


Terbiyum (Tb) Katkılı Arayüzeyin Al/p-Si Schottky Diyotların Elektrik Karakteristikleri Üzerine Etkisi

Ömer Sevgili

Bingol Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bingol, Türkiye

omersevgili06@gmail.com 

Makale gönderme tarihi: 05.01.2021, Makale kabul tarihi: 21.03.2021

Öz

Bu çalışmada Terbiyum katkılı Seryum Magnezyum Alüminat, metal ve yarıiletken kristal arasına bir tabaka olarak döner-kaplama yöntemi kullanılarak oluşturuldu. Arayüzeyle sahip Schottky Diyotun ve arayüzeysiz Schottky Diyotun elektiksel özellikleri ($\pm 2V$) aralığında Akım-Gerilim ölçümleri kullanılarak birbirleriyle karşılaştırıldı. Bu diyotların idealite faktörü, doyma akımı, sıfır beslem engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hem Termiyonik Emisyon metodu hem de Norde Fonksiyonu kullanılarak hesaplandı. Deneysel sonuçlar Terbiyum katkılı Seryum Magnezyum Alüminat arayüzeyine sahip diyotun arayüzeysiz diyot ile karşılaştırıldığında seri direnç, idealite faktörü ve arayüzey durumları bakımından iyileştirdiğini gösterdi. Ayrıca her iki diyot içinde doğru beslemdeki ($V > 0$) akım iletim mekanizması incelendi ve bu bölgede iki diyotunda eğimleri birbirlerinden farklı üç lineer bölgeye sahip olduğu görüldü. Dahası arayüzey durumlarının enerji dağılımı da incelendi ve kullanılan arayüzey tabakasının varlığından dolayı arayüzeysiz Schottky Diyotun arayüzey durumlarına göre azalmasını sağladığı görüldü.

Anahtar kelimeler: Ara yüzey tabakasının etkisi, elektrik karakteristik, terbiyum, seryum magnezyum alüminat

The effect of Terbium (Tb) doped interface on the electrical characteristics of Al /p-Si Schotkky Diodes

Abstract

In this study, Terbium doped Cerium Magnesium Aluminate was fabricated using the spin-coating method as a layer between the semiconductor and metal. The electrical properties of the Schottky Diodes with and without interfacial layer were compared using Current-Voltage measurements in the range of ($\pm 2V$). The ideality factor, saturation current, zero bias barrier height and series resistance values of these diodes were calculated using both the Thermionic Emission method and the Norde Function. The experimental results showed that diode with the Terbium-doped Cerium Magnesium Aluminate interface improved compared to the diode without the interface in terms of series resistance, ideality factor and interface states. In addition, the current transmission mechanism at forward bias ($V > 0$) was examined in both diodes and it was seen that both diodes had three linear regions with different slope. Moreover, the energy distribution of the interface states was also examined and it was seen that Schottky Diode with the interface reduced compared to the diode without the interface in terms of the interface states due to the presence of the interface layer used.

Keywords: The effect of the interface layer, electric characteristic, terbium, cerium magnesium aluminate

GİRİŞ

Nadir Toprak Elementleri (NTE) periyodik tabloda 15 kimyasal elementten özellikle lantanidlerden oluşan bir gruptur. Fakat lantanitlere benzer bir fizyokimyaya sahip olan Skandiyum (Sc) ve İtiryum (Y) da genellikle aynı mineral topluluklarında bulunur ve bunlar da NTE olarak isimlendirilirler. NTE'ler cep telefonu, televizyon, rüzgâr enerji santralleri ve elektrikli araba gibi çeşitli

uygulamalarda önemli bir mineral konumundadır (Lederer ve ark., 2017). Bunlar ayrıca lazerler, süperiletken mıknatıslar ve hibrit otomobillerin pilleri için kritik öneme sahiptir (Mancheri, 2015). Aslında isimlerinin aksine NTE'ler doğada çok nadir bulunmazlar. Örneğin; Seryum (Ce), Bakıra (Cu) benzer bir bolluğa sahiptir ve bolluk bakımından kurşundan (Pb) yaklaşık dört kat daha fazladır

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.854046

(Massari ve Ruberti, 2013). Benzer şekilde Lutesyum da (Lu) Altından (Au) yaklaşık 200 kat daha boldur (Naumov, 2008). Bu şekilde bol bulunmalarına rağmen asıl sorun bunların mutlak konsantrasyonları değil, göreceli konsantrasyonlarıdır. Aslında, bu elementler çok benzer özelliklere sahip olmalarından dolayı basit ekstraksiyon ve ayırma yöntemleri bulmak ve bunları ayırtmak çok zordur (Massari ve Ruberti, 2013). NTE hem stratejik değerlerinden hem de ileri teknoloji uygulamalarında kullanımı bakımından çok önemlidir (Binnemans ve Jones, 2015; Liu ve ark., 2019; Nakamura ve Sato, 2011). 2009 yılında Çin, tüm NTE'lerin %90 üzerinde üretimine sahipti ("URL-1," 2020). 2011 yılına gelindiğinde ise bu oran %90 civarına geriledi (Liang ve Wang, 2014).

