Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **18** (2018) **017202** (1190-1202) AKU J. Sci. Eng.**18** (2018) **017202** (1190-1202)

DOI: 10.5578/fmbd.67676

Araştırma Makalesi / Research Article

Düşük Sıcaklıklarda Au/Organometalik Kompleks/n-Si MIS Yapısının Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Cihat Özaydın

Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Batman.

e-posta:cihat.ozaydin@batman.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.01.2018 ; Kabul Tarihi: 15.11.2018

Anahtar kelimeler
Organometalik kompleks; MIS yapı; Akım-Gerilim; Düşük sıcaklık; Gauss dağılımı

Öz

Geniş bir sıcaklık aralığında (100-300 K) metal-arayüzey tabaka-yarıiletken (MIS) Schottky diyotunun elektriksel özellikleri akım-gerilim ölçümleri ile incelenmiştir. MIS Schottky diyotu, 300 K ve 100 K'de sırasıyla 2.28 ve 4.13'e eşit idealite faktörleri (n) ile birlikte ideal olmayan akım-gerilim davranışı göstermiştir. Diyotun deneysel engel yüksekliği değerleri, 100 K'da 0.32 eV, 300 K'da 0.76 eV olarak belirlenmiştir. Azalan sıcaklıkla birlikte deneysel engel yüksekliğinde (BH,Φ_b) anormal bir azalma ve idealite faktöründe bir artış gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu davranış, engel yüksekliği homojensizliklerine atfedilmiş ve arayüzeyde yerel engel yüksekliklerinin Gauss dağılımı olduğunu varsayılarak termiyonik emisyon mekanizması temelinde açıklanmıştır. MIS diyotunun sıcaklığa bağlı akım-gerilim karakteristikleri, sırasıyla 1.17 eV ve 0.81 eV ortalama engel yükseklikleri ile birlikte 146 mV ve 94 mV standart sapmaları verenikili Gauss dağılımı göstermiştir. İki sıcaklık bölgesi için modifiye edilmiş $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_s^2\ 2k^2T^2$'ye karşı 1/kT eğrisinden sırasıyla 200-300K sıcaklık bölgesinde $\bar{\Phi}_b$ ve A^*1.18 eV ve 20.8 A/cm^{2}K^{2}ve 100-200K sıcaklık bölgesinde 0.82 eV ve 11.8 A/cm^{2}K^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, MIS diyotunun karakterizasyonu için kapasitans-gerilim ölçümleri uygulanmıştır.C-V ölçümleri analizinden elde edilen 0.88 eV engel yüksekliği değeri, oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen 0.76 eV'den daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Investigation of Electrical Properties of Au/Organometallic Complex/n-Si MIS Structure at Low Temperatures

Keywords
Organometallic complex; MIS structure; Current-Voltage; Low temperature; Gaussian distribution

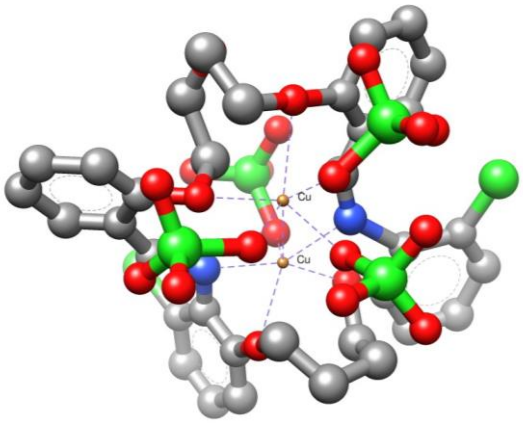
Abstract

The electrical properties of the metal-interface layer-semiconductor (MIS) Schottky diode were investigated via current–voltage measurements over a wide temperature range (100–300 K). The MIS Schottky diode showed non-ideal current–voltage behavior with ideality factors (n) which equal to 2.28 and 4.13 at 300 K and 100 K, respectively. The values of the experimental barrier height values of the diode were determined as 0.32 eV at 100 K and 0.76 eV at 300 K, in turn. An abnormal decrease in the experimental barrier height (BH,Φ_b) and an increase in the ideality factor were observed with decreasing temperature. This observed behavior was attributed to the barrier height inhomogeneities and were explained on the basis of thermionic emission mechanism by assuming the existence of a Gaussian distribution of local barrier heights at the interface. Temperature dependent current–voltage characteristics of the MIS diode has shown double Gaussian distribution giving mean barrier heights of 1.17 eV and 0.81 eV and with standard deviations of 146 mV and 94 mV, respectively. The modified $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_s^2\ 2k^2T^2$*versus* 1/kT plot for the two temperature regions gives $\bar{\Phi}_b$ and A^* as 1.18 eV and 20.8 A/cm^{2}K^2 at 200-300K, and 0.82 eV and 11.8 A/cm^{2}K^2 at 100-200K, respectively. In addition, the capacitance–voltage measurements were applied for characterization of the MIS diode. From the analysis of capacitance–voltage measurements, the barrier height value of 0.88 eV was found to be higher than that of 0.76 eV obtained from the current–voltage measurements at room temperature.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Organik materyallerin, ışık yayan diyotlar, güneş pilleri, alan etkili transistörler, elektro luminesans cihazlar, sensörler vb. elektronik ve optoelektronik aygıtlardakullanımı oldukça yaygındır (Shirota 2000). Potansiyel aygıtlariçin kolay sentezlenebilme ve işleme kolaylığı, çevresel kararlılık, esnek alt tabakalarla uyumluluk ve moleküler ultra ince filmler için düşük malzeme tüketimi gibi cazip özellikleri nedeniyle organik malzemeler tercih edilmektedir. Bu özelliklerinin yanısıra daha ucuz fotovoltaik enerji üretimi umudu sunmaktadırlar (Gupta *et. al* 2009, Rajesh and Menon 2007). Metal ile Yarı iletken arasına organik ince bir katman yerleştirilirse metal-yarıiletken (MS) yapısının elektriksel özellikleri değiştirilebilmektedir. Önceki çalışmalar, metal ve yarıiletken arasına organik ince ara tabaka yerleştirilerek MS diyotunun engel yüksekliğinin arttırılabileceğini veya azaltılabileceğini göstermiştir (Antohe *et.al* 1991, Rajesh and Menon 2007, Güllü and Türüt 2008, Akkiliç *et. al* 2010, Temirci *et.al* 2011, Gunduz *et.al* 2012). Yani, MS yapısının elektriksel özellikleri uygun organik moleküllerin seçimi ile geliştirilebilmektedir (Güllü *et.al* 2008). Organik bileşiklerin çoğunda π bağı geçişleri, onların optik ve elektriksel özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Organometalik kompleks (OMC) molekülleri de MIS diyotlar, foto diyotlar, ışık yayan diyotlar ve güneş pilleri gibi çeşitli elektronik cihazların tasarımında ve fabrikasyonunda önemli bileşenler olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Huang *et. al* 2013, Sahin *et. al* 2014, Attia *et. al* 2016, Tang 1986, Ruzgar *et. al* 2017). Entegre devrelerde ve diğer uygulamalarda kullanılan yarıiletken cihazların performansı ve güvenilirliği, geniş bir sıcaklık aralığında MIS diyotunun karakteristik parametrelerinin kararlılığına bağlıdır. MIS diyotlarının oda sıcaklığında elde edilen akım-gerilim (I-V) karakteristikleri, şarj taşıma mekanizmaları ile metal-yarı iletken arayüzünde oluşturulan engelin niteliği hakkında detaylı bilgi vermemektedir.



Şekil 1. $[Cu_2(C_{34}H_{32}N_2O_5)\ (ClO4)_2]\ [ClO4]_2$Organometalik kompleksinin (OMC) moleküler yapısı.

Sıcaklığa bağlı I-V karakteristikleri, iletim mekanizmasının daha iyi bir açıklamasını ve ilgili proseslerin geçerliliğine ışık tutan farklı yönleri anlamayı sağlamaktadır (Chand and Kumar 1995, Chand and Kumar 1996, Horvath 1988). Genellikle oda sıcaklığında ve nispeten yüksek sıcaklıklarda TE teorisi Schottky diyot parametrelerini elde etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, düşük sıcaklıklarda teoriden sapma gösteren bazı anormallikler olduğu ve I-V ölçümlerinden elde edilen idealite faktörü (n) ve engel yüksekliklerinin(BH,Φ_b), sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonu olduğu rapor edilmiştir (Padovani and Sumner 1965, Hackam and Harrop 1972, Werner and Guttler 1991, Horvath 1992, Hardikar *et. al* 1999).

