

## Organik Arayüzeyin Heteroeklem Aygıtın Mikro Elektronik Parametrelerine Etkisi

Ali UĞUR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fizik bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

\*<sup>1</sup>ugurali1976@gmail.com

(Geliş/Received: 29/01/2025;

Kabul/Accepted: 28/04/2025)

**Öz:** Bu çalışmada, Ag/n-Si referans diyot ve FK (Fenol Kırmızı) organik ara yüzey kullanılarak Ag/FK/n-Si hetero eklem aygıtı oluşturuldu. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri yardımıyla referans ve heteroeklem aygıtların engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ), idealite faktörü (n), seri direnç ( $R_s$ ) ve doyma akım yoğunluğu ( $J_0$ ) benzeri önemli mikroelektronik parametreleri termiyonik emisyon (TE) teorisi kullanılarak hesaplandı. Ayrıca üretilen aygıtların 500 kHz ile 1750 kHz arasındaki frekans değerleri düzenli olarak artırılarak farklı frekanslarda alınan C-V ölçümünden elde edilen mikroelektronik parametrelerden built-in potansiyeli ( $V_{bi}$ ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ), donör konsantrasyonu ( $N_d$ ) hesaplandı. Yapılan çalışmalar sonrası elde edilen ölçümler, hesaplamalar ve kıyaslamalar sonucunda üretilmiş olan Ag/FK/n-Si hetero eklemının mikroelektronik aygıt teknolojilerinde uygulanabilir olduğu rapor edildi.

**Anahtar kelimeler:** Fenol kırmızı, organik arayüzey, hetero eklem, mikroelektronik aygıt.

## Effect of Organic Interface on Microelectronic Parameters of Heterojunction Device

**Abstract:** In this study, the Ag/FK/n-Si heterojunction device was created using the Ag/n-Si diode and FK (Phenol Red) organic interface. With the help of current-voltage (I-V) measurements, important microelectronic parameters of reference and the heterojunction devices such as barrier height ( $\Phi_b$ ), ideality factor (n), series resistance ( $R_s$ ), and saturation current density ( $J_0$ ) were calculated using thermionic emission (TE) theory. In addition, the frequency values of the produced devices between 500 kHz and 1750 kHz were regularly increased and the built-in potential ( $V_{bi}$ ), barrier height ( $\Phi_b$ ), and donor concentration ( $N_d$ ) were calculated from the microelectronic parameters obtained from the C-V measurement taken at different frequencies. As a result of the measurements, calculations, and comparisons obtained after the studies, it was reported that the Ag/FK/n-Si heterojunction produced was applicable in microelectronic device technologies.

**Key words:** Phenol red, organic interface, heterojunction, microelectronic device.

### 1. Giriş

Teknolojinin hızla ilerlemesine paralel olarak kullanılan yarıiletken aygıtların da çeşitliliği artmaktadır. Kullanılan bu aygıtlarda yüksek verim ve düşük maliyet büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle geniş uygulama alanına sahip organik yarıiletkenler, geniş optik bant aralığı ve daha düşük maliyetlerle sentezlenebilecek inorganik yarıiletken muadillerinin bulunduğu alanda kendilerine rağbet edilebilecek bir uygulama alanı oluşturmuştur. [1-4,6], Tüm bunların yanı sıra inorganik yarıiletkenlerde olduğu gibi organik yarı iletkenlerinde özellikle düşük taşıyıcı mobilitesi ve düşük iletkenlik gibi bazı dezavantajları mevcuttur. Daha iyi mikroelektronik parametreler ve daha yüksek performans için hem inorganik hem de organik yapıların farklı kombinasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Benzer çalışmalarda fotodiyot [7,8], güneş pili [9,10], ve ışık yayan diyot [11] gibi aygıtlarda her iki yarıiletken malzemenin de avantajlarından yararlanıldığı görülmüştür.

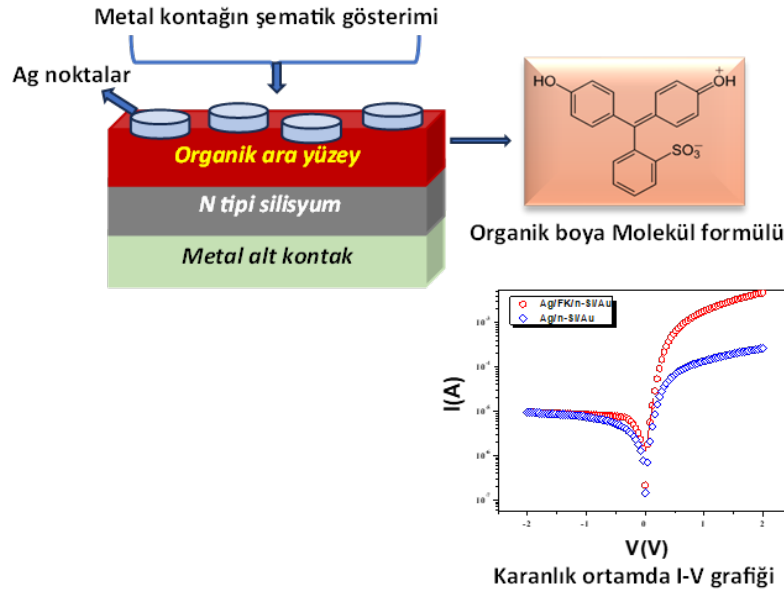
Yapılan bu çalışmadaki en önemli amaç organik arayüzey olarak uygulanan FK boyanın, üretilen hetero yapının mikroelektronik parametrelerinden idealite faktörü (n), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ), seri direnç ( $R_s$ ), built-in potansiyeli ( $V_{bi}$ ), donör konsantrasyonuna ( $N_d$  ( $\text{cm}^{-3}$ )) olan etkisini incelemek ve referans numune ile benzer organik yarı iletkenlerin parametrelerini karşılaştırmaktır. Organik yarı iletken bir boya olan fenol kırmızısı, yoğun renkli, fonksiyonel yarıiletkenlerden olup üç sülfonik grup içermektedir. Bu nedenle fotokatalitik bozunma ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarında Salem ve ark. [12], CBB molekülünü arayüzey olarak kullandıkları Ag/CBB/p-Si hetero eklemünde kararlı foto dedektör verilerini raporlaştırmışlardır. Ayrıca Sabiha ve ark. [13] arayüzeyi fenol-sülfonfalin (PSP) fonksiyonel organik boyayı, spin kaplama yöntemi ile arayüzey tabakası olarak kullanmış, farklı üst metal kontakları için Schottky idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve seri direncin ( $R_s$ ) elektronik parametreler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, elektriksel parametrelerin ve cihaz performansının büyük ölçüde üst metalin fonksiyonuna ve PSP arayüz tabakasının varlığına bağlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda fenol kırmızısını dipol oluşturma