Genel olarak NTE'ler atom ve kütle numaralarına göre Hafif Nadir Toprak Elementleri (HNTE), Orta Nadir Toprak Elementleri (ONTE) ve Ağır Nadir Toprak Elementleri (ANTE) olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Kato ve ark., 2011; Liang ve ark., 2014). Lantan (La) ve Seryum (Ce) gibi elementler HNTE grubunda, Evropiyum (Eu) ve Gadolinyum (Gd) gibi elementler ONTE grubunda, Terbiyum (Tb) ve Lutesyum (Lu) gibi elementler ise ANTE grubundadır. NTE'ler arasında Tb başlıca katı hal aydınlatması için fosforlarda ve manyetostriktif malzemelerin ana bileşeni gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Bonificio ve Clarke, 2016; Liu ve ark., 2020). Tb doğada bolluk açısından NTE'ler içerisinde en az bulunanlarından (Chen, 2011).

Metal yarıiletken arasında oluşturulan bir arayüzey tabakası Schottky Diyotlarda (SD) hem performans hem de elektriksel parametrelerin iyileştirilmesi için ideal bir yöntem olarak kullanılabilir. Organik (Kacus ve ark., 2020), ferroelektrik (Pei ve ark., 2020) gibi malzemeler Schottky Diyotlarda (SD) arayüzey tabakası olarak kullanılmıştır. Fakat NTE katkı arayüzey tabakaları kullanımı literatürde sınırlıdır. Bu çalışmada, Terbiyum katkı Seryum Magnezyum Alüminat (TSMA) arayüzey tabakasını metal ile yarıiletken arasına döner kaplama yöntemi ile oluşturularak elde edilen Al/(TSMA)/p-Si SD'nin elektriksel özellikleri hem Termiyonik Emisyon hem de Norde metodu kullanılarak incelenecektir. Ayrıca arayüzey tabakasının (TSMA) Al/p-Si SD'lerin elektriksel özellikleri ve performansı üzerindeki etkisi de incelenecektir.

MATERYAL VE METOT

Terbiyum katkı Seryum Magnezyum Alüminat (TSMA) arayüzey tabakasının Al/p-Si SD'lerin elektriksel özellikleri üzerine etkisini incelemek için aynı yarıiletken kristali kullanılarak Al/p-Si SD ve Al/(TSMA)/p-Si SD fabrikasyonları gerçekleştirildi. Öncelikle Boron katkı p-Si kristali üzerindeki kirliliklerden kurtulmak için ultrasonik banyoda 5'er dakika boyunca aseton, izopropanol ve saf su ile sırasıyla yıkandı. Daha sonra üzerindeki oksit tabakalardan kurtulmak için yarıiletken HF çözeltisinde yıkandı ve tekrar saf su ile iyice durulandı. Durulandıktan hemen sonra kuru azot gazı ile kurutuldu ve hemen termal buharlaştırma sistemine alındı. Burada yaklaşık 10^{-6} Torr basınçta üzerinden akım geçen molibden flama yardımıyla kristalin arka mat yüzeyine yüksek saflıkta (%99.999) Alüminyum (Al) buharlaştırıldı. Düşük dirençli ve yüksek kalitede iyi bir omik kontak elde etmek için arka tarafı kaplı p-Si nitrojen ortamında $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 30 saniye tavlandı. Sistemden alınan kristal, elmas kesici yardımıyla eşit parçalara bölündü.

1 ml kloroform ve toz haldeki 10 mg TSMA karışımı bir santrifüj yardımıyla iyice karıştırıldı ve eşit parçalara ayrılmış bir kristal parçasının üzerine döner-kaplama (spin-coating) yöntemiyle damlatılarak arayüzey tabakası kaplandı. Kristal parçalarından arayüzey kaplı olmayan ve arayüzey kaplı olan parça tekrar termal buharlaştırma sistemine alındı. Burada kristal parçalarının ön yüzeylerine 10^{-6} Torr'da yüksek vakumlu termal buharlaştırma sisteminde bir metal gölge maske aracılığıyla üzerinden akım geçen molibden flama yardımıyla yüksek saflıkta (%99.999) Al buharlaştırıldı ve 1 mm çapında ve 150 nm kalınlığında dairesel doğrultucu kontaklar oluşturuldu. Fabrikasyonu tamamlanan Al/p-Si SD ve Al/(TSMA)/p-Si SD elektriksel ölçümleri Keithley 2400 akım kaynağı kullanılarak gerçekleştirildi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fabrikasyonu gerçekleştirilen arayüzey kaplı Al/(TSMA)/p-Si SD ve arayüzey tabakası olmayan Al/p-Si SD'lerin Akım-Gerilim (ln(A)-V) grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi, her iki diyotta $\pm 2\text{V}$ için iyi bir Doğrultma Oranına ($DO=I_{(+2V)}/I_{(-2V)}$) sahiptir. Ayrıca doğru beslemde her iki diyotta hem arayüzey durumları

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.854046

(N_{ss}) hem de seri direnç (R_s) etkisinden dolayı lineerlikten sapmaktadır. Bir diyot üzerine düşen gerilim ve akım arasındaki ilişki Termiyonik Emisyon (TE) teorisine göre aşağıdaki gibi verilir (Rhoderick ve Williams, 1988; Sze, 1981);

$$I = I_0 \left\{ e^{\frac{q(V-IR_s)}{nkT}} - 1 \right\} \quad (1.a)$$

burada I_0 doyma akımıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır (Yerişkin ve ark., 2017).

