

Düşük Frekanslarda Ag/ GO-NiO /p-Si/Al Yapısının Frekans ve Voltaja Bağlı Özellikleri

Halil ÖZERLİ^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Düziçi Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Düziçi, Osmaniye, 80600, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-7484-2962>

*Sorumlu yazar: halilozerli@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.12.2022

Kabul tarihi: 26.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Metal Oksit Yarıiletken (MOS)

GO-NiO

Arayüzey tabakası

ÖZ

Bu çalışmada, sol-jel yöntemi ile p-tipi silisyum (Si) üzerinde nikel oksit (NiO) katkılı grafen oksit (GO) ince film kaplanmıştır. Ag/GO-NiO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken (MOS) yapısının dielektrik özellikleri oda sıcaklığında ve karanlıkta, 10 kHz-50 kHz-100 kHz düşük frekans aralığında iletkenlik-voltaj (G/ω -V) ölçümleri ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümlerinden yararlanılarak araştırılmıştır. G/ω -V ölçümleri ve C-V ölçümlerinden elde edilen deneysel sonuçlardan, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının seri dirençleri (R_s) ve arayüzey durum yoğunlukları (N_{ss}) hesaplanmıştır. Artan frekansla N_{ss} ve R_s değerlerinin azaldığı görülmüştür. Çıkan sonuçlara göre elde edilen Ag/GO-NiO/p-Si/Al yapısının diyot özelliği gösterdiği görülmüştür. Çıkan sonuçlar göz önüne alınarak Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının dielektrik parametreleri; dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kaybı (ϵ''), kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ve alternatif akım (AC) elektrik iletkenliği (σ_{AC}) hesaplanmıştır. Sonuçlara göre ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{AC} değerleri düşük frekanslarda artan frekansla azalmıştır. Elde edilen bulgular, ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{AC} 'nin frekansa bağlı olduğunu güçlü bir şekilde göstermiştir. Elde edilen sonuçların tamamı literatür çalışmalarıyla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Frequency and Voltage Dependent Properties of Ag/GO-NiO/p-Si/Al Structure at Low Frequencies

Research Article

Article History:

Received: 16.12.2022

Accepted: 26.03.2023

Published online: 04.12.2023

Keywords:

Metal Oxide semiconductor (MOS)

GO-NiO

Interfacial layer

ABSTRACT

In this study, nickel oxide (NiO) doped graphene oxide (GO) thin film was coated on p-type silisium (Si) by sol-gel method. The dielectric properties of Ag/GO-NiO/p-Si/Al Metal Oxide Semiconductor (MOS) structure were determined from conductivity-voltage (G/ω -V) measurements and capacitance-voltage (C-V) measurements in the low frequency of 10 kHz-50 kHz-100 kHz at room temperature and in the dark. The interfacial state densities (N_{ss}) and series resistances (R_s) were investigated using of Ag/GO-NiO /p-Si/Al MOS structure were calculated from the experimental results obtained from C-V measurements and G/ω -V measurements. It has been observed that N_{ss} and R_s values decrease with increasing frequency. According to the results, it was seen that the Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS

structure produced showed diode properties. Besides, the dielectric parameters, dielectric constant (ϵ'), dielectric loss (ϵ''), loss tangent ($\tan\delta$), and alternating current (AC) electrical conductivity (σ_{AC}) values of the Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS structure were calculated. According to the results, ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and σ_{AC} values decreased with the increment of frequency values at low frequencies. Experimental results showed that ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and σ_{AC} were strongly dependent on frequency, and all of the results obtained were found to be in agreement with the literature studies.

To Cite: Özerli H. Düşük Frekanslarda Ag/ GO-NiO /p-Si/Al Yapısının Frekans ve Voltaja Bağlı Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2034-2045.

