



MoO₃ Tampon Tabakasının CdTe-Bazlı Güneş Hücresinin Verimliliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Yunus ÖZEN^{1,2,*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, 06500, Ankara, Türkiye

*yazışılan yazar e-posta: yunus.ozen@gazi.edu.tr

(Alınış / Received: 13.11.2018, Kabul / Accepted: 17.12.2018, Yayınlanma / Published: 31.05.2019)

Özet: Bu çalışmada, MoO₃ tampon tabakasının CdS/CdTe güneş hücresinin verimliliği üzerine etkisi araştırıldı. Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/Au ve Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/MoO₃/Au olmak üzere iki adet numune üretildi. MoO₃ tabakası CdTe ve arka kontak metal elektrotu arasına tampon tabaka olarak büyütüldü. Güneş hücreleri cam/fluor katkılı kalay oksit alttaş üzerine Sıçratma (Sputtering) sistemi ile büyütüldü. MoO₃ tampon tabakası içeren CdS/CdTe güneş hücresinin morfolojik özellikleri atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümleri ile incelendi. Ayrıca, güneş hücre yapılarının elektriksel çıkış parametrelerini belirlemek için hem geleneksel CdTe-bazlı güneş hücresinin hem de MoO₃ tabakası içeren CdTe-bazlı güneş hücresinin fabrikasyonları yapıldı. Akım-voltaj ölçümleri oda sıcaklığında karanlık ve 1.5G ışık altında yapıldı. Enerji dönüşüm verimlilik değeri 1 Güneş’de geleneksel ve MoO₃ tabakası içeren güneş hücreleri için sırasıyla %8.93 ve %10.31 olarak elde edildi. MoO₃ tabakasının CdTe-bazlı güneş hücresine entegrasyonunun hücre verimliliğini %15.45 oranında arttığı gözlemlendi.

Anahtar kelimeler: CdTe-bazlı ince film güneş hücresi, MoO₃ tampon tabaka, Enerji dönüşüm verimliliği

The Investigation of Effect on The Efficiency of CdTe-Based Solar Cell of MoO₃ Buffer Layer

Abstract: In this study, the effect on the efficiency of CdS/CdTe solar cell with MoO₃ buffer layer was examined. Two sample was grown as Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/Au and Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/MoO₃/Au. MoO₃ layer was deposited as a buffer layer between CdTe and metal electrode in the back contact of CdTe solar cell. Solar cells were grown on glass/fluorine tin oxide substrate by Sputtering system. The morphological properties of CdS/CdTe solar cell structure with MoO₃ buffer layer have been evaluated by means of scanning electron microscope (SEM) and atomic force microscopy (AFM) measurements. In addition, the cell device was fabricated to obtain electrical output parameters of both the traditional CdTe-based cell and CdTe cell with MoO₃ buffer layer. The current–voltage measurements were carried out at room temperature under both dark and air mass 1.5 global radiations. The energy conversion efficiency value has been obtained for traditional cell and the cell with MoO₃ buffer layer as 8.93% and 10.31% 1 Sun, respectively. It was observed that the integration of MoO₃ layer into CdTe-based solar cell increased cell efficiency by 15.45%.

Keywords: CdTe-based thin film solar cell, MoO₃ buffer layer, The energy conversion efficiency

1. Giriş

Güneş yeryüzündeki canlı hayatının temel kaynağıdır. Bugün yeryüzünde kullanılan nükleer, jeotermal ve gelgit enerjisi haricindeki, bütün enerjiler Güneşten kaynaklanır. Diğer enerji kaynakları direkt ya da dolaylı olarak güneş enerjisinden türemiştir. Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken aygıtlara güneş hücreleri (Fotovoltaik hücre (FV)) denir [1, 2]. Güneş hücre sistemlerinde Silikon (Si), ince film ve III – V grubu çok eklemli güneş hücreleri kullanılmaktadır [3]. Birçok faktör güneş hücrelerinin verimliliğini sınırlar. Örneğin, ticari uygulamalarında yoğun olarak kullanılan Si bazlı güneş hücreleri, düşük maliyetle üretilmelerinden dolayı ucuzdur. Ancak, güneş spektrumunun sınırlı bir kısmını soğurur ve diğer kısmını elektrik enerjisine dönüştürme sürecinde enerji ısıya dönüştür.

