



Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (MPS) Yapılarda Organik Arayüzey Tabaka Kalınlığının ve Seri Direncin C-G/ ω -V Karakteristikleri Üzerine Etkisi

Hüseyin TECİMER^{1,*}

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 78050, Merkez/KARABÜK

Öz

Bu çalışmada, 50 ve 150 nm kalınlıklarına sahip (Zn-katkılı PVA) polimer ara yüzey tabakalı Al/p-Si (MPS) yapıların elektriksel özellikleri, kapasitans-kondüktans-voltaj (C-G/ ω -V) ölçüm metodu kullanılarak frekansa bağlı incelendi. C-G/ ω -V ölçümleri -3.5/+5.5 V aralığında 50 mV adımlarla 2kHz, 20kHz ve 200kHz frekanslarında oda sıcaklığında alındı. Ters öngerilim C⁻²-V grafiklerinin lineer kısmının kesim noktası ve eğimlerinden faydalanılarak; difüzyon potansiyeli (V_D), alıcı katkı atomlarının yoğunluğu (N_A), Fermi enerjisi (E_F) seviyesi, tüketim tabakasının kalınlığı (W_D) ve potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) gibi temel elektriksel parametreler hem frekansa hem de kalınlığa bağlı olarak elde edilerek karşılaştırıldı. Bu parametrelerin tümü oldukça hem organik arayüzey tabakasının kalınlığına hem de frekansa bağlı değişiklik göstermektedir. Ayrıca Nicollian ve Brews metodu kullanılarak bu yapıların direnci (R_i) ve düşük-yüksek frekans (C_{LF}-C_{HF}) kapasitans metodu kullanılarak da arayüzey durumlarının (N_{ss}) voltaja bağlı değişim profilleri elde edildi. Seri direnç (R_s) etkisinin hangi bölge ve frekansta daha etkin olduğunu belirlemek için yapıların ölçülen C-G/ ω -V eğrileri R_s değeri dikkate alınarak düzeltildi. Elde edilen deneysel sonuçlar hem polimer arayüzey tabaka kalınlığının hem de R_s ve N_{ss} değerlerinin C-G/ ω -V ölçümleri üzerinde oldukça etkili olduğu gözlemlendi.

Makale Bilgisi

Başvuru: 12/03/2018

Düzeltilme: 21/04/2018

Kabul: 29/05/2018

Anahtar Kelimeler

Polimer arayüzey tabaka ve R_s' nin etkileri
 Düşük-yüksek frekans kapasitans metodu
 Arayüzey durumlarının dağılım profili

Keywords

The effects of interfacial layer and R_s
 Low-high frequency capacitance method
 Distribution interfacial of interface states.

The Effect of Organic Polymer Interfacial Layer Thickness and Series Resistance C-G/ ω -V Characteristics in Al/PVA (Zn-doped)/p-Si (MPS) Structure

Abstract

In this study, the electrical properties of polymer interfacial layer Al/p-Si (MPS) with thickness of 50 and 150 nm (Zn-doped PVA) were investigated in terms of frequency using the capacitance- conductance-voltage (C-G/ ω -V) measurement methods. C-G/ ω -V measurements were taken at room temperature at frequencies of 2kHz, 20kHz and 200kHz in the range of -3.5 / + 5.5 V with 50 mV steps. Utilizing the cut-off point and slope of the linear part of the reverse biased C⁻²-V graphics; basic electrical parameters such as the values of diffusion potential (V_D), doping concentration of acceptor atoms (N_A), Fermi energy level (E_F), depletion layer width (W_D) and barrier height (Φ_B) were obtained and compared based on both frequency and thickness. These parameters are highly dependent on both the thickness of organic interface layer and frequency. In addition, voltage-dependent change profiles of interface states (N_{ss}) and the resistance (R_i) were obtained using low-high frequency (C_{LF}-C_{HF}) capacitance method and the Nicollian and Brews method of these structures using, respectively. To determine which region and frequency of the series resistance (R_s) effect is more effective, measured C-G/ ω -V curves were corrected considering R_s value. Obtained experimental results were observed to be very effective on the C-G/ ω -V of the polymer interfacial layer thickness and R_s and N_{ss} values.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, metal-polimer-yarıiletken (MPS) tipi yapılar üzerine deneysel ve teorik çalışmalar artmış olup bu yapıların yarıiletken teknolojisinde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. [1-5]. Organik yarıiletkenler; düşük maliyetli, kolay üretim süreci, esnek olmaları gibi önemli özelliklerinden dolayı yarıiletken teknolojisinde kullanılan inorganik yarıiletkenlere kıyasla oldukça avantajlara sahiptir. Bu

*İletişim yazarı, e-mail: huseyintecimer@karabuk.edu.tr

nedenle organik ışık yayan diyot (OLED), Schottky engel diyot (SBDs) gibi elektronik elemanların üretiminde çekici hale gelmiştir [5-8].

MPS yapılar hazırlanırken, yarıiletkenin tipine uygun iş fonksiyonlu metaller seçilerek doğrultucu kontak oluşturulur. Yarıiletken p-tipi olduğunda genellikle metal olarak yüksek saflıkta alüminyum (Al) seçilir. Yarıiletken malzeme olarak da kararlı ve ucuz olduğu için Si tercih edilir. Ayrıca, yapının performansını artırmak ve yük geçişlerini düzenlemek için, M/S arayüzeyine yüzeyi pasivize eden, sızıntı akımını düşüren ve doğrultma özelliğine sahip organik arayüzey tabaka büyütülür.

