

## Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si (MPS) Yapının Elektriksel Özelliklerinin Frekansa Bağlı İncelenmesi

Seda BENGİ<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> (perilen) ince film tabaka spin kaplama metodu ile n-Si üzerine büyütüldü. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si (Metal-perilen-yarıiletken) yapının kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) karakteristikleri, oda sıcaklığında, 200kHz-3MHz frekans ve ±6V voltaj aralığında incelendi. Potansiyel engel yüksekliği (Φ<sub>B</sub>), seri direnç (R<sub>s</sub>) ve arayüzey durumları (N<sub>ss</sub>) gibi temel elektriksel parametrelerin frekansa ve voltaja oldukça bağlı olduğu görüldü. C-V eğrilerinde yüksek frekanslarda negatif kapasitans davranışı gözlemlendi. Nicollian ve Brews metodu kullanılarak Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının seri direnci (R<sub>s</sub>) ve Hill-Coleman metodu kullanılarak da arayüzey durumlarının (N<sub>ss</sub>) voltaja bağlı değişimi incelendi. Seri direnç değerleri her frekans değeri için bir pik vermekte ve artan frekans ile azalmaktadır. Arayüzey durumları da artan frekans değeri ile eksponansiyel olarak azalmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile hem R<sub>s</sub> hem de N<sub>ss</sub> değerlerinin C-V ve G/ω-V ölçümleri üzerinde oldukça etkili olduğu gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si MPS yapı, Seri direnç, Arayüzey durumları

### The Investigation of Frequency Dependent Electrical Characteristics Of Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si (MPS) Structure

**ABSTRACT:** In this study, C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> (perylene) thin film interfacial layer was deposited on n-Si using spin coating method. The capacitance-voltage (C-V) and conductance voltage characteristics (G/ω-V) of Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si (metal/perylene/semiconductor) structure were investigated in the frequency and voltage ranges of 200 kHz-3 MHz and ±6V, respectively. Experimental results show that the main electrical parameters such as the barrier height, series resistance (R<sub>s</sub>) and interface states (N<sub>ss</sub>) were found strongly function of the voltage and frequency. The C-V plots have an anomalous peak and negative capacitance behavior was observed at high frequencies. In addition, voltage-dependent change profiles of the resistance (R<sub>i</sub>) and interface states (N<sub>ss</sub>) were obtained using Nicollian and Brews method and Hill Coleman methods of the these structures using, respectively. The R<sub>s</sub> plots give a peak for each frequency and the magnitude of this peak decreases with increasing frequency. The values of N<sub>ss</sub> also decrease exponentially with increasing frequency. Obtained experimental results were observed to be very effective on the C-V and G/ω-V of the R<sub>s</sub> and N<sub>ss</sub> values.

**Keywords:** Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si MPS structure, Series resistance, Interface states

<sup>1</sup> Seda BENGİ (Orcid ID: 0000-0002-3348-0712) Başkent Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Seda BENGİ, e-mail: sbengi@baskent.edu.tr

## GİRİŞ

Günümüz elektronik sanayinde metal ve yarıiletkenlerin elektriksel özelliklerinden yararlanarak elde edilen doğrultucu özelliği yüksek Schottky engel diyotlar oldukça önemli bir yere sahiptir. Schottky diyotların önemi ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Schottky engel diyotlar güneş pilleri, fotodetektörler, alan etkili transistörler, mikrodalga diyotlar gibi birçok yarıiletken elektronik aygıtların temelini oluşturmaktadır (Nagao, 1997; Asir ve ark., 2010; Yang ve ark., 2008; Çetinkaya, 2017; Seo ve ark., 2010).

Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasında doğal ya da yapay olarak oluşturulan ara yüzey tabakanın varlığı bu yapıların elektriksel parametrelerini önemli ölçüde etkiler. Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya organik (polimer) tabaka metal-yarıiletken (MS) yapıyı metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) veya metal-polimer-yarıiletken (MPS) yapıya dönüştürür. Aradaki yalıtkan tabakanın varlığı, arayüzey durumları  $N_{ss}$ , Schottky engel yüksekliği  $\Phi_B$  ve seri direnç  $R_s$  gibi parametreleri etkiler. Bu parametreler de diyotun performansının önemli ölçüde değişmesine neden olur (Sze, 1981; Rhoderick ve Williams, 1978; Sharma, 1984; Chand ve Kumar, 1995).

MPS yapılar hazırlanırken, yarıiletkenin n-tipi veya p-tipi olmasına göre uygun iş fonksiyonlu metaller seçilerek doğrultucu kontak oluşturulur. Yarıiletken n-tipi olduğunda genellikle metal olarak oldukça yüksek saflıkta altın (Au) seçilir. Yarıiletken malzeme olarak da kararlı ve ucuz olduğu için Si tercih edilir (Sze, 1981).