Bu çalışmadaki amaç organometalik kompleks kullanılarak Au/OMC/n-Si MIS diyotlarını oluşturmak ve oluşturulan diyotların elektriksel özelliklerini 100-300 K arasında değişen sıcaklıklarda incelemektir. Bunun için kapalı formülü $[Cu_2(C_{34}H_{32}N_2O_5)\ (ClO4)_2]\ [ClO4]_2$ olan OMC molekülü (bkz. Şekil 1), π-bağı açısından zengin bir bileşik olması nedeniyle metal/yarıiletken yapısında arayüzey tabakası olarak seçilmiştir. Kullanılan makrosiklik OMC molekülü İlhan (2008)'e göre sentezlendi ve karakterize edildi. HemAu/OMC/n-Si MIS diyotlarındaki akım taşıma mekanizmasını oluşturmak hem de farklı sıcaklıklarda idealite faktörü n ve engel yüksekliği Φ_b'nin değişimini

saptamak için ileri beslem I-V gerilim karakteristikleri kullanılmıştır. Ayrıca, MIS diyotunun kapasite-gerilim (C-V) özellikleri de oda sıcaklığında araştırılmıştır.

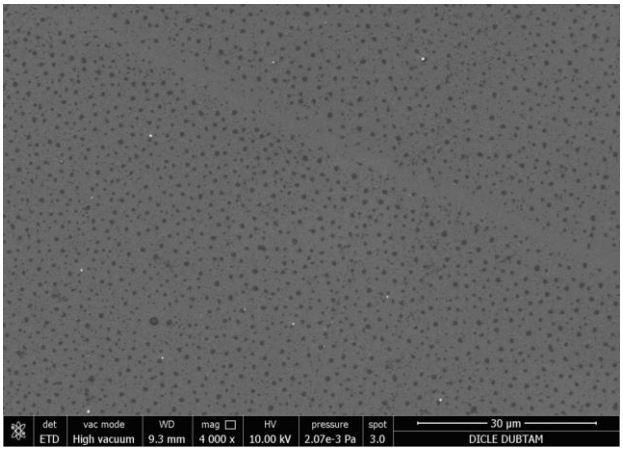
2. Materyal ve Metot

MIS diyotlarının yapılmasında, (100) yönelime sahip, 0.4 mm kalınlıklı, 1-10 Ω.cm dirençli ve bir tarafı parlatılmış n-tipi Si kullanarak kullanılmıştır. Kullanılan n-tipi Si, RCA temizleme yöntemi(NH_3 + H_2O_2 + $6H_2O$ içinde 10 dakika kaynatma sonra bunu takibenHCl + H_2O_2 + $6H_2O$'da 10 dakika ısıtma) kullanılarak kimyasal olarak temizlenmiştir. Daha sonra, n-Si'nin ön yüzündeki doğal oksit tabakayı kaldırmak için 30 s süreyle $10H_2O$+HF çözeltisine daldırılmıştır. Ardından, deiyonize suda (18 MΩ) durulanmış ve yüksek saflıkta N_2 gazı ile kurutulmuştur. Düşük dirençli omik kontağı oluşturmak için n-tipi Silisyumun arka yüzeyi üzerine Au-Sb (% 99-1) alaşımı buharlaştırılmıştır. Ardından n-tipi Si, N_2 atmosferi altında 420°C'de 3 dakika süreyle termal olarak tavlanmıştır. OMC ince filmini oluşturmak için önce dimetil sülfoksit (DMSO) içerisinde çözündürülmüş ve sonra 15 s boyunca spinli kaplama ile 1500 rpm' de temizlenmiş olan n-Si alt-tabakasına kaplanmıştır. Kaplamadan sonra, OMC film 100 ° C'de 5 dakika kurumaya bırakılmıştır. n-Si alt tabaka üzerinde OMC filmin kalınlığı C-V tekniği ile yaklaşık 79 nm olarak hesaplanmıştır. C-V tekniğinden elde edilen film kalınlığı değeriAFM ölçümü ile kıyaslandığındauyumlu olduğu görülmektedir. Gölge maske kullanarak OMC filmin üzerine 1.5 mm çaplı üst Au (% 99.99 saflıkta) kontaklar yaklaşık 10^{-6} torr'da termal buharlaştırma ile oluşturulmuştur. n-Si üzerinde kaplanan OMC filmin mikroyapısı ve morfolojik özellikleri Quanta FEG 250 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Park System XE-100 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) görüntüleme sistemleri ile belirlenmiştir. Au/OMC/ n-Si aygıtının elektriksel ölçümleri 100-300 K sıcaklık aralıklarında ölçüm yapmamızı sağlayan ARS-DE-202 model kapalı sistem helyum kriyostat kullanılarak Keithley 4200-SCS yarıiletken karakterizasyon sistemi ile karanlık altında alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

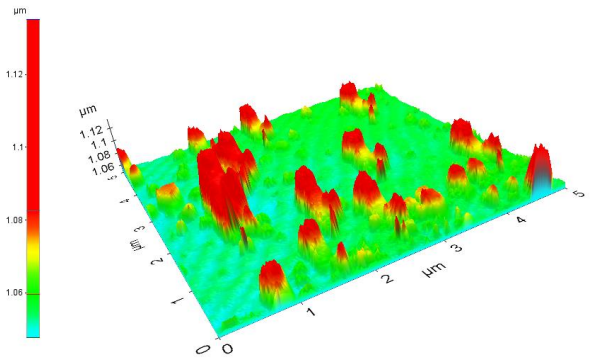
3.1.n-Si üzerine kaplanan OMC filminin yapısal ve morfolojik özellikleri

OMC filminin (n-Si üzerindeki) yapısal özellikleri ve yüzey morfolojileri Şekil 2 ve Şekil 3'teki SEM ve AFM görüntülerinde gösterilmiştir. Şekil 2'de Si altlık üzerindeki OMC filminin SEM görüntüsünü gösterilmektedir.



Şekil 2. n-Si üzerine kaplanan OMC filminin SEM görüntüsü.

OMC filminin SEM görüntüsünden OMC filminin yüzey üzerine homojen dağıldığı görülmekle birlikte yüzey morfolojisinin pürüzlü olduğu, birkaç yüz nanometre boyutta ve farklı şekillerdeyüzey üzerine rastgele dağılmış görülmüştür. SEM sonuçlarını desteklemek ve filmlerin yüzey pürüzlülüğünü incelemek için AFM ölçümleri alınmıştır. Şekil 3'te n-Si üzerindeki OMC filminin AFM sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3. n-Si üzerine kaplanan OMC filminin AFM görüntüsü.

Şekil 3, OMC film yüzeyinin yükseklik görüntüsü olup, renk haritası ile yalnızca yüzey özelliğinin yükseklik kontrastını göstermektedir. Aynı zamandaOMC molekülleri ile film oluştuğunu ve rasgele yönelimli kümelerden oluşan OMC filmi yüzey morfolojisinin pürüzlü olduğunu teyiteden topografisini göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece malzemeye bağlı bir özellik olmayıp yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı ve kaplama parametreleri gibi tribolojik özelliklere de bağlıdır (Riedo *et. al* 2001). Filmin AFM görüntüsünden birkaç yüz nanometre arasındaki nano ölçekli yüzey pürüzlülüğü gözlenmiştir. OMC filminin kalınlığı, AFM görüntüsündeki yeşil bölgelerden yaklaşık 100 nm olarak tahmin edilmektedir ve bu değer C-V tekniğiyle elde edilen değerle tutarlı görülmektedir.