\* Sorumlu yazar: [ugurali1976@gmail.com](mailto:ugurali1976@gmail.com) Yazarların ORCID Numarası : 10000-0002-8147-9169

beklentisiyle hem mikroelettronik parametrelerini hem de performansını iyileştirmesi amaçlanmaktadır. Oluşturulan Ag/FK/n-Si/Au hibrit yapının mikroelettronik parametrelerini hesaplamak için 500 kHz ile 1750 kHz arasındaki frekans değerleri C-V ölçümleri alındı. Ayrıca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda I-V ölçümleri de alınarak parametreler belirlendi.

## 2. Materyal ve Yöntem

Ag/n-Si referans ve Ag/FK/n-Si hetero eklem cihazlarının hazırlanması için Sigma-Aldrich şirketinden satın alınan  $(C_6H_4OH)_2C_7H_4SO_3$ , molekül formülüne ve 358,38 g/mol molekül ağırlığına sahip) Fenol kırmızısı (FK) organik yarı iletken boya kullanıldı. Aygıt tasarımında kullanılan n tipi inorganik alt taş silisyum ((100) yönelime sahip ve 1-10  $\Omega$ -cm özdirençli) malzeme kullanıldı. Si alt taşı üzerindeki istenmeyen yabancı maddelerden kurtulmak için uluslararası temizleme prosedürü olan RCA1 ve RCA2 temizleme prosedürü uygulanarak temizlendi [14]. Ohmik kontağı oluşturmak için önceden hazırlanmış olan n-Si alt taşına Au metali vakum cihazında ( $10^{-6}$  Torr) basınç altında akım verilerek buharlaştırıldı. Ardından önceden temizlenmiş olan kuartz potanın içinde azot gazı ortamında 450 °C'de 3 dakika boyunca tavlandı ve böylece numunenin ohmik kontak kısmı hazırlanmış oldu. Toz halindeki FK organik boya metanol kullanılarak 0,02 molarlık çözelti hazırlandı. Hazırlanan çözelti dönel kaplama cihazı yardımıyla (2000 rpm, 30 sn) Si alttaş üzerine kaplandı. Kaplanmış olan organik yüzey üzerine 1 mm çapında maske yerleştirilerek n-Si ve FK/n-Si Ag metali buharlaştırıldı ve sırasıyla Ag/n-Si/Au referans ve Ag/FK/n-Si/Au hibrit aygıtın fabrikasyon kısmı tamamlandı. Üretilmiş olan referans ve ara yüzeyli aygıtların mikroelettronik parametrelerin değişimini gözlemlemek için karanlık bir ortamda ve oda sıcaklığında I-V ölçümleri -2 V ile +2 V aralığında Keithley 2400 voltaj kaynağı ile alındı. Elde edilen datalar kullanılarak termiyonik emisyon teorisi, Cheung fonksiyonları ve Norde metoduyla mikroelettronik parametreler belirlendi. C-V ölçümleri ise 500, 750, 1000,1250,1500,1750 kHz aralığında 250 kHz lik artışlarla osilasyon frekansları altında HP Agilent 4294A empedans analizörü ile yapıldı.