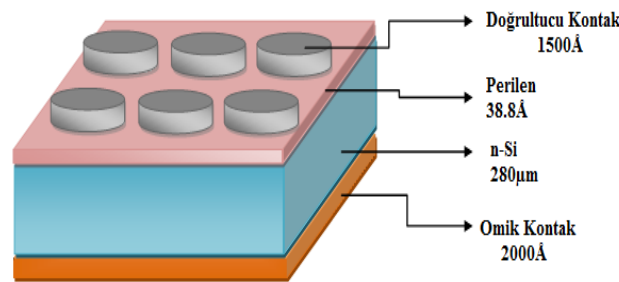
Yalıtkan tabakayı seçerken yapının performansını artırmak ve yük geçişlerini düzenlemek için, sızıntı akımını azaltacak, yüzeyi yüksek oranda pasivize edecek, akım-iletim mekanizmalarını kontrol edebilecek ve doğrultucu özelliği artıracak yüksek dielektrikli, esnek ve maliyeti ucuz olan malzemelerin seçimine dikkat edilir (Güllü ve ark., 2008; Taşçıoğlu ve ark., 2010; Çakar ve ark., 2006; Güllü ve Türüt, 2009; Bengi ve Bülbül, 2013). Bu nedenle son zamanlarda geleneksel yollarla büyütülmüş SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> gibi yalıtkan tabakaların yerine ucuz maliyetli, esnek, kapasitans yoğunluğunu artırmada ve sızıntı akımını azaltmada olası bir malzeme olarak görülen organik maddelerin elektriksel özellikleri üzerine çalışmalarda artan bir ilgi vardır. Tüm bunlar dikkate alındığında çalışmamızda organik bir madde olan perilen (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>) kullanıldı (Zeyrek ve ark., 2013; Kaya ve ark., 2014; Bilkan ve ark., 2015).

Boyutları oldukça küçük olan bu yapıların, çalışma şartlarının belirlenmesi ile birlikte elektriksel özelliklerinin bilinmesi bu yapıların daha güvenilir ve verimli çalışmasını sağlar. MS, MIS veya MPS tipi Schottky diyotların önemli elektriksel parametrelerini elde etmek için kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümleri en önemli ölçüm tekniklerindedir. Sıcaklık, frekans gibi etkenler C-V ve G/w-V karakteristiklerini önemli ölçüde etkiler. Bu ölçüm metotlarından elde edilen sonuçlara dayanarak bu yapıların performansını etkileyen faktörler tartışılmaktadır. Diğer taraftan yarıiletken ile arayüzey tabaka arasında; kristal örgüdeki bozukluklar, kimyasal temizleme ve fabrikasyon sırasında laboratuvar ortamında bulunan organik kirliliklerden dolayı çok sayıda istenmeyen arayüzey durumu veya safsızlıklar oluşabilir. Bu nedenle düşük frekans ölçümlerinde hem ölçülen kapasitans hem de iletkenlik değerlerine bu arayüzey durumlarından dolayı bir katkı gelmektedir. Bu katkı hem lineerlikten sapmaya hem de temel elektrik parametrelerinin hesaplanmasında ilave bir katkı getirmektedir. Bu katkı arayüzey durumlarının ömrüne (yaşam süreleri) bağlı olarak değişmektedir. Başka bir ifade ile düşük frekanslarda bu arayüzey durumları rahatlıkla uygulanan ac sinyali takip edebilmekte fakat yüksek frekanslarda ise ( $f \geq 100\text{kHz}$ ) bu katkı ihmal edilecek kadar küçüktür. Tüm bunlar dikkate alındığında bu çalışmada Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının elektriksel özellikleri 200kHz-3MHz yüksek frekans aralığında incelendi.

Bu çalışmada Spin kaplama yöntemi ile büyütülen Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının elektriksel özellikleri, kapasitans-voltaj (*C-V*) ve iletkenlik-voltaj (*G/w-V*) ölçüm metotları kullanılarak oda sıcaklığında 200kHz-3MHz geniş frekans aralığında incelendi.