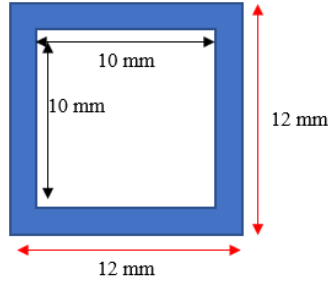
Son birkaç yılda güneş hücre verimliliğinde önemli derecede artış olmasına rağmen, hücre verimliliği üzerine yapılan çalışmalar hala güncelliğini korumaktadır. Çünkü güneş hücre verimliliği üzerine birçok sınırlayıcı etken bulunmaktadır. Güneş hücresinin enerji verimliliği üzerindeki en temel sınırlamalar, hücrenin yapıldığı yarı iletkenin bant aralığıdır. Kadmiyum tellür (CdTe), doğrudan bant aralığı (1.45 eV) ve yüksek soğurma katsayısı (10^5 cm^{-1}) nedeniyle fotoelektrik enerji dönüşüm tabakasında kullanılan II-IV bileşiğinden biridir [4]. Ayrıca, CdTe düşük maliyetli ve yüksek verimli güneş hücre geliştirilmesinde oldukça kullanışlı bir fotovoltaik malzemedir [5]. Kadmiyum sülfür (CdS), CdTe bazlı güneş hücresi için direkt optik bant aralığı (2.4 eV) ve yüksek şeffaflık nedeniyle uygun bir n-tipi bileşenidir [6]. Ayrıca CdS, benzer kimyasal özellikleri nedeniyle CdTe ile en çok kullanılan malzemelerden biridir [7]. CdS/CdTe güneş hücresinde kimyasal dengenin kontrolü, yüksek dönüşüm verimliliği elde etmek için kritik öneme sahiptir. Bu zorluğun üstesinden gelmek ve kısa dalgaboylu foto-dönüşümü artırmak için CdS kalınlığının ince olması gerekir. Genellikle, kısa devre akımını artırmak için normale göre daha ince CdS tabakası kullanılır [8]. CdS/CdTe güneş hücrelerinde önemli bir etken yapı da CdS ile FTO tabakası arasında SnO_2 , ZnO, In_2O_3 , Zn_2SO_4 ve Al_2O_3 gibi yüksek dirençli şeffaf iletken oksit yapısının oluşturulmasıdır. Böylece CdS tabakasının kalınlığının azaltılmasından kaynaklanan olumsuz etki ortadan kaldırılır ve bu bölgede yüksek dirençli şeffaf bir yapı meydana getirilir. Al_2O_3 yapısı CdS ile yüksek bir enerji bariyeri oluştururken, SnO_2 yapısı neredeyse hiç enerji bariyeri oluşturmaz.

Genel olarak Bakır (Cu)-içeren malzeme ya da Cu metal film, CdTe bazlı güneş hücre yapısında düşük dirençli bir arka kontak elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat Cu, CdTe'de hızlı bir difüzyördür ve CdTe tane sınırı boyunca hücre eklemi CdS / CdTe'e yayılabilir [9]. Bu nedenle, son zamanlarda, MoO_3 ve V_2O_5 dahil olmak üzere yüksek çalışma fonksiyonlu geçiş metal oksitleri, CdTe güneş hücrelerinin arka kontaklarında sıklıkla bir tampon tabaka olarak kullanılmaktadır [9, 10]. CdTe ile metal kontak arasına geçiş metal oksit tabakasının kaplanması ile metalin CdTe içerisine difüzyonu engellenmektedir. Bu sayede güneş hücre yapısının daha verimli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, geleneksel CdTe bazlı ince film güneş hücresinden farklı olarak CdTe ile arka kontak arasında tampon tabaka vazifesi gören MoO_3 geçiş metal oksit tabakasının güneş hücre yapısı üzerine etkisi incelenmesidir. MoO_3 tabakasına sahip güneş hücre yapısının morfolojik özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ölçüm sistemlerinin analizleri ile belirlendi. Ayrıca, güneş hücresinin temel elektriksel parametreleri olan açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), dolum faktörü (FF) ve enerji dönüşüm verimlilik değeri (η) analizleri karanlıkta ve 1 Güneş altında (Solar Simülatör kullanılarak) yapılan akım-gerilim (I-V) ölçümlerinden elde edildi.