**Şekil 1.** Ag/FK/n-Si aygıtın şematik diyagramı, fenol kırmızısının moleküller yapısı ve karanlık ortamda I-V grafiği.

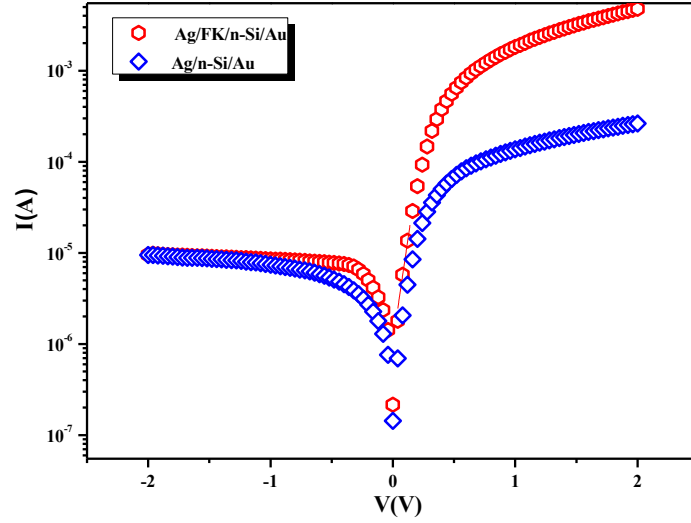
## 3. Bulgular ve Tartışma

Termiyonik emisyon sırasında, taşıyıcıların metal-yarıiletken Schottky diyotlarında sahip oldukları termal enerji sebebiyle potansiyel engelini aşması termiyonik emisyon olayı olarak bilinir. Bu sırada taşıyıcı, metalden yarı iletkene geçebildiği gibi yarı iletkenden de metale geçebilir. Akım Schottky diyotlarda, çoğunluk taşıyıcılara dayanması nedeni ile hız açısından büyük bir avantaj sunmaktadır. Bu durumda Schottky diyotların radyo frekans uygulamalarında ve farklı birçok güç elektroniği uygulamalarında kullanımı ön plana çıkarmaktadır. Schottky diyotlarda metal n-tipi yarıiletkenlerde akım iletimini elektronlar sağlarken, p-tipi yarıiletkenlerde ise holler

sağlamaktadır. Akım iletimi yarıiletkenenden metale doğru olup sadece engel yüksekliğine bağlıdır. J akım yoğunluğu Denklem 1’de doyma akım yoğunluğu ise Denklem 2’de standart-termiyonik emisyon denklemi ile verilmektedir [15].

$$J = J_0 \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) \quad (1)$$

$$J_0 = A^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$



Şekil 2. Ag/n-Si ve Ag/FK/n-Si aygıtının karanlıkta alınan I-V grafiği.

Hem arayüzeyli hem de arayüzeysiz numunede ters beslem bölgesinde akımın voltaja bağlılığının zayıf olduğu görülmektedir. Doğru beslem bölgesinde her iki numuneye uygulanan voltaja bağlı akımın üstel olarak arttığı gözlenmiştir. Doğru beslem bölgesinde arayüzeyli numunede akımın değişimi devredeki seri dirence ve kullanılan arayüzey varlığına atfedilebilir. Bu durumun literatürle de uyumlu olduğu görülmektedir [16].

### Cheung fonksiyonları ile mikroelettronik parametrelerin belirlenmesi

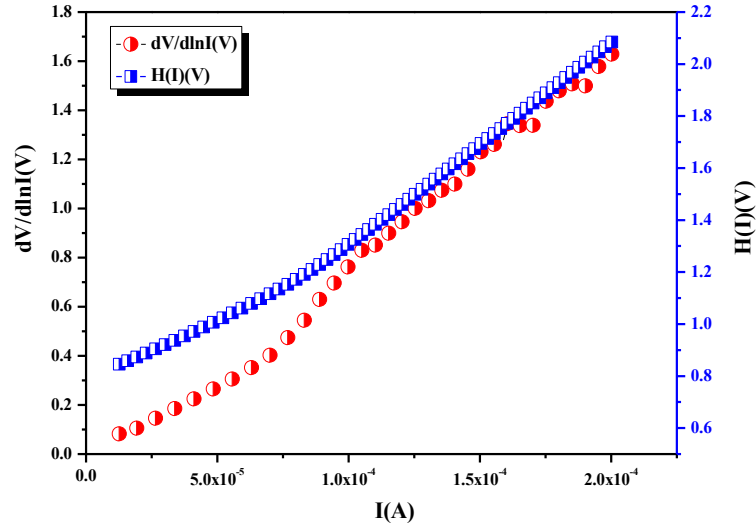
Cheung fonksiyonları diyot parametrelerinin incelenmesinde kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Akım-voltaj grafiğinde uygulanan yüksek voltaj bölgesinde lineerlikten sapma gözlenir. Gözlenen bu sapma seri dirençten kaynaklanmaktadır. Cheung fonksiyonu bu yüksek gerilim bölgesindeki seri direnç etkisini anlamak için Denklem 3, Denklem 4 ve Denklem 5’te verilen denklemlerin kullanılması ile elde edilir [17].

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = IR_s + n\left(\frac{kT}{q}\right) \quad (3)$$

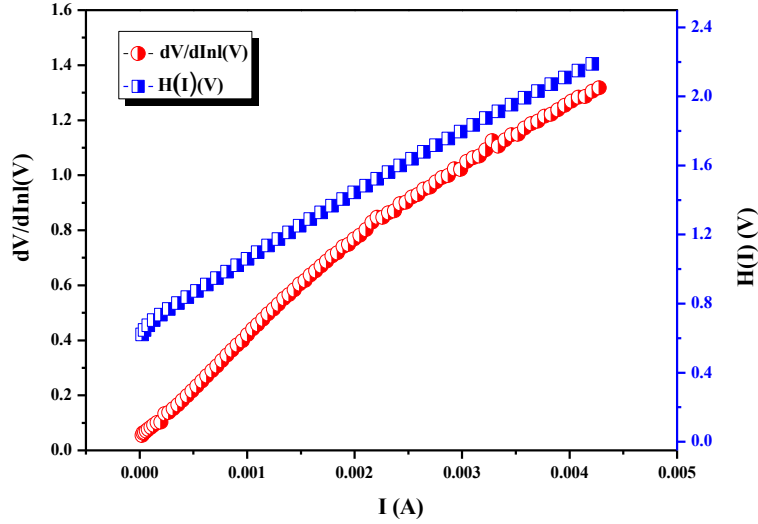
$$H(I) = V - \left(\frac{nKT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (4)$$

