

## LIEN-SO-NICOLET YÖNTEMİYLE ANTİMON KATKILI TiO<sub>2</sub>/n-Si METAL-YALITKAN-YARIİLETKEN DİYODUN SERİ DİRENÇ DEĞERİNİN BELİRLENMESİ

Savaş SÖNMEZOĞLU, Seçkin AKIN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 70100,  
KARAMAN

E-posta : svssonmezoglu@kmu.edu.tr, seckinakin@kmu.edu.tr

### ÖZET

*Bu çalışmada, sol-jel daldırma ile kaplama yöntemiyle antimon katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diyot oluşturulmuş ve yapının idealite faktörü (n), engel yüksekliği ( $\phi_{b0}$ ) ve seri direnç değerleri (R) standart I-V karakteristiği ve Lien-So-Nicolet metodu ile analiz edilmiştir. Her iki yöntemden de elde edilen idealite faktörü ve seri direnç değerlerinin birbiriyle uyumu karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. I-V karakteristiklerinden hesaplanan seri direnç değerinin, Lien-So-Nicolet metodundan elde edilen değere göre çok büyük olduğu görülmüştür. Bu durum, I-V karakteristikleri diyotun ileri beslemede lineer olmayan bölgelerinde geçerli olurken, Lien-So-Nicolet metodunun ileri beslemin tüm bölgelerinde geçerli olmasına atfedilebilir.*

**Anahtar Kelimeler:** Sb-katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS yapı, I-V karakteristiği, Lien-So-Nicolet metodu, seri direnç, idealite faktörü

## THE DETERMINATION OF SERIES RESISTANCE VALUE OF METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR DIODE BASED ON ANTIMONY-DOPED TiO<sub>2</sub>/n-Si BY LIEN-SO-NICOLET METHOD

### ABSTRACT

*In this study, antimony-doped TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diode has been fabricated by sol-gel dip coating technique and the ideality factor (n), barrier height ( $\phi_{b0}$ ) and series resistance (R) values of the structure have been analysed by standart I-V characteristics and Lien-So-Nicolet method. The ideality factor and series*

resistance values obtained from both methods were compared and discussed in accordance with each other. It is seen that the value of series resistance obtained from the I-V characteristics is much bigger than the value obtained from the Lien-So-Nicolet method. This situation can be attributed that Lien-So-Nicolet method is valid for the full forward bias while I-V characteristics are valid for the non-linear region of the forward bias.

**Key Words:** Sb-doped Au/TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS structure, I-V characteristics, Lien-So-Nicolet's method, series resistance, ideality factor