1. Giriş

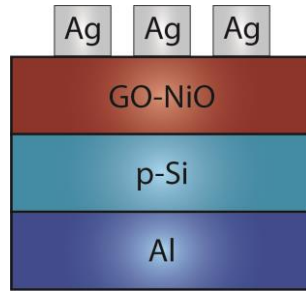
Teknolojinin her geçen gün hızla ilerlemesi ve insan popülasyonunun her gün artması günümüz sanayisini daha dayanıklı ve üstün özellikli malzemeler üretmeye yöneltmektedir. Son yıllarda keşfedilen grafen iki boyutlu malzeme olarak bilinmektedir. Ayrıca sahip olduğu üstün özelliklerden dolayı dikkatleri üzerine çekmektedir. Grafenin göstermiş olduğu yüksek elektrik iletkenliği, yüksek mekanik mukavemet ve geniş yüzey alanı gibi olağanüstü özellikleri sebebiyle bilim insanlarının ilgi odağı haline gelmiştir (Pumera 2010; Li ve ark., 2013). Ayrıca grafen, ultrakapasitör (Stoller ve ark., 2008) ve elektriksel olarak iletken esnek nanokompozit için filtreler olarak (Avouris ve ark., 2007) kullanımı gibi potansiyel uygulamaları sebebiyle dikkat çeken alternatif bir madde olmuştur. Grafenin mükemmel özellikleri ve teknolojilerde uygulama için umut verici potansiyeli, bu maddeyi bilimdeki en ideal malzemelerden biri haline gelmiştir. Ayrıca, grafen oksit (GO), son yıllarda grafene alternatif bir yol sağlayan yeni bir karbon bazlı nano ölçekli malzeme olarak ortaya çıkmıştır (Stankovi ve ark., 2006). Son zamanlarda elektronik cihazların performansları için nanokompozitler geliştirilmiştir. Özellikle GO bazlı nanokompozit, elektrikli cihazlarda yüksek elektrik/termal iletkenlik ve mükemmel fotoelektrik özellikler göstermiştir (Cao ve ark.,2015; Karteri ve ark., 2016). Son çalışmalarda, GO ve grafen bazlı nanokompozitlerin, SiC, GaAs ve Si gibi geleneksel yarı iletkenlerle MOS yapılarında ve benzer diyot yapılarında çalışıldığı görülmüştür (Tongay ve ark.,2012; Liu ve ark., 2012; Wageh ve ark., 2015).

Bu çalışmanın temel amacı Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının elektriksel ve dielektrik özelliklerini incelemektir. Bu amaçla Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısı, GO-NiO'nun p-Si üzerine döndürülerek kaplanması ve film üzerinde Ag'nin buharlaştırılmasıyla üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma sadece grafen tabanlı yeni bir MOS yapı formunu elde etmeyi değil, aynı zamanda düşük frekanslarda elektriksel ve dielektrik özelliklerini de açıklamak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada öncelikle grafen yapısını sentezlemek için Modifiye Hummers metodu kullanılmıştır (Karteri ve ark., 2014). Grafen katkılı kompozitleri hazırlamak için ihtiyaç duyulan malzemelerden potasyum permanganat ($KMnO_4$) ve sodyum nitrat ($NaNO_3$) gibi kimyasallar ise Merck işletmesinden alınmış ve grafit tozu ($<20 \mu m$), sülfürik asit (H_2SO_4) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) Sigma Aldrich