$$H(I) = IR_s + n\Phi_b \quad (5)$$

$dV/d\ln(I)$  ve  $H(I)$  grafiği, verilen denklemlerden akımın bir fonksiyonu olarak elde edilmiş olup yüksek voltaj bölgesindeki değişimin lineer olduğunu göstermektedir. Kullanılan FK organik arayüzeyle üretilen hetero eklemlerin Şekil 2 ile Şekil 3’te verilen  $dV/d\ln(I)$ -I ile  $H(I)$ -I grafiklerin eğiminden seri direnç ( $R_s$ ), grafiklerin kesim noktasından ise idealite faktörü ( $n$ ) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) değerleri hesaplandı. Cheung yöntemiyle elde edilen mikroelettronik parametreler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3. Ag/n-Si aygıtının dV/dlnI(V) -I ve H(I)-I grafiği.



Şekil 4. Ag/FK/n-Si aygıtının dV/dlnI(V)-I ve H(I)-I grafiği

Arayüzey kullanılan numunede Cheung fonksiyonlarına göre engel yüksekliğinin arttığı görülmektedir. Bu artış TE teorisinde elde edilen sonuçlarla ve literatürle uyumludur. Ayrıca arayüzey kullanılan numunede seri direncin düştüğü görülmektedir. Arayüzey kullanılmayan numunede Cheung-1 fonksiyonu ile hesaplanan seri direnç değerinin Cheung-2 ile hesaplanan seri direnç değerleri literatür ile uyum sağlamaktadır [18].

#### Norde fonksiyonu ile mikroelettronik parametrelerin belirlenmesi

Alternatif bir yöntem olarak, mikroelettronik parametrelerin ( $\Phi_b$  ve  $R_s$ ) hesaplanmasında Denklem 6'da verilen modifiye Norde fonksiyonu kullanılabilir [19].

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left( \frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (6)$$

Burada  $\gamma$  bir tamsayıdır. Bu değeri idealite faktörü sınırlar. Bu çalışmada tasarlanan arayüzeyli ve ara yüzeyli hetero eklemler için sırasıyla  $\gamma$  değeri 3 ve 2 alındı.  $\Phi_b$  değeri aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır [20].

$$\Phi_b = F(V)_{min} + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (7)$$

Bu eşitlikte Denklem 7’de verilen Norde fonksiyonun ekstremum noktası yardımıyla  $F(V)_{min}$  ve  $V_{min}$  değerleri belirlenir. Şekil 5 organik arayüzeylere sahip heteroeklemlerin  $F(V)$ - $V$  grafiklerini göstermektedir. Bir aygıt için I-V verilerinden minimum gerilime ( $V_{min}$ ) karşılık gelen akım değeri bulunduğundan sonra, Norde fonksiyonu ile  $R_s$  metodunda Denklem 8’de verilen seri direnç değerleri [21],

$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{qI} \quad (8)$$

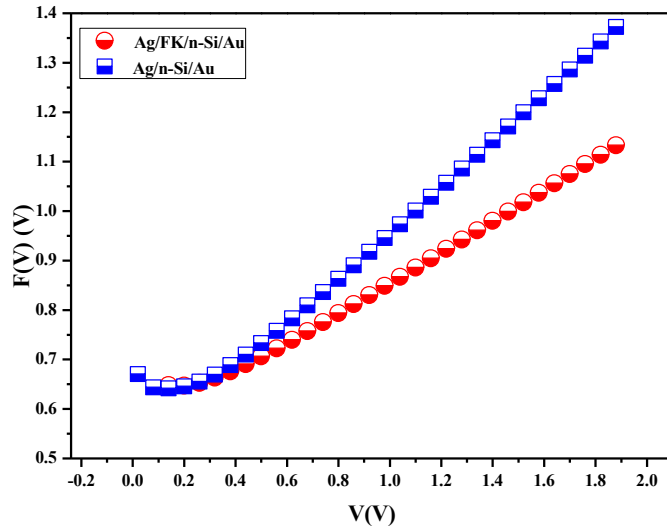
eşitliği ile hesaplanır.

Tablo 1’de üretilen organik arayüzey katmanlı heteroeklemlerin  $F(V)$  yardımıyla belirlenen mikroelettronik parametreleri göstermektedir. Tablo 1’de arayüzeyin etkisiyle mikroelettronik parametrelerin değişiminin mümkün olduğu görülmektedir. Seri direnç ( $R_s$ ) değerlerindeki farklılık ise kullanılan hesaplama yöntemlerine atfedilebilir bir durum olmakla birlikte literatür ile uyumludur [6,14,16,18]. Gencer Imer ve ark. yaptığı çalışmada, Sn/MY/p-Si numunesi için  $\ln(I)$ - $V$  grafiğinden idealite faktörünü ( $n$ ) 1,33 ve bariyer yüksekliğini ise ( $\Phi_b$ ) 0,81 eV olarak hesaplamıştır. Ayrıca Cheung fonksiyonunu kullanarak idealite faktörü 2,1 ve bariyer yüksekliği 0,77 eV olarak hesaplamıştır. Yine Cheung fonksiyonu kullanılarak  $R_s$  değerini 208  $\Omega$  ve Norde metodu ile bariyer yüksekliği 0,86 eV,  $R_s$  değerini 1189  $\Omega$  bulunmuştur. Buradaki değerlerin farklı bulunmasının nedeni ise uygulanan yöntemlerin doğasındaki farklılıklardan kaynaklandığına atfedilmektedir [22-25].