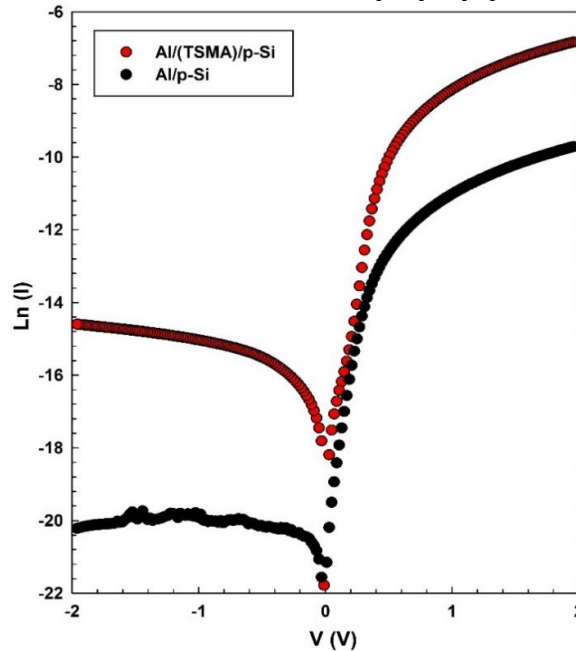
$$I_0 = A A^* T^2 \left\{ e^{\frac{-q\phi_{B0}}{kT}} \right\} \quad (1.b)$$

Burada A , A^* , T , q ve k parametreleri literatürde belirtilmiştir (Reddy ve ark., 2014; Sze, 1981). İdealite faktörü (n) ve sıfır beslem engel yüksekliği (ϕ_{B0}) aşağıdaki gibi tanımlanır (Card ve Rhoderick, 1971; Yerişkin, 2019);

$$n = \frac{q}{kT} \left\{ \frac{dV}{d(\ln(I))} \right\} \quad (1.c)$$

$$\phi_{B0} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{A A^* T^2}{I_0} \right) \quad (1.d)$$

İdealite faktörü (n) ve doyma akımı (I_0) doğru beslemdeki ($V>0$) $\ln(I)$ - V eğrisinin lineer kısmı kullanılarak hesaplanmaktadır. Buna göre; Al/(TSMA)/p-Si SD ve Al/p-Si SD için hesaplanan n , I_0 ve ϕ_{B0} değerleri sırasıyla 1.815, 3.874 nA, 0.715 eV ve 2.545, 5.208 nA ve 0.727 eV olarak elde edilmiştir ve Tablo 1’de TE Teorisi kısmında verilmiştir. İdeal durumda, Schottky diyot yapıları için idealite faktörü birim değer olan 1’e eşittir. Fakat uygulamada bu durum gerçek durumdan çok farklı olur. Çünkü arayüzey tabakasının kalınlığı (δ_i), arayüzey durumları (N_{ss}), metal/yarıiletken arayüzdeki engel homojensizliği, tüketim bölgesi kalınlığı (W_D), verici atomların katkılama oranı ve arayüzey rekombinasyonundan dolayı idealite faktörü birim değerden daha büyük değer alabilir (Badali ve ark., 2020; Altındal ve ark., 2020; Bilkan ve ark., 2019). Ayrıca, Al/(TSMA)/p-Si SD’nin doyma akımı Al/p-Si SD doyma akımı ile karşılaştırıldığında daha büyüktür. Yarıiletken altağa çok sayıda doğal kusur olabilir. Bu kusurlar arayüzey tabakasının da etkisiyle akıma katılabilirler ve doyma akımı artar (Reddy ve ark., 2017). Doyma akımının artması diyotun Şönt Direncinin (R_{sh}) azalmasına sebep olur ve dolayısıyla yapının doğrultma oranı azalır.



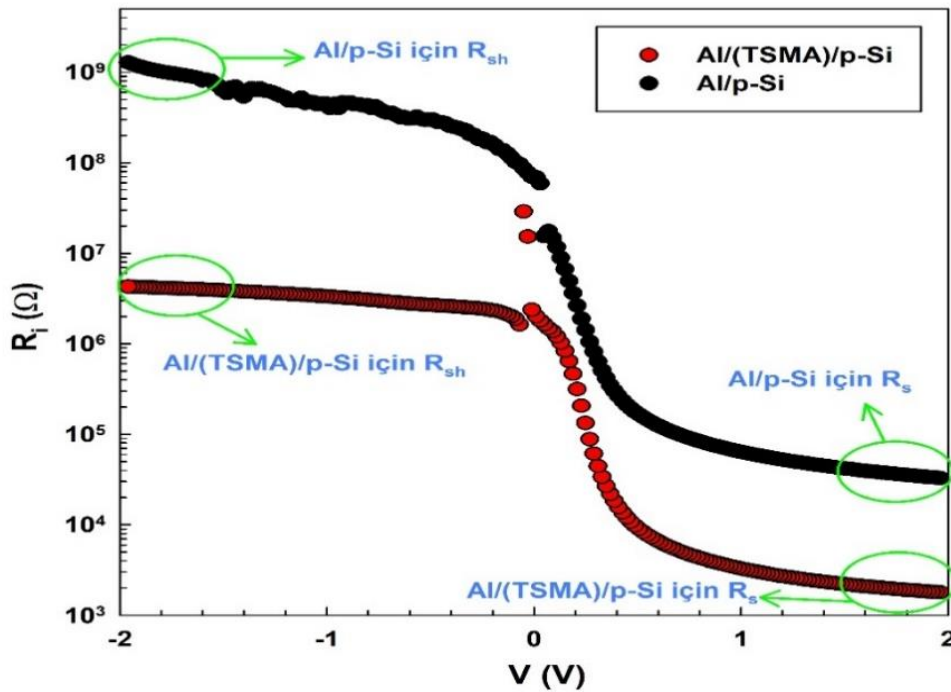
Şekil 1. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD’lerin $\ln(I)$ - V grafiği