3.2. Oda sıcaklığında Au/OMC /n-Si diyotun C-V ve I-V özelliklerinin analizi

MS ve MIS diyotlarda, tükenme tabakasının kapasitesi,

$$\frac{1}{C^2}=\frac{2(V_{bi}+V)}{q\varepsilon_s A^2 N_d} \qquad (1)$$

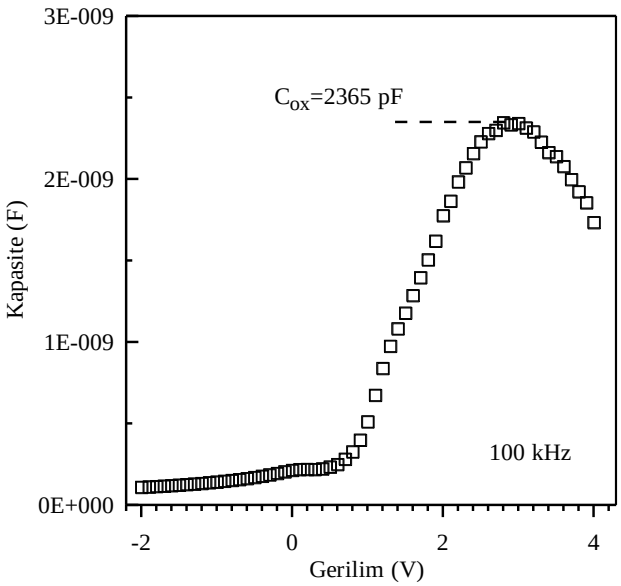
şeklinde yazılabilir (Rhoderick andWilliams, 1988).Burada ε_s n-Si' in dielektrik sabiti ve V_{bi}ise C^{-2}-V grafiğinden belirlenen yerleşik potansiyeldir. C-V metodunda engel yüksekliğinin değeri,

$$\Phi_b(C-V)=V_{bi}+V_n \qquad (2)$$

denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada V_n, Fermi enerji seviyesi ile n-Si' in iletim bandının tabanı arasındaki potansiyel farktır vedonör konsantrasyonu (N_D)bilinerek,

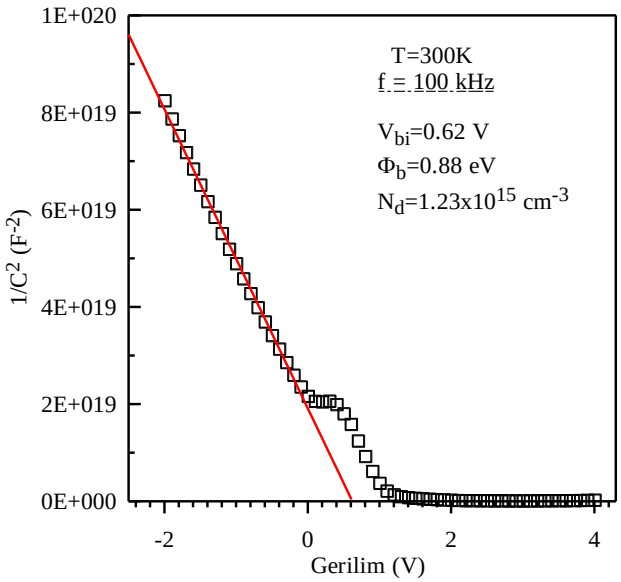
$$V_n=\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{N_C}{N_d}\right) \qquad (3)$$

eşitliği ile hasaplanabilir. Burada N_C = 2.8x10^{19} cm^{-3}, n-Si için iletim bandındaki etkin durumların yoğunluğudur (Neamen, 1992).



Şekil 4. 100 kHz'de ve oda sıcaklığında Au/OMC/n-Si MIS diyotunun C-V karakteristiği.

Şekil 4, 100 kHz'de, oda sıcaklığında Au/OMC/n-Si MIS diyotunun C-V karakteristiğini göstermektedir. Şekil 5, ters beslem durumundaki C-V verilerinden çizilenAu/OMC/n-Si diyotunun C^{-2}-V grafiğini göstermektedir.Diyot için C^{-2}-V eğrisinden elde edilen verilerden engel yüksekliği, difüzyon potansiyeli ve donör taşıyıcı konsantrasyonu değerleri sırasıyla, 0.88 eV, 0.62 V ve 1.23x10^{15} cm^{-3} olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Au/OMC/n-Si diyotunun 100kHz' de C^{-2}-V karakteristiği.

Termiyonik emisyon (TE) teorisine göre, ileri beslem geriliminde Schottky kontaklarından geçen akım,

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (4)$$

eşitliği ile verilmektedir (Rhoderick and Williams 1988, Sze 1981).Burada V, uygulanan gerilim, n, idealite faktörü veI_0, ters kutuplama durumunda doyma akımı olup,

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

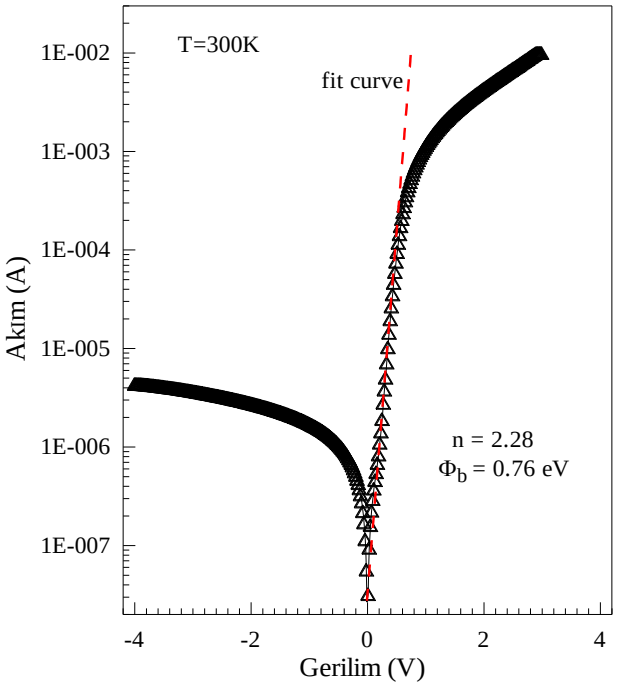
eşitliği ile verilmektedir. Burada, A diyot alanı, A^* n-Si için 112 A/cm^2 K^2'ye eşit olan etkin Richardson sabiti, Tmutlak sıcaklık, $q$elektron yükü, Φ_b engel yüksekliği ve kBoltzmann sabitidir.n, diyotun saf termiyonik emisyon teorisine uygunluğunun bir ölçüsü olup, değeri aşağıdaki denklem (6) kullanılarak ileri beslem deneysel yarı logaritmik akım-gerilim(lnI-V)grafiğininlineer bölgesinin eğiminden hesaplanmaktadır.

$$n = \frac{q}{kT}\frac{dV}{d(\ln I)} \quad (6)$$

Schottky kontakların deneysel verilerinin analizinde engel yüksekliği genellikleileri beslem I-V grafiğinin lineer bölgesinin akım ekseni ile kesişim noktasından belirlenmektedir.Bununla birlikte, bir arayüzey tabakası mevcut olduğunda, bu görünür engel yüksekliğidir. Etkin ya da görünür engel yüksekliği Φ_b,

$$\Phi_b = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{A^*AT^2}{I_0}\right) \quad (7)$$

şeklinde verilmektedir.Şekil 6, oda sıcaklığında (300 K) Au/OMC/n-Si MIS diyotunun deneysel lnI-V grafiğini göstermektedir. Au/OMC/n-Si MIS diyotunun iyi bir doğrultma davranışı sergilediği Şekil 6' dan görülmektedir.İleri beslemdeki akım eğrisi, kontakların direnci veya organometalik kompleksin ve inorganik yarı iletkenin yığın direncinden dolayı seri dirençle baskın hale gelir ve lnI-V çiziminde yüksek akımda linnerlikten sapmaya neden olur. TE teorisi (Rhoderick and Williams 1988, Sze 1981) dikkate alınarak, Eşitlik 6 ve 7 yardımıyla Au/OMC/n-Si MIS diyotunun engel yüksekliği ve idealite faktörünün deneysel değerleri sırasıyla 0.76 eV ve 2.28 olarak hesaplanmıştır.Yalnızca görüntü-kuvvet etkisi ile belirlenen idealite faktörü 1.01 veya 1.02'ye yakın olmalıdır (Tung 1992, Monch 1999).