## 1. GİRİŞ

Metal ile yarıiletken tabakalar arasına, ince yalıtkan bir tabakanın doğal ya da yapay olarak yerleştirilmesiyle elde edilen metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) diyotlar büyük bir hızla gelişmekte olan mikroelektronik aygıt teknolojisinde mikro-devre elemanı olarak oldukça geniş bir yer tutmaktadır. MIS diyotlar entegre devrelerde [1], anahtar uygulamalarında [2], metal-yalıtkan-yarıiletken alan etkili transistörlerde (MISFET) [3], ışık ve ultraviyole dedektörlerinde [4], güneş pillerinde [5] sıkça kullanılmaktadır. Bu yapılardan kullanılacak amaca göre en verimli şekilde, yüksek performansla yararlanabilmek ancak diyot parametrelerinin iyi belirlenmesiyle mümkündür. MIS diyotlarda yalıtkan tabaka ve seri direnç gibi parametreler diyot performansını önemli ölçüde etkilemekte, diyotun ideal davranışından sapmasına sebep olmaktadır [6-10]. Bu etkiye sebep olan seri direnç,  $\ln(I)$ - $V$  grafiği yardımıyla büyük gerilim değerleri için hesaplanabilir. Ancak seri direnç değeri çok büyükse, idealite faktörü ( $n$ ), bariyer yüksekliği ( $\phi_{b0}$ ), seri direnç ( $R$ ) gibi temel karakteristik parametreler sıcaklık ve akıma bağlı olduklarından dolayı elde edilen değerlerde yanlışlıklar olabilmektedir. Aygıt teknolojisinde geniş bir yer bulan MIS yapıların giderek daha büyük önem kazanmasıyla birlikte bu yapılarla ilgili çalışmalar ve araştırmalar da hız kazanmıştır. Son zamanlarda yüksek seri dirence sahip MIS yapılarda seri direnç hesaplamaları için modern yöntemler geliştirilmiştir [11-16]. MIS diyotlarda seri direnç etkisini ilk defa göz önünde bulunduran Norde tarafından ideal bir diyot ( $n=1$  durumu) için seri direnç ve engel yüksekliğini veren  $F(V)$  fonksiyonu tanımlanmıştır [11]. Bu yöntem engel yüksekliği ve seri direncin sıcaklıkla değişimi söz konusu olmayıp sadece bir sıcaklık değerindeki akım-voltaj ( $I$ - $V$ ) eğrisi ile hesaplama yapılabilmesi sebebiyle büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Daha sonra Lien ve ark. [12], ideal olmayan diyotlar için, sabit  $a$  değerlerine bağlı olarak farklı minimum noktalardan geçen Norde benzeri bir  $F_a(V)$  fonksiyonu tanımlamış ve bu modelde, keyfi  $a$  değerleri için bulunan minimum noktalar yardımıyla çizilen  $I(a)-a/\beta$  grafiğinden seri direnç ve idealite faktörünü hesaplamıştır. Lien'den sonra yine Norde metodunu geliştirerek idealite faktörünün 1'den büyük olduğu ( $1 < n < 2$ ) durumlarda da kullanılmasına ve  $n$ ,  $R$  ve  $\phi_{b0}$  değerlerinin hesaplanabilmesine imkan sunan Sato ve Yasamura [13] olmuştur. Hem ideal hem de ideal olmayan durumların dikkate alındığı bu yöntem  $R$  ve  $\phi_{b0}$ 'nin sıcaklıkla değiştiği durumlarda uygulanabilir olmasından dolayı en az iki farklı sıcaklıkta ölçülen  $I-V$  karakteristiklerine ihtiyaç duyar. Benzer bir yöntem Mc Lean tarafından da belirtilmiştir [14]. Cibils ve Buitrago da idealite faktörü ve seri direnç değerini bulabilmek için,  $F(V) = V - V_a \ln(I)$  şeklinde bir fonksiyonla yeni bir yaklaşımda bulunmuştur. Bu yaklaşım  $V_a$  geriliminin farklı değerlerinde fonksiyonun minimum noktalarının bulunmasına dayanmaktadır [15]. Sonraki yıllarda da Bohlin [16] MIS engel diyotunun  $I-V$  ölçümünden elde edilen  $R$ ,  $\phi_{b0}$  ve  $n$  değerlerinin belirlenmesini mümkün kılan keyfi sabitleri için farklı minimum değerlerden geçen Lien fonksiyonuna benzer bir  $F(V, \gamma)$  fonksiyonu tanımlamış böylece engel yüksekliği ve seri direnç parametrelerini iki farklı  $\gamma$  sabitinin değerlerine bağlı olarak hesaplamıştır. MIS diyotlarda seri direnç değerinin elde edilebilmesi ve diyot parametreleri üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan bu çalışmalar genel olarak Norde yönteminden faydalanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle ileri beslem  $I-V$  karakteristiklerinden seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği parametreleri hesaplanabilmektedir. Norde metodunda ve bu metodun modifiye edildiği diğer metotlar arasında,  $R$  değerinin hesaplanmasında lineer bir dönüşüm kullanılabilmesi, sonuçların doğruluğunu göstermek için kullanılacak çok sayıda veri noktası olması, sabit  $R$  varsayımının geçerliliğinin  $\ln(I)-V_D$  eğrisinin lineerliğinden kontrol edilebilmesi ve idealite faktörünün birden büyük olduğu durumlarda da uygulanabilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı Lien-So-Nicolet metodu [12] ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, ilk defa antimon katkılı  $TiO_2$  yalıtkan arayüzey tabakası kullanılarak Au/Sb katkılı  $TiO_2/n-Si$  MIS diyotu oluşturulmuş ve bu diyotun idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri  $I-V$  karakteristiği ve Lien-So-Nicolet metodu ile analiz edilmiştir.