## MATERYAL VE YÖNTEM

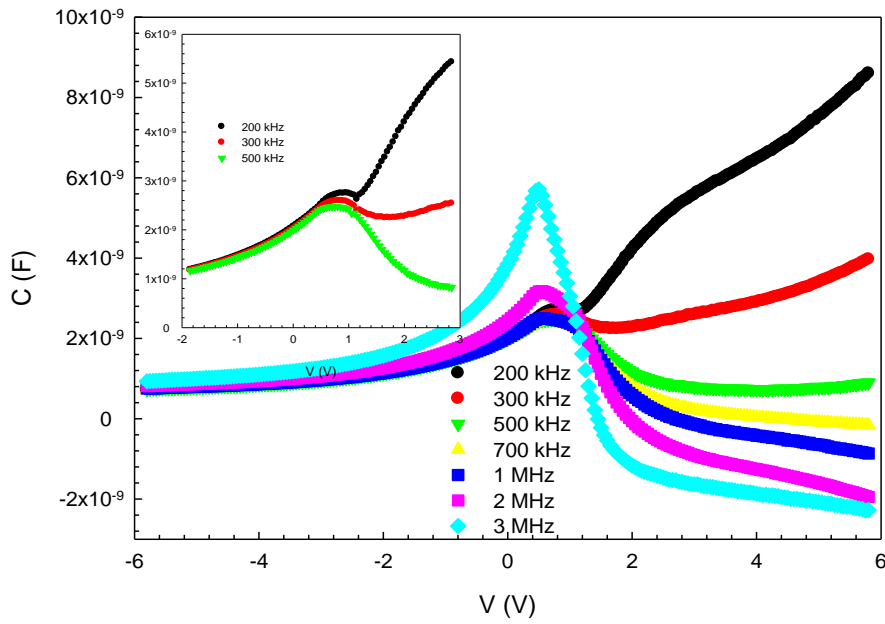
Bu çalışmada Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si MPS yapı, (100) yönelimli, 3 inç çaplı, 280 µm kalınlıklı ve  $\sim 3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  fosfor (P)-katkılı (n-Si) tek kristal Si üzerine büyütülmüştür. Perilen (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>) ince film yapım aşamasında ilk olarak Si yüzeyi üzerindeki kirleri yok etmek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için kimyasal olarak ultrasonik banyoda iyice temizlendikten sonra CP<sub>4</sub> (HNO<sub>3</sub>:HF:COOHCH<sub>2</sub>H<sub>5</sub>:H<sub>2</sub>O=3:1:2:2 molar oranlarında) çözeltisinde 30 s bekletildi. Propylene glycol ile durulandı ve azot (N<sub>2</sub>) gazı ile kurutuldu. Temizleme işleminden sonra Si yarıiletken sıra ile H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> % 20 HF, 6HNO<sub>3</sub>:1HF:35H<sub>2</sub>O % 20 HF çözeltilerine iyice çalkalandıktan sonra de-iyonize suda durulandı. Vakum sistemi ile elde edilen  $\approx 10^{-7}$  mbar basınç altında Si yaprağın arka yüzeyine 2000 Å kalınlığında oldukça saf Au (%99.999) tel termal olarak buharlaştırıldı ve düşük dirençli bir omik kontak oluşturmak için 500°C de tavlandı. Temizleme işlemi yapıldıktan sonra hazırlanan C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> çözeltisi spin kaplama yöntemi kullanılarak n-Si yarıiletkenin ön yüzeyi üzerine 38.8 Å kalınlığında büyütüldü. Buharlaştırma sonucunda oluşan arka kontakın Si üzerine çöktürülmesi işlemi ile omik kontak elde edildi. Son adım olarak, n-Si kristalin üzerine büyütülen C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> ince film üzerine yine yüksek saflıktaki Au (%99.999) aynı termal buharlaştırma sisteminde yaklaşık 1500 Å kalınlığında 1mm çaplı küçük dairecikler şeklinde Au doğrultucu kontaklar oluşturuldu. Bu işlemler sonucunda Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si şeklinde MPS yapı elde edilmiş oldu. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının şematik diyagramı Şekil 1 de verildi. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si MPS yapının kapasitans-voltaj (*C-V*) ve iletkenlik-voltaj (*G/w-V*) ölçümleri Hewlett Packard 4192 A LF (5 Hz ile 13 MHz frekansları arasında ölçüm alabilen) empedans analizörü kullanılarak 200kHz-3MHZ geniş bir frekans ve voltaj aralığında ( $\pm 6V$ ) gerçekleştirildi.



Şekil 1. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının şematik diyagramı

## BULGULAR VE TARTIŞMA

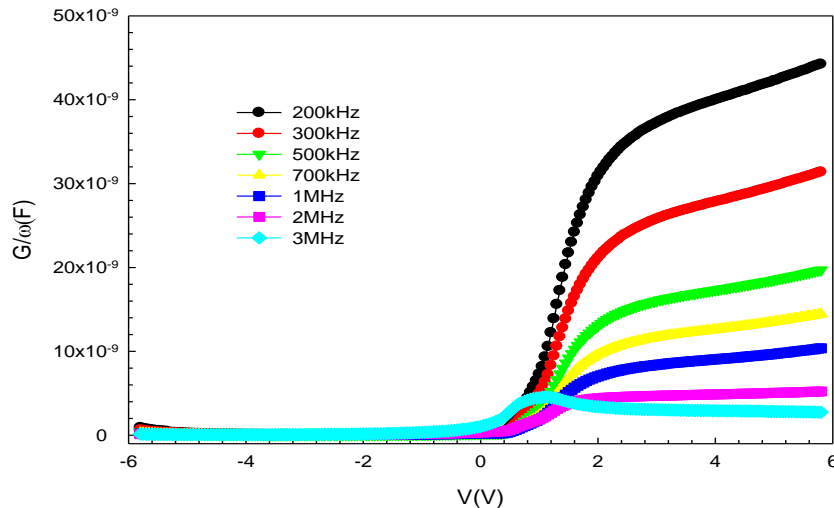
Şekil 2 de kapasitansın voltaja ve frekansa bağlı değişimi görülmektedir. Her bir *C-V* eğrisi tersinim, tüketim ve yığılım olmak üzere üç bölgeye sahiptir. Şekil 2'de kapasitans değerleri artan frekans değerleriyle sistematik olarak azalmakta ve 0-1V arası her frekans için kapasitans değeri bir pik vermektedir. Kapasitansın pik değeri ve konumu ara yüzey durumlarına, katkı atomları sayısına, yalıtkan tabakanın kalınlığına bağlıdır (Bülbül ve ark., 2006; Chattopadhyay ve Raychaudhuri, 1993; Arslan ve ark., 2010; Altındal ve ark., 2008).



Şekil 2. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının farklı frekanslarda ve 300 K’de C-V karakteristikleri

Düşük frekanslarda arayüzey durumlarının ac sinyalini takip edebilmesi sonucu frekansa bağlı olarak ilave bir kapasitans meydana gelmektedir. Fakat yüksek frekanslarda ( $f \geq 500 \text{ kHz}$ ) arayüzey durumlarının ac sinyalini takip etme gücü azalır ve böylece ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerlerine bir katkı gelmez. Yani yüksek frekans bölgesinde kapasitansa arayüzey durumlarından kaynaklanan bir katkı yoktur veya ihmal edilebilecek kadar küçüktür (Sze, 1981).