Tablo 1. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si için farklı yöntemler kullanılarak elde edilen bazı elektriksel parametreler

Diyot	TE Teorisi			Ohm Kanunu		Norde Fonksiyonu	
	n	I_0 (nA)	ϕ_{B0} (eV)	R_s (k Ω)	R_{sh} (Ω)	ϕ_{B0} (eV)	R_s (k Ω)
Al/p-Si	2.545	5.208	0.727	32.13	1.279×10^9	0.777	51.66
Al/(TSMA)/p-Si	1.815	3.874	0.715	1.797	4.318×10^6	0.524	0.19

Seri direnç (R_s) ve Şönt Direnci (R_{sh}) bir SD'nin kalitesini belirler. R_s değeri ideal bir diyotta sıfıra yakın olması istenirken R_{sh} değerinin maksimum değer alması istenir. Burada R_s ve R_{sh} sırasıyla doğru beslem ($V > 0$) ve ters beslemde ($V < 0$) yeterli derecede yüksek gerilimdeki yapı direnç (R_i) değerine karşılık gelir. R_s kristalin arka yüzeyinde oluşan omik kontak, kristal ile omik kontak arasında büyütme sırasında ya da öncesinde oluşabilecek toz, kir gibi etkenler, metal ile yarıiletken arasında doğal ya da katkılanmış bir arayüzey tabakasının olması ve yarıiletkenin yığın direncinden kaynaklı ortaya çıkar (Nicollian ve Brews, 1982). R_{sh} arayüzey boyunca kaçak akım yollarından ve eklem bölgesindeki bazı kusurlardan kaynaklanabilir (Nicollian ve Brews, 1982). Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD'ler için Ohm Kanunu (Sze, 1981) kullanılarak hesaplanan R_i değeri Şekil 2'de

verilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi her iki diyotun R_i değeri yeterince yüksek gerilim ters beslemde ve yeterince yüksek gerilim doğru beslemde sabit bir değer almaktadır. Bundan dolayı Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD için R_s ve R_{sh} değerleri Ohm Kanunu kullanılarak hesaplanmıştır ve Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi Al/(TSMA)/p-Si SD seri direnci Al/p-Si SD seri direnciyle karşılaştırıldığında kullanılan arayüzey tabakasının etkisinden dolayı yaklaşık 30 kat küçüktür. Her iki diyotun da seri dirençlerinin yüksek olmasının temel nedeni yarıiletken kristal ile omik kontak arasında büyütme sırasında ya da öncesinde oluşabilecek toz, kir gibi etkenler, metal ile yarıiletken arasında doğal (yerli SiO₂ tabakası) ya da katkılanmış bir arayüzey tabakasının (TSMA) olması sonucudur (Nicollian ve Brews, 1982).



Şekil 2. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD'lerin R_i -V grafiği

Bir diyotun R_s değeri ve ϕ_{B0} değeri TE haricinde başka yöntem ve metotlarla da

bulunmaktadır. Bunlardan birisi de Norde Fonksiyonudur (Bohlin, 1986; Norde, 1979). Norde

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.854046

Fonksiyonuna göre R_s ve Φ_{B0} değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilmektedir (Norde, 1979; Sevgili ve ark., 2020; Tecimer ve ark., 2018).

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

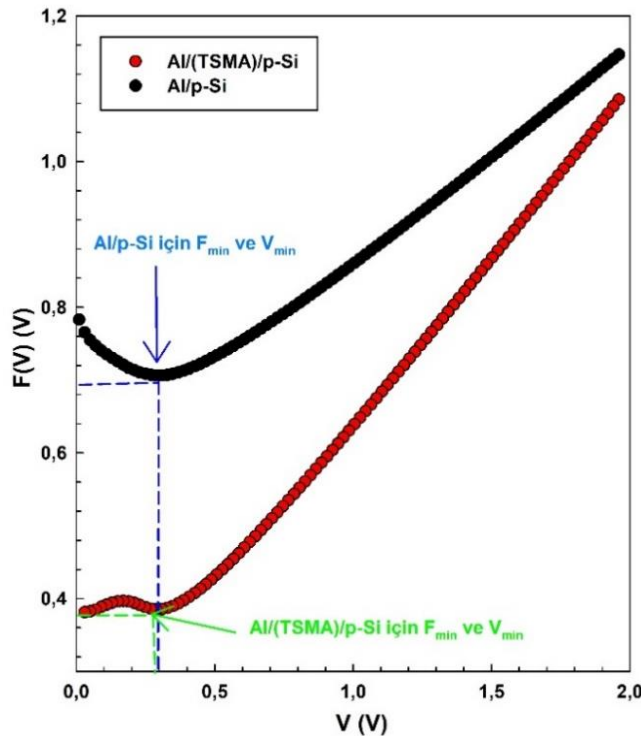
$$\Phi_B = F(V)_{min} + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (2.b)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{qI_{min}} \quad (2.c)$$