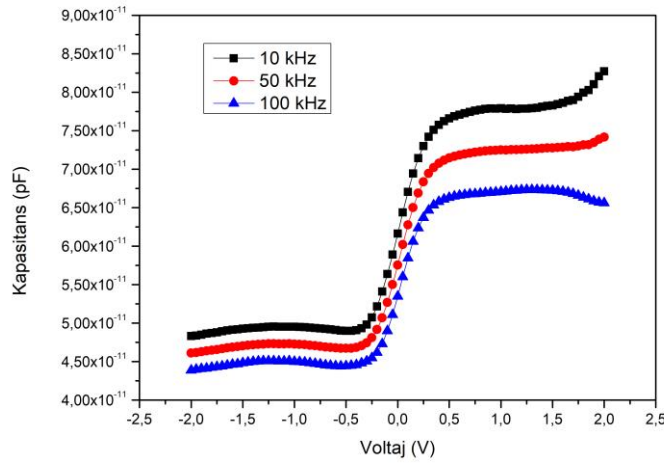
işletmesinden temin edilmiş. GO sentezinin ardından Nikel Oksit (NiO) –Grafen Oksit (GO) kompozitinin üretilmesine geçilmiştir. Kompoziti üretmek için gerekli olan Nickel (II) Nitrate Hexahydrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) tuzu Merck işletmesinden temin edilmiştir. Kompozit üretiminde birinci olarak 0,5 gr $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 0,5 gr GO farklı kaplarda 100 ml elektrik iyonlarından arınmış, nötr (deiyonize) suda 6 saat elektromanyetik karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından ortaya çıkan karışımlar birbiri içerisine eklenmiştir. Birbiri içerisine eklenen karışımlar 6 saat boyunca karıştırılmaya bırakılmıştır. Bu işlem sonrasında, karışım 90°C sıcaklıkta 12 saat süreyle karıştırılmıştır. Üretilen numuneler defalarca deiyonize suyla yıkanmış ve filtrelenmiştir. Filtreleme işleminin ardından numune oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kompozitin hazır edilmesinden sonra Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısını elde etmek için kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama işleminden bor katkılı (100) doğrultusunda genişletilmiş, 400 μm kalınlığında ve 2-8 $\Omega\text{-cm}$ direncinde *p*-tipi silisyum (*p*-Si) alttaş olarak kullanılmıştır. Alttaş olarak kullanılacak olan silisyum (Si) pul üretilecek olan diyottan daha iyi sonuç almak için, organik ve mekanik kirlere arındırmak adına “Radio Corporation of America” (RCA) yöntemiyle (Michigan Üniversitesi,2021) kimyasal olarak temizlenmiştir (Özmen,2014). Temizlenen Si alttaşın alt yüzeyine omik kontak yapmak için %99,99 saflıktaki alüminyum (Al) termal buharlaştırma cihazı kullanılarak yüzeye buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma işlemi, termal buharlaştırma cihazında 2.1×10^{-5} Torr basınç altında yapılmıştır. Omik kontak oluşturulduktan sonra Spin Coater (Döndürerek kaplama) cihazı GO-NiO kompozitini Si yüzeyine kaplamak için kullanılmıştır. 5 ml deiyonize suda önceden ürettiğimiz GO-NiO kompozitinden 0,02gr. olarak 80 dakika magnetik karıştırıcıda karıştırılarak çözelti haline getirilmiştir. Oluşturulan çözeltiyi Si alttaş üzerine spin coater cihazıyla döndürerek 3000 rpm hızında 30 saniye boyunca kaplanmıştır. Sonrasında Si alttaşı 60°C 'de 20 dakika sıcak yüzey üstünde tutularak kurutulmuş ve GO-NiO /*p*-Si/Al yapısı oluşturulmuştur. Bu işlem sonrasında da doğrultucu kontak yapmak için yüzeyine GO-NiO tabakası oluşturulmuş kısım, üzerine yüzey çapı 1 mm olan maske konulmuştur. Doğrultucu gümüş (Ag) kontak yaparken kaplama basıncı 2.1×10^{-5} Torr ayarlanmıştır ve termal buharlaştırma cihazı sayesinde kaplanmıştır. Bu işlem sonrasında doğrultucu kontak kısmı da yapılmıştır ve Ag/GO-NiO/*p*-Si/Al MOS yapısı elde edilmiştir. Ortaya çıkan MOS yapısının şeması Şekil 1’de verilmiştir.



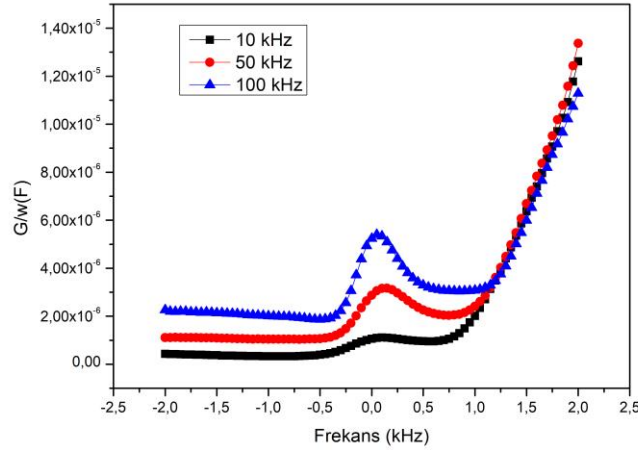
Şekil 1. Ag/GO-NiO/*p*-Si/Al MOS yapısının şematik gösterimi