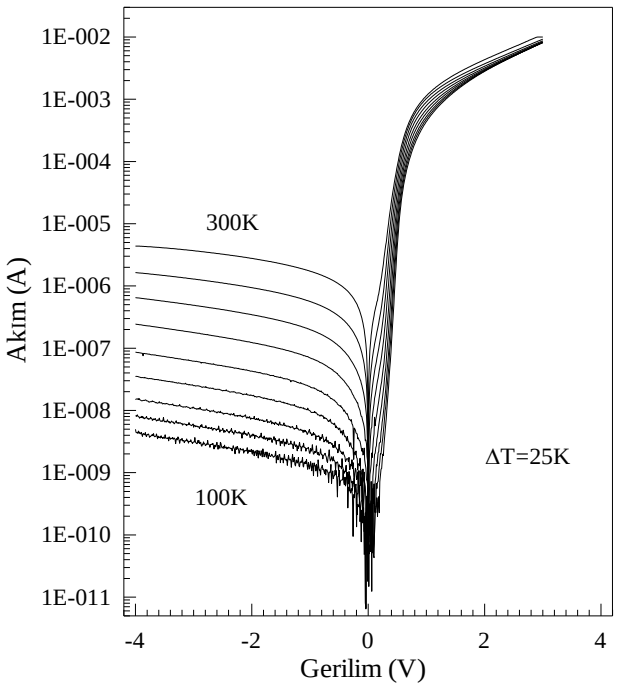
Şekil 6. Au/OMC/n-Si MIS diyotunun 300 K' de deneysel lnI-V karakteristiği.

Elde edilen verilere göre, diyodun idealite faktörü bu değerlerden daha büyükolmaktadır.İdealite faktörünün yüksek değerleri arayüz dipollerine veya spesifik arayüz yapısına ve aynı zamanda arayüzde üretime bağlı kusurları içeren ikincil mekanizmalara atfedilebilir (Tung 1992, Ayyildiz *et.al* 2005, Vanalme *et.al* 1999).Buna ek olarak, görüntü-kuvvet etkisi, jenerasyon-rekombinasyon ve tünelleme mekanizmaları ideality faktörünün 1 dendaha büyük çıkmasına neden olacak mekanizmalar olarak düşünülmektedir (Tung 1992, Rhoderick and Williams 1988). Au/OMC/n-Si MIS diyotunun 0.76 eV' luk engel yüksekliği değeri Rhoderick and Williams (1988)'a göre 0.50 eV olan arayüzeysiz Au/n-Si MS diyotunun Φ_b değerinden daha yüksektir. Bu bulgular, inorganik yarı iletken üzerine arayüzey olarak oluşturulan OMC ince filminin, MS Schottky diyotunun engel yüksekliğini

önemli derecede etkildediğini göstermektedir. Organik ince filmlerin, metal ile yarı iletken arasında fiziksel bir engel oluşturduğu ve metalin doğrudan Si yüzeyiyle temasını engelleyeceği iyi bilinmektedir.Bu, OMC ara tabakanın inorganik substratınuzay yükü bölgesini etkileyerek etkinengel yüksekliğini modifiye ettiği şeklinde ifade edilmektedir (Roberts and Evans 2005). OMC organik ara tabakasının, organik-inorganik arayüz durumlarında önemli bir değişikliğe neden olduğu görülmektedir(Kampen *et. al* 2002, Bolognesi *et. al* 2003, Zahn *et. al* 2003, Kampen *et. al* 2004).

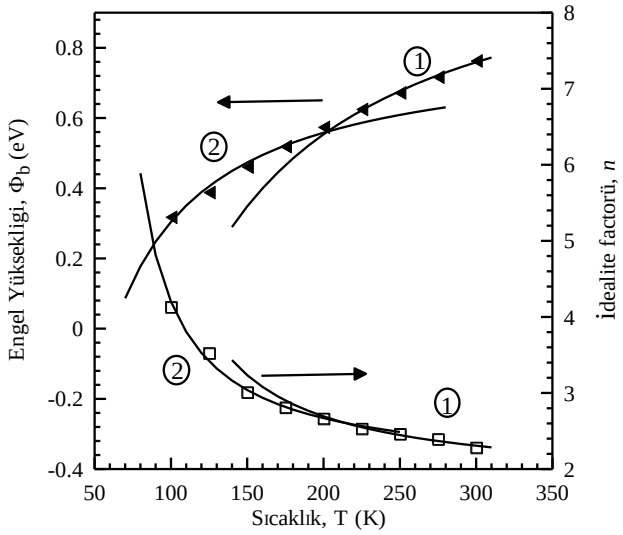
3.3. Au/OMC/n-Si MIS diyotunun sıcaklığa bağlı I-V karakteristiklerinin analizi

Akım-Gerilim (I-V) ölçümü, diyotların akım taşıma mekanizmasını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.Au/OMC/n-Si diyotu üzerinden geçen akım mekanizması hakkında daha fazla bilgi edinmek için 25 K'lik adımlarla 100-300 K aralığında farklı sıcaklıklarda (I-V) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7, farklı sıcaklıklarda Au/OMC/n-Si diyotunun lnI-V karakteristiklerini göstermektedir.



Şekil 7. Sıcaklığın fonksiyonu olarak 100-300 K arasında Au/OMC/n-Si diyotunun lnI-V karakteristiği.

Au/OMC/n-Si diyodu için TE teorisi kullanılarak elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliğinin sıcaklığa bağımlı deneysel değerleri Şekil 8'de sunulmaktadır. Şekil 8'de ① ve ②ile gösterilen sürekli eğriler, idealite faktörü ve engel yüksekliklerinin ikili Gauss dağılımı kullanılarak elde edilen tahminin değerlerini göstermektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi her iki parametre de sıcaklığa bağımlılığı sergilemektedir. Au/OMC/n-Si diyodu için engel yüksekliği ϕb (dolu üçgenlerle gösterilen) ve idealite faktörü n'nin (açık karelerle gösterilen) deneysel değerleri sırasıyla 100 K'de 0,32 eV ve 4,13, 300 K'de 0.76 eV ve 2.28'dir. Şekil 8'dan görüldüğü gibi, n arttıkça sıcaklık düşerken azalmaktadır.

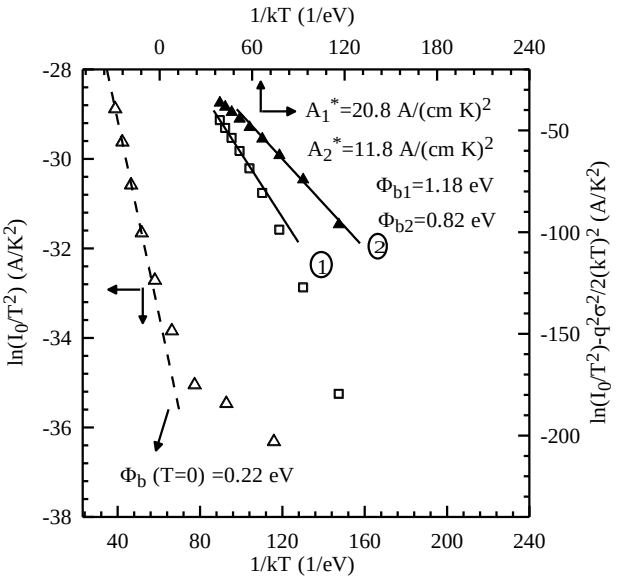


Şekil 8. 100-300 K aralığındaAu/OMC/n-Si diyodunun sıcaklığa bağlı idealite faktörü (Açık kareler) ve engel yüksekliği (Dolu üçgenler) karakteristiği.