## 2. DENEYSEL KISIM

### 2.1. Antimon Katkılı TiO<sub>2</sub>'in Sentezlenmesi

TiO<sub>2</sub> çözeltisi hazırlamak için öncelikle 25 mL etanol [C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, 99.9%, Merck] içerisine 2.4 mL titanyum tetraisopropoxide [Ti(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>, ex. Ti ≥ 98%, Merck] eklendi ve çözelti manyetik karıştırıcıda 1 saat kadar karıştırılmıştır. Daha sonra, çözeltiye 5 mL glasiyel asetik asit [C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>, 99.9%, Merck], 1.5 mL trietilamin [(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>N, 99%, Merck] ve 25 mL etanol eklenmiştir. Bu işlemten sonra, çözelti manyetik karıştırıcıda bir saat daha karıştırılmıştır. Sonra, 25 mL etanole, 0.072 gr antimon triklorür (SbCl<sub>3</sub>, ≥99.0%, Merck) eklenmiş ve çözelti manyetik karıştırıcıda 2 saat karıştırılmıştır. Daha sonra, antimon triklorür çözeltisi TiO<sub>2</sub> çözeltisine eklendi ve ilaveten 2 saat daha manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Son olarak, Sb katkılı TiO<sub>2</sub> (Sb/Ti = 1/10) çözeltisi kaplama öncesinde bir gün kadar oda sıcaklığında bırakılmıştır.

### 2.2. Sb-katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS Diyotun Fabrikasyonu

Bu çalışmada, (100) yönelime sahip, 400 µm kalınlıkta ve 1-10 Ωcm özdirençli n-tipi silisyum (Si) yarıiletken alttaş kullanılmıştır. Si alttaş RCA temizleme prosedürüne göre temizlenmiştir. RCA temizleme prosedürü sırasıyla yapılan üç ana adımı kapsamaktadır. 1) Organik malzemenin temizlenmesi, çözülmeyen organik atıkların NH<sub>4</sub>OH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O çözeltisinde 10 dakika kaynatılarak uzaklaştırılmasını içermektedir. 2) Oksit tabakanın kaldırılması, 1. adımın sonucu olarak ince silikon dioksit (SiO<sub>2</sub> ≈ 10 Å<sup>0</sup>) tabakada biriken metalik atıkların uzaklaştırılmasını içermektedir. Alttaşın ön yüzeyindeki oksit, HF:H<sub>2</sub>O (1:10) çözeltisinde yok edilmiş ve son olarak taban deiyonize su içinde 30 saniye durulanmıştır. 3) İyonik temizleme işlemi ise, HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O [17] çözeltisi içinde 10 dakika kaynamayı kapsamaktadır. Daha sonra Si kristali bir süre N<sub>2</sub> gazı ortamında kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemini takiben, n-tipi Si kristalinin arka yüzeyine tungsten filamen kullanılarak, 10<sup>-7</sup> Torr basınç altında, yüksek saflıkta altın (99.9%) termal olarak buharlaştırılmıştır. Düşük dirençli bir omik kontak elde etmek için, Si kristali 580°C, N<sub>2</sub> gazı ortamında 3 dakika kadar kurumaya bırakılmıştır. Daldırma işlemi el yapımı motorize bir birim kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her örnek, çözelti içerisine beş defa daldırılmıştır.

Her daldırma işleminden sonra kaplanan n-tipi silisyum kristalin yüzeyinde oluşan alaşımlar etanol ile temizlenmiştir. Her daldırma işleminden sonra, örnekler 5 dakika boyunca 300 °C'de ara tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Sb katkılı TiO<sub>2</sub> ile kaplanmış n-tipi Si'nin ön yüzeyine, doğrultucu bir kontak elde etmek için, yüksek bir vakum ve 10<sup>-7</sup> Torr basınç altında, gölgeli bir maske kullanılarak yüksek saflıkta altın tabakası (99.9%) termal olarak buharlaştırılmıştır. Doğrultucu nokta kontaklar yaklaşık 1.0 mm çapında dairesel bir geometriye sahiptir (diyet alanı =7.85x10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup>). Böylece Sb katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diyet elde edilmiş ve bu diyetin akım-voltaj (*I-V*) karakteristikleri Keithley 4200 - SCS yarıiletken karakterizasyon sistemi ile incelenmiştir.