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde elde ettiğimiz Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının elektriksel özelliklerini düşük frekanslarda araştırmak için, 10kHz-50kHz-100kHz frekanslarında iletkenlik-voltaj G/ω -V ve kapasitans-voltaj C-V ölçümleri kullanılmıştır. C-V ölçümleri ST2826/A High Frequency LCR Meter cihazıyla, -2V' tan +2V' a arasında 0.1V'luk adımlarla ters ve doğru beslemde, 10 kHz-50 kHz-100kHz frekanslarında ölçümler yapılmıştır. Bu sayede, G/ω -V ve C-V grafikleri elde edilmiştir. Bu şekilde diyotun oda sıcaklığında ara yüzey hallerine ve seri dirence etkilerini tanımlamak adına, grafiklerdeki güçlü yığılma bölgelerine denk gelen iletkenlik ve kapasitans verileri tespit edilmiştir. Deneysel G/ω -V ve C-V ölçümlerinden yararlanılarak Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının bazı elektriksel özellikleri; seri direnç ve ara yüzey halleri gibi parametreleri hesaplanmıştır. MOS yapısının seri direnç ve ara yüzey hallerine etkilerini tetkik etmek için Şekil 2'de görüldüğü gibi MOS yapısının güçlü birikme yerine kadar C-V grafiği oda sıcaklığında yapılmıştır. Elde edilen ölçümlerde, genellikle birikim ve tükenim bölgelerinde kapasitans verileri frekansın artmasıyla azalma göstermiştir (Aras,2015). Bunun yanı sıra artan frekansla beraber iletkenliğinin de arttığı Şekil 3'te görülmektedir. Bu durum beklenen bir davranıştır (Karataş,2008).



Şekil 2. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki kapasitans-voltaj (C-V) grafiği



Şekil 3. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki iletkenlik-voltaj (G/w-V) grafiği

C-V ve G/ω-V grafiklerindeki güçlü birikme bölgesine denk gelen iletkenlik ve kapasitans değerleri, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının, seri direnç ve ara yüzey hallerini oda sıcaklığında hesaplamak için belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Denklem 1’de yerine yazılarak seri dirençler (R_s) hesaplanmıştır.

$$R_s = \frac{\left(\frac{G_{ma}}{\omega C_{ma}}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{G_{ma}}{\omega C_{ma}}\right)\right] G_{ma}} \quad (1)$$

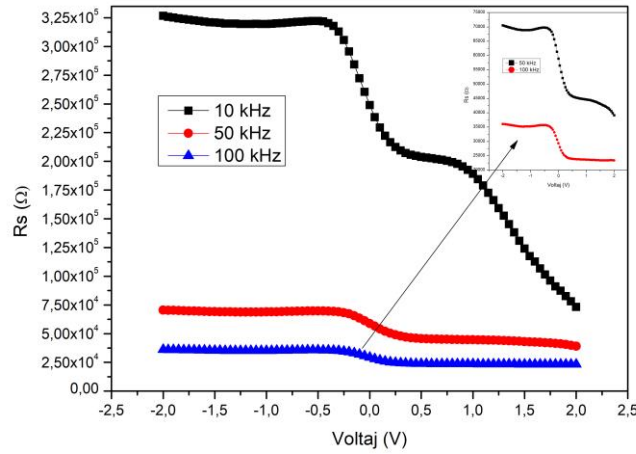
Burada G_{ma} ve C_{ma} kuvvetli birikim bölgesine karşılık gelen iletkenlik ve kapasitans değerleri ve ω ise açısal frekans ($2\pi f$) değeridir. Şekil 4’te Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının frekansa bağlı R_s -V grafiği görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere artan frekansla R_s değerleri azalmıştır. Bu durum, doğru beslem altında kapasitansının azalmasından dolayı daha iyi iletim oluşması, seri direncin azalması, beklenen bir davranıştır. Aynı zamanda arayüzey durumlarının azaldığını da gösteren sonuçlardan birisidir (Aydemir,2009; Demirezen ve ark.,2012). Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının ara yüzey durumlarını hesaplamak için Hill-Coleman yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem Denklem 2’de verilmiştir.

$$N_{SS} = \frac{2}{qA} \frac{(G_m/\omega)_{max}}{((G_m/\omega)_{max} C_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2} \quad (2)$$

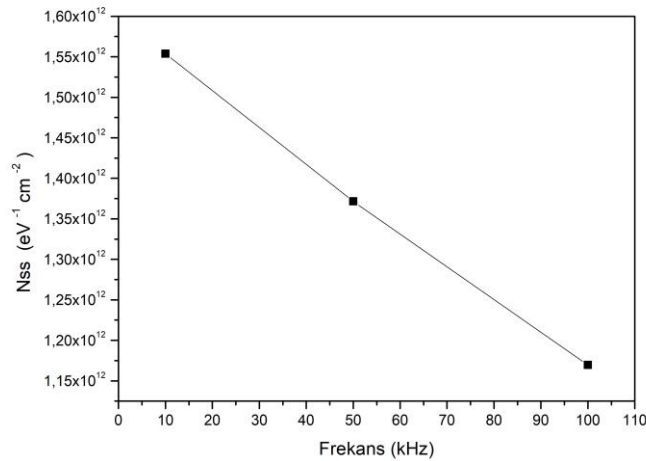
Yukarıda verilen denklemden A doğrultucu kontakın yüzey alanı, q elementer yük, ω açısal frekans ($2\pi f$), G_{max} , G/ω-V grafiğinde iletkenliğin maksimum olduğu noktadaki değeri, C_m iletkenliğin tepe değere denk gelen kapasitans değeridir ve C_{ox} yalıtkan tabakanın kapasitansıdır. C_{ox} Denklem 3’teki gibi (Nicollian ve ark.,1982) hesaplanmıştır;

