

Bir Au/MoO_x/n-Si çoklu eklem yapının yüksek frekanslarda kapasitans-gerilim karakteristikleri

Murat GÜLNAHAR*¹

¹Department of Electrics/Vocational School, Erzincan Binali Yıldırım University, Turkey

*mgulnahar@erzincan.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Bu çalışmada, n-tipi Si yarıiletken yapı üzerine MoO_x'in termal yöntemle fabrikasyon işlemi yapılan bir Au/MoO_x/n-Si Schottky eklem yapının elektronik yapısal özellikleri; oda sıcaklığında, yüksek frekanslarda ve -10 V ve 10 V gerilim aralığında uygulanan gerilimin ve frekansın fonksiyonu olarak kapasitans-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) ölçümleriyle araştırıldı. Kapasitansın ve kondüktans değerlerinin değişimlerinden arayüzeyin ve arayüzey yapısının sonuçlar üzerinde etkili olduğu görüldü. Yüksek frekanslarda kapasitans değerleri negatif olurken azalan frekansla birlikte kapasitans değerleri negatif olarak arttı, kondüktans değerleri de artış gösterdi. Sonuçta, deplasyon bölgesinde bulunan yüklerin ve arayüzey yüklerinin toplam eklem kapasitansını frekansın ve gerilimin fonksiyonu olarak değiştirebildikleri sonucuna ulaşıldı.

Anahtar Kelimeler – Moox, Schottky Yapılar, Kapasitans, Kondüktans, Arayüzey

I. GİRİŞ

Metal-yarıiletken kontak (MIS) yapılar güneş pillerinde, fotodedektörlerde, çeşitli optoelektronik devislerde ve çeşitli ışık yayan diyotlarda genişçe kullanım alanı bulmaktadır [1]. Bu yapıların doğrultma özellikleri metal ve yarıiletken tabakaları arasında oluşan dielektrik özelliğe sahip arayüzey tabakasından doğrudan etkilenmektedir. Arayüzey tabakasından bulunan localize olmuş arayüzey yüklerinden dolayı oluşmuş olan arayüzey halleri yarıiletken yasak enerji aralığında bulunan Fermi seviyesinin pozisyonunu değiştirebilmektedir.

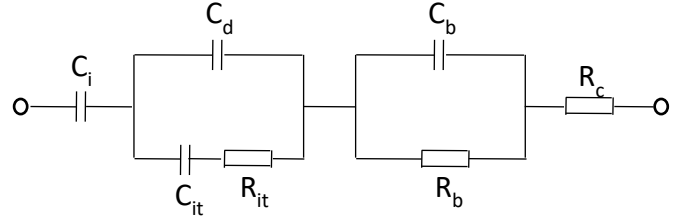
Metal-yarıiletken kontak yapılar üzerine gerçekleştirilen kapasitans-gerilim ve kondüktans-gerilim ölçümleri, arayüzeyde mevcut bulunan localize olmuş arayüzey halleri hakkında derin bir bakış açısının elde edilmesini sağlar [2]. Kapasitans-gerilim ölçüm tekniği, arayüzeyin yapısı, arayüzey hal yoğunluğu gibi doğrultma yapısını etkileyen parametrelerin analizi için sıklıkla kullanılan bir ölçüm tekniğidir. Ayrıca, eklem yapısından kaynaklanan ve eklem yapısıyla ilişkili olan seri direnç, arayüzey halleri, azınlık

taşıyıcı yükleri, deplasyon tabakası içerisinde mevcut olan derin tuzakların yapısı gibi haller hakkında derinlemesine analiz imkânı sağlar.

Molibdenum oksit, vanadium oksit ve tungsten oksit materyaller geçiş metal oksitler olarak bilinirler ve fotovoltaik çalışanları arasında geniş bir ilgi alanına sahiptirler. Geçiş metal oksitler, görülebilir ışık aralığı, geniş iş fonksiyonu gibi olağanüstü elektriksel ve optiksel özellikleri ile bilinirler. Ayrıca onlar organik ve inorganik elektronik materyallerde hole seçici tabaka gibi davranmakta ve 5.5 eV'dan daha geniş olan iş fonksiyonu ve 3 eV'dan daha büyük olan iş fonksiyonundan dolayı holler için bir yük taşıma tabakası görevi görmektedirler [3,4].