Organik arayüzey tabakasının kullanılmasının en büyük avantajı kaplama tekniklerinin kolay olmasından dolayı üretim masraflarını düşürmesidir [1-5, 9-10]. Endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan zayıf iletkenliğe sahip Polyvinil alkol (PVA), farklı metallerle katılarak bu özelliği artırılabilir. Bahsedilen nedenlerden dolayı çalışmada, organik arayüzey tabakası olarak PVA ve polimerin iletkenliğini artırmak için Zn katkısı kullanıldı.

MPS yapıların elektriksel karakteristikleri, özellikle arayüzey polimer tabakanın oluşumuna, M/S arasındaki arayüzey durumlarının özelliklerine, R_s ve Schottky engel yüksekliklerindeki homojensizliğe bağlıdır [1-3]. Bu nedenle Al/p-Si (MS) tipi yapıların performansını artırmak amacıyla iki farklı kalınlıkta (Zn-katkılı PVA) polimer arayüzey tabakası kullanıldı. Arayüzey tabakasının kalınlığı, MPS₁ yapısı için 50 nm ve MPS₂ yapısı için 150 nm'dir. Hazırlanan bu MPS₁ ve MPS₂ yapılarının temel elektriksel parametreleri, farklı frekans ve gerilim altında C-G/ ω -V ölçümleri kullanılarak kıyaslamalı olarak incelendi. M/S arayüzeyindeki polimer tabakanın varlığı arayüzey durumlarını etkiler ve bu yapıların elektriksel parametrelerini önemli ölçüde değiştirir. Bu yüzden, Nicollian ve Brews metodu kullanarak bu yapıların direnci ve düşük-yüksek frekans (C_{LF} - C_{HF}) kapasitans metodu kullanarak da voltaja bağlı arayüzey durumlarının değişim profili elde edildi. Ek olarak R_s ' nin hangi bölge ve frekansta etkili olduğunu belirlemek amacıyla MPS yapıların ölçülen C-G/ ω -V eğrileri seri direnç değeri dikkate alınarak düzeltilti. C-G/ ω -V ölçümlerinin organik arayüzey tabakasının kalınlığına, yapının direncine ve arayüzey dağılımlarına bağlı olduğu görüldü.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIALS AND METHODS)

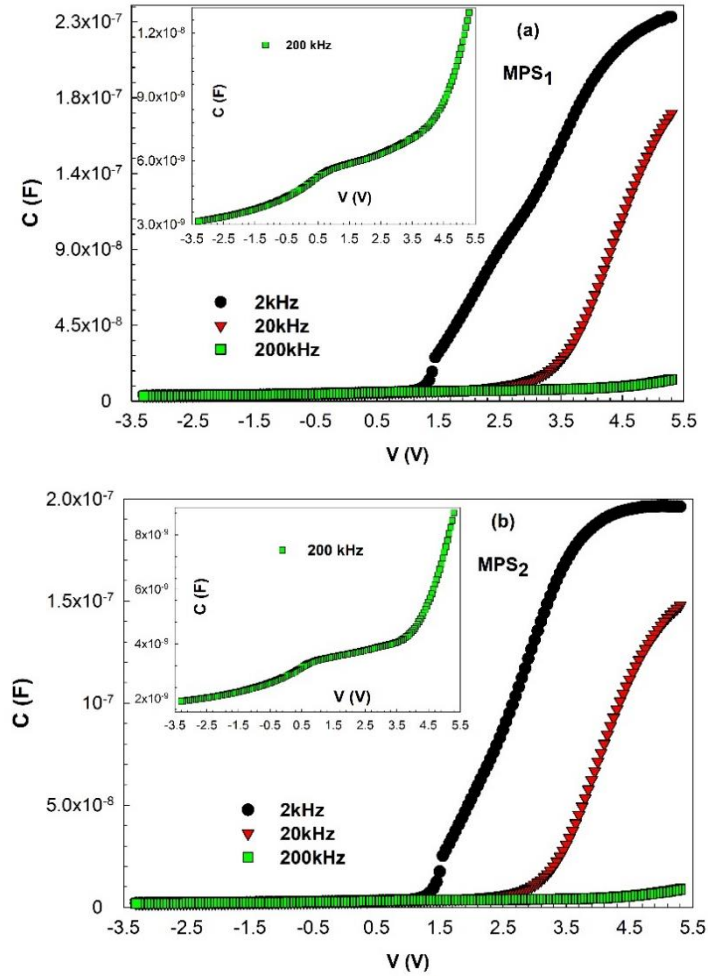
Al/(Zn-katkılı PVA)/p-Si (MPS) yapısının hazırlanmasında alttaş olarak (100) yönelimli, 350 μ m kalınlıklı, 5.08 cm çap ve 0.01 Ω .cm öz dirence sahip bor-katkılı p-Si kullanıldı. p-Si alttaş RCA prosedürü ile temizlendikten sonra kuru azot gazı kullanılarak kurutuldu. Alttaş 60s süresince H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=3:1:1 oranında asit çözeltisi ile aşındırma işlemi uygulamadan önce, yüzey üzerindeki doğal oksit tabakasını kontrol altına almak için 40s kadar amonyum peroksit uygulandı. Kristal 18 M Ω -cm öz dirence sahip de-iyonize su ile yıkandı. Azot (N₂) gazı ile 3 dk kurutma işleminden sonra kimyasal temizleme işlemi tamamlandı. Daha sonra, 10⁻⁶ Torr' luk yüksek vakum altında p-Si mat yüzeyine, ~99.999% saflıkta ~1500 Å kalınlığında Al kaplandı. 450°C de tavlama ile Si yaprağın üzerine çöktürülerek omik kontak elde edildi.