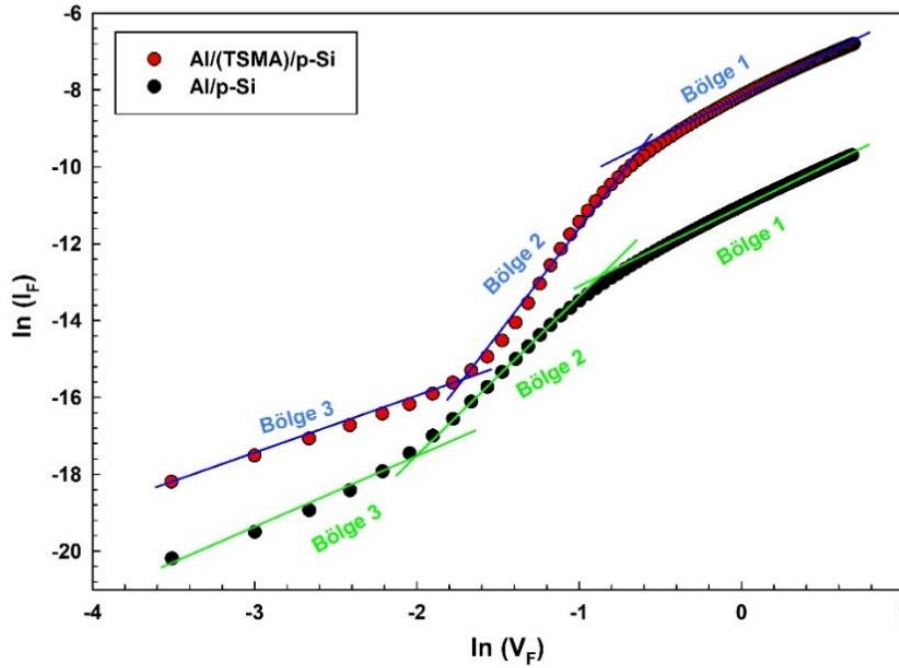
Burada γ TE teorisinde bulunan idealite faktöründen büyük en küçük tamsayı, V_{min} $F(V)$ - V grafiğinde minimum noktaya karşılık gelen gerilim değeri, I_{min} ise V_{min} 'e karşılık gelen minimum akım değeridir. Şekil 3, hem Al/p-Si hem de Al/(TSMA)/p-Si SD için $F(V)$ - V grafiğini göstermektedir. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi her iki diyot için de $F(V)$ minimum noktaları orta doğru beslem bölgesine ($0 < V < 0.5$) karşılık gelmektedir. Eşitlik (2.b) ve (2.c) kullanılarak hesaplanan Φ_{B0} ve R_s değerleri Çizelge

1'de Norde Fonksiyonu sütununda verilmiştir. Hem Norde fonksiyonu hem de TE teorisinden elde edilen değerlerin birbirinden çok az farklı olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni iki yöntemde farklı gerilimlere karşılık gelen bölgeleri kullanmasından kaynaklanmaktadır (Norde, 1979; Sevgili ve ark., 2020).

Bir diyotun doğru beslemdeki akım iletim mekanizmasını (AİM) incelemek için doğru beslemdeki $\ln(I_F)$ - $\ln(V_F)$ grafiği çizilmelidir. Bundan dolayı Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD'ler için çizilen $\ln(I_F)$ - $\ln(V_F)$ grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi hem Al/p-Si hem de Al/(TSMA)/p-Si SD için üç lineer bölge oluşmaktadır ve bunlar sırasıyla Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 olarak isimlendirilmişlerdir. Böyle lineerliğe sahip bir grafikte uygulanan gerilim ve akım arasında I - V_m ilişkisi vardır (Eroğlu ve ark., 2020). Burada m değeri $\ln(I_F)$ - $\ln(V_F)$ grafiğinin eğimidir ve her bir diyotun her bir lineer bölgesi için ayrı ayrı hesaplanır.



Şekil 3. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD'lerin $F(V)$ - V grafiği



Şekil 4. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD' lerin $\ln(I_F)$ - $\ln(V_F)$ grafiği

$m \sim 2$ olduğunda alan-şarjlı-sınırlı-akım (ASSA) davranışı sergilemektedir yani uygulanan akım arttıkça elektrottan filme enjekte olan elektronların artmasını göstermektedir. Enjekte edilen elektron sayısındaki artış, tuzakları doldurmaya ve uzay yüklerinin ortaya çıkmasına neden olur. $m > 2$ olduğu zaman ise güçlü elektron enjeksiyonu nedeniyle, elektronlar tuzaklardan kaçar ve tuzak-şarjlı-sınırlı-akım (TSSA) alan-şarjlı-sınırlı-akımına katkıda bulunur (Bengi ve ark., 2010; Wagle ve Shirodkar, 2000; Tataroğlu ve ark., 2020a). Al/p-Si SD için Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 lineer kısımlarında hesaplanan m değerleri sırasıyla 2.28, 3.60 ve 1.21 olarak, Al/(TSMA)/p-Si SD için ise Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 lineer kısımlarından hesaplanan m değerleri sırasıyla 2.34, 6.38 ve 1.51 olarak bulunmuştur. Bu durumlar gösteriyor ki her iki diyotta Bölge 1'de ASSA baskın durumda iken, Bölge 2'de TSSA ve Bölge 3'te ise omik davranış baskın durumdadır.