Geçiş metal oksit malzemeleri arasında, MoO_x'in literatürde bazı özellikleri çalışılmış olmasına rağmen [4-6], henüz yeterince çalışılmış olunan bir malzeme değildir. Bu çalışmada, fabrikasyonu yapılan bir Au/MoO_x/n-Si metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky yapının 10 Mhz 2.5 MHz arasında 2.5 MHz frekans aralığında ve oda sıcaklığındaki kapasite-gerilim ve kondüktans-

gerilim karakteristikleri analiz edilmektedir. Frekansa bağlı olan kapasite-gerilim ölçümlerinden Au/MoO_x/n-Si eklem yapının deplasyon ve inversiyon bölgelerinde mevcut olan piklerin davranışları incelenmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada bir Au/MoO_x/n-Si yapı üzerinde yüksek frekanslardaki bazı kapasitans özelliklerinin derin analizinin yapıldığı rapor edilebilir.



Şekil 1. Bir Au/WO_x/nSi numunenin eşdeğer devre yapısı.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 1-3 Ω.cm öz direnç değerine sahip olan n tipi yarıiletken numuneler kullanıldı ve n tipi Si üzerine MoO_x takasının fabrikasyon işlemi termal buharlaştırma işlemi kullanılarak gerçekleştirildi. n tipi Si numunelerin organik ve inorganik kirliliklerden temizlenmesi için RCA1 ve RCA2 temizleme prosedürleri kullanıldı. Numunelerin arka kısımlarına uygulanan hidroflorik (HF) asitle temizleme prosedüründen sonra yaklaşık 2x10⁻⁶ Torr vakum basınç ortamında alüminyumun (Al) termal yöntemle buharlaştırılıp azot gazı ortamında tavlama ile omik kontaktların yapım işlemleri tamamlanmış oldu. Bu işlemde sonra numunenin ön yüzüne Schottky kontak operasyonu altına (Au) termal olarak yaklaşık 2x10⁻⁶ Torr vakum basınç ortamında 0.5 mm çaplı dairesel gölge maskelerin kullanımıyla gerçekleştirilerek Schottky kontaktların imalat işlemleri tamamlanmış oldu. Numuneler üzerinde kapasite-gerilim (C-V) ölçüm işlemleri otomasyon sistemi içerisinde bir impedans analiz edicinin kullanımıyla farklı frekanslarda ölçümlerin alınmasıyla gerçekleştirildi.

III. TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekil 1, numunemiz olan Ag/MoO_x/n-Si kapasitörün sistematik yapısını göstermektedir. Şekil 1'de C_i arayüzey tabaka kapasitansı, C_d deplasyon tabaka kapasitansı, C_{it} arayüzey tuzak seviyesinin kapasitans değeri, C_b n-tipi Si yarıiletken numunenin kapasitansı, R_b yarıiletkenin seri direncini ve R_c omik tabakasının direnç değerini ifade etmektedir.

Arayüzey oksit tabakasının kapasitans değeri,

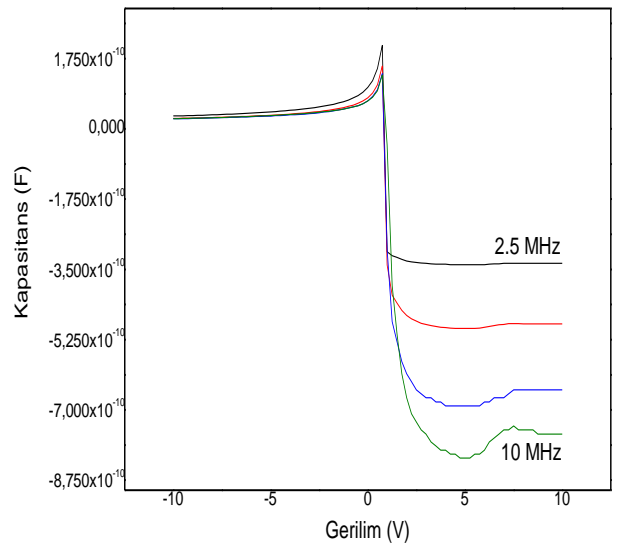
$$C_i = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{d_i} \quad (1)$$

denklemini yardımıyla elde edilmektedir. Bu denklemden ε_i arayüzey oksit tabakasının dielektrik katsayısını, ε₀ ise boşluğun dielektrik katsayısını, A diyot alanını ve d_i ise arayüzey tabakasının genişliğini ifade etmektedir.

C_g geometriksel kapasitans olmak üzere Ag/WO_x/n-Si kapasitörün toplam kapasitansı

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_g} \quad (2)$$

denklemini yardımıyla elde edilir. Ayrıca C_d



Şekil 2. Au/MoO_x/nSi kapasitörün 10 MHz, 7.5 MHz, 5 MHz ve 2.5 MHz gibi farklı frekanslarda ölçülmüş olan kapasite-gerilim karakteristikleri.

deplasyon tabaka kapasitans değeri $C_d = \epsilon_s \epsilon_0 A / w_s$ denkleminde belirlenmekte olup, w_s deplasyon tabaka genişliği $w_s = \sqrt{2\epsilon_s \epsilon_0 V_0 / qN}$ ifadesinden elde edilmektedir.