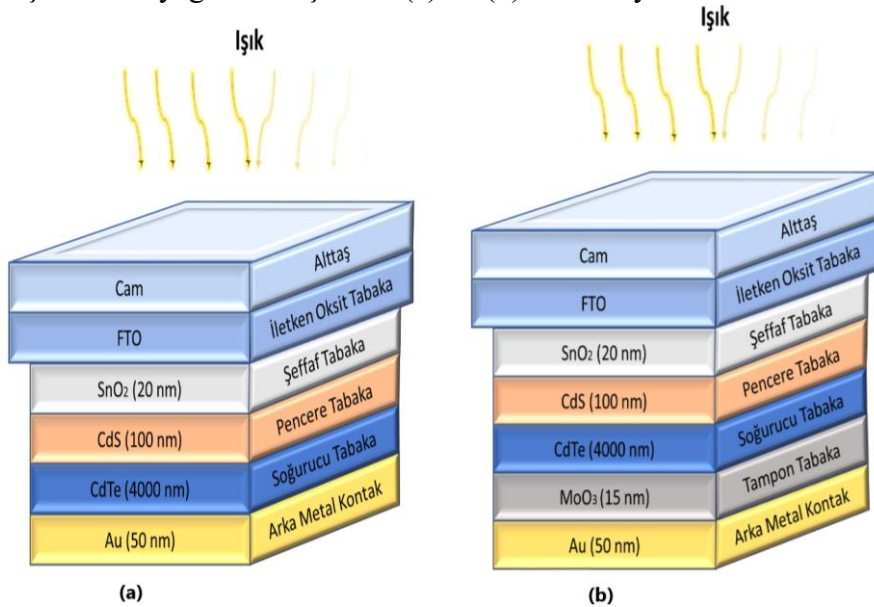
2. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada, Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/Au (N1) ve Cam/FTO/SnO₂/CdS/CdTe/MoO₃/Au (N2) güneş hücre yapıları incelendi. Öncelikli olarak FTO kaplı cam alttaş hazır olarak temin edildi. Cam/FTO alttaş 12 mm x 12 mm ebatlarında 2 adet kesildi. Kesilen parçalar üzerine aktif kaplamalar yapılması için önce temizlendi. Numuneler aseton ve alkol ile temizlendi, DI-H₂O ile durulandı ve yüksek saflıktaki azot gazı ile kurutuldu. Numuneler sıçratma (Sputtering) sistemine yüklenmeden önce Şekil 1'de görüldüğü gibi 10 mm x 10 mm ölçülerinde FTO kaplı alandan ön kontaktların alabilmesi için numunelerin kenarlarından 2 mm'lik boş alanlar bırakılan içi boş bir maske ile numune tutucuya yerleştirildi.



Şekil 1. Ön kontak maske şeması

N1 ve N2 numuneleri maskeleme işlemi sonrasında numune tutuculara (maskeli yüzey üstte kalacak şekilde) yerleştirildi. N1'e ait numune tutucusu sıçratma sisteminin yükleme odasına yerleştirildi ve yükleme odası vakuma alındı. Basınç 10⁻⁷ mbar'a geldiğinde, numuneler sıçratma odasına transfer edildi. Yüksek saflıkta (%99,999) SnO₂ tabakası sıçratma sistemi ile cam / FTO alttaş üzerine 20 nm kalınlığında kaplandı. Bu yapının üzerine 100 nm'lik kalınlığa sahip yüksek saflıktaki (%99,999) CdS pencere tabakası kaplandı. Daha sonra, 4 µm kalınlığında yüksek saflıktaki (%99,999) CdTe soğurucu tabaka kaplandı. Bu şekilde N1 yapısı tamamlanmıştır. Aynı süreçler N2 yapısı için de uygulandı. Fakat N1 yapısından farklı olarak CdTe tabakası üzerine arka kontak ile CdTe arasından tampon tabaka oluşturmak için 15 nm kalınlığında MoO₃ tabakası kaplandı. Hem N1 hem de N2 yapısının oluşturulması sürecinde sıçratma basıncı 10⁻³ mbar'da tutuldu. Hücre fabrikasyonunun tamamlanması için her iki numunenin yüzeyine de 50 nm kalınlığına yüksek saflıktaki (%99,999) Au metali kaplandı. N1 ve N2 güneş hücre yapılarının şematik diyagramları Şekil 2 (a) ve (b)'de sırasıyla verildi.

