

Saçtırma Yöntemi ile Üretilen Işığa Duyarlı Germanyum Katkılı Tungsten Oksit Filmin Elektriksel Karakterizasyonu

Mustafa Şükrü KURT^{1*}

Öz

Magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak Al kontaklı p-tipi Si altlık üzerine %3.1 Ge katkılı WO_x katmanı büyütülerek p-n tipi Al/Si/WO_x(%3.1Ge) eklemi elde edilmiştir. SEM ve EDS analizi sonuçları yüzeyin pürüzsüz ve homojen bir yapıya sahip olduğunu ve sırasıyla %93.7 W, 3.1% Ge ve 3.3% O oranlarından oluştuğunu göstermektedir. Elektriksel özelliklerin incelenmesi için üretilen aktif tabaka üzerine Ag nokta kontaklar atılarak sonuçta Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag yapısı elde edilmiştir. Üretilen heteroeklemin karanlık ve değişik ışık şiddetleri altında $\pm 4V$ potansiyel aralığında *I-V* ölçümleri yapılarak diyot parametreleri (seri direnç, engel yüksekliği, diyot idealite faktörü, ters doyum akımı) incelenmiştir. Diyot idealite faktörünün ve seri direncin sırasıyla 3.7-5.68 ve 0-20 Ω arasında, engel yüksekliğinin ise 0.12-0.18 eV arasında değerler aldığı ve ters doyma akımının ışık şiddetine bağlı değişim gösterdiği saptanmıştır. Heteroeklemin tipik fotodiyot davranışı gösterdiği ve 60mW/cm² ışık şiddeti altında maksimum doldurma faktörü değerinin 0.2660 olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Tungsten Oksit-Germanyum, Metal-oksit yarıiletken, Fotodiyot, p-n tip eklem, I-V

Electrical Characterization of Photosensitive Germanium Doped Tungsten Oxide Film Produced by Sputtering Method

Abstract

A p-n type Al/Si/WO_x(3.1% Ge) junction was obtained by growing 3.1% Ge doped WO_x layer on an Al contacted p-type Si substrate using magnetron sputtering method. The results of SEM and EDS analysis show that the surface has a smooth and homogeneous structure and consists of 93.7% W, 3.1% Ge and 3.3% O, respectively. In order to examine the electrical properties, Ag dot contacts were deposited on the produced active layer and Al/Si/WO_x(3.1%Ge)/Ag structure was obtained. Diode parameters (series resistance, barrier height, diode ideality factor, reverse saturation current) were investigated by making *I-V* measurements in the $\pm 4V$ potential range under dark and different light intensities of the produced heterojunction. It was observed that the diode ideality factor and series resistance have values between 3.7-5.68 and 0-20 Ω , respectively, and the barrier height have values between 0.12-0.18 eV, and the reverse saturation current changed depending on the light intensity. The heterojunction demonstrated standart photodiode behaviour, with a maximum fill factor value of 0.2660 under 60mW/cm² light intensity.

Keywords: Tungsten Oxide-Germanium, Metal-oxide semiconductor, Photodiode, p-n type junction, I-V

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye, e-mail: mustafa.kurt@erzurum.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-2639-1850>

1. Giriş

Yarı iletken oksitler, malzeme bilimi, endüstri ve teknolojiye çok sıra dışı malzemelerdir. Yarı iletken oksit nanoyapıları, sahip oldukları nanoelektronik ve optoelektronikteki potansiyelleri nedeniyle oldukça dikkat çekmektedirler (Koltypin ve ark., 2002; Qiu ve ark., 2002; Terohid ve ark., 2018; Arunadevi ve ark., 2019; Tan ve ark., 2021; Kurt ve ark., 2022). Yarı iletken oksitler arasında, WO_x 'in çeşitli oksidasyon durumlarına sahip tungsten oksit, hızlı optik tepki süresi nedeniyle diğer elektrokronik malzemelerle karşılaştırıldığında en etkileyici adaylardan biri olarak kabul edilmektedir. Uygulamaların çeşitliliğinden ve üzerinde yapılan çalışmaların sayısından bant aralığı, kristal yapısı, kimyasal kararlılığı, optik ve elektriksel özellikleri gibi üstün özellikli kombinasyonlara sahip çekici bir malzeme olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bugüne kadar yapılan bazı çalışmalar oksitli tungsten filmlerin mekanik, elektrik, elektronik ve optik özelliklerinin optimizasyonunun nanoyapılandırma, katkılama, farklı metaller veya oksitler ile karıştırılması ve hatta kristal fazlar yerine amorf bir faz kullanılmasıyla yapılabildiğini göstermektedir (Deb, 2002; Hassel ve ark., 2010; Zheng ve ark., 2011; Khare ve ark., 2013; Sliozberg ve ark., 2015; Amarsing ve ark., 2017). Diğer taraftan germanyum (Ge)'nin iyi bir yarı iletken malzeme olduğu ve optoelektronik uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı bilinen bir gerçektir. Literatürde Ge bazlı malzemelerin optoelektronik özelliklerini değerlendiren farklı çalışmalar bulunmaktadır (Michel ve ark., 2010; Jiang ve ark., 2021; Aslan ve ark., 2022). Bununla birlikte literatürde W-Ge oksitli nanokompozit ince filmlerin morfo-yapısal ve optoelektronik davranışları üzerinde sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada ışığa duyarlı cihaz endüstrilerinde olası bir uygulama bulabilecek W-Ge oksitli filmlerinin optoelektronik özelliklerinin değerlendirmesi amaçlandı.

