

Araştırma Makalesi - Research Article

Aktif Tabakaya Ag Nanopartikül Katkısının Organik Güneş Hücrelerinin Fotovoltaik Verimine Etkisi

The Effect of Ag Nanoparticle Doping to Active Layer on Photovoltaic Efficiency of Organic Solar Cell

Semih Yurtdaş^{1*}, Muhittin Ünal², Cem Tozlu³

Geliş / Received: 23/08/2022

Revize / Revised: 02/11/2022

Kabul / Accepted: 29/11/2022

ÖZ

Organik güneş hücreleri alternatif enerji kaynaklarından bir tanesidir. Bu teknolojinin ticarileşebilmesinin önündeki tek engel düşük verimlilik değerleridir. Bu çalışmada evrik yapıdaki organik güneş hücrelerinin verimi Ag nanopartiküllerin (np) plazmonik etkilerinden yararlanarak artırılmıştır. Aygıt konfigürasyonu ITO/ZnO/poli(3-hekziltiofen-2,5-diil) (P3HT): (6,6)-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM)/MoO₃/Ag şeklindedir. Ag np'ler poliol yöntemi ile sentezlenmiş ve X-Işını difraktometresi (XRD) UV-Vis spektrofotometre ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopu (FESEM) ile karakterize edilmiştir. Daha sonrasında Ag, kütlece %0,125-0,25-0,5 oranlarında P3HT:PCBM'e katılmıştır. Referans hücrede verim değeri %3,21 iken %0,25 Ag katkılı aygıtta yaklaşık %7'lik bir verim artışı ile %3,43 değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Ag, Organik Güneş Hücreleri, Katılama

ABSTRACT

Organic solar cells are one of the alternative energy sources. The only barrier to commercialization of this technology is its low efficiency values. In this study, the efficiency of inverted organic solar cells was increased by utilizing the plasmonic effects of Ag nanoparticles (np). The device configuration is ITO/ZnO/poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT):(6,6)-phenyl C61 butyric acid methyl ester (PCBM)/MoO₃/Ag. Ag np's were synthesized by polyol method and characterized by X-Ray diffractometry (XRD), Uv-Vis spectrophotometer and field emission scanning electron microscopy (FESEM). Afterwards, Ag was added to P3HT:PCBM at the ratios of 0.125-0.25-0.5% by mass. While the efficiency value was 3.21% in the reference cell, it reached 3.43% with an increase of approximately 7% in the 0.25% Ag added device.

Keywords- Ag, Organic Solar Cells, Doping

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: syurtdas@kmu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5556-2196>)

²İletişim: muhittinnunal@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2431-6870>)

³İletişim: cem.tozlu@ikcu.com (<https://orcid.org/0000-0003-4192-5512>)

¹Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

I. GİRİŞ

Geçmişten günümüze dünyadaki enerji ihtiyacı artış eğilimindedir. Artan nüfus ve enerji ihtiyacını karşılamak toplumun yaşadığı en büyük zorluklardan birisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, tüketilemez bir enerji kaynağı olduğu için bu ihtiyacı karşılama potansiyeline sahiptir.

Güneşten gelen foton enerjisini doğrudan elektrige çeviren aygıtlara fotovoltaik güneş hücresi adı verilmektedir. Fotovoltaik güneş hücreleri arasında ise en yaygın olarak kullanılan silisyum tabanlı güneş hücreleridir.

Dünya genelinde fotovoltaik üretiminde kristal silisyum güneş hücreleri büyük bir paya sahiptir [1]. Ancak silisyum tabanlı güneş hücrelerinde hammadde ve üretim süreci yüksek maliyetlere sahiptir. Bu sorunun önüne geçmek için silisyum tabanlı güneş hücrelerine alternatif olarak ince film, boya duyarlı, organik ve perovskit güneş hücreleri gibi yeni nesil güneş hücreleri araştırılmaktadır [2-5].

Perovskit güneş hücreleri diğer yeni nesil güneş hücreleri arasında en yüksek verime sahip olsa da neme karşı hassastır ve düşük kararlılığa sahiptir [6]. Boya duyarlı güneş hücrelerinde redoks tepkimesinin ana bileşeni olan sıvı elektrolitin uçucu olması ve soğurucu tabaka olan boyanın kimyasal yapısını bozduğu için stabil bir yapısı yoktur [7]. Şimdiye kadar silisyum tabanlı güneş hücrelerine alternatif olarak en iyi aday, daha düşük maliyet, uzun vadede stabil olması gibi özellikler ile organik güneş hücreleridir. Ayrıca esnek yüzeylere uygulanabilir olması, çözelti metodu ile basitçe hazırlanabilmesi, düşük maliyete sahip olması ve düşük sıcaklıklarda üretilmesi gibi artılarıyla da iyi bir alternatiftir [8-11]. Fakat organik güneş hücrelerinin verimi, silisyum tabanlı güneş hücrelerine göre nispeten düşüktür. Bu durumun en temel nedeni ise organik yarı iletkenlerin yük taşıyıcı mobilitesinin düşük olmasıdır [12]. Mobilitenin düşük olması da organik aktif tabakanın kalınlığını sınırlandırır ve düşük optiksel absorpsiyon ile sonuçlanır [13]. Bu nedenle organik yarı iletkenlerin absorpsiyonunun artırılması bir problem olmaya devam etmektedir. Stuart ve Hall bir fotodedektör çalışmasında Ag nanopartikül (np) kullanarak fotoakımı yaklaşık 20 kat arttırarak bu problemin çözümünde ilk adımı atmışlardır. Bu sonuçlar metal np'lerin lokalize yüzey plazmonik etki ile ışığı dağıtabildiğinin bir göstergesidir [14]. Np'lerin boyutu, şekli ve türü ışığın dağılmasında önemli bir role sahiptir. Au ve Ag metal np'ler bunlar arasında en önemlileridir [15-16]. Literatür incelendiğinde organik güneş hücrelerinde metal np'ler ışık tutucu/dağıtıcı olarak uygulanarak optik absorpsiyon özelliklerinin geliştirildiği görülmüştür. Örneğin; ITO/poli(3-4-etilen dioksitiyofen):poli(stirensülfofat) (PEDOT:PSS)/Ag np:P₃HT:PCBM/Al konfigürasyonuna sahip geleneksel yapıdaki bir güneş hücresinde kullanılan Ag np ile verim değeri %3,3'den %3,4'e yükselmiştir [17]. 10 nm boyuta sahip Au np kullanılan geleneksel yapıdaki çalışmada akım yoğunluğu (J_{sc}) değeri 8,27 mA/cm²'den 9,86 mA/cm²'ye yükselmiştir [18]. 14 nm boyuta sahip Au np ile yapılan ITO/ZnO/P3HT:PCBM:Au np/Ag konfigürasyonuna sahip devrik yapıdaki bir çalışmada J_{sc} değeri 7,23 mA/cm²'den 8,71 mA/cm² değerine artış gösterirken verim değeri ise %1,95'ten %2,44'e çıkmıştır [19].