### 3. TARTIŞMA

MIS yapılarda termoyonik emisyon (TE) teorisine göre doğru beslemde akım denklemi ( $\beta V_D \gg 1$  için) [12],

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV_D}{nkT} - 1\right) \approx I_s \exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) \quad (1)$$

ile verilir. Burada *n* idealite faktörü, *V<sub>D</sub>* (*V<sub>D</sub>*=*V-IR*) diyet üzerinden geçen gerilim,  $\beta = q/kT$  ve *I<sub>s</sub>* ln(*I*) - *V* grafiğinin lineer kısmının akım eksenini sıfır voltajda kestiği noktadan bulunan doyum akımı olup,

$$I_s = AA^*T^2 \exp(-\beta\phi_{b0}) = I_0 \exp(-\beta\phi_{b0}) \quad (2)$$

ile tanımlanır. Burada,  $\phi_{b0}$  engel yüksekliği, *A* etkin diyet alanı ve *A\** etkin Richardson sabiti olup *n*-tipi Si için 112 A cm<sup>-2</sup> K<sup>-2</sup> [18] değerine sahiptir. Uygulanan gerilim *V'* nin *IR* kadarlık miktarı seri direnç üzerine düşeceği için *V'* nin *V<sub>D</sub>'* den *IR* kadarlık bir değer ile farklı olduğu farzedilir, burada *R* diyetin seri direnci olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 1'de eşitliğin her iki tarafının da logaritması alınıp yeniden yazıldığında,

$$\ln I = \ln I_s + \left(\frac{qV_D}{nkT}\right) \quad (3)$$

ifadesi elde edilir. Buradan idealite faktörünün,

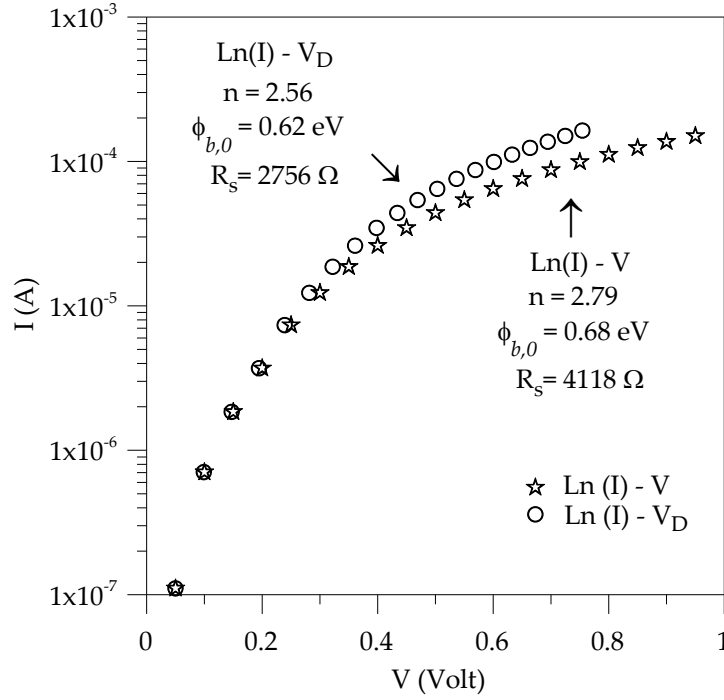
$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (4)$$

olduğu görülür. Doğru beslem  $\ln(I)$ - $V$  grafiğinin lineer bölgesinde eğrinin eğiminden bulunan idealite faktörü, diyotun ideallik ölçüsünü gösteren bir sabit olup, ideal bir diyot için  $n=1$  değerine sahiptir. Eşitlik (4), Eşitlik 1'de yazılırsa engel yüksekliği ifadesi için,

$$q\phi_{b0} = kT \ln \left( \frac{A.A^*T^2}{I_0} \right) \quad (5)$$

ifadesi elde edilir.