Elektro-eğirme yöntemi ile p-Si alttaş üzerine PVA' yı kaplama işlemi uygulandı. Kaplamadan önce p-katkılı Si alttaş, üzerindeki silisyum oksiti temizlemek için %1 hidroflorik asit ile yıkandı. Daha sonra 0.1 g Çinko asetat, 0.9 g PVA ve 9 ml deiyonize su ile karıştırıldı. Sonra 50°C de 2 saat karıştırıldıktan sonra PVA yoğun çözelti elde edildi. Peristaltik şırınga pompası kullanarak, öncü çözelti sabit akış hızı 0.02 ml/s' de 0.9 mm iç çaplı metal iğne (10 ml) ile dağıtıldı. İğne, yüksek gerilim güç kaynağına bağlandı ve bir mengenede dikey yerleştirildi. Bir parça düz alüminyum yaprak, nanofiber parçacıklarını toplamak için iğnenin 18 cm altına yerleştirildi. p-katkılı Si alttaş, alüminyum yaprak üzerine yerleştirildi. 20 kV yüksek voltajın üzerinde bir voltaj uygulayarak akışkan jet uçtan dışarı atıldı. Çözücü buharlaştı ve yüklü fiber, Si alttaş üzerine çöktürüldü.

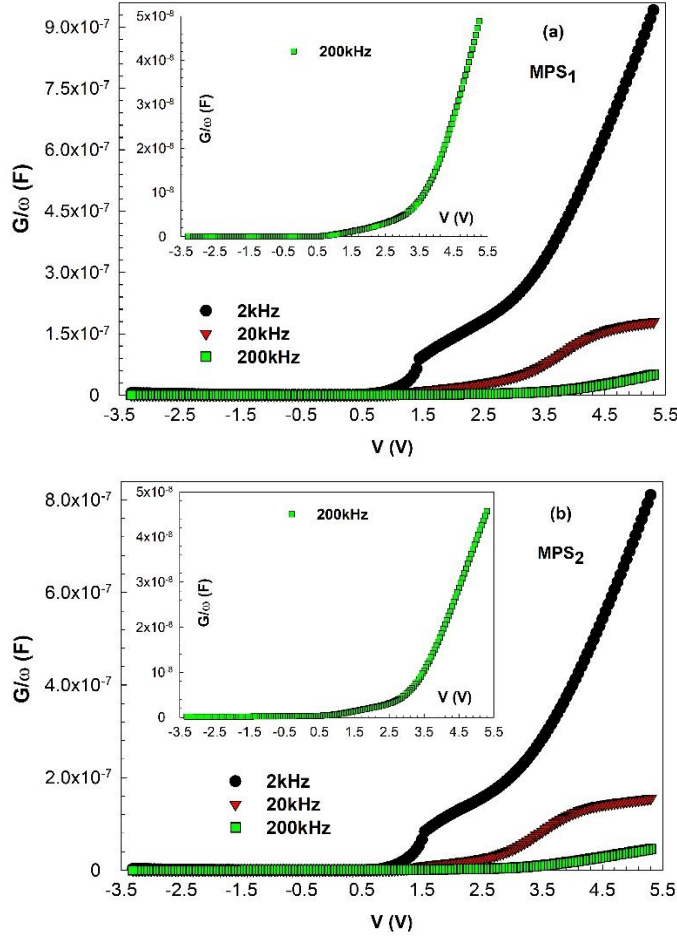
p-Si alttaş üzerine 50 ve 150 nm kalınlıklarında Zn-katkılı PVA kaplandıktan sonra, aynı yüksek-vakum metal buharlaştırma sisteminde 10⁻⁶ Torr basınç altında bu tabaka üzerine 1 mm çapında ve 1500 Å kalınlığında yüksek saflıktaki metal (Al) Schottky/doğrultucu kontak oluşturuldu. Sonuç olarak, 50 nm ve 150 nm kalınlıklarına sahip Al/(Zn-katkılı PVA)/p-Si MPS yapıları elde edildi. MPS yapıların frekansa bağlı kapasitans/kondüktans-voltaj ölçümlerini almak için HP 4192A LF Empedans Analizörü kullanıldı.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Al/PVA(Zn-katkılı)/p-Si MPS yapıların ters ve doğru ön-gerilim altındaki C-G/ ω -V ölçümleri 2 kHz, 20 kHz ve 200 kHz frekansta, oda sıcaklığında ve -3.5 V ile +5.5 V aralığında 0.05 V adımlarla gerçekleştirildi. Elde edilen bu deneysel C-G/ ω -V karakteristikleri sırasıyla Şekil 1-2.(a-b)' de MPS₁ ve MPS₂ yapı için verildi. Elde edilen eğrilerden kapasitans ve kondüktans değerlerinin önemli ölçüde frekansa bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 1.(a-b)' de C-V eğrilerinin her birinde terslenim, tüketim ve yığılma bölgeleri açık olarak görülmektedir. Farklı frekanstaki C ve G/ ω değerlerinde meydana gelen değişimler özellikle tüketim ve yığılma bölgelerinde olmaktadır. Tüketim bölgesinde C-V eğrilerinde meydana gelen yarılma Si ile PVA arasında ve yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının (N_{ss}) varlığına atfedilebilir [11].