Ayrıca yüksek frekanslarda kapasitans değerinin negatif olduğu görülmektedir ve bu davranış negatif kapasitans (NC) olarak adlandırılır. Literatürde anormal olarak değerlendiren bu durum malzemenin indüktif davranışının bir sonucudur. Yüksek frekanslarda görülen bu davranış seri direnç etkisinin yanında, bazı parazitik etkiler (Verner ve ark., 1988; Ehrenfreund ve ark., 2007; Korucu ve ark., 2013; Bilkan ve ark., 2015; Tanrikulu ve ark., 2018; Yalçın ve Yakuphanoglu, 2019) ya da kalibrasyondaki eksikler gibi alet hatalarına atfedilebilir (Ershov ve ark., 1998). Özellikle doğru ön gerilimin yüksek değerlerinde bu davranışın gözlenmesi elektrotlardaki yüklerde bir azalma oluştuğunu doğrulamaktadır (Jones ve ark., 1988).



Şekil 3. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının farklı frekanslarda ve 300 K’de G/w-V karakteristikleri

Şekil 3 de iletkenlik değerlerinin frekansa ve voltaja bağlı değişimi görülmektedir. İletkenlik değerleri de kapasitans değerlerine benzer şekilde artan voltajla artarken, artan frekans değerleri ile azalmıştır. C ve G/ω değerlerinin özellikle yığılma bölgesinde artan frekansla azalmasının sebebi arayüzey durumlarından bunlara gelen katkının yüksek frekanslarda ihmal edecek kadar küçük olmasıdır.

Schottky diyotların C-V karakteristiğini incelemek ve yapının bazı elektriksel parametrelerini hesaplayabilmek için ters öngerilim C<sup>-2</sup>-V eğrilerinden yararlanılabilir. Metal-yarıiletken (MS) kontaktlar için tüketim tabakasının kapasitansı (Sze, 1981);

$$C^{-2} = \frac{2}{q\epsilon_s\epsilon_o A^2 N_D} (V_o + V_R) \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Burada ε<sub>s</sub> yarıiletkenin dielektrik sabiti (ε<sub>s</sub>=11.8ε<sub>o</sub>), N<sub>D</sub> verici katkı atomlarının (P) yoğunluğu, V<sub>R</sub> uygulanan ters ön-gerilim, A doğrultucu kontak alanı, V<sub>o</sub> ise C<sup>2</sup>-V eğrisinin voltaj eksenine extrapole edilmesiyle elde edilen built-in potansiyelidir. V<sub>o</sub> ile V<sub>D</sub> difüzyon potansiyeli arasındaki ilişki,

$$V_D = V_o + \frac{kT}{q} \quad (2)$$

şeklinde verilir. Burada kT/q terimi eV cinsinden termal enerjidir. Kapasitans-voltaj ölçümlerinden engel yüksekliği Eşitlik 3. de verildiği gibi tanımlanabilir:

$$\Phi_B(C-V) = V_D + E_F - \Delta\Phi_B = V_D + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_c}{N_D}\right) - \Delta\Phi_B \quad (3)$$

Burada E<sub>F</sub> yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi, N<sub>c</sub>, iletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğu (N<sub>c</sub> = 4,82x10<sup>15</sup>T<sup>3/2</sup>(m<sub>e</sub><sup>\*</sup>/m<sub>o</sub>)<sup>3/2</sup> ve (m<sub>e</sub><sup>\*</sup>/m<sub>o</sub>)=0.98), ΔΦ<sub>B</sub> hayali kuvveti engel düşmesi olup (Sze, 1981);

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

şeklinde yazılır. Burada E<sub>m</sub> parametresi elektrik alanıdır ve aşağıdaki gibi yazılır:

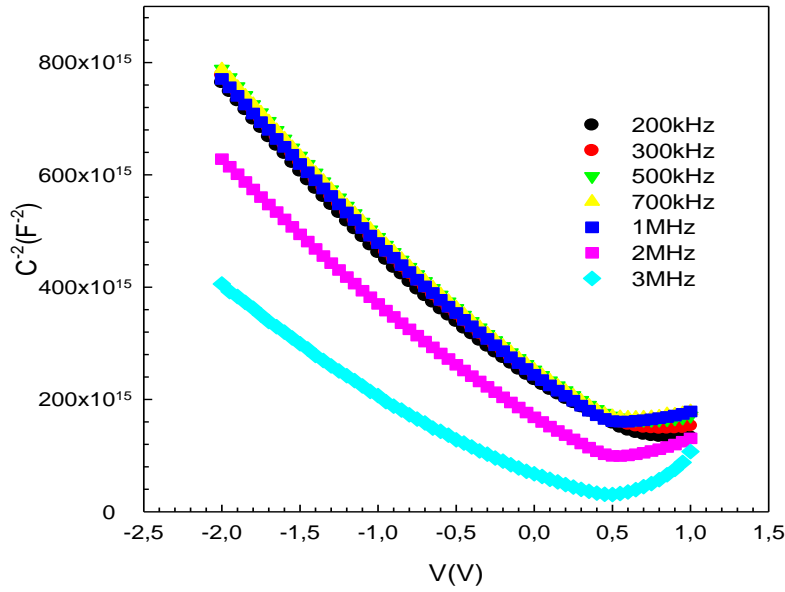
$$E_m = \left[ \frac{2qN_D V_D}{\epsilon_s\epsilon_o} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Ters ön-gerilim C<sup>-2</sup>-V eğrileri Eşitlik 3. e göre lineer doğrular verir ve bu doğruların eğimleri ve kestiği noktalardan diyotun V<sub>D</sub>, N<sub>D</sub>, E<sub>F</sub>, ΔΦ<sub>B</sub>, W<sub>D</sub> ve Φ<sub>B</sub>(C-V) gibi temel elektriksel parametreleri hesaplanabilir. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapı için elde edilen elektriksel parametreler Şekil 4 de verilen C<sup>-2</sup>-V grafiğinden hesaplanarak Çizelge 1'de verildi.