İnce filmlerin hazırlanması için spin kaplama, kimyasal buhar biriktirme (CVD), daldırma yöntemi ile kaplama, anotlama, saçtırma, lazerle ablasyon, atomik katman biriktirme ve termal buharlaştırma dahil olmak üzere çeşitli biriktirme teknikleri kullanılmaktadır (Hoel ve ark., 2004; Nimitrakoolchai ve Supothina, 2008; Zheng ve ark., 2011; Dastan, 2017; Bourdin ve ark., 2019; Jafari ve ark., 2019; Aslan ve ark., 2022). Bu yöntemler içerisinde magnetron saçtırma yöntemi, yoğun madde fiziğinden katı hal kimyasına kadar, kontrollü bir şekilde aynı anda birden fazla malzemenin istenilen altlık üzerine büyütülmesi veya ortama gaz gönderilerek reaktif kaplama yapmaya olanak sağlaması nedeniyle bilimsel çalışmalarda çoğunlukla tercih edilmektedir. Aynı zamanda sistemin yüksek vakum ortamında üretime olanak sağlaması diğer tekniklere kıyasla daha temiz kaplama yapılabilmesi, ayrıca kaplama kalınlığının ve karışım oranlarının kontrol edilebilmesi, homojen ve pürüzsüz kaplamaya olanak sağlaması gibi önemli avantajları da bulunmaktadır.

Bu çalışmada, yüksek vakum koşulları altında magnetron saçtırma sistemi kullanarak aynı anda kaplama tekniği ile W-Ge oksitli nanokompozit ince filmi Al/p-tipi Si üzerine büyütülmüştür. Üretilen Al/p-tipi Si/WO_x(%3.1 Ge) nanokompozit filmin yüzey morfolojisi ve elementel dağılımı Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı x-ışını spektrumları (EDS) kullanılarak tespit edildi. Sonrasında üretilen film üzerine elektriksel özelliklerin incelemesi için magnetron saçtırma yöntemi ile Ag kontaklar atılarak Al/p-Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroeklemi elde edilmiş ve elektriksel karakterizasyonu $\pm 4V$ potansiyeli arasında karanlıkta ve farklı ışık şiddetine maruz bırakılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Manyetik saçtırma yöntemi fiziksel buhar biriktirme (FBB) yöntemleri arasında temiz, düzenli, homojen yapıya sahip filmler büyütmeye olanak sağladığı ve büyütme sırasında malzemelerin karışım oranlarının ayarlanması ve reaktif büyütme imkanı sunması gibi avantajlarından dolayı ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmada Tungsten (W) ve Germanyum (Ge) metalleri Alemnium (Al) ohmic kontaklı p-tipi Si altlık üzerine Nanovak marka ve NVTS-400 model manyetik saçtırma yöntemi kullanarak aynı anda büyütme tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Kaplanacak olan Si altlık ilk olarak aseton, metil alkol ve distile su ile ultrasonikasyon cihazında 5 er dakika bekletilerek temizlendikten sonra nitrojen gazı ile kurutularak temizleme işlemi sonlandırılmıştır. Temizlenen altlıklar sisteme yerleştirilerek sistemin basıncının $\sim 10^{-6}$ Torr seviyelerine ulaşması beklenmiştir. Kullanılan FBB sistemi iki RF ve bir DC olmak üzere üç adet saçtırma başlığına sahip olup aynı anda birden fazla malzemeyi büyütme imkanı sunmaktadır. Büyütme sırasında 2 inç çapa ve %99.99 saflığa sahip W ve Ge metal saçtırma hedefleri kullanılmıştır. Bu hedeflerin her biri büyütme öncesinde yüzeydeki kirliliğin temizlenmesi ve daha aktif bir yüzey oluşturmak için 10 dakika boyunca yüksek Ar (30 mTorr) gazı ortamında yüzey temizleme işlemine maruz bırakılmıştır. Büyütme öncesinde kristal kalınlık ölçme monitörü kullanılarak 5 mTorr Argon (Ar) gazı ortamında her iki malzemenin birikme oranları ayarlanmıştır. W ve Ge hedeflere sırasıyla DC (306V, 310mA) ve RF (36W) güçleri uygulanarak 1.8 \AA^{-1} ve 0.6 \AA^{-1} kaplama oranlarında Al kontaklı p-tipi Si altlık üzerine malzemeler büyütülmüştür. Başlangıçta $\sim 10^{-6}$ Torr seviyelerinde olan sistem basıncı üretim sırasında 2.79×10^{-3} Torr seviyelerine kadar çıkmıştır. Nanokompozit alaşım malzemenin Si altlık üzerine büyütülme işlemi tamamlandıktan sonra 150 nm kalınlığında ve 1 mm çapındaki doğrultucu Ag kontaklar atılmış ve Al/Si/WO_x(3.1%Ge)/Ag yapısı elde edilmiştir.