**Tablo 1.** Üretilen aygıtların ve literatürde raporlanan bazı çalışmaların mikroelettronik parametreleri.

| Numune ismi                       | $\ln I - V$ |               | $F(V)(V) - V$ |                    | $d(V)/d\ln I$ |                    | $H(I)$        |                    | Referans |
|-----------------------------------|-------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|----------|
|                                   | $n$         | $\Phi_b$ (eV) | $\Phi_b$ (eV) | $R_s$ ( $\Omega$ ) | $n$           | $R_s$ ( $\Omega$ ) | $\Phi_b$ (eV) | $R_s$ ( $\Omega$ ) |          |
| Ag/n-Si                           | 2,810       | 2,810         | 0,674         | 568,7              | 1,124         | 6069,85            | 0,676         | 5121,79            | *        |
| Ag/FK/n-Si                        | 1,622       | 0,655         | 0,676         | 720,5              | 1,170         | 372,15             | 0,712         | 371,80             | *        |
| Sn/MY/p-Si                        | 1,33        | 0,81          | 0,86          | 1189               | 2,1           | 208                | 0,77          | 210                | [2]      |
| Al/C nanofiber/p-Si               | 2,49        | 0,70          | 0,77          | 2425               | 3,48          | 1046               | 0,56          | 9600               | [6]      |
| Au/compound 1/n-Si                | 1,56        | 0,77          | 0,74          | 0,77               | 3,75          | 6,87               | 0,76          | 6,89               | [14]     |
| Au/TiO <sub>2</sub> (rutile)/n-Si | 1,90        | 0,82          | 0,85          | 70,35              | ----          | 58,92              | 0,91          | 55,61              | [16]     |

\*: Bu çalışma



**Şekil 5.** Ag/FK/n-Si ve Ag/n-Si aygıtlarının F-V grafiği.

#### Kapasitans-gerilim ölçümü ile mikroelettronik parametrelerin belirlenmesi

Ag/n-Si ve Ag/FK/n-Si aygıtlarının kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri 250 kHz artışlı frekans ile  $\pm 2V$  aralığındaki gerilimde yapılmaktadır. Şekil 6. ve Şekil 7. sırasıyla oda sıcaklığında Ag/n-Si Schottky ve Ag/FK/n-

Si heteroeklem aygıtların C-V eğrileri çizildi. Kapasitans, birikim rejiminde her iki cihaz için gerilimle artarken, kapasitansın uygulanan gerilime bağımlılığı ters beslem bölgesinde daha zayıf kaldığı gözlenmektedir. Arayüzey yüklerinin alternatif sinyali takip edememesinden kaynaklı her iki numunenin frekansa bağlı kapasitans davranışı da açıktır [26]. C-V ölçümlerinin daha ileri analizleri için, belirlenen cihazların tükenme katmanının kapasitansı aşağıda verilen Denklem 9'daki Schottky-Mott teorisi ile belirlenir [27].

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi}+V)}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_D} \quad (9)$$

$\epsilon_0$  burada boşluğun dielektrik sabiti ( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m) ve  $\epsilon_s$  ise ( $\epsilon_s=11,9$ ) yarı iletkenin dielektrik katsayısını göstermektedir.  $V_{bi}$  sıfır gerilim altında difüzyon potansiyeli sembolize eder. Ters beslemde 250 kHz frekans altında Ag/n-Si Schottky ve Ag/FK/n-Si aygıtların C<sup>-2</sup>-V eğrilerini göstermektedir. Şekil 8 ve Şekil 9'da eğrilerin düz kısmının eğimi ve gerilim eksenine ekstrapolasyonu sırasıyla  $N_d$  ve  $V_{bi}$ 'yi verir.

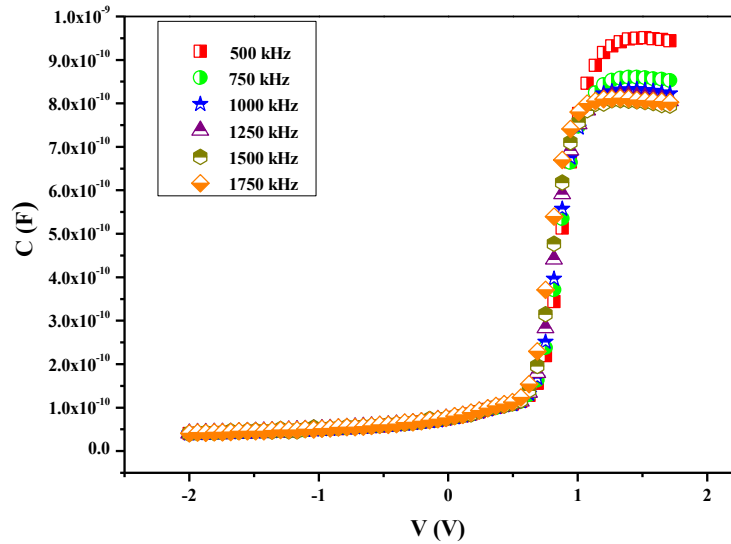
C<sup>-2</sup>-V eğrilerinin uygun parametrelerinden, belirlenen aygıtlar için  $\Phi_b$  değerleri Denklem 10'daki gibi kullanılarak hesaplanabilir [28].