Seri direnç değerini ve idealite faktörünü belirlemek için  $\ln(I)$ - $V$  grafiği iyi belirlenmiş bir yöntem olup voltajın  $kT/q$  ' dan büyük ve  $R$ 'nin küçük değerlerinde, bu grafik bir doğru vermektedir. Bu doğrunun eğimi ve voltaj eksenini  $V=0$ ' da kestiği nokta engel yüksekliğini ve idealite faktörünü hesaplamak için kullanılmaktadır. Şekil 1' de doğrultucu karakteristik gösteren Sb katkılı  $\text{TiO}_2/\text{n-Si}$  MIS diyot için yarı logaritmik  $\ln(I)$ - $V$  grafiği verilmiştir. Eşitlik 4 ve 5 yardımıyla elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri sırasıyla 2.79 ve 0.68 eV'dur. Ayrıca  $\ln(I)$ - $V$  grafiğinden diyotun seri direnç değeri de  $4118 \Omega$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Sb katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diyotun oda sıcaklığında akım-voltaj karakteristiği.

Şekil 1’de görüldüğü gibi seri direnç etkisi göz önünde bulundurularak çizilen  $\ln(I)-V_D$  grafiğinden elde edilen idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri sırasıyla; 2.56, 0.62 eV ve 2756  $\Omega$ ’dur. Yapının ideallikten saptığını gösteren, idealite faktörünün birden büyük çıkmasının sebepleri bariyer yüksekliğindeki homojensizlik, seri direnç etkisi, yalıtkan tabaka veya arayüzey durumları olabilir [18-20]. Şekil 1’de de açıkça görüldüğü gibi, seri direnç etkisinin hesaba katılması ile idealite faktörü ve engel yüksekliği gibi elektriksel parametreler değişmektedir. Ayrıca, seri direnç etkisinin yüksek voltajlarda etkili olduğu da açıkça görülmektedir.

Seri direnç değerinin artması,  $\ln(I)-V$  grafiğinde lineer bölge idealite faktörü ve engel yüksekliğinin doğru olmayan ölçümlere kaymasına sebep olmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, Norde [11] fonksiyonun minimumunu bularak  $n=1$  ile bir diyotun durumu için modifiye edilmiş bir yöntem geliştirmiştir.

$$F(V) = 0.5V - \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{I(V)}{I_0} \right) \quad (6)$$

Norde metodunun dezavantajları: 1)  $n=1$  olarak kabul edilmesi ki bu gerçek bir diyot için her zaman doğru değildir, 2) engel yüksekliğini hesaplamak için  $F(V)$ 'nin minimumunun yakınındaki tek bir veri noktası vardır şeklinde sıralanabilir. Bu iki durum sonuçlardaki istatistiksel hataların artmasına sebep olmaktadır. Yapının arayüzey durumlarının varlığından ve imaj kuvvetinin azalmasından etkilenmesi, katkılama miktarına bağlı olarak TE' den başka bir taşıyıcı iletiminin de baskın olabilmesi ve bariyer yüksekliğindeki homojensizlik gibi çeşitli sebeplerden dolayı  $n=1$  varsayımı her zaman uygun olmayabilir.

Norde yönteminden yola çıkılarak idealite faktörü 1'den büyük olan diyotlar için de kullanılabilir olan, seri direnç değerini hesaplamak ve bu  $R$  değerini kullanarak idealite faktörünü elde etmek için Lien ve ark. [12] tarafından bir yöntem öne sürülmüştür.