Arayüzey durumları (N_{ss}) bir diyotun elektrik ve dielektrik özelliklerini etkiler ve idealden sapmasına neden olur. Yani arayüzey tabakası ve yarıiletken arasında yerleşmiş N_{ss} 'lerin varlığı aygıtın akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümlerine etki eder. N_{ss} enerjiye bağlı değişim

grafiği aşağıdaki eşitlikler ve doğru beslem I-V verileri kullanılarak hesaplanabilir (Card ve Rhoderick, 1971; Tataroğlu ve ark., 2020b).

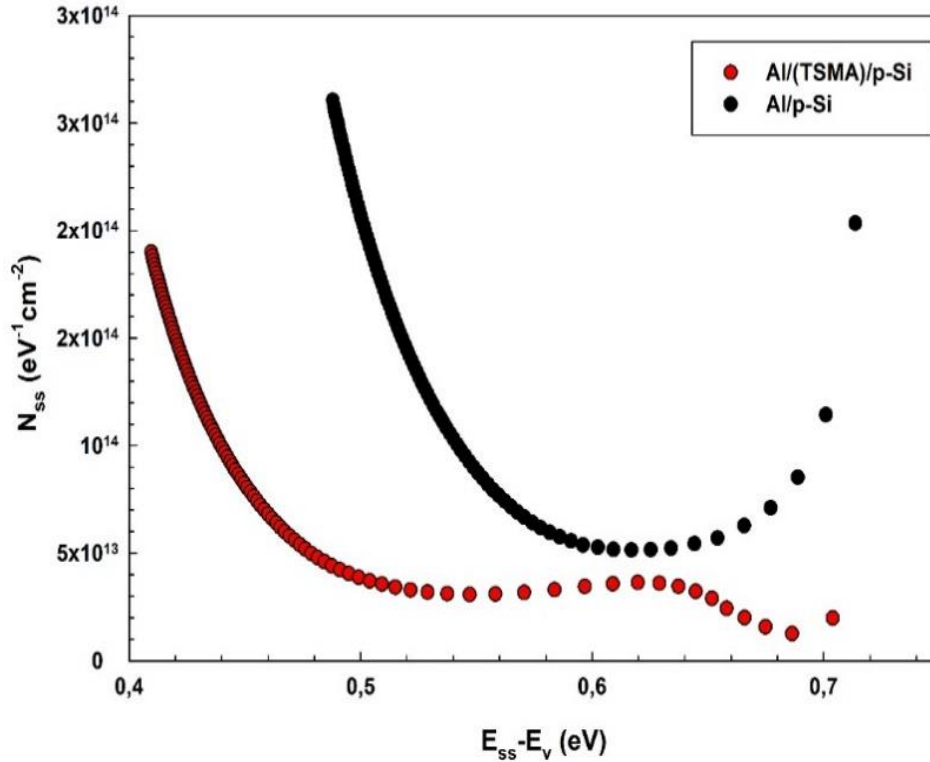
$$n(V) = \frac{q}{kT} \left\{ \frac{V - IR_s}{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)} \right\} \quad (3.a)$$

$$\phi_e = \phi_{B0} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right) (V - IR_s) \quad (3.b)$$

$$E_{ss} - E_V = q(\phi_e - V) \quad (3.c)$$

$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q} \left\{ \frac{\epsilon_i}{\delta_i} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right\} \quad (3.d)$$

Burada ϕ_e efektif engel yüksekliği, E_{ss} arayüzey durum enerjisi, E_V valans bandı enerjisidir. W_D ($= \sqrt{\{2\epsilon_s\epsilon_0(V_0 + kT/q)\}/qN_A}$) tüketim bölgesi kalınlığıdır ve her iki diyot için de 1 MHz' deki ters beslem C^2 -V grafiğinin eğiminden bulunan voltaj eksenini kestiği nokta (V_0) ve katkı atomlarının yoğunluğu (N_A) kullanılarak hesaplanmaktadır. Hem Al/p-Si hem de Al/(TSMA)/p-Si SD hesaplanan W_D değeri sırasıyla 2.14×10^{-4} , 5.11×10^{-5} cm olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD' lerin $N_{ss}-(E_{ss}-E_v)$ grafiği

Ayrıca, her iki diyot için de arayüzey kalınlıkları 1 MHz'deki yalıtkan tabaka kapasitansından ($C_i = \epsilon_i \epsilon_0 A / \delta_i$) hesaplanabilir. Buna göre Al/(TSMA)/p-Si SD için δ_i değeri yaklaşık olarak 19.6 nm ve yerli yalıtkan tabakaya (SiO_2) sahip olan Al/p-Si SD için δ_i değeri yaklaşık olarak 3.5 nm bulunmuştur. Al/p-Si ve Al/(TSMA)/p-Si SD için elde edilen N_{ss} enerji dağılım grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, arayüzey tabakasının etkisinden dolayı sarkan bağlar pasifleşmiştir ve verilen enerji bölgesinde Al/(TSMA)/p-Si SD için N_{ss} değerleri daha düşüktür. Bu arayüzey tabakanın varlığı, taşıyıcıların metal-yarı iletken bağlantısından içeri girmesini engellemekle kalmaz, aynı zamanda yarı iletken yüzeydeki aktif sarkan bağları da etkisiz hale getirir. (Reddy, 2014). Bu sonuç, (TSMA) arayüzey tabakasının varlığının, Al/(TSMA)/p-Si SD' nin N_{ss} değerinin Al/p-Si'e göre azalmasına neden olduğunu ve performansını iyileştirdiğinin bir başka göstergesidir. Arayüzey durumlarının yüksek olmasının temel nedenleri arasında özellikle metal ile yarıiletken arasında oluşabilecek ince bir yerli