Yarıiletkenler genelde katkı atomlarına göre; düşük (10<sup>13</sup>-10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup>), orta (10<sup>15</sup>-10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>) ve yüksek katkılı olarak isimlendirilirler. Dolayısıyla burada seçilen (≥10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>) katkı oranı 10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup> olup

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_c}{N_D}\right)$$

yüksek katkılı yarıiletken grubuna girer. Bilindiği gibi Fermi enerji seviyesi ( ) katkı atomlarının artması ile negatif değerlere kadar ( dejenere durum) gidebilir. Burada E<sub>F</sub> seviyesi yeterince küçük (≈70 meV) olup N<sub>D</sub>=10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup> için beklenen bir değerdir.



Şekil 4 Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının farklı frekans değerleri için C<sup>-2</sup> - V grafiği

Çizelge 1. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının C<sup>-2</sup>-V eğrilerinden hesaplanan temel elektriksel parametreler

f(kHz)	V <sub>d</sub> (eV)	N <sub>d</sub> x10 <sup>17</sup> (cm <sup>-3</sup> )	E <sub>i</sub> (eV)	ΔΦ <sub>b</sub> (eV)	Φ <sub>b</sub> (eV)	W <sub>d</sub> (cm)x10 <sup>-6</sup>
200	0.567	6.40	0.0721	0.0626	0.576	3.42
300	0.643	6.46	0.0719	0.0649	0.650	3.62
500	0.686	6.49	0.0718	0.0660	0.692	3.73
700	0.701	6.53	0.0716	0.0665	0.706	3.76
1000	0.743	6.81	0.0705	0.0682	0.746	3.79
2000	0.801	9.04	0.0632	0.0747	0.789	3.41
3000	0.8842	16.1	0.0483	0.0884	0.844094	2.69

MIS diyotların seri direncini (R<sub>s</sub>) hesaplamak için literatürde birçok yöntem vardır( Norde, 1979; Sato ve Yasamura, 1985; Cheung ve Cheung, 1986). Bu çalışmada seri direnci hesaplarken Nicollian ve Brews tarafından ortaya konulan admittans tekniği kullanıldı (Nicollian ve Brews, 1982). Seri direnç yüksek frekansta (500 kHz) çizilen kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj eğrilerinin kuvvetli yığılım bölgesindeki kapasitans (C<sub>ma</sub>) ve iletkenlik (G<sub>ma</sub>) değerlerini kullanarak hesaplandı. Paralel RC devresini (Bülbül ve ark., 2006; Nicollian ve Brews, 1982) kullanarak, kuvvetli yığılım bölgesindeki eşdeğer devrenin toplam admittansı aşağıda verildiği şekilde bulunur.

$$Y_{ma} = \frac{1}{Z_{ma}} = G_{ma} + j\omega C_{ma} \quad (6)$$

Admittansın gerçek ve sanal kısımları karşılaştırılarak R<sub>s</sub> değeri aşağıdaki şekilde elde edilir (Bülbül ve ark., 2006; Nicollian ve Brews, 1982).

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (7)$$

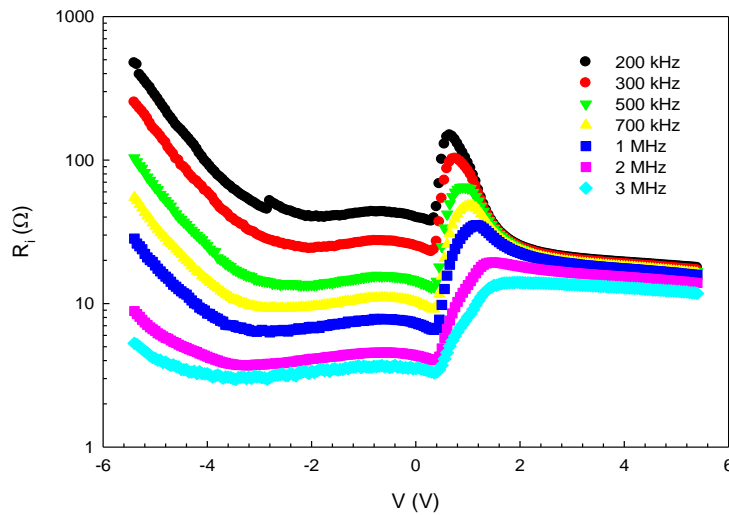
$R_s$  ifadesinde kullanılan  $C_m$  ve  $G_m$  kuvvetli yığılma bölgesinde ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerleri,  $C_{ox}$  yalıtkan tabakanın kapasitansıdır.  $C_m$ ,  $R_s$  ve  $C_{ox}$  arasında;