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{d_{ox}} = C_{ma} \left(1 + \frac{G_{ma}^2}{\omega^2 C_{ma}^2} \right) \quad (3)$$

Aynı zamanda Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının N_{ss} -f grafiği Şekil 5'te verilmiş olup, N_{ss} değerleri artan frekansla azalmıştır. N_{ss} değerlerindeki azalmanın sebebi, yarıiletken ile arayüzey arasındaki bariyer yüksekliğinin azalması ve yük taşıyıcılarının yapı içindeki mobilitelerindeki artıştan kaynaklandığına atfedilmiştir (Karasu ve ark.,2016). Arayüz durumlarının bu mevcut davranışı literatüre uygundur (Karataş ve ark.,2010). Şekil 5'te N_{ss} -f grafiği verilmiştir.



Şekil 4.Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki R_s -V grafiği



Şekil 5.Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki N_{ss} – Frekans değişim grafiği

3.1. Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS Yapısının Frekansa Bağlı Dielektrik Özellikleri

Bu bölümde amacımız Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ''), kayıp açısı ($\tan\delta$), ac elektriksel iletkenliği (σ_{AC}) gibi dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını oda

sıcaklığında ve 10 kHz-50 kHz-100 kHz frekanslarında incelemektir. Bu özellikler C-V ve G/ω-V ölçümlerinden faydalanılarak analiz edilmiştir.

Kompleks permitivite (ϵ^*) diyotun kalitesinin yani elektriksel ve dielektriksel özelliklerinin fiziksel tutumları hakkında bilgi vermek için kullanılır. Kompleks permitivite (ϵ^*) Denklem 4 'teki gibi tanımlanmıştır (Karataş,2008) .

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - i\epsilon''(\omega) \quad (4)$$

Burada, ϵ' (dielektrik sabiti) ve ϵ'' (dielektrik kayıp) sırasıyla kompleks permitivitenin gerçel ve hayali (sanal) kısımlarıdır. $i = (-1)^{1/2}$ ve ω açısal frekanstır ($\omega=2\pi f$). Aynı zamanda ϵ' depolanan enerjiyi, ϵ'' tüketilen enerjiyi göstermektedir. Farklı frekans değerlerinde ϵ^* 'ın gerçel kısmını (ϵ') kuvvetli yığılım bölgesinde ($V>0$) hesaplamak için Denklem 5'ten yararlanılmıştır (Cheng,1989; Pissis ve ark.,1997).

$$\epsilon' = \frac{C_m}{C_0} \quad (5)$$

Burada $C_0=(\epsilon_0 A/d_{ox})$; A, numunenin yüzey alanıdır, d_{ox} , arayüzey yalıtkan katman kalınlığıdır ve ϵ_0 , boş alan yükünün geçirgenliğidir ($8,85 \times 10^{-14}$ F/cm) ve C_m , güçlü birikim bölgesinde ölçülen kapasitans değerleridir (Tataroğlu,2006; Yucedag ve ark.,2007). ϵ^* 'ın hayali (sanal) kısmı ϵ'' ise iletkenlik ölçümlerinden faydalanılarak Denklem 6'daki gibi belirlenmiştir (Chelkowski,1980).

$$\epsilon'' = \frac{G_m d_{ox}}{A \epsilon_0 \omega} \quad (6)$$

Burada G_m , cihazın iletkenliği ve ω açısal frekanstır. Sanal kısım, $\epsilon''=\epsilon' \tan \delta$ olarak ifade edilir. Böylece, kayıp tanjant ($\tan \delta$) Denklem 7'deki gibi ifade edilebilir;