$$\Phi_b = V_{bi} + \frac{kT}{q} + V_n \quad (10)$$

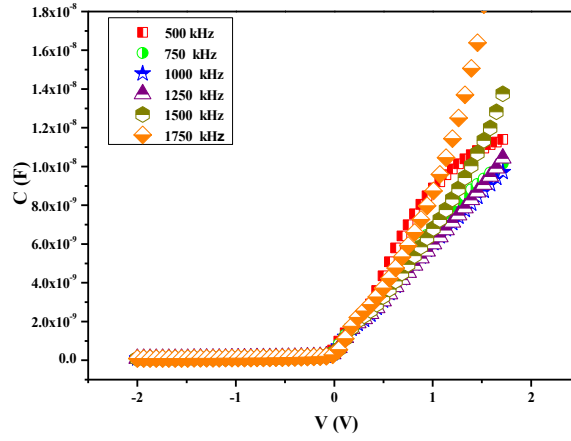
burada  $V_n$ , n-Si için etkin Fermi seviyesidir ve  $V_n$  aşağıdaki gibi Denklem 11 kullanılarak hesaplama yapılır.

$$V_n = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_c}{N_d}\right) \quad (11)$$

Burada  $N_d$ , n-Si'nin donör konsantrasyon yoğunluğunu göstermektedir. Cihazların elektronik parametreleri frekans-kapasitans verilerinden hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Hazırlanan Ag/FK/n-Si ve Ag/n-Si cihazlarının  $\Phi_b$  değeri farklı frekans aralıklarında sırasıyla 0,978, 0,986, 1,002, 1,037, 1,004, 1,029 eV ve 0,452, 0,452, 0,486, 0,481, 0,484, 0,487 eV olarak elde edilmiştir. Tablo 2'de gösterildiği gibi frekans arttıkça  $\Phi_b$  değerinin hem referans numunede hem de ara yüzeyli hetero eklem aygıtta arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni ise engelin homojen bir yapıda olmayışı, ölçüm sistemlerinin farklılığı, yarıiletken ile metal arasında oluşan tabaka ve safsızlık durumlarına atfedilebilir [28].

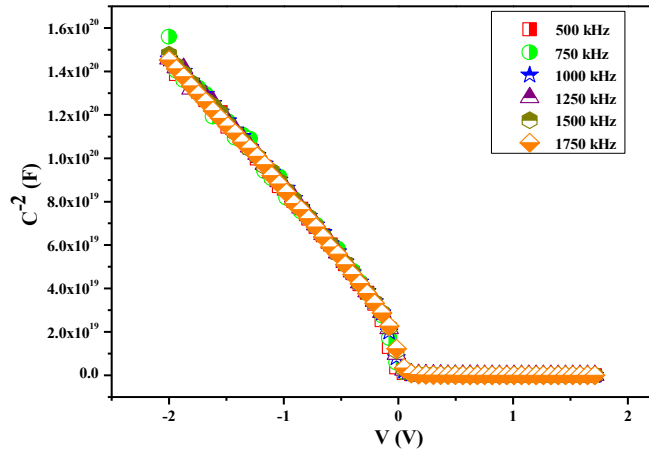
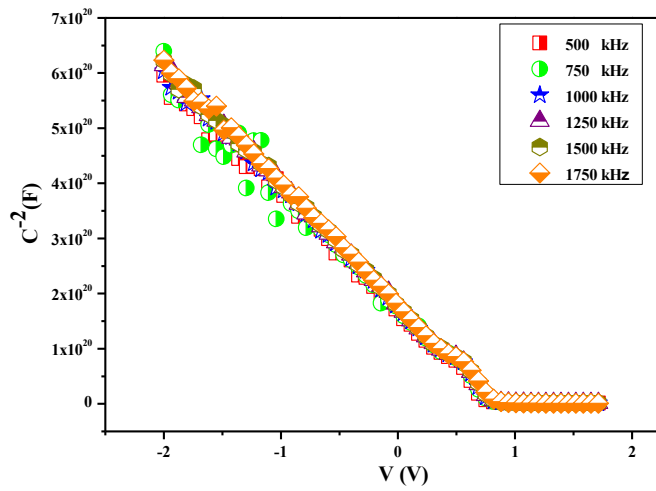


Şekil 6. Ag/n-Si aygıtının C-V grafiği.



Şekil 7. Ag/FK/n-Si aygıtının C-V grafiği.

Gerek Ag/n-Si ve gerekse Ag/FK/n-Si numunelerin düz beslem bölgesinde kapasitans değerinin uygulanan voltaj ve osilasyon frekansına bağımlılığı Şekil 6 ve Şekil 7'den anlaşılmaktadır. Kapasite değerinin yüksek frekans değerinde azalması AC sinyallerini takip edemediğini göstermektedir. Bu sonuçların literatür ile de uyumlu olduğu görülmektedir [29,30].

Şekil 8. Ag/n-Si aygıtının  $C^{-2}$ -V grafiği.Şekil 9. Ag/FK/n-Si aygıtının  $C^{-2}$ -V grafiği