Au/MoO_x/n-Si eklem yapının kapasitans-gerilim (C-V) karakteristikleri farklı frekans değerleri için kapasitans değerlerinin ölçülmesiyle elde edildi ve Şekil 2, bu yapının 10 MHz, 7.5 Mhz, 5 MHz ve 2.5 MHz gibi farklı AC frekans değerlerinde ölçülmüş karakteristik C-V eğrilerini göstermektedir. Ayrıca, Şekil 2’de C-V ölçümleri oda sıcaklığında ve -10 V ile 10 V ölçüm aralığındadır.

Şekil 2’de Au/MoO_x/n-Si eklem yapının kapasitans değerleri uygulanan frekansa bağlı olarak deplasyon ve inversiyon bölgesinde özellikle 10 MHz’e yakın olan frekans değerlerinde daha çok sabit 2.5 MHz değerlerine indikçe sadece deplasyon bölgesinde küçük pik verdiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 2’de görüldüğü gibi deplasyon ve inversiyon rejimi bölgelerinde tüm kapasitans değerlerinin negative değerler aldığı görülmektedir.

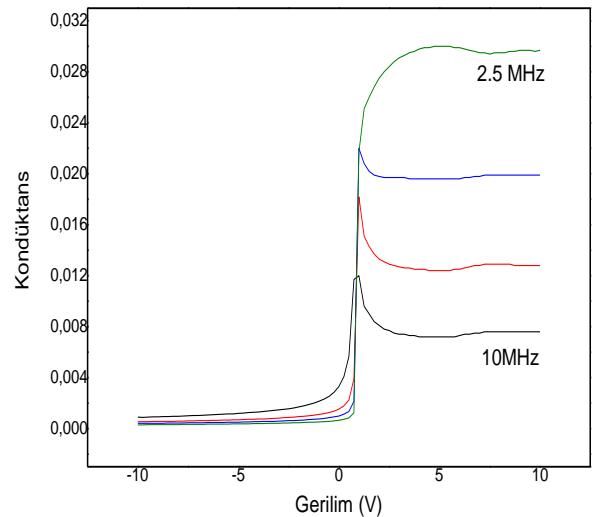
Literatürde çoğu kez karşılaşılmak üzere, negative kapasitans deplasyon bölgesindeki yüklerin davranışlarına atfedilebilir [35]. Herhangi bir eklem yapıda yüklerin diferansiyeli (dQ) olmak üzere ve uygulanan gerilimde (dV) olmak üzere bu durumda kapasitansda ki değişim $C=dQ/dV$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu durumda (dV) daima pozitif olmak üzere (dQ) negative olacaktır. Eklemde azınlık taşıyıcı konsantrasyonu uygulanan gerilimin fonksiyonu olarak arttığında, daha çok yük enjekte olmakta, bunun sonucu olarak rekombinasyon hızındaki artış kaçınılmaz olmaktadır. Sonuç olarakta kapasitans, Au/MoO_x/n-Si eklem yapının kapasitansı Şekil 2’de görüldüğü gibi negatif olmaktadır.

Şekil 3, Au/MoO_x/n-Si eklem yapının uygulanan gerilime bağlı olarak kondüktans değerlerini göstermektedir. Şekil 3’te görüldüğü gibi kondüktans değerleri 10 MHz, 7.5 MHz ve 5 MHz frekans değerlerinde sadece deplasyon bölgesinde küçük bir pik davranışı sergilemekte ve inversiyon bölgesinde bu frekans değerlerinde kondüktans değerleri sabit olarak görülmek üzere 2.5 MHz’de hem deplasyon bölgesinde hemde inversiyon bölgesinde kondüktans değerleri sabit olacak

şekilde geniş bir pik görüntüsü vermektedir. Ayrıca kondüktans değerlerinin 10 MHz frekansa doğru yüksek frekans değerlerinde diğer frekans değerlerinden daha küçük değerlere sahip olduğu söylenebilir. Kondüktans değerleri azalan frekansla birlikte hızlıca artmaktadır.