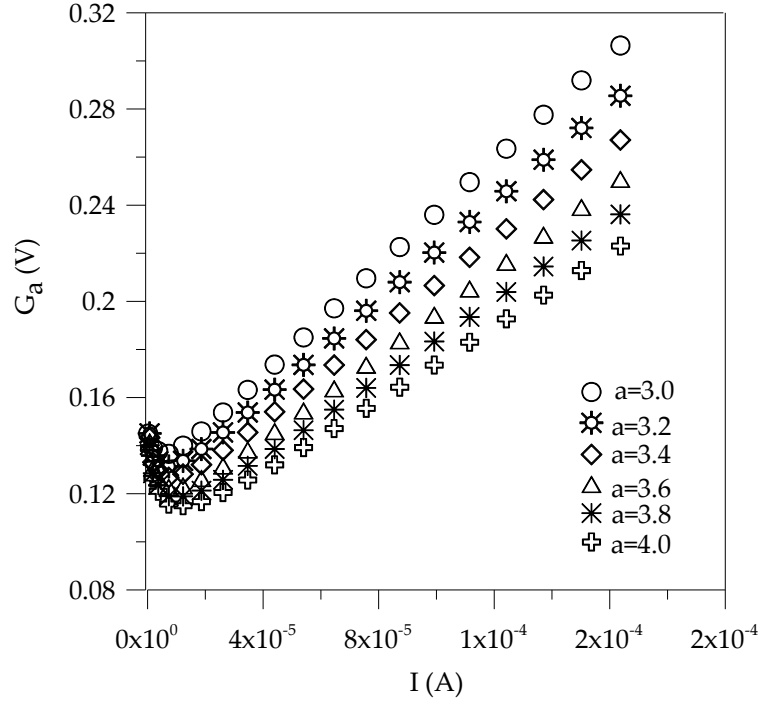
Bu yöntem,  $I'$  ya karşı ( $\beta V_D \gg 1$  için) birkaç Norde tipi fonksiyonun çizilmesi ve farklı  $a$  değerleri için verilen bölgede ( $n < a < \infty$ ) her  $F_a'$  nin minimum noktalarının bulunmasıyla seri direnç değerinin elde edilmesine dayanmaktadır.

$$F_a(V) = V/a - \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{I(V)}{I_0} \right) \quad (7)$$

$V'$  nin  $I'$  nin monoton bir fonksiyonu olmasından dolayı  $F_a$ ,  $I'$  nin bir fonksiyonu olarak görülebilir, yani  $G_a(I) = F_a(V)$  yazılabilir.  $G_a(I)$  yerine,  $F_a(V)$  yi daha çok göz önünde bulundurmak daha uygundur, çünkü Eşitlik 9,  $V'$  yi değil  $I$  değerini içermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi  $G_a(I)$  (her  $a$  değeri için ( $n < a < \infty$ )),  $G_a(I)/dI = 0$  ( $I=I_a$  olduğu farzedilerek) olduğunda görülen bir minimuma sahiptir. Örneğin,

$$\frac{dG_a(I_a)}{dI_a} = \frac{1}{a} \frac{dV_a}{dI_a} - \frac{1}{\beta I_a} = 0 \quad (8)$$



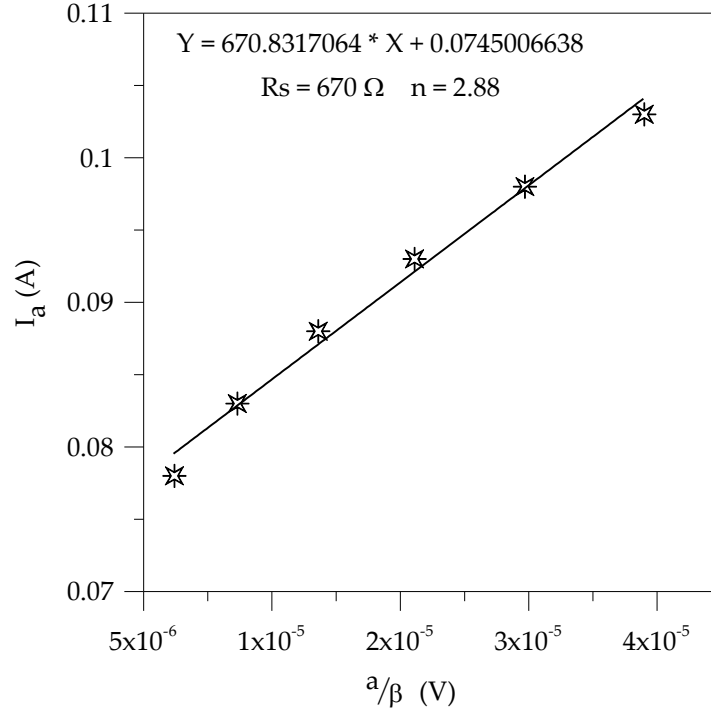


Şekil 2. Sb katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diyotun farklı  $a$  değerleri için  $G_a$ - $I$  grafiği

