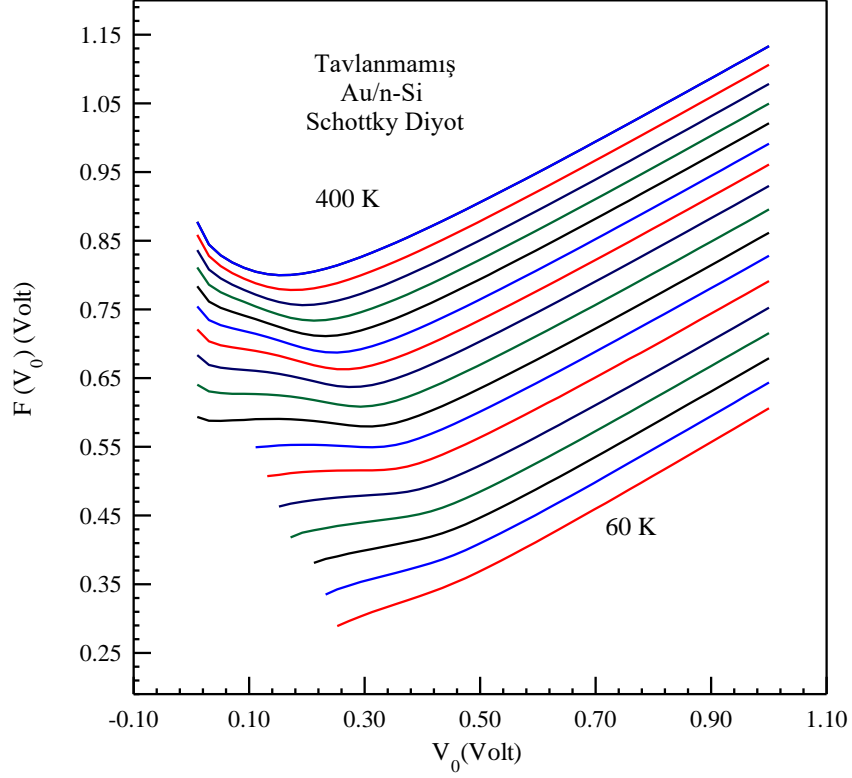
şeklinde elde edilir. Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tam sayıdır. I_0 ise V potansiyelinin minimum olduğu akım değeridir. Norde'nin kullandığı bu model, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup, ideal olmayan durumlar için Norde fonksiyonu geliştirilerek Shottky diyotun $I-V$ ölçümünden elde edilen n değerinin $1 < n < \gamma$ (γ keyfi bir sayı) olması durumunda R_s ve engel yüksekliğinin belirlenmesini mümkün kılacaktır. Norde fonksiyonunun düzenlenmiş bir modelini ileri sürdüler. [20-21]. Norde fonksiyonları $\ln I-V$ karakteristiklerinin doğru beslem kısmının tümüne uygulanmaktadır. Aynı zamanda seri direncin değeri, daha yüksek idealite faktörü değerleri için daha yüksek olabilir. Bu da seri direncin imal ettiğimiz diyot için akım limitleyici bir etken olduğunu gösterir. (7) ve (8) denklemlerinden tavlammamış ve 200⁰C'ye tavllanmış Au/n-Si Schottky diyotun 60-400 K sıcaklık aralığında Norde Fonksiyonlarından elde edilen engel yüksekliği ve seri direnç değerleri Tablo 2 'de verilmiştir.