oksit tabaka, arayüzey tabakası oluştururken oluşabilecek kirlilikler, tüketim bölgesi kalınlığı ve arayüzey tabakasının yüksek dielektrik değere sahip olması gösterilebilir (Yakuphanoglu, 2008; Taşçıoğlu ve ark., 2012).

Her iki diyot için de elde edilen deneysel değerlerden de anlaşılıyor ki Al/(TSMA)/p-Si SD için hesaplanan seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve arayüzey durumları (N_{ss}) değerleri Al/p-Si SD için hesaplanan değerlerle kıyaslandığında arayüzey tabakası (TSMA) bu parametreleri iyileştirmiştir.

SONUÇ

Terbiyum katkılı Seryum Magnezyum Alüminat (TSMA) arayüzey tabakasının, arayüzeye sahip Al/(TSMA)/p-Si SD ve arayüzeye sahip olmayan Al/p-Si SD hazırlandı ve bunların elektriksel ölçümleri gerçekleştirildi. I-V verileri kullanılarak TE teorisinden n , R_s , I_0 ve Φ_{B0} değerleri, Norde foksitonundan ise R_s ve Φ_B değerleri hesaplandı. Elde edilen değerlerin arasında çok küçük farklar olduğu ve bu farkların kullanılan metodun doğasına yani çalışma gerilim bölgelerinin

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.854046

farklılıklarından kaynaklanmasından dolayı olduğu belirtildi. Al/(TSMA)/p-Si SD için elde edilen N_{ss} değeri Al/p-Si SD için elde edilen N_{ss} değerinden düşük olduğu görüldü. Deneysel olarak elde edilen veriler ışığında anlaşılıyor ki, Terbiyum katkılı Seryum Magnezyum Alüminat idealite faktörünün değerini ideal durum olan 1'e yaklaştırmış, seri direncin ve arayüzey durumlarının iyileştirmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışmanın sonucunda açıkça görülüyor ki NTE'lerden birisi ile katkılanmış olan Terbiyum katkılı Seryum Magnezyum Alüminat (TSMA) arayüzey tabakası içeren aygıtın elektriksel performansında bazı iyileştirmeler gerçekleşmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar, bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemi.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar, bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Altındal, Ş., Farazin, J., Pirgholi-Givi, G., Maril, E., Azizian-Kalandaragh, Y., 2020. The effects of (Bi₂Te₃-Bi₂O₃-TeO₂-PVP) interfacial film on the dielectric and electrical features of Al/p-Si (MS) Schottky barrier diodes (SBDs). *Physica B: Condensed Matter*, 582:411958.
- Badali, Y., Azizian-Kalandaragh, Y., Uslu, İ., Altındal, Ş., 2020. Investigation of the effect of different Bi₂O₃-x: PVA (x= Sm, Sn, Mo) thin insulator interface-layer materials on diode parameters. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31:8033–8042.
- Bengi, A., Aydemir, U., Altındal, Ş., Özen, Y., Özçelik, S., 2010. A comparative study on the electrical characteristics of Au/n-Si structures with anatase and rutile phase TiO₂ interfacial insulator layer. *Journal of Alloys and Compounds*, 505:628–633.
- Bilkan, Ç., Azizian-Kalandaragh, Y., Sevgili, Ö., Altındal, Ş., 2019. Investigation of the efficiencies of the (SnO₂-PVA) interlayer in Au/n-Si (MS) SDs on electrical characteristics at room temperature by

- comparison. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30:20479-20488.
- Binnemans, K., Jones, P. T., 2015. Rare Earths and the Balance Problem. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 1:29–38.
- Bohlin, K. E., 1986. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *Journal of Applied Physics*, 60:1223–1224.
- Bonificio, W. D., Clarke, D. R., 2016. Rare-Earth Separation Using Bacteria. *Environmental Science & Technology Letters*, 3:180–184.
- Card, H. C., Rhoderick, E. H., 1971. Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4:1589–1601.
- Chen, Z., 2011. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. *Journal of Rare Earths*, 29:1–6.
- Eroğlu, A., Demirezen, S., Azizian-Kalandaragh, Y., Altındal, Ş., 2020. A comparative study on the electrical properties and conduction mechanisms of Au/n-Si Schottky diodes with/without an organic interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31:14466–14477.
- Kacus, H., Yilmaz, M., Kocyigit, A., Incekara, U., Aydogan, S., 2020. Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode. *Physica B: Condensed Matter*, 597:412408.
- Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T., Iwamori, H., 2011. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience*, 4:535–539.
- Lederer, F. L., Curtis, S. B., Bachmann, S., Dunbar, W. S., MacGillivray, R. T. A., 2017. Identification of lanthanum-specific peptides for future recycling of rare earth elements from compact fluorescent lamps. *Biotechnology and Bioengineering*, 114:1016–1024.
- Liang, T., Li, K., Wang, L., 2014. State of rare earth elements in different environmental components in mining areas of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186:1499–1513.
- Liu, H., Zhang, Y., Luan, Y., Yu, H., Li, D., 2020. Research Progress in Preparation and Purification of Rare Earth Metals. *Metals*, 10:1–13.