$$C_{ma} = \frac{C_{ox}}{(1 + \omega^2 R_s^2 C_{ox}^2)} \quad (8)$$

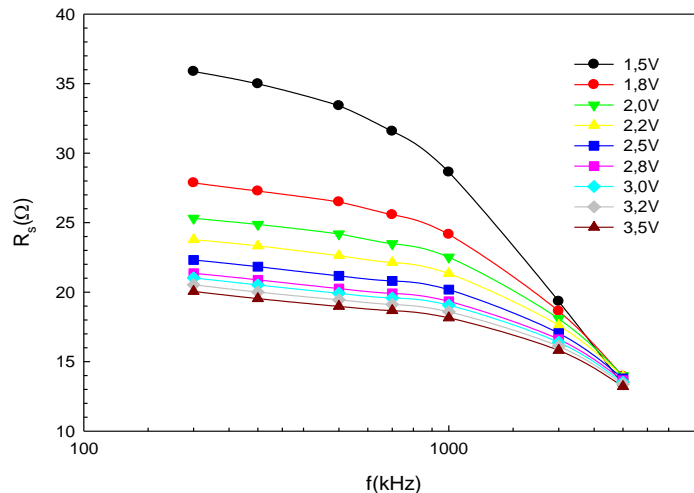
şeklinde bir bağıntı vardır. Buradan  $C_{ox}$  değeri;

$$C_{ox} = C_m \left[ 1 + \left( \frac{G_m}{\omega C_m} \right)^2 \right] = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{d_{ox}} \quad (9)$$

ifadesi ile bulunur (Bülbül ve ark., 2006; Nicollian ve Brews, 1982). Burada  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti ve  $\epsilon_i$  yalıtkan tabakanın dielektrik sabitidir. Eşitlik 9. ve MIS yapının doğrultucu kontak alanı olan  $7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$  değeri kullanılarak yüksek frekans ( $f=500 \text{ kHz}$ ) kapasitans-voltaj eğrisinden yalıtkan tabakanın kalınlığı ( $d_{ox}$ )  $38.8 \text{ \AA}$  olarak bulundu.



Şekil 5. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının farklı frekanslarda ve 300 K’de seri direncin ( $R_s$ ) değişimi



Şekil 6. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının farklı frekanslarda ve 300 K’de farklı voltaj değerleri için  $R_s$ -f grafiği

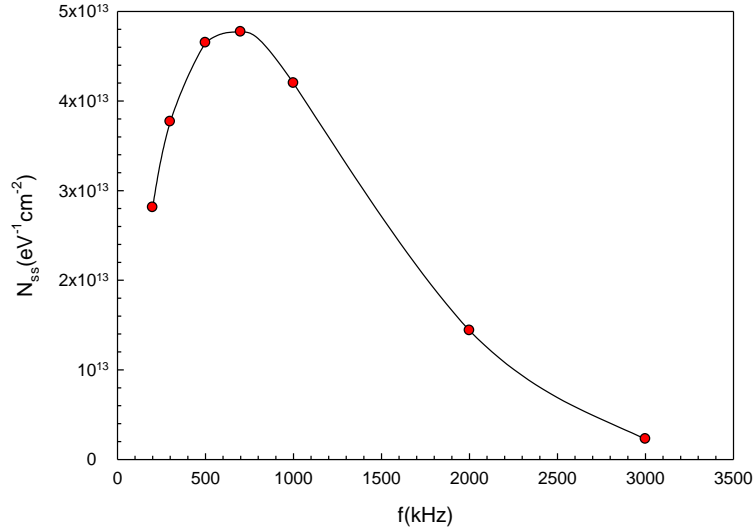
Şekil 5' te seri direncin frekansa ve voltaja bağlı değişim grafiği incelenmiştir. R<sub>s</sub>-V grafiğinde R<sub>s</sub> değerleri artan frekans ile azalmaktadır. Tüm frekans değerleri için 0-1V aralığında bir pik vermektedir ve yüksek frekanslara çıktıkça bu pikin azaldığı gözlenmiştir. Şekil 5'te pikin meydana geldiği gerilim bölgesinde arayüzey durumlarının yerleşmiş olduğuna atfedilebilir (Sze, 1981; Nicollian ve Brews, 1982). Artan frekans değeri ile seri direncin azalması ve pikin kaybolmasının sebebi, düşük frekanslarda elde edilen kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj değerleri için arayüzey durumları ac sinyalini takip edebilir. Şekil 5' te de görüldüğü gibi yeterince yüksek frekanslarda pik kaybolmuştur.

Şekil 6' da R<sub>s</sub> nin farklı voltaj değerleri için frekansa bağlı değişimi incelenmiştir. Grafiğe bakıldığında çok yüksek frekanslarda seri direncin voltajdan bağımsız olarak hareket ettiği görülmüştür.