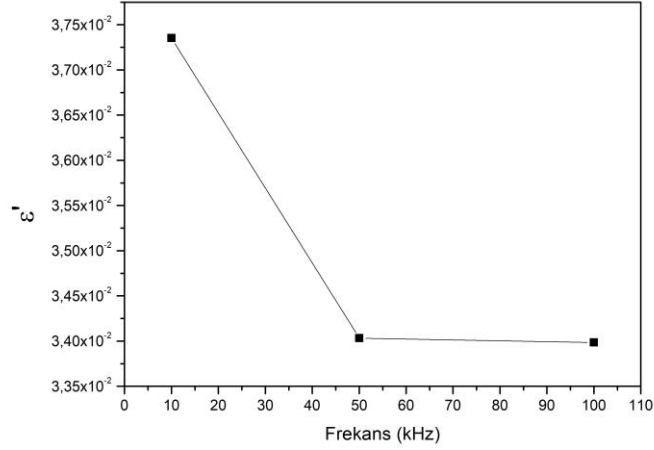
$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon' \quad (7)$$

Ayrıca AC elektriksel iletkenliği σ_{AC} üretilen MOS yapısı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan önemli parametrelerden biridir. σ_{AC} elektriksel iletkenlik dağılımı Denklem 8'deki gibi hesaplanmıştır.

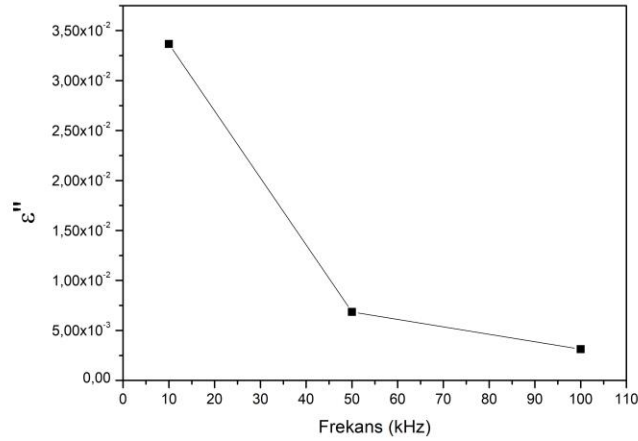
$$\sigma_{AC}(\omega) = \omega \epsilon_0 \epsilon' \tan \delta \quad (8)$$

Denklem 7'de görüldüğü gibi $\tan \delta$, ϵ'' ve ϵ' değerlerine bağlıdır. Dolayısı ile $\tan \delta$ de meydana gelen değişimleri etkileyen durum, ϵ'' ve ϵ' değerlerindeki değişimlerdir. Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de sırasıyla ϵ' , ϵ'' ve $\tan \delta$ 'nın frekansla ilintili değişim grafikleri gösterilmiştir. Her üç şekilde de görüldüğü gibi artan frekansla birlikte ϵ' , ϵ'' ve $\tan \delta$ değerlerinde azalma görülmüştür. Düşük frekanslı bölgelerdeki dielektrik özelliklerdeki (ϵ' , ϵ'' , $\tan \delta$) artış, arayüzey polarizasyon mekanizmasının

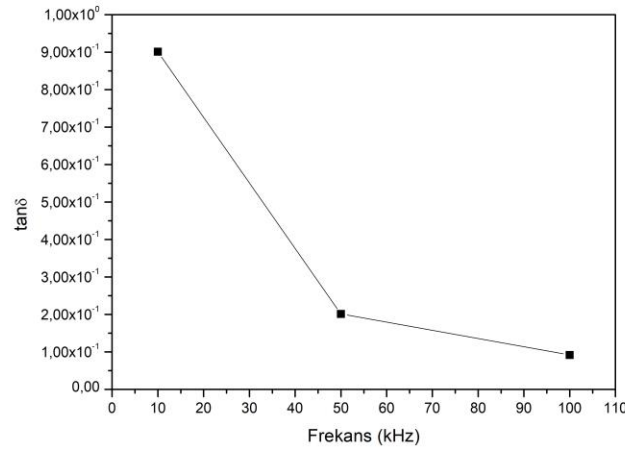
varlığına bağlanabilir ve düşük frekanslarda etkili olabilir (Rajaseker ve ark.,2006; Yucedag ve ark.,2007). Şekil 9’da AC elektriksel iletkenliği σ_{AC} -frekans grafiği verilmiştir. Şekil 9’daki grafikte görüldüğü üzere σ_{AC} artan frekansla önce artıp sonra azaldığı görülmüştür. Bu davranış düşük frekanslarda beklenen bir durumdur. Bu durum literatürde çoğu kez gözlenmiştir (Moon ve ark.,2000; Jiwei ve ark.,2001).