Şekil 1. Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için C-V eğrileri.

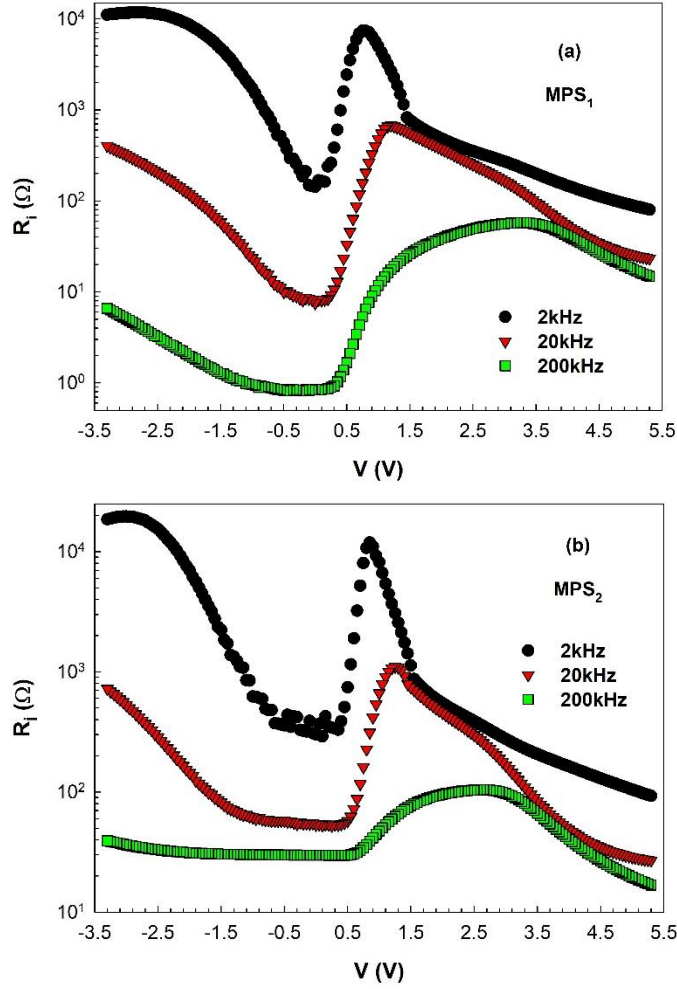


Şekil 2. Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için G/ω-V eğrileri.

Metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken yapılarda seri direnci hesaplamak için birçok yöntemi vardır [11]. Bu çalışmada, R_i değerleri C-V ölçümleri için Nicollian ve Brews tarafından geliştirilen ve diğer metotlara göre daha doğru, pratik, hızlı ve hassas olarak kabul gören admitans metodu kullanılarak 2 kHz, 20 kHz ve 200 kHz frekansta voltaja bağlı olarak Eş.1 kullanılarak elde edildi [12].

$$R_i = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^2 + (\omega C_{ma})^2} \quad (1)$$

Burada C_{ma} ve G_{ma} sırasıyla kuvvetli yığılma bölgesindeki kapasitans ve kondüktans değerleridir. Bu yapıların gerçek seri direnç değeri kuvvetli yığılma bölgesindeki C ve G/ω değerlerinden elde edilir. Ancak bu formül voltaja bağlı R_i değerlerini elde etmek içinde kullanılır ve bu yapının iletim mekanizmaları hakkında da bize önemli ipuçları verir. R_i değerleri, hem frekansa hem de uygulanan gerilime oldukça bağlıdır. Her iki MPS yapısı için R_i -V grafiklerinde pikler gözlenmektedir. Frekansın artmasıyla yapıda görülen bu pik değerlerinin pozisyonlarının pozitif bölgeye kaydığı görülmektedir. Bu olay, Si/PVA arasında ve E_g aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yeniden yapılanıp düzenlenmesine atfedilir. Ayrıca, voltaja bağlı R_i 'nin profili N_{ss} 'in yasak enerji aralığındaki özel bir dağılımına atfedilebilir [13].



Şekil 3. Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için R_i-V eğrileri.

Düzeltilmiş admittans ifadesinin sanal ve gerçel kısmını ($Y_c = G_c + j\omega C_c$) elde etmek için ölçülen kapasitans (C_m) ve kondüktans (G_m) değerleri kullanılarak düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve iletkenlik (G_c) değerleri sırasıyla Eş.2 ve Eş.3 kullanılarak 200 kHz frekans için elde edilerek sırasıyla Şekil 4.a ve Şekil 4.b' de verildi [12].