Hill-Coleman metodu (Hill ve Coleman, 1980) arayüzey durumların belirlenmesi için uygulaması kolay ve güvenilir bir metottur. Bu sebeple çalışmamızda arayüzey durumları (N<sub>ss</sub>), Şekil 7'de farklı frekanslar için elde edilen C-V ve G<sub>m</sub>/ω-V eğrilerini dikkate alarak Hill-Coleman metodundan (Coleman Hill ve Coleman, 1980) yararlanarak elde edildi. Bu metoda göre, arayüzey durum yoğunluğunu veren bağıntı;

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{(G_m / \omega)_{\max}}{((G_m / \omega)_{\max} C_{ox})^2 + (1 - C_m / C_{ox})^2} \quad (10)$$

eşitliği ile verilir. Burada A, MIS yapının doğrultucu kontak alanı, (G<sub>m</sub>/ω)<sub>max</sub> ölçülen kapasitansın pik değerine karşılık gelen iletkenlik, ω açısal frekans ve C<sub>ox</sub> ise yalıtkan tabakanın kapasitansıdır.



Şekil 7. Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapı için Hill Coleman metodu kullanılarak elde edilen frekansa bağlı N<sub>ss</sub> profili

Yarı iletken ile dengede olan arayüzey durumları ac sinyalini düşük frekanslarda daha kolay takip edebilir ve ilave bir kapasitans üretebilir. Düşük frekansın aksine yüksek frekanslarda N<sub>ss</sub> ac sinyali takip edemez. Bundan dolayı arayüzey durumlarının kapasitansının toplam kapasitansa katkısı küçük olur. Yani, yeterince yüksek frekanslarda N<sub>ss</sub>'nin ac sinyali takip edemeyeceğini ve sonuç olarak MPS kapasitansına katkıda bulunamayacağını söyleyebiliriz. Son zamanlarda, C-V ve G-V ölçümlerinden, frekans ve voltaja bağlı benzer sonuçlar elde edilmiştir (HG Çetinkaya, 2018; Yerişkin S, 2019; Karabulut A, 2018; Orak İ ve Koçyiğit A, 2016) .



## SONUÇ

Bu çalışmada, spin kaplama ile büyütülen Au/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/n-Si yapının elektriksel parametreleri kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri kullanılarak geniş bir frekans aralığında (200kHz-3MHZ) incelendi. Tüm ölçümler oda sıcaklığında ve geniş bir voltaj aralığında (-6V - +6V) gerçekleştirildi. Kapasitans değerleri artan frekans değerleriyle sistematik olarak azalmakta ve 0-1V arası her frekans için kapasitans değeri bir pik vermektedir. Ayrıca yüksek frekanslarda kapasitans değerleri negatife doğru gitmektedir. C<sup>-2</sup>-V eğrilerinden yararlanılarak diyotun V<sub>D</sub>, N<sub>D</sub>, E<sub>F</sub>, W<sub>D</sub> ve Φ<sub>B</sub> gibi temel elektriksel parametreleri hesaplanmıştır. R<sub>s</sub>-V grafiğinde R<sub>s</sub> değerleri artan frekans ile azalmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar hem arayüzey durumlarının hem de seri direncin C-V ve G/ω-V ölçümleri üzerinde etkili olduğu ve bu yüzden elektriksel parametrelerin hesabında mutlaka dikkate alınması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Tüm bu deneysel sonuçlar, klasik SiO<sub>2</sub> yerine polimer tabakanın rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir. Buda enerji tüketimi, ucuzluk, esneklik ve fabrikasyon kolaylığı açısından önemli bir avantajdır.

## KAYNAKLAR

- Altındal Ş, Parlaktürk F, Tataroğlu A, Parlak M, Sarmasov SN, Agasiev AA, 2008. The temperature profile and bias dependent series resistance of Au/Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SiO<sub>2</sub>/n-Si (MFIS) structures. *Vacuum*, 82 (11): 1246-1250.
- Arslan E, Şafak Y, Altındal Ş, Keleşçi O, Özbay E, 2010. Temperature dependent negative capacitance behavior in (Ni/Au)/AlGaIn/AlN/GaN heterostructures. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 356 (20-22): 1006-1011.
- Asir S, Demir AS, İcil H, 2010. Efficient Synthesis of New Unsymmetrically Substituted Chiral Naphthalene and Perylene Diimides: Their Photophysical, Electrochemical, Chiroptical and Intramolecular Charge Transfer Properties. *Dyes and Pigments*, 84: 1-13.
- Bengi S, Bülbül MM, 2013. Electrical and dielectric properties of Al/HfO<sub>2</sub>/p-Si MOS device at high temperatures. *Current Applied Physics*, 13: 1819-1825.
- Bilkan Ç, Zeyrek S, San SE, Altındal Ş, 2015. A compare of electrical characteristics in Al/p-Si (MS) and Al/C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>/p-Si (MPS) type diodes using current-voltage (I-V) and capacitance-voltage (C-V) measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32:137-144.
- Bilkan Ç, Gümüş A, Altındal Ş, 2015. The source of negative capacitance and anomalous peak in the forward bias capacitance-voltage in Cr/p-si Schottky barrier diodes (SBDs). *Materials Science in Semiconductor Processing*, 39:484-491.
- Bülbül MM, Zeyrek S, Altındal Ş, Yüzer H, 2006. On the profile of temperature dependent series resistance in Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 83 (3): 577-581.
- Chand S, Kumar J, 1995. Current-voltage characteristics and barrier parameters of Pd<sub>2</sub>Si/p-Si (111) Schottky diodes in a wide temperature range. *Semiconductor Science and Technology*, 10: 1680-1688.
- Chattopadhyay P, Raychaudhuri B, 1993. Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes. *Solid State Electronics*, 36 (4): 605-610.
- Cheung SK, Cheung NW, 1986. Comparison of Parameter Extraction Techniques for SiC Schottky Diodes. *Applied Physics Letters*, 49: 85-87.
- Çakar M, Yıldırım N, Karataş Ş, Temirci C, Turut A, 2006. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Sn/rhodamine-101/n-Si and Sn/rhodamine-101/p-Si Schottky barrier diodes. *Journal of Applied Physics*, 100 (7): 74505-74510.
- Çetinkaya HG, 2018. Frequency and voltage dependent profile of dielectric parameters and electric modulus for Al/(HgS-PVA)/p-Si Capacitor via impedance Spectroscopy method. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 13(3): 421-427.