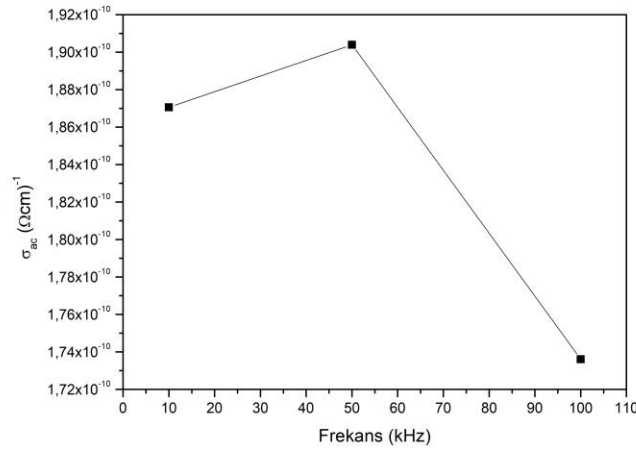
Şekil 6.Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki dielektrik sabit (ϵ') değişim grafiği



Şekil 7. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki dielektrik kayıp (ϵ'') değişim grafiği



Şekil 8. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki kayıp açısı ($\tan\delta$) değişim grafiği



Şekil 9. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki ac elektriksel iletkenliği (σ_{AC}) değişim grafiği

4. Sonuç

Bu çalışmada, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz- 50 kHz- 100 kHz düşük frekans aralığında ve oda sıcaklığında, iletkenlik-gerilim ($G/\omega-V$) ve kapasitans-gerilim ($C-V$) ölçümlerinden faydalanılarak elektriksel ve dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, artan frekansla $C-V$ eğrilerinde kapasitans değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bunun tam zıttına $G/\omega-V$ eğrilerinde artan frekansla iletkenliğin arttığı gözlenmiştir. Bu durum artan frekansla seri direncin azalması anlamına gelir. Seri direnç-voltaj (R_s-V) eğrilerinin de artan frekansla azaldığı görülmüştür. Bu durumlar, doğru beslem altında kapasitansın azalmasından dolayı daha iyi iletim oluşması, seri direncin düşmesi, olası bir durumdur. Tüm bu sayılanlar da ara yüzey durumlarının (N_{ss}) azaldığında gösteren sonuçlardan biridir.

Ayrıca çalışmada, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının $G/\omega-V$ ve $C-V$ ölçümlerinden faydalanılarak dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ''), kayıp açısı ($\tan\delta$), ac elektriksel iletkenliği (σ_{AC}) gibi dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını oda sıcaklığında ve 10 kHz-50 kHz-100 kHz frekans aralığında incelenmiştir.

Artan frekansla ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu davranış arayüzey polarizasyon mekanizmasının varlığına bağlanabilir ve düşük frekanslarda etkili olabilir. σ_{AC} ergilerinde görüldüğü üzere, σ_{AC} değerlerinin artan frekansla önce artıp sonra azaldığı görülmektedir. Bu davranış düşük frekanslarda olası bir durumdur. Bu durum literatürde çoğu kez gözlenmiştir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça:

- Aras FG. Al/Poly(Methyl Methacrylate)/P-Si organik schottky diyotların üretimi, elektrik ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi. Sayfa no: 69,Erzurum,Türkiye, 2015.
- Avouris P., Chen Z., Perebeinos V. Carbon-based electronics. Nature Nanotechnology 2007; 2(10): 605–615.
- Aydemir U. Au/SrTiO₃/n-Si (Mfs) Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin I-V, C-V ve Dlts metodu ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi. Sayfa no:23 ,Ankara,Türkiye 2009.
- Cao P., Wang L., Xu Y., Fu Y., Ma X. Facile hydrothermal synthesis of mesoporous nickel oxide/reduced graphene oxide composites for high performance electrochemical supercapacitor. Electrochimica Acta 2015; 157: 359-368.
- Cheng D. Field and wave electromagnetics. 2nd ed. NewYork: Addison-Wesley; 1989.
- Chelkowski A. Dielectric physics. 6th ed.Amsterdam: Elsevier; 1980.
- Demirezen S., Sönmez Z., Aydemir U., Altındal Ş. Effect of series resistance and interface states on the $I-V$, $C-V$ and $G/\omega-V$ characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature.Current Applied Physics 2012; 12(1): 266-272.
- Jiwei Z., Xi Y., Mingzhong W., Liangying Z. Preparation and microwave characterization of PbTiO₃ ceramic and powder. Journal of Physics 2001; 34(9): 1413.
- Karataş Ş. Studies on electrical and the dielectric properties in MS structures. Journal of non-crystalline solids 2008; 354(30): 3606-3611.
- Karataş Ş., Türüt A. The frequency-dependent electrical characteristics of interfaces in the Sn/p-Si