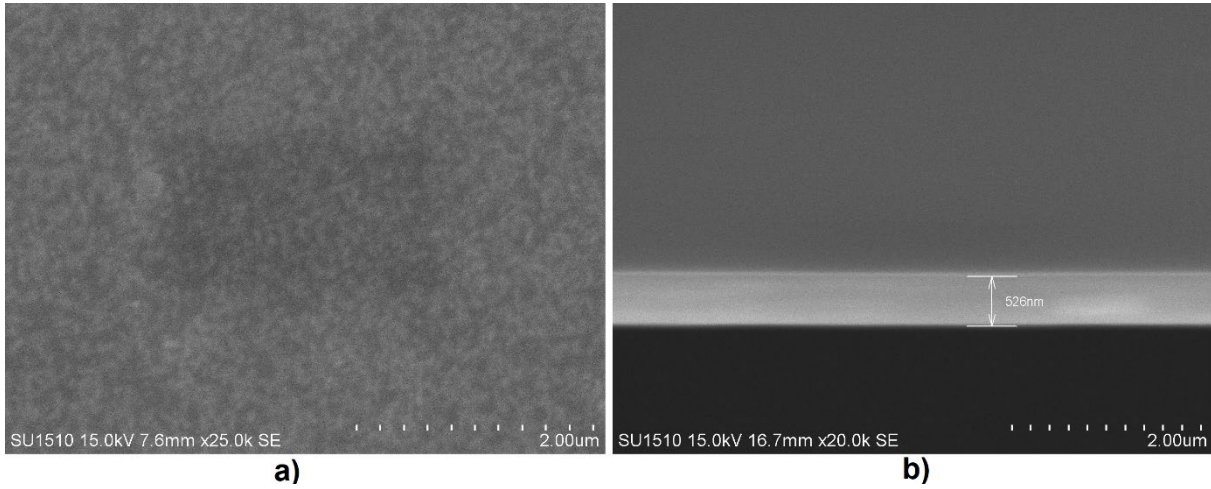
Hitachi SU 1510 marka ve model taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile elde edilen nanokompozit malzemelerin yüzey özellikleri ve kesit alanı incelenirken, SEM'e entegre Enerji

dağılımlı X-ray spektroskopisi (SEM-EDS) kullanılarak ise elementel analizi yapılmıştır. Üretilen nanokompozit malzemelerin elektriksel ölçümleri karanlık ve farklı ışık şiddetleri altında (20, 40, 60, 80, 100 mW cm⁻²) Solar Simulator LSS 900 karakterizasyon sistemi kullanılarak yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yüzey Özellikleri ve Elementel Bileşimi

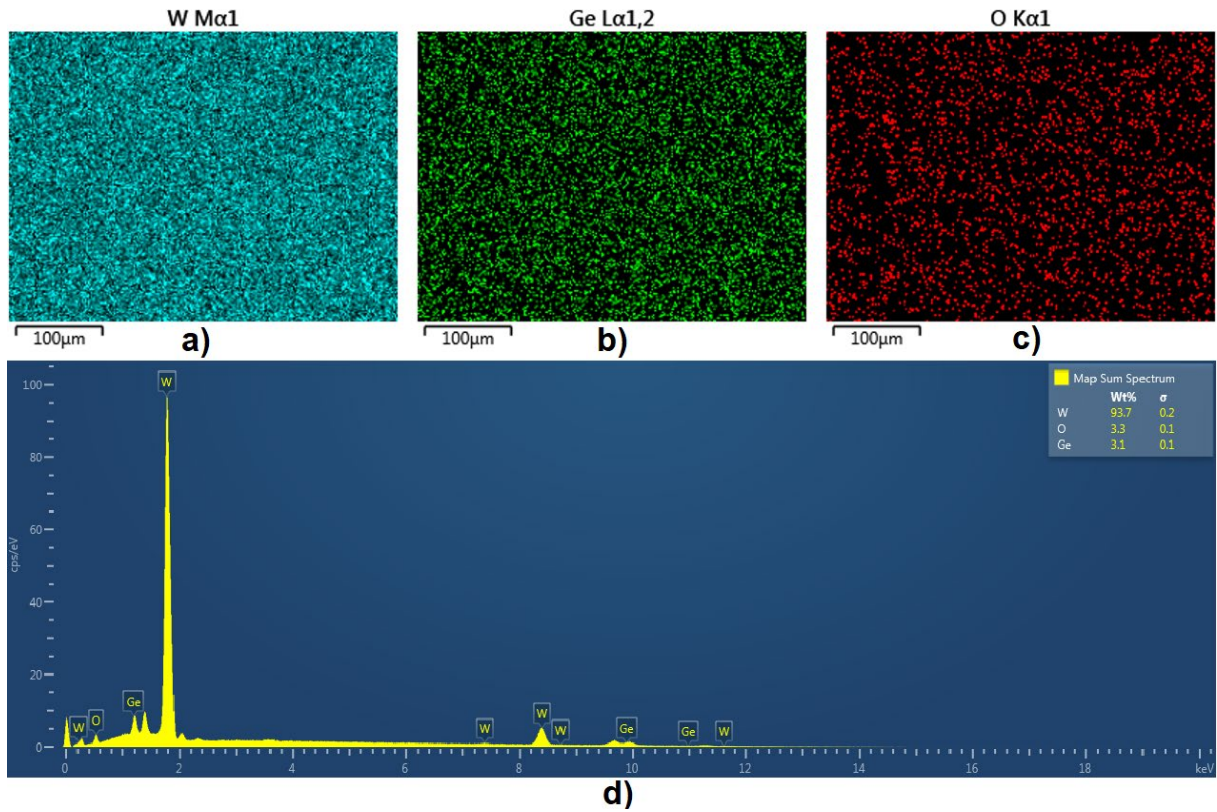
Şekil 1a ve 1b'deki SEM görüntüleri sırasıyla Magnetron saçırma tekniği kullanılarak W içerisine düşük oranda Ge katkılanarak elde edilen oksitli nanokompozit ince filmin yüzey ve kesit alanını göstermektedir. Üretilen nanokompozit malzemenin 25000 büyütmede yüzeyi incelendiğinde genel itibariyle oldukça homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzeyde çatlaklar, kırıklar ve gözenekler gibi herhangi bir yapısal kusurun olmadığıda görülmektedir. Şekil 1b'de Al ohmik kontak atılmış p-tipi Si altlık kullanılarak büyütülen nanokompozit ince film katmanının kalınlığının 526 nm olduğu görülmektedir.