Şekil 2 ve Şekil 3’de, Au/MoO_x/n-Si eklem yapının 10 MHz, 7.5 MHz, 5 MHz ve 2.5 MHz gibi yüksek frekans değerlerinde kapasitans ve kondüktans değerlerindeki davranışları arayüzeyin yapısında bulunan arayüzey yükleri ile ve yarıiletken gövde yapısındaki bulk yüklerinin davranışlarına ve bu yükler nedeniyle oluşmuş olunan arayüzey tabakasının kapasitans değerinin ve bulk kapasitansının uygulanan gerilime bağlı davranışıyla ilişkilendirilebilir. MoO_x ile n-Si yarıiletken arasında oluşmuş olan arayüzey oksit tabakası bulunmakta ve bu tabaka arayüzey oksit tabaka kapasitansı şeklinde uygulanan frekansa bağlı olarak toplam eklem kapasitansı üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca arayüzey oksit tabakası arayüzey tuzak seviyeleri tarafından işgal edilmiş haldedir.

Seri direnç, yüzey polarizasyonu, arayüzey yüklerinin yoğunluk dağılımları, deplasyon bölgesinde oluşmuş olan derin tuzak seviyeleri, azınlık taşıyıcılarının konsantrasyonu ve arayüzey



Şekil 3. Au/MoO_x/nSi kapasitörün 10 MHz, 7.5 MHz, 5 MHz ve 2.5 MHz gibi farklı frekanlarda ölçülmüş olan kondüktans-gerilim karakteristikleri.

tuzak seviyelerinin katkısı gibi bir çok parameter hem kapasitans hemde kondüktans değerlerini etkilemektedir. Schottky eklem yapılar, akseptör ve donör tuzak seviyeleri, çeşitli boşluk seviyeleri ve jenerasyon-rekombinasyon merkezlerinin oluşumlarıyla ilişkili olan arayüzey halleri hakkında bilgi veren arayüzey tabakasından yoğun bir şekilde etkilenirler. Arayüzey ve yarıiletken gövde arasında bulunan Shockley-Read-Hall merkezi arayüzey tuzak seviye yoğunluğunu belirlemektedir [7].

IV. SONUÇ

Termal buharlaştırma yöntemiyle fabrikasyon işlemi gerçekleştirilmiş olan bir Au/MoO_x/n-Si Schottky eklem yapının elektronik yapı özellikleri 10 MHz, 7.5 MHz, 5 MHz ve 2.5 MHz gibi yüksek frekans değerlerinde uygulanan frekans ve gerilim değerlerinin bir fonksiyonu olarak kapasitans-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) ölçümleriyle araştırıldı. Yüksek frekans değerlerinde kapasitans değerler için negative değerlerin elde edildiği gözlemlendi ve bu olay çoğu Schottky eklemde karşılaşılan negative kapasitans etkisiyle ilişkilendirildi. Kapasitans ve kondüktansın deplasyon ve inversiyon bölgelerinde uygulanan gerilime ilişkin davranışları arayüzey kapasitansının frekansa ve uygulanan gerilime bağlı davranışlarına atfedildi. Böylece, arayüzeyin yapısının Au/MoO_x/n-Si eklem yapının kapasitans değerlerinde etkili olduğu sonucuna ulaşıldı.

KAYNAKLAR

- [1] S. M. Sze, K.K. Ng, Physics of semiconductor devices, Wiley-Interscience, 2007.
- [2] A. A. M. Farag, I. S. Yahia, "Rectification and barrier height inhomogeneous in Rhodamine B based organic Schottky diode", *Synthetic Metals*, vol. 161, pp. 32, 2011.
- [3] H. Ali, S. Koul, G. Gregory, J. Bullock, A. Javey, A. Kushima, K.O. Davis, "Thermal Stability of Hole-Selective Tungsten Oxide: In Situ Transmission Electron Microscopy Study", *Physica Status Solidi A*, vol. 216, pp. 1800998, 2018.
- [4] J. Bullock, A. Cuevas, T. Allen, C. Battaglia, "Molybdenum oxide MoO_x: A versatile hole contact for silicon solar cells", *Appl. Phys. Lett.* vol. 105, pp. 232109, 2014.
- [5] L. G. Gerling, S. Mahato, A. Morales-Vilches, G. Masmitja, P. Ortega, C. Voz, R. Alcubilla, J. Puigdollers, "Transition metal oxides as hole-selective contacts in silicon heterojunctions solar cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 145, pp. 109, 2016.
- [6] L.G. Gerling, C. Voz, R. Alcubilla, J. Puigdollers, "Origin of passivation in hole-selective transition metal oxides for crystalline silicon heterojunction solar cells", *J. Mater. Res.* Vol. 32, pp. 260, 2017.

[7]. M. Bivour, B. Macco, J. Temmler, W.M.M. Kessels, M. Hermle, "Atomic Layer Deposited Molybdenum Oxide for the Hole-selective Contact of Silicon Solar Cells, in: Energy Procedia", *Energy Procedia*, vol. 92, pp. 443, 2016.