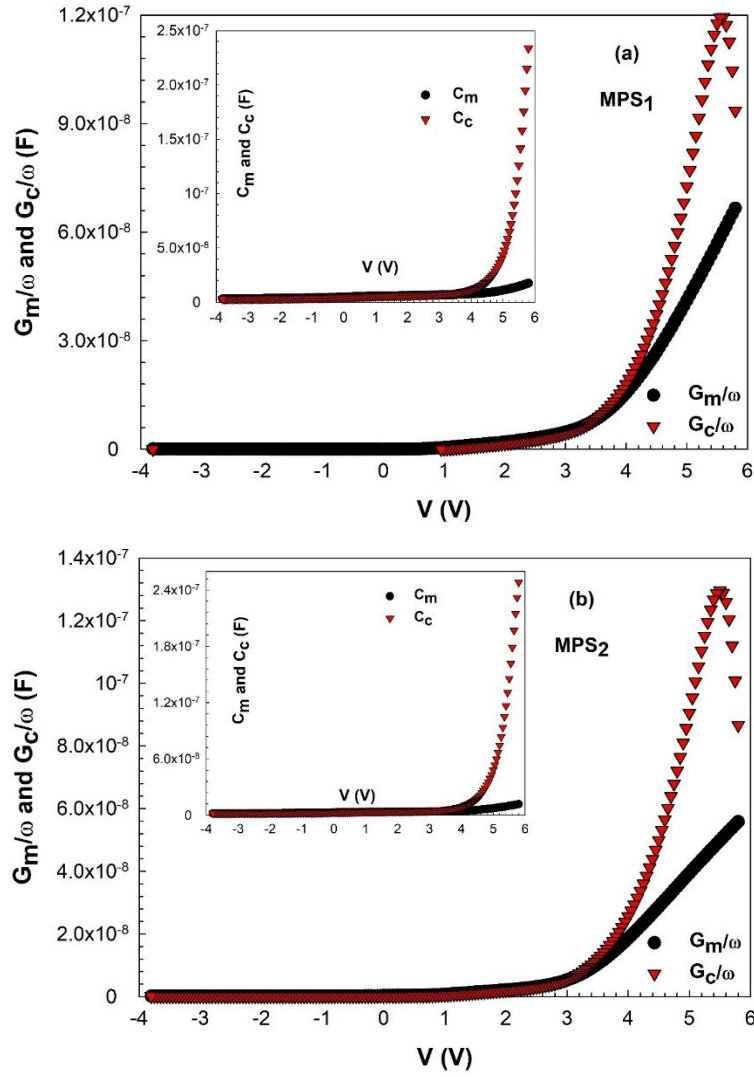
$$C_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) C_m}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2)$$

$$G_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) a}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (3)$$

Burada,

$$a = G_m - (G_m^2 + \omega^2 C_m^2) R_s \quad (4)$$

eşitliği ile verilen bir parametredir. Şekil 4.(a-b)' te görüldüğü gibi her iki numune için düzeltilmiş kapasitans ve kondüktans değerleri özellikle yığılma bölgesinde artan voltaja bağlı olarak artmakta olduğu görülmektedir. Şekil 4.(a-b)' de G_c/ω -V eğrilerinde tüketim bölgesinde pik gözlenmiştir. Bu pikler yasak enerji aralığındaki arayüzey durumlarının özel bir bölgede yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.(a-b)' de açıkça görüldüğü gibi R_s etkisinin çok önemli olduğunu ve mutlaka bu R_s değerinin etkisi dikkate alınarak ölçülen C_m - G_m/ω -V eğrilerinin düzeltilmesini gerektiğini göstermektedir. Bu yapılmadığı takdirde elde edilen parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliği tartışılır.