Eşitlik 1 ve 8 birlikte yazıldığında,

$$I_a = \frac{1}{R\beta} a - \frac{n}{R\beta} \quad (9)$$

olur. Şekil 2'de farklı  $a$  değerleri için çizilen  $G_a$ - $I$  grafiğinin minimumundan elde edilen  $I_a$  değerleriyle Şekil 3'deki  $I_a$ - $a/\beta$  grafiği çizilir. Eşitlik 9' dan da açıkça görüldüğü gibi  $I_a'$  nun  $a'$  ya karşı grafiği bir doğru vermektedir. Bu doğrunun eğimi  $R$  değerini elde etmek için kullanılmaktadır, ayrıca doğrunun  $y$  eksenini  $I_a=0'$ da kestiği nokta  $n$  değerini vermektedir.



Şekil 3. Sb katkılı  $\text{TiO}_2/\text{n-Si}$  MIS diyotun  $I_a - a/\beta$  eğrisi

Şekil 3'deki grafiğin eğiminden seri direnç değeri, kesim noktasından da idealite faktörü sırasıyla  $670 \Omega$  ve 2.88 olarak elde edilmiştir. Bu modelde  $a$ 'nın birden fazla farklı değerlerinin kullanılmasının avantajı,  $I-V$  karakteristiğinin veri nokta aralığının genişletilerek kullanılmasıdır. Bu grafik aynı zamanda, gerçek bir diyotun, sabit dirençli seri bağlı tamamen üstel bir karakteristik diyot olarak tasarlanabilirliğini test etmektedir.  $I-V$  karakteristiklerinden ve Lien-So-Nicolet metodundan elde edilen idealite faktörü değerlerinin birbiri ile uyum içerisinde olduğu fakat  $I-V$  karakteristiklerinden hesaplanan seri direnç değerinin, Lien-So-Nicolet metodundan elde edilen değere göre çok büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi  $I-V$  karakteristiklerinin diyotun ileri beslemede lineer olmayan bölgelerinde geçerli olurken, Lien-So-Nicolet metodunun ileri beslemin tüm bölgelerinde geçerli olmasından kaynaklanmaktadır. [15,21]

#### 4. SONUÇ

Sonuç olarak, Au/Sb katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS diyotun idealite faktörü ( $n$ ), engel yüksekliği ( $\phi_{b0}$ ) ve seri direnç ( $R_s$ ) gibi temel elektriksel parametreleri standart  $I$ - $V$  karakteristiği ve Lien-So-Nicolet yöntemleriyle belirlenmiş ve seri direncin elektriksel özellikler üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Seri direnç etkisi göz önünde bulundurulduğunda elde edilen idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi temel elektriksel parametrelerin hepsinde bir miktar düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle temel karakteristik parametreler hesaplanırken seri direnç etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde, ölçülen ve bu ölçülerden hesaplanan hemen hemen tüm karakteristik parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliği azalmaktadır. Özellikle büyük seri direnç değerlerinde standart  $\ln I$ - $V$  grafiğinin değerlendirilmesi daha karışık bir hal almakta ve ideal durumdan sapmalar göstermektedir. Bundan dolayı, sonuçların doğruluğunu arttıran  $R$  değerini hesaplamak için lineer bir dönüşümün yapılabildiği ve  $n=1$  varsayımının olmadığı Lien-So-Nicolet metodunun kullanılması daha doğru ve güvenilir sonuçlar verebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1] Sönmezoğlu (S)., Ateş Sönmezoğlu (Ö)., Çankaya (G)., Yıldırım (A)., Serin (N)., "Electrical Characteristics of DNA Based Metal-Insulator-Semiconductor Structures", J. Appl. Phys., 107, 124518-6, 2010.
- [2] Dragoman (M)., Cismaru (A)., Hartnagel (H)., Plana (R)., "Reversible Metal-Semiconductor Transitions for Microwave Switching Applications", Appl. Phys. Lett., 88, 073503-3, 2006.
- [3] Sung (K T)., Li (W Q)., Li (S H)., Pang (S W)., Bhattacharya (P K)., "Application of High-Quality SiO<sub>2</sub> Grown by Multipolar ECR Source to Si/SiGe MISFET", Electron. Lett., 29, 277-278, 1993.
- [4] Alfieri (D)., Almaviva (S)., De Sio (A)., Donato (M G)., Faggio (G)., Giannini (A)., Messina (G)., Morgante (S)., Pace (E)., Santangelo (S)., Scuderi (S)., Tripodi (P)., "Single-Crystal Diamond MIS Diode for Deep UV Detection", Radiat Effect Defect Solids, 165, 737 – 745, 2010.