Şekil 1. a) Ge katkılı ve oksitli W nanokompozit ince filmin yüzeyinin 25000 büyütmede SEM görüntüsü b) İnce filmin yan kesit alanını gösteren SEM görüntüsü.

Üretilen nanokompozit ince filmin içeriğine dair elementel analiz SEM-EDS yüzey tarama işlemi gerçekleştirilerek yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen, Şekil 2d'de ki spektrum incelendiğinde, üretilen nanokompozit ince filmin tungsten, germanyum ve oksijenden oluştuğu oldukça açık bir şekilde görülebilmektedir. Ayrıca, şekil 2a, b ve c'de ki yüzeyin elementel harita görüntüleri nanokompozit filmi oluşturan W, Ge ve O bileşenlerinin yüzeye homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, şekil 2d'de ki EDS spektrumu sonucu incelendiğinde

görüldüğü üzere nanokompozit ince filmi oluşturan W, Ge ve O elementlerinin ağırlıkça yüzde oranları sırasıyla %93.7, 3.3% ve 3.1% olarak gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak aynı anda kaplama yöntemi kullanılarak üretilen 3.1% Ge katkılı nanokompozit ince filmin oldukça homojen bir fiziksel karakteristiğe sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, EDS spektrumunda görülen oksijenin üretim sırasında ortamda bulunan çok düşük oranda oksijenin alaşıma dahil olması veya kaplama işlemi sonrasında vakum ortamından çıkarılan malzemenin doğal olarak oksitlenmesinin sonucu olduğu söylenebilir. Sonuçta Al/Si/WO_x(3.1%Ge)/Ag katmanlarından oluşan bir heteroeklem üretilmiştir.



Şekil 2. a) W, b) Ge ve c) O'nin nanokompozit ince filmin SEM-EDS ile alınmış dağılımı. d) Üretilen nanokompozit ince filmin EDS spektrumu.

3.2. Elektriksel Özellikleri

Biz bu çalışmamızda Al/p-tipi Si üzerine %3.1 Ge katkılanmış WO_x tabakası biriktirilmiş ve bu tabakanın üzerine Ag metali ile kontak alınmıştır. Nihayetinde Al/Si/WO_x(%3.1 Ge)/Ag heteroekleminin karanlık ve 20, 40, 60, 80 ve 100mw/cm² ışık şiddeti altında ±2V potansiyel aralığında I-V karakteristikleri incelenmiştir. MS (metal-semiconductor), MIS (metal-insulator-semiconductor), MPS (metal polimer semiconductor) SBD (shottky barrier diode) diyotlarına ait akım-gerilim mekanizmaları ile ve farklı metotların uygulanmasıyla bu diyotların seri direnç, barrier

yüksekliği, diyot idealite factörü gibi parametreleri hesaplanabilir (Cetinkaya ve ark, 2013; Shetty ve ark., 2015; Unal ve ark., 2022).

Akım-gerilim ilişkisi denklem 1 de verilen termoiyonik emisyon teorisi ile geleneksel metodlar kullanılarak hesaplanır (Al-Ta'ii ve ark., 2016; Aldemir ve ark., 2017; Aktas ve Unal, 2022).

$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{kT}\right) - 1\right] \quad (1)$$

Formülde seri direnç R_s , boltzman sabiti k , etkin bariyer yüksekliği ϕ_b , elektronun yükü q , uygulanan potansiyel V , kelvin cinsinden sıcaklık T , aktif diyot alanı A , richardson sabiti A^* (n tipi Si için teorik richardson sabiti $120 \text{ A.cm}^{-1}\text{K}^2$) ile verilmiştir. $V-IR_s \gg 3kT$ olduğu durumda denklem 1

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (2)$$

şekline dönüşür ve

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (3)$$

Denklem 2'nin her iki tarafının logaritması alınıp V ye göre türevi alınırsa

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln(I))} \quad (4)$$

n diyot idealite faktörü elde edilir. Düşük ve orta voltaj bölgesinin $\ln(I)-V$ grafiğinin liner bölge eğiminin diğer sabitler kullanılarak hesaplanmasıyla n idealite faktörü elde edilmiş olur. $\ln(I)-V$ grafiğinde lineer bölgedeki $\ln(I)$ kesişim noktası ise ters doyma akımı I_0 verir.

Cheung and Cheung metodunda ise Cheung and Cheung fonksiyonları (Cheung, 1986) kullanılması ile seri direnç, engel yüksekliği ve diyot idealite faktörü elde edilir. Aşağıdaki 3 denklem Cheung and Cheung fonksiyonlarını vermektedir.