Sıcaklığın aktive edildiği süreç nedeniyle, düşük sıcaklıktaki elektronlar daha düşük engelleri aşabilir. Bu nedenle, akım taşıma mekanizması, düşük BH'nin içinden geçen akım ve büyük ideality faktörü tarafından domine edilmektedir (Hudait *et. al* 2001). Yani, sıcaklık arttıkça daha fazla elektron yüksek engeli aşmak için yeterli enerjiye sahip olacaktır. Sonuç olarak, baskın engel yüksekliği sıcaklık ve ön gerilim gerilimi ile artacaktır. Düşük sıcaklıklarda idealite faktöründeki belirgin artış ve engel yüksekliğindeki azalma, muhtemelen engel yüksekliğindeki homojensizlikler ve arayüzey yüklerinin homojen olmaması gibi diğer etkilerden

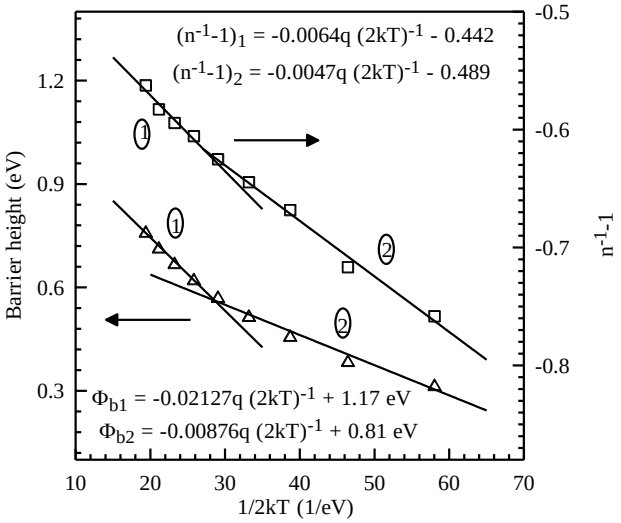
kaynaklanmaktadır. Genel özellikler hala TE süreci ile tutarlı olmaktadır (Chand and Kumar 1995, Altindal *et. al* 2003). Engel yüksekliği BH'nin başka bir şekilde değerlendirilmesi için, ters doyma akımlarından elde edilen Richardson eğrileri kullanılabilmektedir.

Şekil 9, Au/OMC/n-Si diyodu içingeleneksel Richardson enerjisi*ln(I₀/T²)—1/kT*grafiğini (açık üçgenlerle gösterilen) göstermektedir.



Şekil 9. Au/OMC/n-Si diyodunun ikiliGauss dağılımına göre geleneksel*ln(I₀/T²)—1/kT* ve modifiye $\ln(I_0/T^2)-q^2\sigma^2/2(kT)^2$—1/kT Richardson eğrileri.

Düşük sıcaklıklarda deneysel *ln(I₀/T²)—1/kT* grafiğindelineerlikten belirgin sapma görülmektedir ve bundan dolayı ancak yüksek sıcaklıklarda lineer bir uyumlama (fit) yapılabilir.Bu linnerkısmın eğiminden elde edilen aktivasyon enerjisi değeri, Şekil 9'da *1/kT* için0.22 eV olarak elde edildi. Deneysel *ln(I₀/T²)—1/kT* grafiğindeki bükülme, Silisyum alt taşın yüzey homojensizliklerinin olmasına bağlı olarak engel yüksekliği ve idealite faktörünün sıcaklığa bağımlılığına atfedilmektedir (Werner and Guttler 1993, Dobrocka and Osvald, 1994, Jones *et. al* 1999, Karataş *et. al* 2003, Osvald and Horvath 2004). Ayrıca, Richardson grafiğindeki sapma, düşük ve yüksek engel alanlarından oluşan uzaysal homojen olmayan engel yüksekliklerinin ve arayüzeydeki potansiyel dalgalanmaların varlığına bağlı olabilmektedir.Yani, diyot içerisindeki akım, potansiyel dağılımında daha düşükengellerden öncelikli olarak akar (Werner and Guttler 1993, Gümüs *et. al* 2002, Osvald 2003). Engel yüksekliği homojensizliklerini tanımlamak için Gauss ve log-normal gibi farklı dağılım fonksiyonları kullanılabilmektedir (Chand and Kumar 1995, Chand and Kumar 1996).



Şekil 10. BH' ın ikili Gauss dağılımına göreAu/OMC/n-Si diyodunun engel yüksekliği (Açık üçgenler) ve idealite faktörünün (Açık kareler) 1/kT' ye göre eğrisi.

Engel yükseklik değerleri Schottky temas alanı boyunca ortalama değer ve standart sapma değerleriyle birlikte Gauss dağılımına sahipse, azalan sıcaklıkla birlikte engel yüksekliğindeki azalma, engel yüksekliğinin lateral dağılımı ile açıklanabilir (Horvath 1988). Engel yüksekliklerinin Gauss dağılımı, BH için aşağıdaki ilişkiyi verir (Song *et. al* 1986, Chand and Kumar 1995, Chand and Kumar 1996, Osvald 2003, Dobrocka and Osvald 1994, Ru *et. al* 2005).

$$\Phi_{ap} = \overline{\Phi}_b - \frac{q\sigma_s^2}{2kT} \qquad (8)$$

Burada Φ_b, görünür engel yüksekliğidir. Standart sapmaσ_s, engel homojenliğinin bir ölçüsüdür.σ_s' ın sıcaklığa bağımlılığı genellikle küçüktür ve göz ardı edilebilmektedir.İdealite faktörünün sıcaklığa göre değişiminin Gauss dağılımı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Chand and Kumar 1995, Chand and Kumar 1996):

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1\right) = -\rho_2 + \frac{q\rho_3}{2kT} \qquad (9)$$

Buradann_{ap}, görünür ideality faktörü olup, ρ_2 ve ρ_3 BH dağılımının gerilim deformasyonuyla ilişkili olan voltaj katsayılarıdır. Deneysel Φ_{ap}—1/2kT ve $n_{ap}$$^{-1}$-1—1/2kT grafikleri (Şekil 10) Şekil 8'den elde edilen veriler vasıtasıyla çizilmiştir.Şekil 10'da görüldüğü gibi, Au/OMC/n-Si diyotu içingrafik 200 K'de meydana gelen geçişle birlikte tek bir düz çizgi yerine iki çizgiye karşılık gelir.Şekil 8 ve 10daki sürekli eğriler ve Şekil 10'daki görünen BH veya idealite faktörüne karşı 1 / 2kT eğrilerinin lineerliği, Au/OMC/n-Si Schottky diyotunun sıcaklığa bağlı deneysel verisinin, Gauss BH dağılımında termiyonik emisyonla ilişkili son model ile uyumlu olduğunu göstermektedir(Song *et. al* 1986, Werner and Guttler 1993, Dobrocka and Osvald 1994, Chand and Kumar 1995, Chand and Kumar 1996, Gümüs *et. al* 2002, Osvald 2003, Osvald and Horvath 2004, Ru *et. al* 2005). Deneysel I-V verisinin TE akım-gerilim denklemlerine uydurulması sırasıyla Φ_{ap} ve n_{ap}'yi verir ki bu Eşitlik (8) ve (9)'a uymalıdır.Dolayısıyla, Φ_{ap}'nin 1/2kT'ye göre çiziminin bir doğru vermesi ve bu doğrunun y-ekseni ile kesişiminin sıfır ön geriliminde ortalama BH $\overline{\Phi}_b$'yi, eğiminin de sıfır ön geriliminde standart sapma σ_s'yi vermesi beklenmektedir.Yukarıdaki gözlemler, Au/OMC/n-Si diyodunun temas yüzeyindeengel yüksekliğinin ikili Gauss dağılımının varlığına işaret etmektedir.Şekil 11'deki noktalar ele alındığında, bu doğrusal çizgilerin kesimleri ve eğimleri $\overline{\Phi}_b$ ve σ_s'nin200-300 K (dağılım 1) sıcaklık aralığında 1.17 eV ve 146 mV ve 100-200 K (dağılım 2) sıcaklık aralığında 0.81 eV ve 94 mV olarak iki değer setini vermektedir. Ayrıca 100-300 K sıcaklık aralığının tamamı için Eşitlik (8) de $\overline{\Phi}_b$ ve σ_s değerleri kullanılarak Φ_{ap}'nin değerleri hesaplanmış ve şekil 9 'da 1 ve 2 sürekli eğrileri ile gösterilmiştir. Standart sapmanın büyüklüğünde sıcaklık etkisi de oldukça önemlidir. Bu yüzden, engel yüksekliğinin 200-300 K sıcaklık aralığındaki değeri, 100-200 K sıcaklık aralığındakinin yaklaşık 1,5 katıdır.Schottky diyotlarda ikili Gauss dağılımının bulunması, Balistik Elektron Emisyon Mikroskobu (BEEM) ölçümleri ile deneysel olarak kanıtlanmıştır (Song *et. al* 1986, Ru *et. al* 2005). Ayrıca, Chand ve Kumar (1995, 1996)'ın belirttiği gibi, metal-yarı iletken kontaklarında ikili Gauss dağılımının varlığı, iki durumda da homojen olmayan yapıların doğasına atfedilmektedir. Bu, arayüz bileşimi ve faz çeşitliliği, arayüz kalitesi, elektrik yükleri ve stokiyometri gibi durumları içerebilmektedir. Özellikle çok düşük sıcaklıklarda, bunlar Schottky diyotlarının I-V özelliklerini elektriksel olarak etkilemek için yeterli ve önemlidir. Bu nedenle, çok düşük sıcaklıklarda I-V ölçümleri, temas alanındaki engel homojensizliğinin doğasını netleştirebilir. Yani, çok düşük sıcaklıklarda, belirli bir sıcaklıkta soğutma üzerine gerçekleşen bazı faz değişimlerinden dolayı ikinci bir Gauss dağılımının varlığı muhtemelen ortaya çıkabilir. Dahası, her düz çizginin kapsadığı sıcaklık aralığı, ilgili dağılımın etkin olduğu rejimi göstermektedir (Jones *et. al* 1999). Benzer şekilde, Au / OMC / n-Si diyodu iki engel yüksekliği dağılımı içerdiğinden dolayı Şekil 11'den açıkça görülebileceği üzere, nap-1-1'in 1 / 2kT'ye göre grafiği iki farklı sıcaklık aralığında farklı karakteristikler göstermektedir. Voltaj katsayıları ρ_2 ve ρ_3'ün değerleri deneysel nap^{-1}-1 ile 1 / 2kT grafiğinde kesim noktalarından ve eğimlerin elde edilmiştir. Kesim noktalarından elde edilen değerler 200-300 K aralığında (dağılım 1) 0.442 ve 100-200 K aralığında (dağılım 2) 0.489 iken eğimlerden elde edilen değerler 200-300 K aralığında (dağılım 1) -0.0064 V ve 100-200 K aralığında (dağılım 2) -0.0047 V dir. Bu grafiğin doğrusal davranışı, idealite faktörünün Schottky engel yüksekliğinin Gauss dağılımının gerilim deformasyonunu gerçekten de açıkladığını göstermektedir. Şekil 9'daki açık karelerle gösterilen sürekli kesintisiz çizgiler, Yukarıda elde edilen ρ_2 ve ρ_3 değerlerinin Eşitlik (9) ile hesaplanan verilerini temsil etmektedir. Au/ OMC/n-Si diyodu için hesaplanan değerler, iki farklı dağılım için ilgili sıcaklık aralıklarındaki deney sonuçları ile tam olarak örtüşmektedir. Nap^{-1}-1 ile 1/2kTgrafiğinden görülebileceği gibi, dağılım 1'in eğiminden elde edilen ρ_3 değeri, dağılım 2 'ninkinden daha büyüktür. Buna göredağılım 1'in daha geniş vesırasıyla daha küçük ve daha büyük