Au/n-Si Schottky Diyotlarında Termal Tavlama

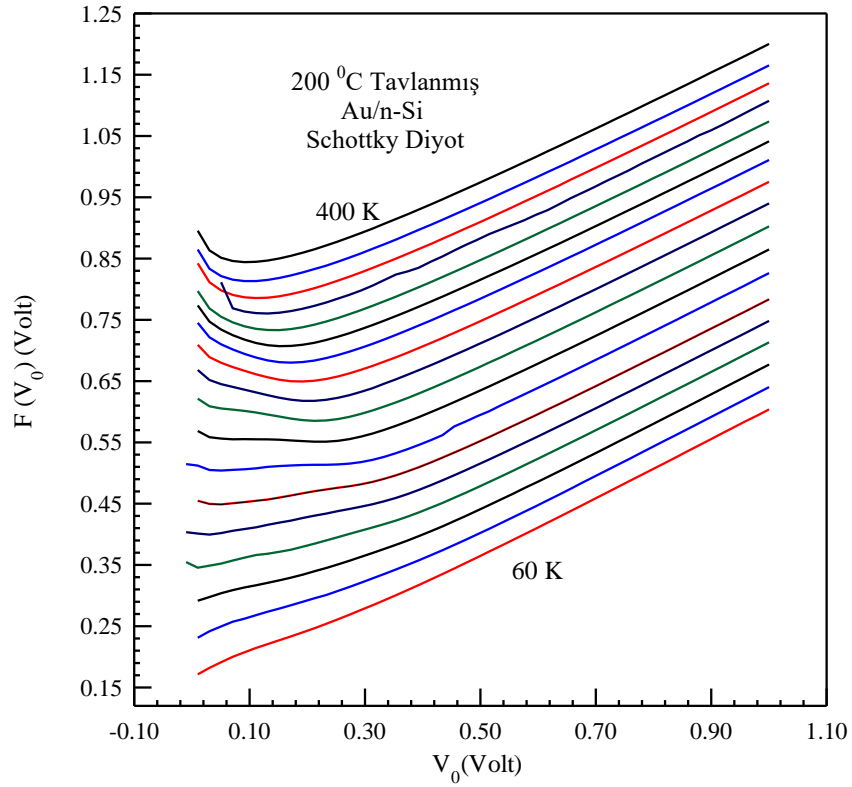
Tablo 2. Tavlanmamış ve 200°C'ye tavlanmış Au/n-Si/Al Schottky diyotun 60-400 K sıcaklık aralığında Norde Fonksiyonlarından hesaplanan engel yüksekliği ve seri direnç değerleri.

Sıcaklık (K)	Tavlanmamış		200°C'ye Tavlanmış	
	Engel Yüksekliği (eV)	Seri Direnç (Ω)	Engel Yüksekliği (eV)	Seri Direnç (Ω)
60	0,21	4,20E+07	0,24	1,47E+07
80	0,31	3,32E+07	0,31	7,88E+06
100	0,36	1,08E+06	0,36	2,28E+06
120	0,52	4,04E+06	0,42	1,76E+06
140	0,56	3,07E+06	0,5	2,77E+05
160	0,61	8,86E+05	0,53	1,21E+05
180	0,63	6,17E+05	0,60	5,13E+04
200	0,71	2,74E+03	0,64	1,74E+03
220	0,73	2,98E+03	0,67	8,05E+03
240	0,75	2,95E+03	0,70	5,60E+03
260	0,77	1,59E+03	0,72	5,84E+03
280	0,78	1,26E+03	0,74	6,01E+03
300	0,80	1,07E+03	0,75	5,24E+03
320	0,81	8,30E+02	0,78	2,96E+03
340	0,82	6,94E+02	0,79	2,38E+03
360	0,83	5,74E+02	0,81	1,88E+03
380	0,84	4,42E+02	0,82	1,62E+03
400	0,86	2,81E+02	0,85	1,17E+03