- Çetinkaya HG, 2017. Aynı Şartlarda Hazırlanmış Al/Bi<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>/n-Si (MFS) diyotların (60 Adet) Engel Yükseklikleri İle İdealite Faktörlerindeki Dağılım. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(1): 89-96.
- Ershov M, Liu HC, Li L, Buchanan M, Wasilewski ZR, Jonscher AK, 1998. Negative capacitance effect in semiconductor devices. IEEE Transactions on Electron Devices, 45: 2196-2205.
- Ehrenfreund E, Lungenschmined C, Dennler G, Neugebauer H, Sariciftci NS, 2007. Negative capacitance in organic semiconductor devices: Bipolar injection and charge recombination mechanism. , Applied Physics Letters, 91: 012112-3.
- Güllü Ö, Aydoğan Ş, Türüt A, 2008. Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure. Semiconductor Science and Technology, 23 (7): 075005:1-5.
- Güllü Ö, Türüt A, 2009. Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structures. Journal of Applied Physics, 106 (10): 103717-103722.
- Hill Coleman WA, Coleman CC, 1980. A single-frequency approximation for interface-state density determination. Solid State Electronics, 23: 987-993.
- Jones BK, Santana J, McPherson M, 1988. Negative capacitance effect in semiconductor diodes. Solid State Communication, 107: 47-50.
- Karabulut A, 2018. Dielectric Characterization of Si-Based Heterojunction with TiO<sub>2</sub> Interfacial Layer. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(3): 119-129.
- Kaya A, Zeyrek S, San SE, Altındal Ş, 2014. Electrical and dielectric properties of Al/p-Si and Al/perylene/p-Si type diodes in a wide frequency range. Chinese Physics B, 23(1): 018506.
- Korucu D, Turut A, Altındal Ş, 2013. The origin of negative capacitance in Au/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs) prepared by photolithography technique in the wide frequency range. Current Applied Physics, 13: 1101-1108.
- Nagao Y, 1997. Synthesis and properties of perylene pigments. Progress in Organic Coatings, 31: 43-49.
- Nicollian EH, Brews JR, 1982. MOS Physics and Technology. John Wiley & Sons, pp. 40-175, 222-226, 423-439, New York-USA
- Norde H, 1979. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. Journal of Applied Physics, 50 (7): 5052-5053.
- Orak İ, Koçyiğit A, 2016. The Electrical Characterization Effect of Insulator Layer between Semiconductor and Metal, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(3): 57-67.
- Rhoderick EH, Williams RH, 1988. Metal Semiconductor Contacts. Oxford Press, pp. 257-264, New York-USA.
- Sato K, Yasamura Y, 1985. Study of forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. Journal of Applied Physics, 58 (9): 3655-3658.
- Seo HS, An MJ, Zhang Y, Choi JH, 2010. Characterization of perylene and tetracene-based ambipolar light-emitting field-effect transistors. The Journal of Physical Chemistry C, 114 (13): 6141-6147.
- Sze SM, 1981. Physics of Semiconductor Devices 2nd edition. John Wiley & Sons, pp. 362-390, New York-USA.
- Sharma BL, 1984. Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications. Plenum Press, pp. 1-3, New York-USA.
- Tanrikulu EE, Demirezen S, Altındal Ş, Uslu İ, 2018. 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: 2890-2898.
- Taşçıoğlu İ, Aydemir U, Altındal Ş, 2010. The explanation of barrier height inhomogeneities in Au/n-Si Schottky barrier diodes with organic thin interfacial layer. Journal of Applied Physics, 108: 6 064506-064511.
- Werner J, Levi AFJ, Tung RT, Anzlowar M, Pinto M, 1988. Origin of the Excess Capacitance at Intimate Schottky Contacts. Physical Review Letters, 60 (1): 53-56.
- Yalçın M, Yakuphanoglu F, 2019. Voltage and frequency dependence of negative capacitance behavior in a Graphene-TiO<sub>2</sub> nanocomposite photoanode based on quantum dot sensitized solar cells. Optik, 183: 1099-1105.

- Yang L, Wang M, Chen H, 2008. Synthesis, electrochemical, and spectroscopic properties of soluble perylene monoimide diesters. *Tetrahedron*, 64 (22): 5404-5409.
- Yerişkin SA, 2019. Effects of (0.01Ni-PVA) interlayer, interface traps (Dit), and series resistance (Rs) on the conduction mechanisms (CMs) in the Au/n-Si (MS) structures at room temperature. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2): 835-846.
- Zeyrek S, Acaroğlu E, Altındal Ş, Birdoğan S, Bülbül MM, 2013. The effect of series resistance and interface states on the frequency dependent C–V and G/w–V characteristics of Al/perylene/p-Si MPS type Schottky barrier diodes. *Current Applied Physics*, 13: 1225-1230.