ρ_2 ve ρ_3 katsayılarıyla birlikte nispeten daha yüsek engel yüksekliği olduğunu söyleyebiliriz.

Yukarıda belirtildiği gibi, geleneksel Richardson ln (I0/T2) - 1/T grafiği düşük sıcaklıklarda non-lineerlik göstermektedir. Geleneksel Richardson grafiğinde gözlenen non-lineer davranışlar, engel homojensizliğinden kaynaklanmaktadır. Engel yüksekliğinin Gauss dağılımına göre non-lineer davranışları açıklamak için;

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right)-\left(\frac{q^2\sigma_s^2}{2k^2T^2}\right)=\ln(AA^*)-\frac{q\bar{\Phi}_b}{kT} \qquad (10)$$

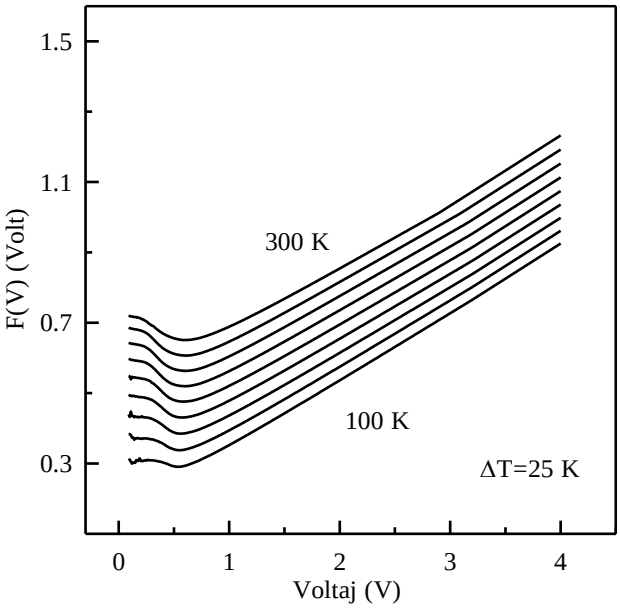
şeklinde yeniden yazılabilir (Chand ve Kumar, 1995;Chand ve Kumar, 1996). Bu ifadeden de modifiye edilmiş Richardson grafiği elde edilebilir.Deneysel I_0 verilerini kullanarak, modifiye $\ln(I_0/T^2)-q^2\sigma_s^2/(2k^2T^2)$- 1/kT grafiği Eq. (10) 'a göre çizilirse, bu grafik linner bir çizgi verir ki çizginin eğimi ortalama $\bar{\Phi}_b$ ve ordinatı kesim noktasından (= lnAA *) diyot alanı A için A* belirlenir.Au/OMC/n-Si diyodu için 100-200 K ve 200-300 K sıcaklık aralıkları için elde edilen iki σ_s değeri için $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_s^2/(2k^2T^2)$ değerleri hesaplanmıştır.Şekil 10 da σ_s değerleri için açık kareler (dağılım 1) ve dolu üçgenler (dağılım 2)' yi göstermek üzere modifiye $\ln(I_0/T^2)-q^2\sigma_s^2/(2k^2T^2)-1/kT$ grafiğini göstermektedir.Bu modifiye deney verileri için en iyi lineer fitler şekil 10'da sürekli çizgilerle gösterilmektedir. Au/OMC/n-Si diyodu için istatistiksel analiz 100-200 K aralığında (dağılım 2)0.82 eV ve 200-300 K aralığında(dağılım 1) 1.18 eV ortalama sıfır beslem engel yüksekliği BH vermektedir.Bu değerler, Şekil 11'deki Φ_{ap} - 1/2kT çizimden elde edilen ortalama BH'ler ile tam olarak eşleşmektedir. Y- ekseninin kesim noktalarından Richardson sabiti A*, 100-200 K aralığında 11.8 A / cm2 K2 ve 200-300 K aralığında 20.8 A / cm2K2 olarak elde edilmiştir.Elde edilen Richardson sabiti değerleri, n-tipi Si için bilinen 112 A / cm2 K2 değerine kıyasla çok daha düşüktür (Neamen, 1992).Richardson sabiti değerlerindeki sapma, uzaysal olarak homojen olmayan BH'ye ve metal yarıiletken arabiriminde potansiyel dalgalanmalara bağlı olabilmektedir (Sullivan *et. al* 1991, Tung 1992, Werner and Guttler 1993).

Seri direnç doğrultucu eklemlerin elektriksel özelliklerini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Yüksek ideality faktörlü ve seri dirençli Au/OMC/n-Si diyodunun seri direncini hesaplamak için Norde metodunu kullandık (Norde, 1979). Modifiye Norde fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Bohlin 1986);

$$F(V)=\frac{V}{\gamma}-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \qquad (11)$$

Burada γ, idealite faktörü n'den büyük olan boyutsuz bir tam sayı, *I(V)* ise akım-gerilim eğrisinden elde edilen akımdır.F-V çiziminin minimum değeri belirlendikten sonra, engel yüksekliğinin değeri, Eşitlik 12'den elde edilebilir. Burada $F(V_0)$, F(V) 'in minimum noktası ve V_0, ona karşılık gelen voltajdır.

$$\Phi_b=F(V_0)+\frac{V_0}{\gamma}-\frac{kT}{q} \qquad (12)$$



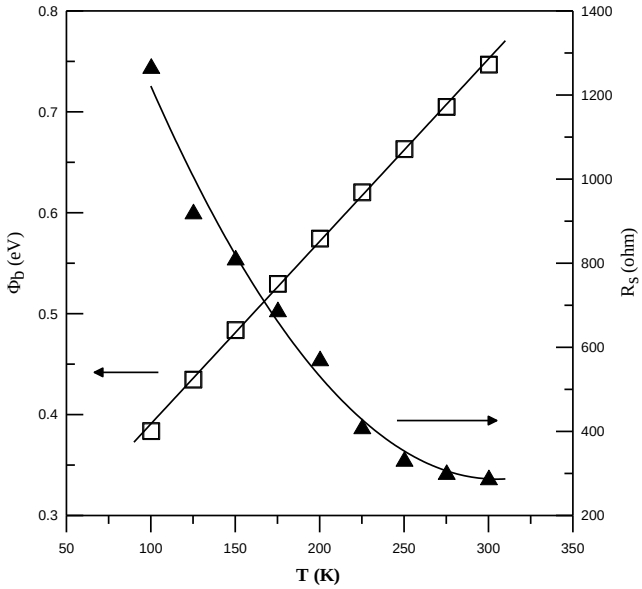
Şekil 11. 100 K ve 300 K arasında (25 K'lik bir adımlarla) sıcaklığın fonksiyonu olarak Au / OMC / n-Si diyotunun F(V)-V karakteristiği.