Metal-yarıiletken doğrultucu kontakların seri dirençleri ne kadar düşük olursa diyot kalitesi de aynı oranda artar. Au/n-Si Schottky diyotların tavlanmadan önce ve 200 °C'de tavlandıktan sonra seri direnç ve engel yüksekliği değerleri modifiye Norde Fonksiyonları kullanılarak tüm sıcaklıklar için çizilen $F(V)$ - V grafikleri grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmektedir. Üretilen Au/n-Si Schottky diyotun 320 K sıcaklıkta, Tavlanmamış ve 200°C'de tavlandıktan sonra seri direnç değerleri Norde Fonksiyonları kullanılarak sırasıyla 83 k Ω ve 296 k Ω şeklinde elde edilmiştir. Tablo 2 seri direnç açısından incelendiğinde azalan numune sıcaklığı ile seri direnç değerinin artmasına karşılık tavlama sıcaklığına göre seri dirençte önemli bir değişiklik olmamıştır. Norde fonksiyonlarından 300 K sıcaklıkta tavlanmamış numune için engel yüksekliği 0,80 eV, I - V ölçümlerinden 0,77 eV olarak elde edildi. Yine 200°C tavlanmış numune için Norde fonksiyonlarından aynı sıcaklıkta engel yüksekliği 0,75 eV, I - V ölçümlerinden 0,76 eV olarak elde edildi.



Şekil 5. (Online color) Tavlanmamış Au/n-Si diyodun ölçülen tüm sıcaklıklar için Norde Fonksiyonlarından elde edilen $F(V)$ - V grafikleri.



Şekil 6. (Online color) 200°C Tavlanmış Au/n-Si diyodun ölçülen tüm sıcaklıklar için Norde Fonksiyonlarından elde edilen $F(V)$ - V grafikleri.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tavlama ve numune sıcaklığına bağlı olarak, elde edilen aygıtın elektriksel karakterizasyonunda yaptığı değişiklikler incelenmiştir. Metal-yarıiletken arayüzeyinde düşük sıcaklıklarda elektronlar düşük engeli tercih eder. Yani, sıcaklık ve uygulama voltajı arttıkça daha fazla elektron yüksek engeli aşabilecek enerjiye sahip olabileceklerdir. Ayrıca, arayüzey yüklerinin düzgün dağılmaması ve inhomojenlik gibi bazı nedenlerden dolayı, düşük sıcaklıklarda idealite faktörünün arttığı ve engel yüksekliğinin azaldığı görülmektedir [8,15]. Düşük voltajlarda yarı logaritmik ölçüde Schottky diyotların akım-gerilim karakteristikleri lineerdir. Fakat seri direnç (R_s), arayüzey tabakası ve arayüzey durumları gibi parametrelerin etkisinden dolayı, yüksek voltajlarda metal-yarıiletken doğrultucu kontakların akım-gerilim karakteristiklerinde beklenen değerden bir sapma gözlenir [22]. Yani lineer olması beklenen akım-gerilim karakteristiği yüksek voltajlarda parabolik bir değişim gösterir. Tavlama neticesinde diyotun önemli bir karakteristiği olan idealite faktörü 1 değerine yaklaştığı görülmektedir [23]. Bu durum, metal-yarıiletken arayüzeyindeki istenmeyen durumların tavlama sıcaklığına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Nuhoğlu, imal ettikleri Au/n-Si/Al Schottky diyodu için, tavlama sıcaklığı 750°C 'ye ulaşana kadar doğrultucu özelliğini koruduğunu, ancak bu özelliklerin 750°C 'nin üzerindeki tavlama sıcaklıklarında bozulduğunu ve 800°C 'de neredeyse ohmik hale geldiğini rapor etti [17].