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = IR_s + \frac{nkT}{q} \quad (5)$$

$$H(I) = V - \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (6)$$

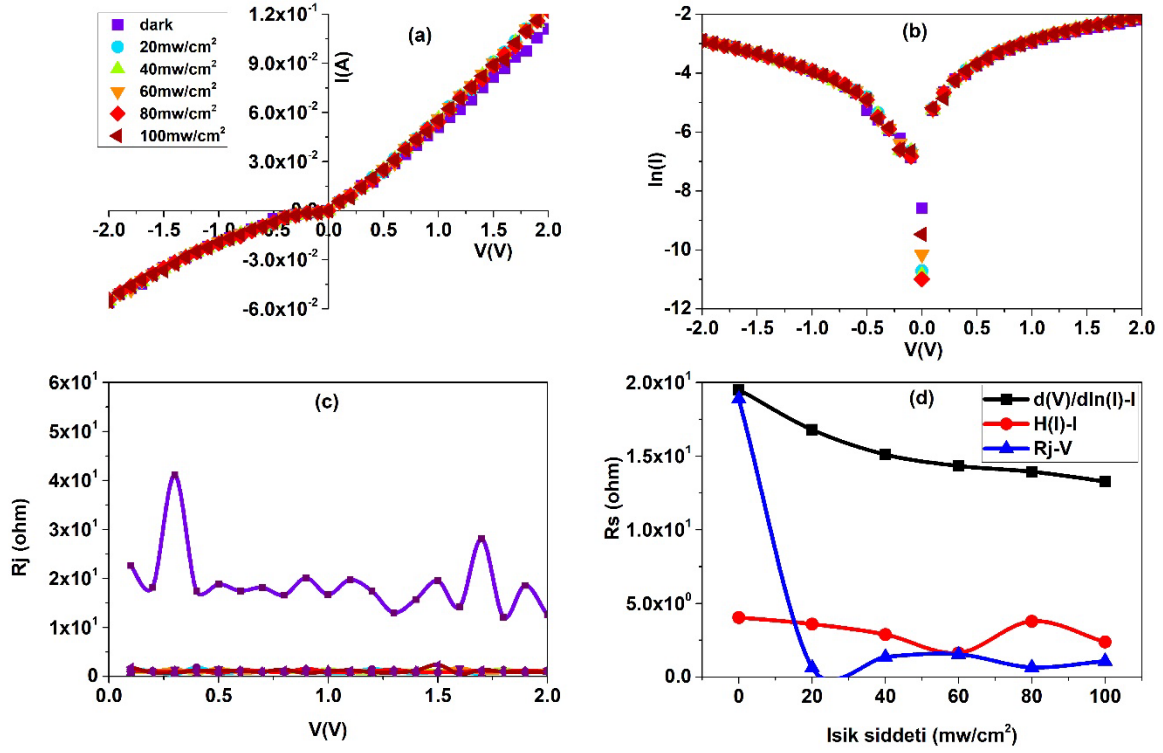
$$H(I) = IR_s + n\phi_b \quad (7)$$

Verilen 3 denklemde $\ln(I)-V$ grafiğinin orta ve düşük voltaj bölgelerindeki değerler ile I ya bağlı $\frac{dV}{d\ln(I)}$ ve $H(I)$ grafikleri çizilebilir. $\frac{dV}{d\ln(I)}$ nin I ya bağlı grafiğindeki eğim değeri R_s 'i, ve y eksenini kesiştiği değer ve diğer sabit değerlerinin kullanımı ile de n idealite factörü bulunur. $H(I)$ nın I ya bağlı grafiğinde eğrinin y eksenini kesiştiği noktadan n değerinden yararlanılarak ϕ_b değeri bulunur.

R_s değeri bu eğri eğiminden bulunur. $R_j = \frac{\partial V}{\partial I}$ nin V ye bağlı grafiği de eklemelerin R_s seri direnç değerlerini verir (Aktas, 2022; Reddy ve ark., 2021; Unal, 2021).

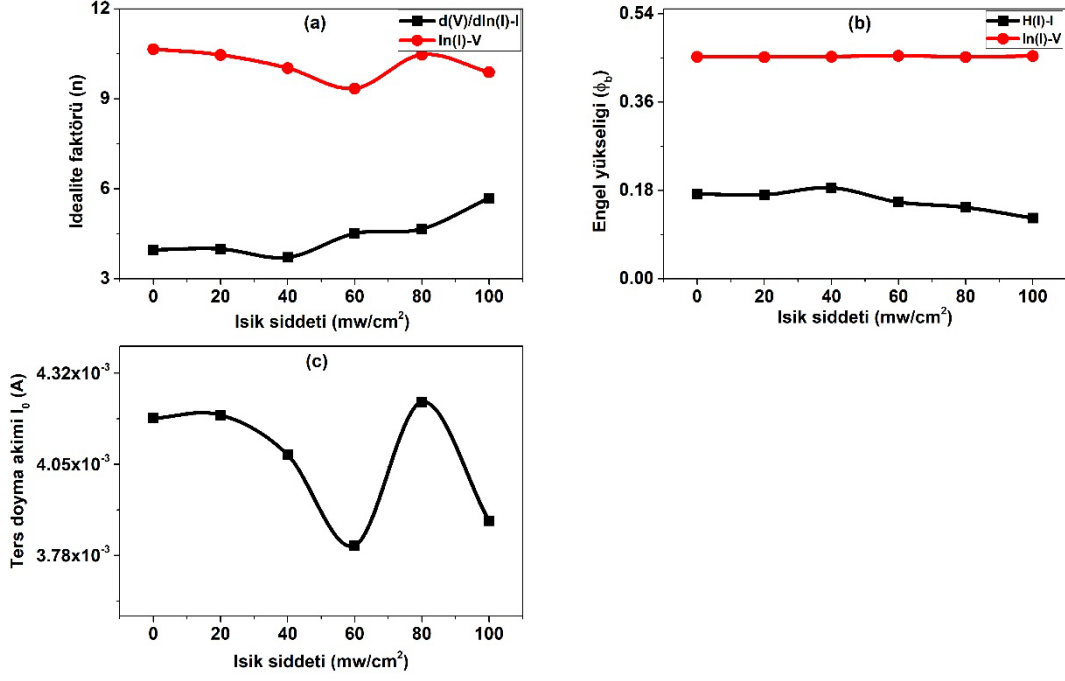
Şekil 3a da ürettiğimiz heteroeklemin I - V grafiği verilmiştir. Heteroeklemin doğrultma özelliği sergilediği heteroeklem üzerine düşen ışığın şiddetinin artmasıyla fotoiletkenliğin arttığı görülmektedir. Şekil 3b de Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin yarı logaritmik I - V grafiği verilmiştir. Düz beslem altında eğrilerin lineer bölgeleri 0.05-0.2V arasına düştüğü bu voltaj değerinden yukarıya doğru çıkıldıkça seri direnç etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Ters beslem altında doymamışlık durumu tabakalar arasında oluşan arayüzey durumlarından ve görüntü yük kuvvetlerinin bariyer yüksekliğini azaltmasından kaynaklanır (Kampen ve ark., 2002; Unal, 2022; Unal ve Aktas, 2022). Işık altında yasak enerji band aralığından daha yüksek enerjiye sahip fotonlar yeni elektron-hole çiftleri oluşmasına neden olur. Yapı dışarıdan bir elektrik alana maruz kaldığında gerilir ve elektron-hole çiftleri tanecik sınırlarındaki güçlü iç elektrik alan tarafından bir birinden ayrılmaya zorlanır. Elektronlar elektrik alan sayesinde hızlı bir şekilde süpürülür ve foto iletkenlik artar (Unal ve ark., 2021). 1V ile 2V arasında fotoiletkenlik daha belirgin hale gelmiştir. Şekil 3c de Ag/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin düz beslem altında R_j - V grafiği verilmiştir. Düşük potansiyelden yüksek potansiyele gidildikçe eklem direncinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca ışık şiddetinin artmasıyla taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı olarak akımın artması eklem direncinin düşmesine sebep olmuştur.