**Tablo 2.** Üretilen aygıtların farklı frekanslarda C-V ölçümünden elde edilen mikroelettronik parametreleri.

| Numune ismi | $V_{bi}$ (V) | $E_f$ (eV) | $\Phi_b$ (eV) | $N_d$ (cm <sup>-3</sup> ) | F (kHz) |
|-------------|--------------|------------|---------------|---------------------------|---------|
| Ag/FK/n-Si  | 0,734        | 0,244      | 0,978         | 8,511 x10 <sup>14</sup>   | 500     |
|             | 0,742        | 0,244      | 0,986         | 8,443 x10 <sup>14</sup>   | 750     |
|             | 0,758        | 0,244      | 1,002         | 8,443 x10 <sup>14</sup>   | 1000    |
|             | 0,794        | 0,243      | 1,037         | 8,576 x10 <sup>14</sup>   | 1250    |
|             | 0,759        | 0,244      | 1,004         | 8,207 x10 <sup>14</sup>   | 1500    |
|             | 0,785        | 0,244      | 1,029         | 8,444x10 <sup>14</sup>    | 1750    |
| Ag/n-Si     | 0,237        | 0,215      | 0,452         | 2,602x10 <sup>15</sup>    | 500     |
|             | 0,237        | 0,215      | 0,452         | 2,556 x10 <sup>15</sup>   | 750     |
|             | 0,273        | 0,213      | 0,486         | 2,716x10 <sup>15</sup>    | 1000    |
|             | 0,268        | 0,214      | 0,481         | 2,704x10 <sup>15</sup>    | 1250    |
|             | 0,271        | 0,213      | 0,484         | 2,740x10 <sup>15</sup>    | 1500    |
|             | 0,274        | 0,213      | 0,487         | 2,785x10 <sup>15</sup>    | 1750    |

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada n-Si yüzeyi dönel kaplama cihazı ile organik fenol kırmızısı boya ile kaplandı. Elde edilen Ag/n-Si ve Ag/FK/n-Si hetero eklem aygıtların mikroelettronik parametreleri Termiyonik emisyon teorisi, Cheung fonksiyonu ve modifiye Norde fonksiyonları yardımıyla hesaplandı. Düzenli olarak arttırılan, frekans altındaki mikroelettronik parametrelerin değişimi hesaplandı ve bunların literatür ile uyumlu olduğu belirtildi. Uygulanan organik ara yüzey ile seri direncin azaldığı ( $R_s$ ), Fermi enerji düzeyinin arttığı görüldü. Beklenen bu durumun yapılan çalışmalarla da uyumlu olduğu görüldü. Ayrıca engel yüksekliğinin de ( $\Phi_b$ ) hem seri direnç hem de ara yüzey durum yoğunluğu kaynaklı olarak arttığı görüldü. Yüksek frekanslarda kapasite değerinin azaldığı bunun nedeni ise yüksek frekanslarda taşıyıcıların AC sinyallerini takip edemediği dolayısıyla kapasiteye katkısının olmadığı belirtildi. Ayrıca C-V ölçümlerinde hem arayüzeyli hem de arayüzeyli hetero eklemlerinde frekansın artması ile built-in potansiyeli ( $V_{bi}$ ) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) nin arttığı, Fermi enerji seviyesinin ise azaldığı görüldü. Sonuç olarak bu çalışma arayüzey depozisyonu sayesinde mikroelettronik parametrelerin modifikasyonun ve aygıt performansının iyileşmesinin mümkün olduğunu göstermektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Dayan O, Gencer Imer A, Tercan M, Dere A, Al-Sehemi AG, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F. Dye sensitized solar cell-based optoelectronic device using novel [Ru(L1)(L2)(NCS)<sub>2</sub>] complex. J Mol Struct. 2021; 1238: 130464-73.
- [2] Gencer Imer A, Korkut A, Farooq WA, Dere A, Atif M, Hanif A, Karabulut A. Interface controlling study of silicon based Schottky diode by organic layer. J Mater Sci Mater Electron. 2019; 30: 19239-46.
- [3] Karabulut A, Dere A, Dayan O, Al-Sehemi AG, Serbetci Z, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F. Silicon based photodetector with Ru(II) complexes organic interlayer. Mater Sci Semicond Process. 2019; 91: 422-30.
- [4] Gencer Imer A, Dere A, Kaya E, Al-Sehemi AG, Dayan O, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F. The photodetection properties of a ruthenium electro-optic device for organic material-based device industry. Opt Mater (Amst). 2023; 142: 114085-94.
- [5] Altındal Ş, Özdemir AF, Aydoğan Ş, Türüt A. Discrepancies in barrier heights obtained from current-voltage (IV) and capacitance-voltage (CV) of Au/PNoMPhPPy/n-GaAs structures in wide range of temperature. J Mater Sci Mater Electron. 2022; 33:12210-23.
- [6] Sevgili Ö, Yıldırım M, Azizian-Kalanderagh Y, Altındal Ş. A comparison study regarding Al/p-Si and Al/(carbon nanofiber-PVP)/p-Si diodes: current/impedance-voltage (I/Z-V) characteristics. Appl Phys A Mater Sci Process. 2020; 126: 3817-24.
- [7] Güllü Ö, Türüt A. Electrical analysis of organic dye-based MIS Schottky contacts. Microelectron Eng. 2010; 87: 2482-7.
- [8] Ben Ahmed A, Benhaliliba M, Ocak YS, Ayeshamariam A, Benouis CE. Photovoltaic parameters and computational spectroscopic investigation of third order nonlinear optical of CuPc/Si organic diode. Opt Mater (Amst). 2022; 126: 112071-80.
- [9] Benhaliliba M, Ben Ahmed A, Kaleli M, Meftah SE. Structural, optical, nonlinear optical, HUMO-LUMO properties and electrical characterization of Poly(3-hexylthiophene) (P3HT). Opt Mater (Amst). 2022; 132: 112782-91.