- Liu, Y.-F., Zhang, S.-G., Liu, B., Shen, H.-L., 2019. An alkaline fusion mechanism for aluminate rare earth phosphor: cation–oxoanion synergies theory. *Rare Metals*, 38:299–305.
- Mancheri, N. A., 2015. World trade in rare earths, Chinese export restrictions, and implications. *Resources Policy*, 46:262–271.
- Massari, S., Ruberti, M., 2013. Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. *Resources Policy*, 38:36–43.
- Nakamura, E., Sato, K., 2011. Managing the scarcity of chemical elements. *Nature Materials*, 10:158–161.
- Naumov, A. V., 2008. Review of the world market of rare-earth metals. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 49:14–22.
- Nicollian, E. H., Brews, J. R., 1982. Metal Oxide Semiconductor (MOS) Physics and Technology. New York.
- Norde, H., 1979. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50:5052–5053.
- Pei, W., Chen, J., You, D., Zhang, Q., Li, M., Lu, Y., Fu, Z., He, Y., 2020. Enhanced photovoltaic effect in Ca and Mn co-doped BiFeO₃ epitaxial thin films. *Applied Surface Science*, 530:147194.
- Reddy, M.S.P., Sreenu, K., Reddy, V.R., Park, C., 2017. Modified electrical properties and transport mechanism of Ti/p-InP Schottky structure with a polyvinylpyrrolidone (PVP) polymer interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28:4847-4855.
- Rajagopal Reddy, V., Manjunath, V., Janardhanam, V., Kil, Y. H., Choi, C. J., 2014. Electrical properties and current transport mechanisms of the Au/n-GaN Schottky structure with solution- processed high-k BaTiO₃ interlayer. *Journal of Electronic Materials*, 43: 3499–3507.
- Reddy, V. R., 2014. Electrical properties of Au/polyvinylidene fluoride/n-InP Schottky diode with polymer interlayer. *Thin Solid Films*, 556:300–306.
- Rhoderick, R. H., Williams, E. H., 1988. *Metal-Semiconductor Contacts* (2nd ed.). London: Oxford University Press.
- Sevgili, Ö., Yıldırım, M., Azizian-Kalandaragh, Y., Altındal, Ş., 2020. A comparison study regarding Al/p-Si and Al/(carbon nanofiber–PVP)/p-Si diodes: current/impedance–voltage (I/Z–V) characteristics. *Applied Physics A*, 126:634.
- Sze, S. M., 1981. *Physics of Semiconductor Devices* (2nd ed.). New York: Wiley.
- Taşçıoğlu, İ., Soylu, M., Altındal, Ş., Al-Ghamdi, A.A., Yakuphanoglu, F., 2012. Effects of interface states and series resistance on electrical properties of Al/nanostructure CdO/p-GaAs diode. *Journal of Alloys and Compounds*, 541:462-467.
- Tataroğlu, A., Büyükbaş Ulusan, A., Altındal, Ş., Azizian-Kalandaragh, Y., 2020a. A Compare Study on Electrical Properties of MS Diodes with and Without CoFe₂O₄-PVP Interlayer. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, doi.org/10.1007/s10904-020-01798-x
- Tataroğlu, A., Altındal, Ş., Azizian-Kalandaragh, Y., 2020b. Comparison of electrical properties of MS and MPS type diode in respect of (In₂O₃-PVP) interlayer. *Physica B: Condensed Matter*, 576:411733.
- Tecimer, H.U., Alper, M.A., Tecimer, H., Tan S.O., Altındal, Ş., 2018. Integration of Zn-doped organic polymer nanocomposites between metal semiconductor structure to reveal the electrical qualifications of the diodes, *Polymer Bulletin*, 75:4257–4271.
- URL-1.2020. [https://www.gao.gov/new.items/d10617r.pdf/](https://www.gao.gov/new.items/d10617r.pdf)
Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Sorumluluk Ofisi, Savunma Tedarik Zincirinde Nadir Bulunan Toprak Malzemeler. 10 Aralık 2020.
- Wagle, S., Shirodkar, V., 2000. Space-charge-limited conduction in thin film Al/Sb₂Pb₁Se₇/Al devices. *Brazilian Journal of Physics*, 30: 380–385.
- Yakuphanoglu, F., 2008. Analysis of interface states of metal–insulator–semiconductor photodiode with n-type silicon by conductance technique. *Sensors and Actuators A: Physical*, 147: 104-109.
- Yerişkin, S.A., 2019. The investigation of effects of (Fe₂O₄-PVP) organic-layer, surface states, and series resistance on the electrical characteristics and the sources of them. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30:17032–17039.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.854046

Yerişkin, S.A., Balbaşı, M., Orak, İ., 2017. The effects of (graphene doped-PVA) interlayer on the determinative electrical parameters of the Au/n-Si (MS) structures at room temperature. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28:14040–14048.