Şekil 3d farklı metotlarla hesaplanan seri direnç R_s değerlerini farklı ışık şiddetlerine göre eğilimini göstermektedir. R_s değerleri $H(I)$ - I ve R_j - V , $d(V)/d\ln(I)$ - I eğrilerinden hesaplanmıştır. Her üç metotla hesaplanan R_s değerleri ışık şiddetinin artmasıyla exponansiyel bir şekilde azalmıştır. Karanlık ortamda R_j - V eğrisinden hesaplanan R_s değeri 19.50 (Ω) $d(V)/d\ln(I)$ - I eğrisinden hesaplanan R_s değeri 4.04 (Ω), $H(I)$ - I eğrisinden hesaplanan R_s değeri 18.86 (Ω) olarak belirlenmiştir. 100 mw/cm² ışık şiddeti altında bu değerler sırasıyla 13.27 (Ω), 2.37 (Ω), 1.07 (Ω)dur. Artan ışık şiddetiyle R_s değerlerinin azalmasının sebebi fotoiletkenliğin artmasıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Al/Si/WO_x (%3.1Ge)/Ag heteroekleminin a) I-V grafiği, b) yarılogaritmik I-V grafiği, c) R_j-V grafiği ve d) R_s nin ışık şiddetine bağlı değişimi.

Şekil 4a ve b de ışık şiddetine bağlı diyot idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_b) değerleri belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle hesaplanan n ve Φ_b değerleri birbiriyle örtüşen davranışlar sergilemişlerdir. Işık şiddetinin artmasıyla bariyer yüksekliğinin azalması diyot idealite faktörü değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur. $d(V)/d\ln(I)-I$ eğrileri kullanılarak hesaplanan n 'ler için 3.70 ile 5.68 arası değerlere sahipken, $H(I)-I$ eğrisinden hesaplanan Φ_b değerleri 0.12 ile 0.18 eV arası değerler almıştır. $\ln(I)-V$ eğrilerinden elde edilen n ve Φ_b değerleri sırasıyla 10.64 ile 9.34 ve 0.451-0.454 eV arasında değerler almışlardır. Farklı yöntemlerle hesaplanan n değerleri ideal diyot değeri 1 olan değerden oldukça uzaktır. Bunun sebebi, doğal oksit tabakasının oluşumuna, seri direnç ve Si/WO_x(%3.1Ge) arayüzü arasındaki arayüz durumlarındaki aşırı akıma bağlanabilir (Farag, 2009; Reddy ve ark., 2021). Ayrıca arayüzey tabakasında homojen olmayan yüklerin dağılımı n değerinin büyük çıkmasına neden olmaktadır (Tung, 1992). Ters doyma akımı ve ışık şiddeti arasındaki ilişki Şekil 4c de verilmiştir. Karanlık ortamda I_0 değerinin 4.19×10^{-3} A olduğu görülürken bu değer 80 mw/cm^2 ışık şiddeti altında 4.23×10^{-3} A e kadar yükselmiştir. Bu artışın sebebi ışığın photo-generated taşıyıcılarının arayüzeyde rekombinasyonu aktif hale getirmesidir (Aktas, 2022; Unal 2022).



Şekil 4. Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin ışık şiddetine bağlı a) diyot idealite faktörü grafiği, b) engel yüksekliği grafiği, c) ters doyma akımı grafiği.

Tablo 1 de Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin I_{mpp} , I_{sc} , V_{mpp} , V_{oc} ve FF gibi foto voltaik parametrelerinin ışık şiddetine bağlı değişimi verilmiştir. Fill factor (FF) denklem 8 kullanılarak hesaplanmıştır (Bartesaghi ve ark., 2015; Unal ve ark., 2021; Aktas, 2022).