- [10] Orak İ, Türüt A, Toprak M. The comparison of electrical characterizations and photovoltaic performance of Al/p-Si and Al/Azure C/p-Si junctions devices. *Synth Met.* 2015; 200: 66–73.
- [11] Abdel-Khalek H, Shalaan E, Abd-El Salam M, El-Mahalawy AM. Effect of illumination intensity on the characteristics of Cu(acac)<sub>2</sub>/n-Si photodiode. *Synth Met.* 2018; 245: 223–36.
- [12] Salem MS, Wassel AR, Fedawy M, Shaker A, Al-Bagawia AH, Aleid GM, El-Mahalawy AM. Integration of biocompatible Coomassie Brilliant Blue dye on silicon in organic/inorganic heterojunction for photodetection applications. *J Phys Chem Solids.* 2022; 169: 110890-904.
- [13] Omarbli SA, Gencer Imer A. Modification in the electronic parameters of M/p-Si hybrid device by PSP functional dye interface with different contact metals (M:Ag, Cu, Pd, Sn). *Synth Met.* 2023; 297: 117396-405.
- [14] Tombak A, Imer AG, Syan RHB, Gülcan M, Gümüş S, Ocak YS. Synthesis, characterization, DFT studies, and photodiode application of azo-azomethine-based ligand and its transition-metal complexes. *J Electron Mater.* 2018; 47: 7240–50.
- [15] Smith BL, Rhoderick EH. Schottky barriers on p-type silicon. *Solid State Electron.* 1971; 14: 71–5.
- [16] Knac B, Şebnem Çetin S, Bengi A, Özçelik S. The temperature dependent analysis of Au/TiO<sub>2</sub> (rutile)/n-Si MIS SBDs using current-voltage-temperature (I-V-T) characteristics. *Mater Sci Semicond Process.* 2012; 15: 531–45.
- [17] İkrâm O, Türüt A, Toprak M. The comparison of electrical characterizations and photovoltaic performance of Al/p-Si and Al/Azure C/p-Si junctions devices. *Synth Met.* 2015; 200: 66–73.
- [18] Dulkadir S, Tecimer HU, Parlaktürk F, Altındal Ş, Karal. The effect of radiation on the forward and reverse bias current-voltage (I-V) characteristics of Au/(Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SiO<sub>2</sub>)/n-Si (MFIS) structures. *J Mater Sci Mater Electron.* 2020; 31: 12514–21.
- [19] Dayan O, Gencer Imer A, Al-Sehemi AG, Özdemir N, Dere A, Şerbetçi Z, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F. Photoresponsivity and photodetectivity properties of copper complex-based photodiode. *J Mol Struct.* 2020; 1200: 127062-71.
- [20] Abdel-Khalek H, Shalaan E, Abd-El Salam M, El-Mahalawy AM. Effect of illumination intensity on the characteristics of Cu(acac)<sub>2</sub>/n-Si photodiode. *Synth Met.* 2018; 245: 223–36.
- [21] Benhaliliba M. A growth of A-Z phthalocyanine layers onto Si by thermal evaporation process to achieve organic heterojunction diodes. *Optik (Stuttg).* 2020; 217: 164832-39.
- [22] Tombak A, Ocak YS, Asubay S, Kilicoglu T, Ozkahraman F. Fabrication and electrical properties of an organic-inorganic device based on Coumarin 30 dye. *Mater Sci Semicond Process.* 2014; 24: 187–92.
- [23] Gencer Imer A, Tombak A, Korkut A. Electrical and photoelectrical characteristic investigation of a new generation photodiode based on bromothymol blue dye. *J Phys Conf Ser.* 2016; 707-17.
- [24] Gencer Imer A, Syan RHB, Gülcan M, Ocak YS, Tombak A. The novel pyridine based symmetrical Schiff base ligand and its transition metal complexes: synthesis, spectral definitions and application in dye sensitized solar cells (DSSCs). *J Mater Sci Mater Electron.* 2018; 29: 898–905.
- [25] Gencer Imer A, Karaduman O, Yakuphanoglu F. Controlling of the photosensing properties of Al/DMY/p-Si heterojunctions by the interface layer thickness. *Synth Met.* 2016; 221: 114–9.
- [26] Altındal Ş, Barkhordari A, Pirgholi-Givi G, Ulusoy M, Mashayekhi H, Özçelik S, Azizian-Kalandaragh Y. Comparison of the electrical and impedance properties of Au/(ZnOMn: PVP)/n-Si (MPS) type Schottky-diodes (SDs) before and after gamma-irradiation. *Phys Scr.* 2021; 96(12): 125881-93.
- [27] Imer AG, Gülcan M, Çelebi M, Tombak A, Ocak YS. Effects of the r-GO doping on the structural, optical and electrical properties of CdO nanostructured films by ultrasonic spray pyrolysis. *J Mater Sci Mater Electron.* 2020; 31: 2111–21.
- [28] Sönmezoğlu S, Akın S. Kapasitans-Voltaj (C-V) yöntemiyle Sb katkılı TiO<sub>2</sub>/n-Si MIS yapının seri direnç parametresinin hesaplanması. *Afyon Kocatepe Univ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 2011; 11(1): 1–8.
- [29] Özdemir MC, Sevgili Ö, Orak İ, Türüt A. Arayüzey doğal oksit tabakalı Al/p-Si/Al yapıların dielektrik karakteristiklerine ölçüm frekansının etkileri. *Iğdır Univ Fen Bil Enst Derg.* 2020; 10: 91–100.
- [30] Orak İ, Kocyigit A, Karataş Ş. The analysis of the electrical and photovoltaic properties of Cr/p-Si structures using current-voltage measurements. *Silicon.* 2018; 10: 2109–16.