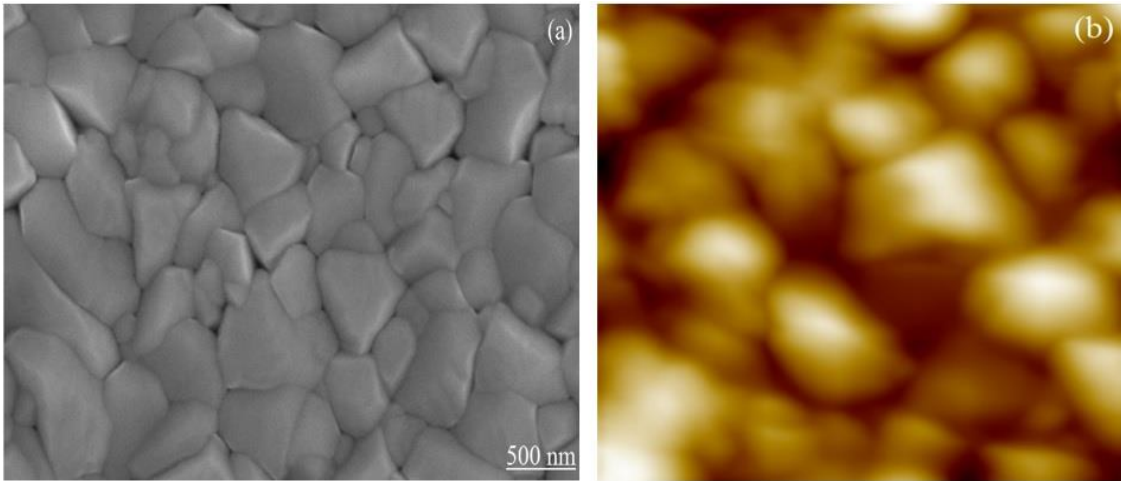


Şekil 2 (a) N1 ve (b) N2 Güneş hücre yapısının şematik diyagramları

Bu çalışmada öncelikli olarak N2 güneş hücre yapısının yüzey morfolojisi, SEM ve AFM ölçümleri ile analiz edildi. Daha sonra, fabrikasyon aşamaları tamamlanan N1 ve N2 güneş hücrelerinin karanlık ve aydınlık altında akım-voltaj (I-V) karakteristiği belirlendi. Tüm bu ölçümler Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Oriel Sol1A sınıfı AAA güneş simülatörü ile Keithley 4200 kaynak ölçüm cihazı tarafından AM1.5 standardında gerçekleştirildi. Ölçümlerde güneş simülatörü 1 güneş değeri için 0.1 W/cm²'ye kalibre edildi.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, MoO₃ tabakası içeren CdTe güneş hücre yapısının (N2) yüzey morfolojisini belirlemek için fabrikasyon aşamasından önce hem SEM hem de AFM ölçümleri alınmıştır. N2 yapısının yüzey morfolojisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3 (a)'da güneş hücre yapısının 500 nm tarama alanına sahip SEM görüntüsü, Şekil 3 (b)'de ise güneş hücre yapısının 3 µm ile 3 µm yüzey tarama alanına sahip iki boyutlu (2D) AFM görüntüsü verildi. Şekil 3 (a) ve (b) den görüleceği gibi gözenekli bir yapıya sahip olan CdTe katmanının üzerinde MoO₃ tabakası kullanılarak bir tampon tabaka oluşturulmuştur. Bu sayede, fabrikasyon aşamasında güneş hücre yapısı üzerine kaplanacak olan metal malzemenin gözenekli yapıya sahip CdTe tabakasından sızarak FTO kaplı cama inmesi engellenmiş ve yapının omik davranış sergilemesinin önüne geçilmiştir.