Şekil 12, Au/OMC/n-Si diyotlarının sıcaklığın fonksiyonu olarak *F(V)-V* çizimlerini

göstermektedir.Norde fonksiyonlarından seri direnci (R_S) şu şekilde ifade edilmiştir:

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI} \quad (13)$$

Au/OMC/n-Si yapılarının engel yüksekliği ve seri direnç değerleri F-V grafiklerinden F (V0) ve V0 değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. Au/OMC/n-Si diyotu için Norde metodundan elde edilen sıcaklığa bağlı engel yüksekliği (Φb) ve seri direnç (R_S) karakteristiği.

Şekil 12, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Au/OMC/n-Si diyotları için F (V) -V çizimlerinden elde edilen BH'lerin ve seri dirençlerin değişimini göstermektedir. Bu grafikleri kullanarak Au/OMC/n-Si diyodu için engel yükseklikleri (açık karelerle gösterilen) ve seri dirençlerin Rs (dolu üçgenlerle gösterilen) deneysel değerleri sırasıyla 100 K'da 0.38 eV ve 1270 Ω ve 300 K 'da 0.75 eV ve 292 Ω olarak hesaplandı. Şekil 12'den görülebileceği üzere, sıcaklık azaldıkça engel yüksekliği azalmakta ve seri direnci artmaktadır.Bu durum, *n*'nin artması ve/veya düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun olmaması ve doğrusal olmayan etkilerlerle açıklanabilir.Elde edilen sonuçlar, seri direnç değerlerinin çok yüksek olduğunu ve seri direncin Au/OMC/n-Si yapısı için akımsınırlayıcı bir faktör olduğunu göstermektedir.Ayrıca, Rs'nin yüksek değerleri düşük sıcaklıklarda akım taşıyıcıların hareketsizliğinden kaynaklanabilir.Rs etkisi genellikle akımın üzerinden geçtiği seri bağlı bir diyot ve bir direnç kombinasyonu ile modellenir. Diyot boyunca gerilim, diyot ve direnç Rs üzerinde toplam gerilim azalması açısından ifade edilebilir (Keffous *et. al* 2003). Düşük sıcaklıktaki seri direncin yüksek değerleri, daha yüksek ileri beslem voltajlarında OMC ince filmine alan-yüklü enjeksiyona bağlı olarak, akımdaki katlanarak artan hızın azalmasına atfedilebilir. Düşük sıcaklıktaki seri direncin yüksek değerleri, daha yüksek ileri beslem voltajlarında OMC ince filmine uzay-yükü enjeksiyona bağlı olarak, akımdaki eksponansiyel azalışa atfedilebilir.Düşük sıcaklıklarda akımın kontrolüne bir başka mekanizmanın daha başladığını tahmin ediyoruz.Bu mekanizma düşük sıcaklık etkileri nedeniyle yüksek olasılıklı tünellemedir (Aydoğan *et. al* 2009). Bunun yanı sıra, I-V karakteristiği ve modifiye edilmiş Norde fonksiyonundan elde edilen engel yükseklik değerleri arasında iyi bir uyum vardır.

4. Sonuç

Bu çalışma, OMC bileşiklerinin diğer adaylar arasından MIS aygıtları için potansiyel bir organik ince tabaka olarak düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Au/OMC/n-Si MIS diyotlarının I-V özellikleri 100-300 K sıcaklık aralığında incelendi.İleri beslem I-V karakteristikleri, Au / OMC / n-Si MIS diyotlarındaki akım taşıma mekanizmasının bulunmasında ve farklı sıcaklıklarda idealite faktörü n'nin ve engel yüksekliğinin Φb değişiminin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Özetle, sıcaklık düşüşü ile deneysel BH'de anormal bir azalma ve sıcaklık düşüşü ile idealite faktöründe bir artış gözlemlenmiştir. Bu, metal yarıiletken arayüzündeki yerel engel yüksekliklerinin homojensizliğine atfedilmiştir. Au/OMC/n-SiMIS yapısının sıcaklığa bağlı I-V karakteristikleri sırasıyla 1.17 eV ve 0.81 eV ortalama engel yükseklikleri ve 146 mV ve 94 mV standart sapmaları veren olan ikili Gauss dağılımı göstermiştir. Ayrıca, Au/OMC/n-Si diyotunun oda sıcaklığında kapasite-gerilim karakteristikleri de incelenmiştir.

Teşekkür

Sıcaklığa bağlı ölçümleri almada tecrübesinde faydalandığım Doç Dr. Osman PAKMA'ya ve faydalı yorum ve tavsiyeleri için Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ'ye teşekkür ederim.

Kaynaklar

Akkiliç, K., Ocak, Y. S., Kiliçoğlu, T., Ilhan, S., and Temel, H., 2010. Calculation of current-voltage characteristics of a Cu (II) complex/n-Si/AuSb Schottky diode. Current Applied Physics, 10(1), 337–341.

Altindal, Ş, Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., and Tataroglu, A., 2003. The role of interface states and series resistance on the I-V and C-V characteristics in Al/SnO2/p-Si Schottky diodes. In Solid-State Electronics, 47, 1847–1854.

Antohe, S., Tomozeiu, N., and Gogonea, S., 1991. Properties of the Organic-on-Inorganic Semiconductor Barrier Contact Diodes In/PTCDI/p-Si and Ag/CuPc/p-Si. Physica Status Solidi (a), 125(1), 397–408.

Attia, A. A., Saadeldin, M. M., Soliman, H. S., Gadallah, A.-S., and Sawaby, K., 2016. Structural and optical properties of p-quaterphenyl thin films and application in organic/inorganic photodiodes. Optical Materials, 62, 711–716.

Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Türüt, A., and Onganer, Y., 2009. Series resistance determination of Au/Polypyrrole/p-Si/Al structure by current-voltage measurements at low temperatures. Materials Science and Engineering C, 29(4), 1486–1490.

Ayyildiz, E., Cetin, H., and Horváth, Z. J., 2005. Temperature dependent electrical characteristics of Sn/p-Si Schottky diodes. Applied Surface Science, 252(4), 1153–1158.

Bohlin, K. E., 1986. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. Journal of Applied Physics, 60(3), 1223–1224.

Bolognesi, A., Di Carlo, A., Lugli, P., Kampen, T., and Zahn, D. R. T., 2003. Experimental investigation and simulation of hybrid organic/inorganic Schottky diodes. Journal of Physics Condensed Matter, 15(38), s2719.

Chand, S., and Kumar, J., 1995. Current-voltage characteristics and barrier parameters of Pd2Si/p-Si(111) Schottky diodes in a wide temperature range. Semiconductor Science and Technology, 10(12), 1680–1688.

Chand, S., and Kumar, J., 1996. Current transport in Pd2Si/n-Si(100) Schottky barrier diodes at low temperatures. Applied Physics a-Materials Science and Processing, 63(2), 171–178.

Dobročka, E., and Osvald, J., 1994. Influence of barrier height distribution on the parameters of Schottky diodes. Applied Physics Letters, 65(5), 575–577.

Güllü, Ö. and Türüt, A., 2008. Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 92(10), 1205–1210.