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (8)$$

Burada I_{mpp} maksimum güç noktası akımı, V_{mpp} maksimum güç noktası voltajı, I_{sc} kısa devre akımı ve V_{oc} açık devre voltajıdır.

Tablo 1. Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin fotovoltaik parametreleri

	I_{mpp} (A)	I_{sc} (A)	V_{mpp} (V)	V_{oc} (V)	FF
20	1.17×10^{-5}	2.23×10^{-5}	0.000301	0.000633	0.249575
40	1.02×10^{-5}	1.94×10^{-5}	0.000278	0.000578	0.252751
60	1.99×10^{-5}	3.89×10^{-5}	0.000572	0.0011	0.266015
80	8.04×10^{-6}	1.68×10^{-5}	0.000259	0.000498	0.248947
100	3.74×10^{-5}	7.71×10^{-5}	0.0011	0.0021	0.254254

20 mW/cm² ışık şiddetinde I_{sc} değeri 2.23×10^{-5} A iken 100 mw/cm² ışık şiddetinde bu değer 7.71×10^{-5} A e kadar yükselmiştir. I_{sc} ye benzer şekilde V_{oc} değeride ışık şiddetinin artmasıyla 0.000633 V tan 0.0021 V a yükselmiştir. FF değerinin maksimum olduğu değer 60 mW/cm² ışık şiddetinde görülmüştür.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Aynı anda kaplama metodu kullanılarak magnetron saçtırma yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilen Al/Si/WO_x(%3.1Ge)/Ag heteroekleminin yapısal, yüzeysel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. SEM analizi yüzeyin pürüzsüz bir yapıya sahip olduğunu ve malzemenin kalınlığının 520 nm civarı olduğunu göstermektedir. EDS analizi ve yüzey haritalandırması ise altlığın yüzeyine kaplanan malzemelerin homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Ürettiğimiz heteroeklemin doğrultucu karakteristik gösterdiği ve ışığa duyarlı olduğu görülmüştür. Farklı ışık şiddetleri altında farklı metotlarla incelenen elektriksel parametrelerin birbiriyle ve literatürle uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ürettiğimiz heteoeklemin fotovoltaiik parametreleri incelenmiş ışık şiddetinin artmasıyla *I_{sc}* ve *V_{oc}* değerlerinin yükseldiği görülmüştür.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aktas, S. (2022). Electrical characterisation of photosensitive Si/W–Ge oxide composite heterojunction. *Optical Materials*, 132, 112839.
- Aktas, S., ve Ünal, F. (2022). Metal Oksit ve Organik Bazlı Çoklu Heteroeklemin Yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 508-520.
- Al-Ta'ii, H. M. J., Periasamy, V., ve Amin, Y. M. (2016). Electronic Characterization of Au/DNA/ITO Metal-Semiconductor-Metal Diode and Its Application as a Radiation Sensor. *PloS One*, 11(1), e0145423.
- Aldemir, D. A., Kökce, A., ve Özdemir, A. F. (2017). Schottky diyot parametrelerini belirlemede kullanılan metotların geniş bir sıcaklık aralığı için kıyaslanması. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1286-1292
- Amarsingh Bhabu, K., Kalpana Devi, A., Theerthagiri, J., Madhavan, J., Balu, T., ve Rajasekaran, T. R. (2017). Tungsten doped titanium dioxide as a photoanode for dye sensitized solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(4), 3428-3439
- Arunadevi, R., Kavitha, B., Rajarajan, M., ve Suganthi, A. (2019). Sonochemical synthesis and high-efficient solar-light-driven photocatalytic activity of novel cobalt and manganese codoped tungsten oxide nanoparticles. *Chemical Physics Letters*. 715, 252-262.