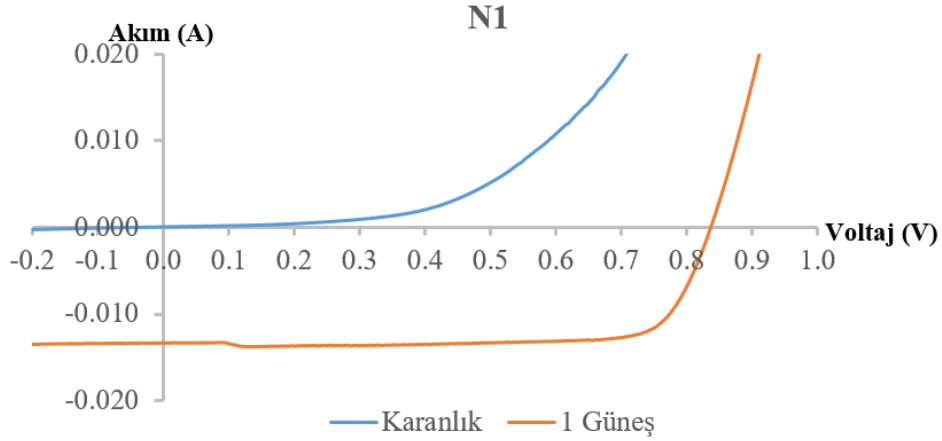
Şekil 3. MoO₃ tabakası içeren CdTe güneş hücre yapısının (N2) yüzey morfolojisi (a) SEM görüntüsü, (b) AFM 2D görüntüsü

Elektriksel ölçüm sonuçlarından elde edilen V_{oc} , I_{sc} , FF ve gelen ışığın (P_{in}) değerinin yoğunluğu kullanılarak Denklem (1) 'de gösterildiği gibi enerji verimlilik değeri η hesaplanabilir. η standart şartlar altında V_{oc} , I_{sc} , FF değerlerine bağlı olduğundan, her birini yüksek verimlilik için optimize etmek çok önemlidir [7].

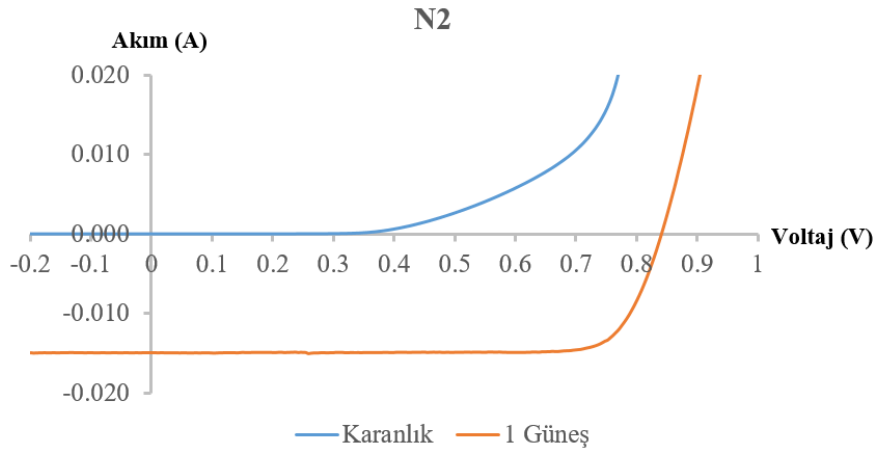
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (1)$$

N1 ve N2 güneş hücrelerinin I-V ölçümleri karanlıkta ve 1 Güneş altında, güneş simülatörü (1 güneş değeri için 0,1 W/cm²'ye kalibre) kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 4 ve 5). N1 güneş hücresinin V_{oc} , I_{sc} , FF ve η değerleri sırasıyla 0.84 V, 13.29 mA, 0.80 ve % 8.93 olarak bulundu. N2 güneş hücrelerinin V_{oc} , I_{sc} , FF ve η değerleri sırasıyla 0.84 V, 14.93 mA, 0.82 ve % 10.31 olarak bulundu. Tablo 1' de N1 ve N2 güneş hücreleri için elektriksel çıkış parametreleri verildi. Bu sonuçlar ışığında, MoO₃ tabakasının CdTe-bazlı

güneş hücresine entegrasyonunun hücre verimliliğini %15.45 oranında arttırdığı gözlemlendi.