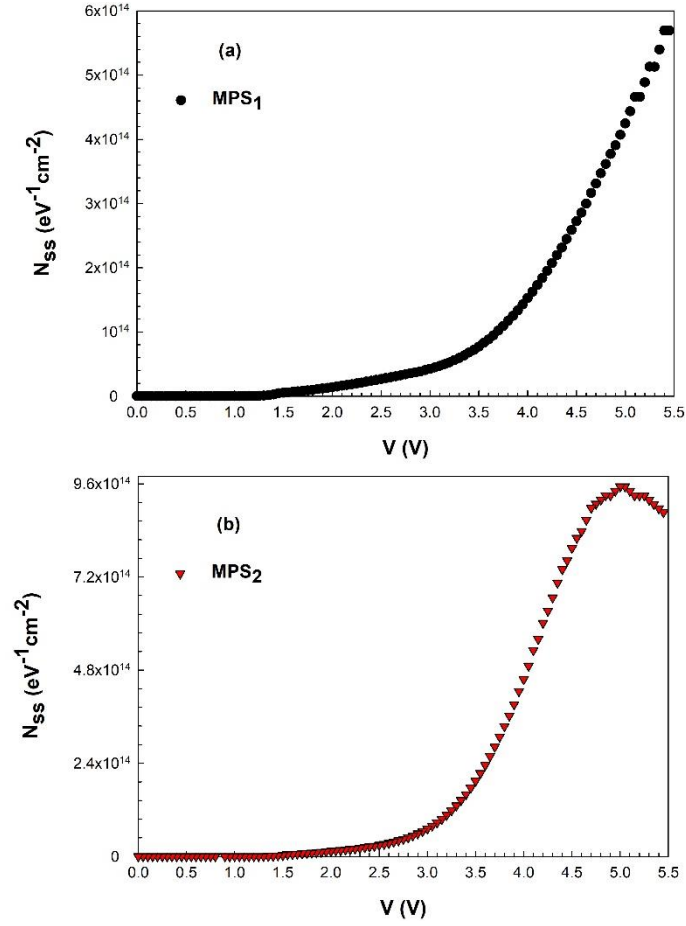


Şekil 4. Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için C_m/C_c -V ve G_m/G_c -V eğrileri.

Hazırlanan MPS yapıların performansını seri direnç gibi arayüzey durumları oldukça etkilediği için bunların enerjiye veya voltaja bağlı dağılım profillerini elde etmek son derece önemlidir. Bu çalışmada, frekanstan dolayı gelen katkıyı elimine etmek için C - G/ω - V ölçümleri 2kHz ve 200kHz frekansta gerçekleştirildi. Bu çalışmada arayüzey durumlarının dağılım profili düşük-yüksek frekans (C_{LF} - C_{HF}) kapasitans metodu kullanılarak elde edildi. Bunların arasında C_{LF} - C_{HF} kapasitans metodunun avantajı, arayüzey tabakasının, yarıiletken alttaşın ve arayüzeyin birçok özelliğinin kolayca belirlenmesine izin vermesidir. Eş.5 kullanılarak arayüzey durumlarının voltaja bağlı dağılım profili elde edildi [12].

$$N_{ss} = \frac{1}{qA} \left[\left(\frac{1}{C_{LF}} - \frac{1}{C_{ox}} \right)^{-1} - \left(\frac{1}{C_{HF}} - \frac{1}{C_{ox}} \right)^{-1} \right] \quad (5)$$

Burada C_{ox} , C_{LF} ve C_{HF} parametreleri sırasıyla arayüzey tabakanın kapasitansı, düşük ve yüksek frekans kapasitans değerleridir. Şekil 5' te görüldüğü gibi, MPS yapının kalınlığı artınca N_{ss} değerleri artmaktadır.



Şekil 5. Au/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için N_{ss}-V grafiği.

C⁻²-V eğrileri 2 kHz, 20 kHz ve 200 kHz frekans için iki MPS yapı içinde elde edildi. Şekil 6.(a-b)' de görüldüğü gibi, C⁻²-V eğrileri her iki yapı içinde geniş bir voltaj aralığında lineer bir davranış göstermektedir. Bu lineer bölgede; MPS yapıları için C⁻² ile V arasındaki ilişki Eş.6' daki gibi ifade edilebilir [13]:

$$C^{-2} = \frac{2}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_A} (V_0 + V_R) \quad (6)$$

Burada A doğrultucu kontak alanıdır, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. N_A alıcı katkı atomlarının yoğunluğu, V_R uygulanan ters ön-gerilimi ve V_0 ise C⁻²-V eğrisinin voltaj eksenine extrapole edilmesiyle elde edilen kurulma voltajıdır. V_0 ile V_D difüzyon potansiyeli arasındaki ilişki,

$$V_0 = V_D - \frac{kT}{q} \quad (7)$$

eşitliği ile verilir. Böylece farklı frekanslar için Eş.8 kullanılarak Φ_B değerleri elde edildi ve Çizelge 1' de verildi.

$$\Phi_B = V_D + E_F - \Delta\Phi_B \quad (8)$$

Burada E_F yarıiletkenin Fermi enerji seviyesidir ve $E_F = (kT/q) \ln(N_v/N_A)$ ile ifade edilir. $\Delta\Phi_B$ hayali kuvveti engel düşmesi olup Eş.9' dan elde edilebilir [13]:

$$\Delta\Phi_B = \left(\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (9)$$

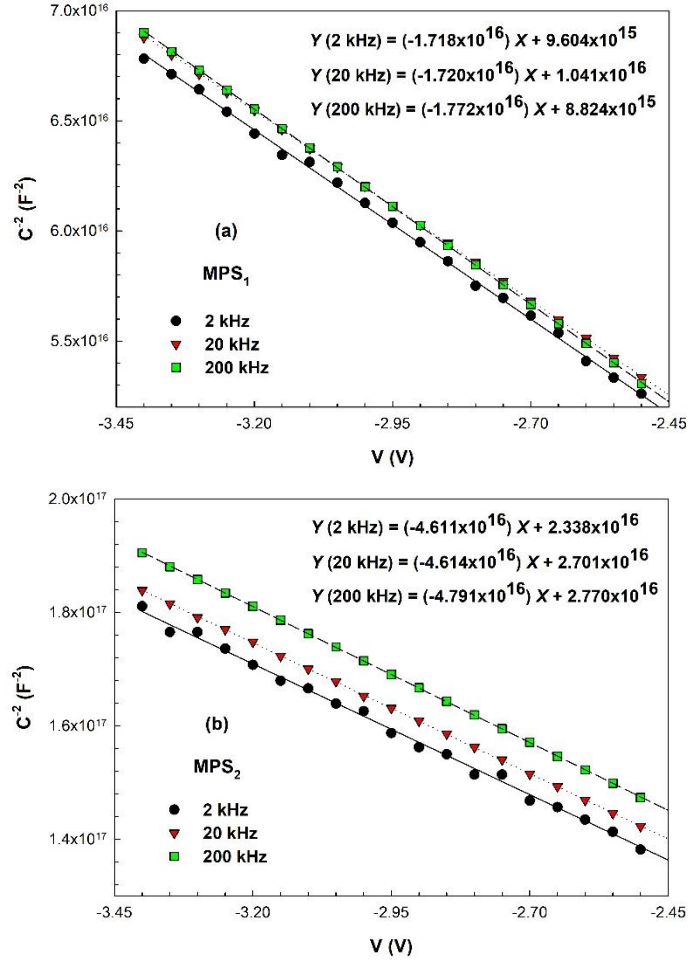
Burada E_m parametresi elektrik alanıdır ve Eş.10' dan elde edilebilir.