- Aslan, N., Kurt, M. Ş., ve Mehmet Koç, M. (2022). Morpho-structural and optoelectronic properties of diamond like carbon–germanium (DLC-Ge) composite thin films produced by magnetron sputtering. *Optical Materials*, 126, 112229.
- Bartesaghi, D., Pérez, I. D. C., Kniepert, J., Roland, S., Turbiez, M., Neher, D., ve Koster, L. J. A. (2015). Competition between recombination and extraction of free charges determines the fill factor of organic solar cells. *Nature Communications*, 6(1), 7083.
- Bourdin, Gaudon, Weill, Duttine, Gayot, Messaddeq, ve Cardinal. (2019). Nanoparticles (NPs) of WO₃-x Compounds by Polyol Route with Enhanced Photochromic Properties. *Nanomaterials*, 9(11), 1555.
- Çetinkaya, H. G., Tecimer, H., Uslu, H., ve Altındal, Ş. (2013). Photovoltaic characteristics of Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky barrier diodes (SBDs) at various temperatures. *Current Applied Physics*, 13(6), 1150-1156.
- Cheung, S. K., ve Cheung, N. W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters*. 49, 85.
- Dastan, D. (2017). Effect of preparation methods on the properties of titania nanoparticles: solvothermal versus sol-gel. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 123, 699.
- Deb, S. K. (2008). Opportunities and challenges in science and technology of WO₃ for electrochromic and related applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 9(2), 245-258
- Farag, A. A. M. (2009). Structure and transport mechanisms of Si/porous Si n-p junctions prepared by liquid phase epitaxy. *Applied Surface Science*, 255(6), 3493-3498.
- Hassel, A. W., Milenkovic, S., ve Smith, A. J. (2010). Large scale synthesis of single crystalline tungsten nanowires with extreme aspect ratios. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*. 207(4), 858-863.
- Hoel, A., Reyes, L. F., Heszler, P., Lantto, V., ve Granqvist, C. G. (2004). Nanomaterials for environmental applications: novel WO₃-based gas sensors made by advanced gas deposition. *Current Applied Physics*, 4(5), 547-553.
- Jafari, A., Alam, M. H., Dastan, D., Ziakhodadadian, S., Shi, Z., Garmestani, H., Weidenbach, A. S., ve Țălu, Ş. (2019). Statistical, morphological, and corrosion behavior of PECVD derived cobalt oxide thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30, 21185-21198
- Jiang, Z., Yu, Y., Wang, Y., Zhou, D., Deng, W., ve Zhang, X. (2021). High-power Si-Ge photodiode assisted by doping regulation. *Optics Express*, 29(5), 7389.
- Kampen, T. U., Park, S., ve Zahn, D. R. T. (2002). Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. *Applied Surface Science*, 190(1-4), 461-466.
- Khare, C., Sliozberg, K., Meyer, R., Savan, A., Schuhmann, W., ve Ludwig, A. (2013). Layered WO₃/TiO₂ nanostructures with enhanced photocurrent densities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(36), 15954-15964.
- Koltypin, Y., Nikitenko, S. I., ve Gedanken, A. (2002). The sonochemical preparation of tungsten oxide nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*. 12, 1107-1110.
- Kurt, M. S., Aktas, S., Unal, F., Kabaer, M. (2022). Optical and Electrical Characterization of a ZnO/Coronene-Based Hybrid Heterojunction Photodiode. *Journal of Electronic Materials*. 1-12
- Michel, J., Liu, J., ve Kimerling, L. C. (2010). High-performance Ge-on-Si photodetectors. *Nature Photonics*. 4(8), 527-534.
- Nimitrakoolchai, O. U., ve Supothina, S. (2008). High-yield precipitation synthesis of tungsten oxide platelet particle and its ethylene gas-sensing characteristic. *Materials Chemistry and Physics*. 112(1), 270-274.
- Qiu, H., Lu, Y. F., ve Mai, Z. H. (2002). Electrochromic writing and erasing on tungsten oxide films in air by scanning tunneling microscopy. *Journal of Applied Physics*. 91, 440.
- Reddy, V. R., Prasad, C. V., Janardhanam, V., ve Choi, C.-J. (2021). Electrical and carrier transport properties of Ti/ α -amylase/p-InP MPS junction with a α -amylase polymer interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 8092-8105.
- Shetty, A., Roul, B., Mukundan, S., Mohan, L., Chandan, G., Vinoy, K. J., ve Krupanidhi, S. B. (2015). Temperature dependent electrical characterisation of Pt/HfO₂/n-GaN metal-insulator-semiconductor (MIS) Schottky diodes. *AIP Advances*, 5(9), 097103.
- Sliozberg, K., Schäfer, D., Erichsen, T., Meyer, R., Khare, C., Ludwig, A., ve Schuhmann, W. (2015). High-Throughput Screening of Thin-Film Semiconductor Material Libraries I: System Development and Case Study for Ti-W-O. *ChemSusChem*. 8(7), 1270-1278.

- Tan, G.-L., Tang, D., Dastan, D., Jafari, A., Silva, J. P. B., ve Yin, X.-T. (2021). Effect of heat treatment on electrical and surface properties of tungsten oxide thin films grown by HFCVD technique. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 122, 105506.
- Terohid, S. A. A., Heidari, S., Jafari, A., ve Asgary, S. (2018). Effect of growth time on structural, morphological and electrical properties of tungsten oxide nanowire. *Applied Physics A*, 124(8), 567.
- Tung, R. T. (1992). Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General theory. *Physical Review B*. 45, 13509.
- Ünal, F. (2022). Investigation of Diode Parameters of Photoconductive and Photovoltaic p-Type Si/Ge-Doped WOx Heterojunction. *Journal of Electronic Materials*, 1-13.
- Ünal, F. (2021). Investigation Of Some Optical And Electrical Properties Of InSe Thin Film, a Window Layer for Photovoltaic Cell Growth on Glass/GaSe Substrate by M-CBD Method. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 11(1), 297-306.
- Ünal, F., ve Aktaş, S. (2022). Işığa Duyarlı n-tipi Katkılı Metal oksit/p-tipi Si Heteroekleminin Elektriksel Karakterizasyonu. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1506-1517.
- Ünal, F., Demir, S., ve Mammadov, H. (2021). Structural, surface morphological, optical and electrical properties of InxSey thin films, an absorber layer for photovoltaic cells fabricated by M-CBD method using different variables. *Turkish Journal of Chemistry*. 45(6), 1761-1773.
- Unal, F., Kurt, M. S., ve Durdu, S. (2022). Investigation of the effect of light on the electrical parameters of Si/TiO2 heterojunctions produced by anodic oxidation on p-type Si wafer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 33, 15834-15847.
- Zheng, H., Ou, J. Z., Strano, M. S., Kaner, R. B., Mitchell, A., ve Kalantar-zadeh, K. (2011). Nanostructured Tungsten Oxide - Properties, Synthesis, and Applications. *Advanced Functional Materials*, 21(12), 2175-2196.
- Zurnacı, M., Ünal, F., Demir, S., Gür, M., Şener, N., ve Şener, İ. (2021). Synthesis of a new 1,3,4-thiadiazole-substituted phenanthroimidazole derivative, its growth on glass/ITO as a thin film and analysis of some surface and optoelectronic properties. *New Journal of Chemistry*, 45(48), 22678-22690.