Şekil 4. N1 güneş hücresinin karanlıkta ve 1 Güneş altında akım-voltaj karakteristiği



Şekil 5. N2 güneş hücresinin karanlıkta ve 1 Güneş altında akım-voltaj karakteristiği

Tablo 1. N1 ve N2 güneş hücrelerinin elektriksel temel çıkış parametreleri

Numune	Isc (mA)	Voc (V)	Im (mA)	Vm (V)	FF	Ac (cm ²)	n (%)
N1	13,29	0,83	12,28	0,72	0,80	1,00	8,93
N2	14,93	0,84	14,25	0,72	0,82	1,00	10,31

4. Sonuç

Bu çalışmada, hem geleneksel hem de MoO₃ tabakası içeren CdTe bazlı güneş hücre yapıları sıçratma tekniği kullanılarak büyütüldü. MoO₃ tabakası içeren CdTe bazlı güneş hücre yapısının yüzey morfolojisi SEM ve AFM ölçümleri alınarak belirlendi. Daha sonra, bu güneş hücre yapılarının fabrikasyon işlemleri Au metali kullanılarak gerçekleştirildi. MoO₃ tabakası tampon tabaka görevi yaparak Au metalinin gözenekli yapıda olan CdTe tabakasından sızarak güneş hücre yapısını omik davranış sergilemesini engelledi ve güneş hücre verimliliği üzerinde olumlu bir etki yarattığı verimdeki %15.45 oranında artış ile belirlendi. Sonuç olarak, MoO₃ yapısının CdTe bazlı hücreye tampon tabaka olarak entegrasyonu cihaz performansında ciddi bir artış sağladığı gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- [1] A.N. Çelik, "Present Status of Photovoltaic Energy in Turkey and Cycle Techno-Economic Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic-House," *IEEE Trans. Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, pp. 370-387, Aug. 2006.
- [2] Y. Özen, N. Akın, B. Kınacı, and S. Özçelik, "Performance evaluation of a GaInP/GaAs solar cell structure with the integration of AlGaAs tunnel junction," *IEEE Trans. Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 137, pp. 1-5, June 2015.
- [3] S. Mohammadnejad, M. Dehdast, and A. Bahrami, "Optimized DBR-based back reflector for silicon solar cells," *IEEE Trans. Transaction on Electron Optics*, vol. 1, pp. 4-7, 2015.
- [4] N.R. Paudel, Y. Yan, "Fabrication and characterization of high-efficiency CdTe-based thin-film solar cells on commercial SnO₂: F-coated soda-lime glass substrates," *IEEE Trans. Thin Solid Films*, vol. 549, pp. 30-35, Dec. 2013.
- [5] R. Luo, B. Liu, X. Yang, Z. Bao, B. Li, J. Zhang, W. Li, L. Wu, and L. Feng, "The large-area CdTe thin film for CdS/CdTe solar cell prepared by physical vapor deposition in medium pressure," *IEEE Trans. Applied Surface Science*, vol. 360, pp. 744-748, Jan. 2016.
- [6] N. Maticiuc, N. Spalatu, V. Mikli, and J. Hiie, "Impact of CdS annealing atmosphere on the performance of CdS-CdTe solar cell," *IEEE Trans. Applied Surface Science*, vol. 350, pp. 14-18, Sep. 2015.
- [7] J. Britt and C. Ferekides, "Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency," *IEEE Trans. Applied Physics Letters*, vol. 62, pp. 2851-2852, May. 1993.
- [8] X. Li, K. Shen, Q. Li, Y. Deng, P. Zhu, and D. Wang, "Roll-over behavior in current-voltage curve introduced by an energy barrier at the front contact in thin film CdTe solar cell," *IEEE Trans. Solar Energy*, vol. 165, pp. 27-34, May. 2018.
- [9] K. Shena, R. Yanga, D. Wanga, M. Jengc, S. Chaudharyd, K. Hoa, and D. Wang, "Stable CdTe solar cell with V₂O₅ as a back contact buffer layer," *IEEE Trans. Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 144, pp. 500-508, Jan. 2016.
- [10] N. R. Paudel, A.D. Compaan, and Y. Yan, "Sputtered CdS/CdTe solar cells with MoO_{3-x}/Au back contacts," *IEEE Trans. Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 113, pp. 26-30, June 2013.