- metal semiconductor structures. *Microelectronics Reliability* 2010; 50(3): 351-355.
- Karasu S., Öztürk A., Şağban HM., Özmen ÖT. Au/P3HT: PCBM/n-Si Schottky bariyer diyotlarda PCBM konsantrasyonunun kapasitans-voltaj (CV) ve iletkenlik-voltaj (G/wV) karakteristiklerine etkisi ve dielektrik özelliklerin incelemesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4(1): 55-66.
- Karteri I., Karataş Ş., Yakuphanoglu F. Photosensing properties of pentacene thin film transistor with solution-processed silicon dioxide/graphene oxide bilayer insulators. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2016; 27(5): 5284-5293.
- Karteri I., Karataş Ş., Yakuphanoglu F. Electrical characterization of graphene oxide and organic dielectric layers based on thin film transistor. *Applied Surface Science* 2014; 318: 74-78.
- Li W., Bu Y., Jin H., Wang J., Zhang W., Wang S. The preparation of hierarchical flowerlike NiO/reduced graphene oxide composites for high performance supercapacitor applications. *Energy & Fuels* 2013; 27(10): 6304-6310.
- Liu J., Xue Y., Gao Y., Yu D., Durstock M., Dai L. Hole and electron extraction layers based on graphene oxide derivatives for high-performance bulk heterojunction. *Advanced Materials* 2012; 24(17): 2228-2233.
- Michigan Üniversitesi. RCA Clean. LNF Wiki, 9.02.2021, Erişim Adresi: https://inf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/RCA_Clean, Erişim Tarihi, 25.01.2023
- Moon KS., Choi HD., Lee AK., Cho KY., Yoon HG., Suh KS. Dielectric properties of epoxy-dielectrics-carbon black composite for phantom materials at radio frequencies. *Journal of Applied Polymer Science* 2000; 77(6): 1294-1302.
- Nicollian EH., Brews JR. *Metal oxide semiconductor physics and technology*. New York: Wiley; 1982.
- Tongay S., Lemaitre M., Miao X., Gila B., Appleton BR., Hebard AF. Rectification at graphene-semiconductor interfaces: zero-gap semiconductor-based diodes. *Physical Review X* 2012; 2(1): 011002.
- Özmen ÖT. Effects of PCBM concentration on the electrical properties of the Au/P3HT:PCBM/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes. *Microelectronics Reliability* 2014; 54(12): 2766-2774.
- Pissis P., Kyritsis A. Electrical conductivity studies in hydrogels. *Solid State Ionics* 1997; 97(1-4): 105-113.
- Pumera M. Graphene-based nanomaterials and their electrochemistry. *Chemical Society Reviews* 2010; 39(11): 4146-4157.
- Rajaseker K., Subbarayan A. Sathyamoorthy R. AC and dielectric properties of thermally evaporated p-type (Sb₂Te₃)₇₀ (Bi₂Te₃)₃₀ thin films. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2006; 90(15): 2515-2522.
- Stankovi S., Dmitriy AD., Dommet HBG., Kohlhaas KM., Zimney EJ., Stach EA., Piner RD., SonBinh TN., Ruoff RS. Graphene-based composite materials. *Nature* 2006; 442(7100): 282–286.

- Stoller MD., Park SY., Zhu RS. Graphene-based ultracapacitors. *Nano Letters* 2008; 8(10): 3498–3502.
- Tataroğlu A. Electrical and dielectric properties of MIS Schottky diodes at low temperatures. *Microelectronic Engineering* 2006; 83(11-12): 2551-2557.
- Wageh S., Al-Ghamdi AA., Al-Turki Y., Dere A., Tjong SC., El-Tantawy F., Yakuphanoglu F. Electrical and photoresponse properties of Au/ reduced graphene:poly(3-hexylthiophene) nanocomposite /p-Si photodiodes. *Optical and Quantum Electronics* 2015; 47(7): 1779-1789.
- Yucedag I., Altındal S., Tataroğlu A. On the profile of frequency dependent series resistance and dielectric constant in MIS structure. *Microelectronic Engineering* 2007; 84(1): 180-186.