Güllü, Ö., Çankaya, M., Bariş, Ö., Biber, M., Özdemir, H., Güllüce, M., and Türüt, A., 2008. DNA-based organic-on-inorganic semiconductor Schottky structures. Applied Surface Science, 254(16), 5175–5180.

Gümüs, A., Türüt, A., and Yalçin, N., 2002. Temperature dependent barrier characteristics of CrNiCo alloy Schottky contacts on n-type molecular-beam epitaxy GaAs. Journal of Applied Physics, 91(1), 245–250.

Gunduz, B., Yahia, I. S., and Yakuphanoglu, F., 2012. Electrical and photoconductivity properties of p-Si/P3HT/Al and p-Si/P3HT:MEH-PPV/Al organic devices: Comparison study. In Microelectronic Engineering (Vol. 98, pp. 41–57).

Gupta, R. K., Ghosh, K., and Kahol, P. K., 2009. Fabrication and electrical characterization of Schottky diode based on 2-amino-4, 5-imidazoledicarbonitrile (AIDCN). Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures, 41(10), 1832–1834.

Hackam, R., Harrop, P., 1972. Electrical properties of nickel-low-doped n-type gallium arsenide Schottky-barrier diodes. IEEE Transactions on Electron Devices 19(12), 1231 – 1238.

Hardikar, S., Hudait, M. K., Modak, P., Krupanidhi, S. B., and Padha, N., 1999. Anomalous current transport in Au/low-doped n-GaAs Schottky barrier diodes at low temperatures. Applied Physics A: Materials Science and Processing, 68(1), 49–55.

Horváth, Z. J., 1988. Domination of the thermionic-field emission in the reverse I-V characteristics of n-type GaAs Schottky contacts. Journal of Applied Physics, 64(12), 6780–6784.

Horváth, Z. J., 1992. A New Approach to Temperature Dependent Ideality Factors in Schottky Contacts. MRS Proceedings, 260.

Huang, W. C., Lin, T. C., Horng, C. T., and Chen, C. C., 2013. Barrier heights engineering of Al/p-Si Schottky contact by a thin organic interlayer. Microelectronic Engineering, 107, 200–204.

Hudait, M. K., Venkateswarlu, P., and Krupanidhi, S. B., 2001. Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at low temperatures. Solid-State Electronics, 45(1), 133–141.

Ilhan, S., 2008. Preparation and characterization of binuclear CuII complexes derived from diamines and dialdehydes. Journal of Coordination Chemistry, 61(18), 2884–2895.

Jones, F. E., Wood, B. P., Myers, J. a, Daniels-Hafer, C., and Lonergan, M. C., 1999. Current transport and the role of barrier inhomogeneities at the high barrier n-InP vertical bar poly(pyrrole) interface. Journal of Applied Physics, 86(1999), 6431–6441.

Kampen, T. U., Park, S., and Zahn, D. R. T., 2002. Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. In Applied Surface Science (Vol. 190, pp. 461–466).

Kampen, T., Schüller, A., Zahn, D. R. T., Biel, B., Ortega, J., Pérez, R., and Flores, F., 2004. Schottky contacts on passivated GaAs(1 0 0) surfaces: Barrier height and reactivity. In Applied Surface Science (Vol. 234, pp. 341–348).

Karataş, Ş., Altindal, Ş., Türüt, A., and Özmen, A., 2003. Temperature dependence of characteristic parameters of the H-terminated Sn/p-Si(1 0 0) Schottky contacts. Applied Surface Science, 217(1–4), 250–260.

Keffous, A., Siad, M., Mamma, S., Belkacem, Y., Lakhdar Chaouch, C., Menari, H., … Chergui, W., 2003. Effect of series resistance on the performance of high resistivity silicon Schottky diode. Applied Surface Science, 218(1–4), 336–342.

Mönch, W., 1999. Barrier heights of real Schottky contacts explained by metal-induced gap states and lateral inhomogeneities. Journal of Vacuum Science and Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures, 17(4), 1867

Neamen, D.A., 1992. Semiconductors Physics and Devices, R. R. Donnelley and Sons Company, Sydney, s326-360.

Norde, H., 1979. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. Journal of Applied Physics, 50(7), 5052–5053

Osvald, J., 2003. New aspects of the temperature dependence of the current in inhomogeneous Schottky diodes. Semiconductor Science and Technology, 18 L24.

Osvald, J., and Horváth, Z., 2004. Theoretical study of the temperature dependence of electrical characteristics of Schottky diodes with an inverse near-surface layer. Applied Surface Science, 234(1–4), 349–354.

Padovani, F. A., and Sumner, G. G., 1965. Experimental study of gold-gallium arsenide Schottky barriers. Journal of Applied Physics, 36(12), 3744–3747.

Rajesh, K. R., and Menon, C. S., 2007. Study on the device characteristics of FePc and FePcCl organic thin film Schottky diodes: Influence of oxygen and post deposition annealing. Journal of Non-Crystalline Solids, 353(4), 398–404.

Riedo, E., Chevrier, J., Comin, F., and Brune, H., 2001. Nanotribology of carbon based thin films: The influence of film structure and surface morphology. Surface Science, 477(1), 25–34.

Rhoderick, E.H., Williams, R.H., 1988. Metal–Semiconductor Contacts, 2nd ed. Clarendon Press, Oxford, s45-50.

Ru, G. P., Van Meirhaeghe, R. L., Forment, S., Jiang, Y. L., Qu, X. P., Zhu, S., and Li, B. Z., 2005. Voltage dependence of effective barrier height reduction in inhomogeneous Schottky diodes. Solid-State Electronics, 49(4), 606–611

Ruzgar, S., Caglar, Y., Ilican, S., and Caglar, M., 2017. Modification of gate dielectric on the performance of copper (II) phthalocyanine based on organic field effect transistors. Optik, 130.

Sahin, C., Oner, I., and Varlikli, C., 2014. Structural and optical properties of new yellow emitting iridium(III) complexes and their application as an active layer component in white organic light-emitting diodes. RSC Adv., 4(87), 46831–46839.

Shirota, Y., 2000. Organic materials for electronic and optoelectronic devices. Journal of Materials Chemistry, 10, 1–25.

Song, Y. P., Van Meirhaeghe, R. L., Laflère, W. H., and Cardon, F., 1986. On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers. Solid State Electronics, 29(6), 633–638.

Sullivan, J. P., Tung, R. T., Pinto, M. R., and Graham, W. R., 1991. Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers: A numerical study. Journal of Applied Physics, 70(12), 7403–7424.

Sze, S.M.,1981. Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed. Wiley, New York, s134-191.

Tang, C. W., 1986. Two-layer organic photovoltaic cell. Applied Physics Letters, 48(2), 183–185.

Temirci, C., Gülcan, M., Goksen, K., and Sönmez, M., 2011. Metal/semiconductor contact properties of Al/Co(II)complex compounds. Microelectronic Engineering, 88(1), 41–45.

Tung, R. T., 1992. Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General theory. Physical Review B, 45(23), 13509–13523.

Vanalme, G. M., Goubertt, L., Van Meirhaeghe, R. L., Cardon, F., and Van Daele, P., 1999. Ballistic electron emission microscopy study of barrier height inhomogeneities introduced in Au/III-V semiconductor Schottky barrier contacts by chemical pretreatments. Semiconductor Science and Technology, 14(9), 871–877.

Vearey-Roberts, A. R., and Evans, D. A., 2005. Modification of GaAs Schottky diodes by thin organic interlayers. Applied Physics Letters, 86(7), 1–3.

Werner, J. H., and Güttler, H. H., 1991. Barrier inhomogeneities at Schottky contacts. Journal of Applied Physics, 69(3), 1522–1533.

Werner, J. H., and Güttler, H. H., 1993. Temperature dependence of Schottky barrier heights on silicon. Journal of Applied Physics, 73(3), 1315–1319.

Zahn, D. R. T., Kampen, T. U., and Méndez, H., 2003. Transport gap of organic semiconductors in organic modified Schottky contacts. In Applied Surface Science (Vol. 212–213, pp. 423–427).

Zhong, C., Wu, Q., Guo, R., and Zhang, H., 2008. Synthesis and luminescence properties of polymeric complexes of Cu(II), Zn(II) and Al(III) with functionalized polybenzimidazole containing 8-hydroxyquinoline side group. Optical Materials, 30(6), 870–875.