$$E_m = \left(\frac{2qN_A V_D}{\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Farklı frekanslar için C^2 -V eğrilerinden yapının elektriksel parametreleri elde edildi. Çizelge 1' den görüldüğü gibi, elde edilen bu değerler frekansa oldukça bağıllık göstermektedir. Son zamanlarda literatürde benzeri sonuçlar elde edilmiştir [14-20].

Çizelge1. MPS₁ ve MPS₂ için C^2 -V eğrilerinden elde edilen çeşitli parametreler.

MPS ₁						
f (kHz)	V _D (eV)	N _A (cm ⁻³)	E _F (eV)	E _m (V/cm)	Φ _B (eV)	W _D (cm)
2	0.585	7.01x10 ¹⁷	0.0940	3.53x10 ⁵	0.614	3.31x10 ⁻⁶
20	0.631	6.99x10 ¹⁷	0.0941	3.66x10 ⁵	0.659	3.45x10 ⁻⁶
200	0.524	6.80x10 ¹⁷	0.0950	3.29x10 ⁵	0.556	3.18x10 ⁻⁶
MPS ₂						
f (kHz)	V _D (eV)	N _A (cm ⁻³)	E _F (eV)	E _m (V/cm)	Φ _B (eV)	W _D (cm)
2	0.533	2.61x10 ¹⁷	0.119	2.06x10 ⁵	0.603	5.19x10 ⁻⁶
20	0.612	2.60x10 ¹⁷	0.119	2.20x10 ⁵	0.680	5.56x10 ⁻⁶
200	0.604	2.51x10 ¹⁷	0.121	2.15x10 ⁵	0.674	5.63x10 ⁻⁶



Şekil 6. Al/PVA (Zn-katkılı)/p-Si (a) MPS₁ ve (b) MPS₂ için C²-V eğrileri.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, arayüzey polimer tabaka ve kalınlığının ölçülen C-G/ ω -V karakteristikleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla 50 ve 150 nm kalınlıklarında (Zn-katkılı PVA) polimer ara yüzey tabakası Al/p-Si (MPS) arasına elektron-eğirme yöntemiyle büyütüldü. Bu iki yapının temel elektrik özellikleri, üç farklı frekansta (2, 20 ve 200kHz) ölçülen C-G/ ω -V ölçüm metodu kullanılarak geniş bir voltaj aralığında (-3.5/+5.5 V) ve 50 mV aralıklarla elde edilerek karşılaştırıldı. Temel yapı parametreleri olan V_D, N_A, E_F, W_D ve Φ_B değerleri terslenim bölgesi için elde edilen C²-V grafiklerinin lineer kısımlarının kesim noktası ve eğimleri kullanılarak her frekans için elde edildi. Elde edilen bu değerlerin hem frekansa hem de arayüzey tabakasının kalınlığına oldukça bağlı olduğu gözlemlendi. Düşük frekanslarda elde edilen yüksek C ve G değerleri arayüzey durumlarının varlığına ve onların yaşama ömürlerine atfedildi. Bu yüzden R_s değerlerinin artan frekansla azalmaktadır. C_{LF}-C_{HF} kapasitans metodu kullanılarak voltaja bağlı elde edilen N_{ss} değerlerinin bölgeden bölgeye farklılık göstermesi ise onların polimer tabaka ile yarıiletken arasında ve yasak enerji aralığına yerleşmiş arayüzey durumlarının özel bir dağılımına atfedildi. Elde edilen deneysel sonuçlar hem polimer arayüzey tabaka kalınlığının hem de R_s değerlerinin C-G/ ω -V ölçümleri üzerinde oldukça etkili olduğu ve bu yüzden elektriksel parametrelerin hesabında mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] O. Çiçek, H. Uslu Tecimer, S.O. Tan, H. Tecimer, Ş. Altındal, İ. Uslu, Evaluation of electrical and photovoltaic behaviours as comparative of Au/n-GaAs (MS) diodes with and without pure and