- [5] Wang (Q)., "High-Efficiency Hydrogenated Amorphous/Crystalline Si Heterojunction Solar Cells", *Phil Mag.*, 89, 2587-2598, (2009).
- [6] Sönmezoğlu (S)., Şenkul (S)., Taş (R)., Çankaya (G)., Can (M)., "Electrical Characteristics of an Organic Thin Copolymer/p-Si Schottky Barrier Diode ", *Thin Solid Films*, 518, 4375-4379, 2010.
- [7] Sönmezoğlu (S)., Durmuş (C B)., Taş (R)., Çankaya (G)., Can (M)., "Fabrication and Electrical Characterization of Pyrrole-Aniline Copolymer-Based Schottky Diodes", *Semicond. Sci. Technol.*, 26, 055011-6, 2011.
- [8] Sönmezoğlu (S)., Şenkul (S)., Taş (R)., Çankaya (G)., Can (M)., "Electrical and Interface State Density Properties of Polyaniline-Poly-3-Methyl Thiophene Blend/p-Si Schottky Barrier Diode", *Solid State Sci.*, 12, 706-711, 2010.
- [9] Aubry (V)., Meyer (F)., "Schottky Diodes with High Series Resistance : Limitations of Forward I-V Methods" *J. Appl. Phys.* 76, 7973-7983, 1994.
- [10] Yalçın (N)., "Ag/p-Si Schottky Diyot Yapısının Bazı Parametrelerinin Tayini", *Erc. Üni. Fen. Bil. Derg.*,5, 790-798, 1989.
- [11] Norde (H)., "A Modified Forward I-V Plot for Schottky Diodes With High Series Resistance", *J. Appl. Phys.*, 50, 5052-5053, 1979.
- [12] Lien (C D)., So (F C T)., Nicolet (M A)., "An Improved Forward I-V Method for Nonideal Schottky Diodes with High Series Resistance", *IEEE Trans- Electron Devices*, 31, 1502-1053, 1984.
- [13] Sato (K)., Yasamura (Y)., "Study of Forward I-V Plot for Schottky Diodes with High Series Resistance", *J. Appl. Phys.*, 58, 3655-3657, 1985.
- [14] McLean (A B)., "Limitations to the Norde I-V Plot", *Semicond. Sci. Technol.*, 1, 177-179, 1986.
- [15] Cibils (R M)., Buitrago (R H)., "Forward I-V Plot for Nonideal Schottky Diodes with High SeriesResistance", *J. Appl. Phys.*, 58, 1075-1077, 1985.

- [16] Bohlin (K E)., *"Generalized Norde Plot Including Determination of the Ideality Factor"*, J. Appl. Phys., 60, 1223-1224, 1986.
- [17] Kern (W)., *"Handbook of Semiconductor Cleaning Technology"*, ( Noyes, Park Ridge, NJ), 1993.
- [18] Sze (S M)., *"Physics of Semiconductor Devices"*, Wiley, NewYork, 1981.
- [19] Rhoderick (E H)., Williams (R H)., *"Metal-Semiconductor Contacts"*, Clarendon, Oxford, 1988.
- [20] Kwok (K K)., *"Complete Guide to Semiconductor Devices"*, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [21] Werner (J H)., *"Schottky barrier and p-n junction I/V Plots- Small Signal Evaluation"*, Appl. Phys. A., 47, 291-300, 1988.