KAYNAKLAR

- [1] Türüt, A., Batı, B., Kökçe, A., Sağlam, M. and Yalçın, N., The bias-dependence change of barrier height of Schottky diodes under forward bias by including the series resistance effect, *Phys. Scripta* 1996; 53 (1); 118-122.
- [2] Bardeen, J., Surface states and rectification at a metal semi-conductor contact, *Phys. Rev.* 1947; 71; 717-727.
- [3] Sze, S. M., *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Ed. John Wiley & Sons. 1981.
- [4] Ziel, A. V., *Solid State Physical Electronics*, 2nd Ed. Prentice-Hall, Inc., 1968.
- [5] Aboelfotoh, M.O., Temperature dependence of the Schottky-barrier height of tungsten on n-type and p-type silicon, *Solid State Electronics*, 1991; 34 (1); 51-55.
- [6] Quat, V.T. and Nicolet M.A., Electron Trapping in Neutron- Irradiated Silicon Studied by Space- Charge- Limited Current, *Journal of Applied Physics*, 1972; 43 (6) 2755.
- [7] Rideout, V.L., A review of the theory, technology and applications of metal-semiconductor rectifiers, *Thin Solid Films*, 1978; 48(3); 261-291,
- [8] Chandra, M. M., Parsad, M., Realizing linear voltage temperature characteristics for forward biased diodes, *Journal of Physics D-Applied Physics*, 1986; 19 (1); 89-93.
- [9] Batı, B., Al-Sb/n-Si/Cu Schottky Diyotlarında Seri Direncin I-V ve C -V Karakteristiklerine Etkileri. Y.Y Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 1993.
- [10] Korkut, H., Yildirim, N., Turut, A., Temperature-dependent current-voltage characteristics of Cr/n-GaAs Schottky diodes, *Microelectronic Engineering*, 2009; 86 (1); 111-116.
- [11] Morita, M., Ohmi, T., Hasegawa, M., Kawakami, M. and Ohwada, M., Growth of native oxide on a silicon surface, *Journal of Applied Physics*, 1990; 68 (3); 1272.
- [12] Çetinkara, H.A., Sağlam, M., Türüt, A. and Yalçın, N., The effects of the time-dependent and exposure time to air on Au/epilayer n-Si Schottky diodes, *The European Physical Journal Applied Physics* 1999; 6 (1); 89-94.
- [13] Ayyıldız, E., Temirci, C., Batı, B., Türüt, A., The effect of series resistance on calculation of the interface state density distribution in Schottky diodes, *International Journal of Electronics*, 2001; 88 (6); 625-633.

- [14] Raychaudhuri, R., and Chattopadhyay, P., Energy distribution of interface state charge density in Cu-nSi Schottky diode with thin interfacial oxide layer, *Applied Surface Science*, 1994; 78 (3); 233-238.
- [15] Türüt, A., Tüzemen, S., Yıldırım, M., Abay, B. and Sağlam, M., Barrier height enhancement by annealing Cr Ni Co alloy Schottky contacts on LEC GaAs, *Solid-state electronics*, 1992; 35 (10); 1423-1426.
- [16] [16] Werner, J. H. and Rau, U., *Springer Series in Electronics and Photonics*, Vol.32 Edited by J.F. Luy and P.Russer (Springer, Berlin 1994).
- [17] Nuhoglu, Ç., Gülen, Y., The effect of high temperature annealing on Schottky diode characteristics of Au/n-Si contacts, *Vacuum*, 2010; 84 (6); 812–816.
- [18] Yıldırım, N., Saçtırma Yöntemiyle Hazırlanan Ni/n-GaAs Schottky Engel Diyotların Karakteristik Parametrelerinin Tavlama ve Numune Sıcaklığına Bağlı Değişimleri, Atatürk Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi, 2009.
- [19] Norde, H., A modified forward I-V plot for schottky diodes with high series resistance, *Journal of Applied Physics*, 1979; 50, 5052.
- [20] Bohlin, K. E., Generalized Norde plot including determination of the ideality factor, *Journal of Applied Physics*, 1986; 60(3); 1223.
- [21] Cibils, R. M., Buitrago, R. H., Forward I-V Plot for Nonideal Schottky Diodes with High Series Resistance, *J. Appl. Phys.*, 1958; 58; 1075.
- [22] Orak, İ., Ejderha, K., Sönmez, E., Alanyalıoğlu, M., Turut, A., The effect of annealing temperature on the electrical characterization of Co/n type GaP Schottky diode, *Materials Research Bulletin* 2015; 61; 463-468.
- [23] Aydın, M. E., Gullu, O., Yildirim, N., Temperature dependence of current–voltage characteristics of Sn/p-Si Schottky contacts, *Physica B-Condensed Matter*, 2008; 403 (1); 131-138.