- graphene (Gr)-doped polyvinyl alcohol (PVA) interfacial layer under dark and illuminated conditions. *Composites Part B*, 98 (2016) 260-268.
- [2] O. Çiçek, H. Uslu Tecimer, S.O. Tan, H. Tecimer, İ. Orak, Ş. Altında, Synthesis and characterization of pure and graphene (Gr)-doped organic/polymer nanocomposites to investigate the electrical and photoconductivity properties of Au/n-GaAs structures. *Composites Part B*, 113 (2017) 14-23.
- [3] H. Uslu Tecimer, M.A. Alper, H. Tecimer, S.O. Tan, Ş. Altında, Integration of Zn-doped organic Polymer Nanocomposites Between Metal Semiconductor Structure to Reveal the Electrical Qualifications of The Diodes. *Polymer Bulletin*, <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2274-5> (2018).
- [4] H. Tecimer, T. Tunç, Ş. Altında, Investigation of photovoltaic effect on electric and dielectric properties of Au/n-Si Schottky barrier diodes with nickel (Ni)-zinc (Zn) doped organic interface layer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29 (2018) 3790-3799.
- [5] H. Tecimer, S.O. Tan, Ş. Altında, Frequency-Dependent Admittance Analysis of the Metal-Semiconductor Structure With an Interlayer of Zn-Doped Organic Polymer Nanocomposites. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 65 (2018) 231-236.
- [6] S. Altında Yerişkin, Arayüzey tabakalı metal/yarı iletken (MS) yapıların hazırlanması ve elektriksel ile dielektrik özelliklerinin geniş frekans ve voltaj aralığında incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (2017).
- [7] H. G. Çetinkaya, Ş. Altında, I. Orak, I. Uslu, Electrical characteristics of Au/n-Si (MS) Schottky Diodes (SDs) with and without different rates (graphene+Ca_{1.9}Pr_{0.1}Co₄O_x doped poly(vinyl alcohol)) interfacial layer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28 (2017) 7905-7911.
- [8] E. E. Tanrıkulu, S. Demirezen, Ş. Altında, İ. Uslu, On the anomalous peak and negative capacitance in the capacitance–voltage (C-V) plots of Al/(%7 Zn-PVA)/p-Si (MPS) structure. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29 (2018) 2890-2898.
- [9] İ. Taşçıoğlu, Ö. Tüzün Özmen, H.M. Şabanoğlu, E. Yağlıoğlu, Ş. Altında, Frequency Dependent Electrical and Dielectric Properties of Au/P3HT:PCBM:F4-TCNQ/n-Si Schottky Barrier Diode. *Journal of Electronic materials*, 46 (2017) 2379-2386.
- [10] S.A. Yerişkin, M. Balbaşı, İ. Orak, Frequency dependent electrical characteristics and origin of anomalous capacitance-voltage (C-V) peak in Au/(graphene doped PVA)/n-Si capacitors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28 (2017) 7819-7826.
- [11] H. Uslu, Au/(Co, Zn-Katkılı) Polivinil Alkol/n-Si Schottky Engel Diyotlarının Hazırlanması Ve Elektriksel Özelliklerinin Aydınlatma Şiddetine Bağlı İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (2010).
- [12] E.H. Nicollian, J.R. Brews, *MOS Physics and Technology*. John Wiley & Sons, New York, 40-175, 222-226, 423-439 (1982).
- [13] S.M. Sze, K.Ng Kwok, *Physics of Semiconductor Devices*. 3rd ed., John Wiley & Sons, New Jersey, 362-390 (2007).
- [14] M. Yıldırım, The effect of interlayer thickness on frequency dependent electrical characteristics of Al/p-Si Schottky barrier diodes with Bi₄Ti₃O₁₂ interlayer. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (2016) 406-411.
- [15] M. Sharma, S.K. Tripathi, Frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/Al₂O₃/PVA/n-ZnSe Schottky barrier diodes. *Materials Science and Semiconductor Processing*, 41 (2016) 155-161.

- [16] S. Demirezen, Au/(PrBaCoO nanofiber)/n-Si Yapılarda Seri Direnç ve Arayüzey Durumlarının Frekans ve Gerilime Bağlı Dağılım Profillerinin Farklı Metotlarla Elde Edilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi: Part C, 5 (2017) 167-176.
- [17] A. Tataroğlu, A. A. Al-Ghamdi, F. El-Tantawy, W. A. Farooq, F. Yakuphanoglu, Analysis of interface states of FeO-Al₂O₃ spinel composite film/p-Si diode by conductance technique. Applied Physics A, 122 (2016) 220(1-6).
- [18] B. Kınacı, MS Yapısında Ara Yüzey Durumları ve Seri Dirence Bağlı Sıcaklık ve Frekansın Elektriksel Karakterizasyonlar Üzerine Etkisi. Journal of Polytechnic, 20 (2) (2017) 313-318.
- [19] Ç. Bilkan, Ş. Altındal. Investigation of the C-V characteristics that provides linearity in a large reverse bias region and the effects of series resistance, surface states and interlayer in Au/n-Si/Ag diodes, Journal of Alloys and Compounds 708 (2017) 464-469.
- [20] Ç. Bilkan, Ş. Altındal, Y.S. Azizian. Investigation of frequency and voltage dependence surface states and series resistance profiles using admittance measurements in Al/p-Si with Co₃O₄- PVA interlayer structures. Physica B, 515 (2017) 28-33.