Bu çalışmada kullanılan aygıt yapısı, evrik yapı diye adlandırılan elektron taşıyıcı tabakanın aktif tabakanın altında, boşluk taşıyıcı tabakanın ise aktif tabakanın üstünde olduğu yapıdır. Ters durumun geçerli olduğu yapılar geleneksel yapıdaki organik güneş hücreleri adı verilir. Geleneksel yapıdaki aygıtlarda boşluk taşıyıcı tabaka olarak sıklıkla PEDOT:PSS, üst kontak olarak ise Ca ve Al gibi metaller kullanılmaktadır [20-21]. Gerek PEDOT:PSS'in asidik yapısı [22], gerekse Ca ve Al'un düşük iş fonksiyonundan [23] dolayı O₂ ile kolayca yükseltgenmeleri aygıtların uzun vadede kararlılıklarını olumsuz yönde etkilemektedirler. Bu sorunların üzerinden gelmek için evrik yapıdaki güneş hücreleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada evrik yapıdaki organik güneş hücresinin foton soğurucu tabakası olan P3HT:PCBM'e Ag np katılarak, aygıtın fotovoltaik parametreleri incelenmiştir.

II. MATERYAL METOD

A. Materyal

Gerekli tüm kimyasallar herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmadan kullanılmıştır. Alt taş olarak kullanılan, indiyum katkı kalay oksit (ITO) kaplı camlar Kintech firmasından temin edilmiştir. Elektron taşıyıcı olarak kullanılacak olan ZnO sentezi için Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (%98-101) ve 2-Metoksietanol Alfa Aesar, mono etanol amin (MEA) (%99,5) ise Aldrich firmasından alınmıştır. Aktif tabakayı oluşturan poli(3-hekziltiofen-2,5-diil) (P3HT) (%93) ve (6,6)-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM) (%99,5) Lum-Tech. firmasından temin

edilmiştir. Boşluk taşıyıcı tabakasını oluşturan MoO₃ (%99,8) Sigma-Aldrich, üst kontak olan Ag (%99,9) ise Alfa Aesar firmasından sağlanmıştır.

B. Metod

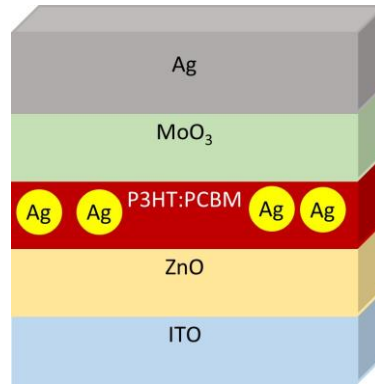
ZnO sentezi için öncelikle çinko asetat dihidrat 2-metoksi etanol içerisinde eklenir ve sıcaklık uygulanarak karıştırılır. Ardından MEA eklenir. MEA ve çinko asetat dihidrat molar oranları 1:1 tutulur. 60 °C sıcaklıkta 2 sa karıştırıldıktan sonra reaksiyon bitirilir ve 1 gün yaşlandırılır. ITO yüzeyi üzerine 2000 rpm hızında 30 sn süresince döner kaplama sistemi yardımı ile kaplanır. 150 °C sıcaklıkta 30 dakika tavllanır [24].

Aktif tabakaya katılacak olan Ag np'ler poliol yöntemine göre sentezlenmiştir [25].

Aygıtların aktif tabakasını oluşturan P3HT:PCBM karışımı klorobenzen içerisinde ağırlıkça 1:1 oranlarında karıştırılarak hazırlanır. Ag np katkısı ise kütlece %0,125-0,25-0,5 oranlarında olacak şekilde eklenir. Katkılı veya katkısız aktif tabakalar inert atmosfer içerisinde, ZnO kaplanmış filmlerin üzerine 1250 rpm'de 40 sn boyunca döner kaplama sistemi yardımı ile kaplanır. 120 °C sıcaklıkta 25 dakika tavllanır.

MoO₃ ve Ag, fiziksel buhar biriktirme cihazında yaklaşık 10⁻⁶ torr basınçta sırasıyla 8 ve 80 nm kalınlıklarında kaplanılarak aygıtlar oluşturulur. Üretilen aygıtların aktif alanı 0,07 cm²'dir.

Elde edilen aygıtın şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



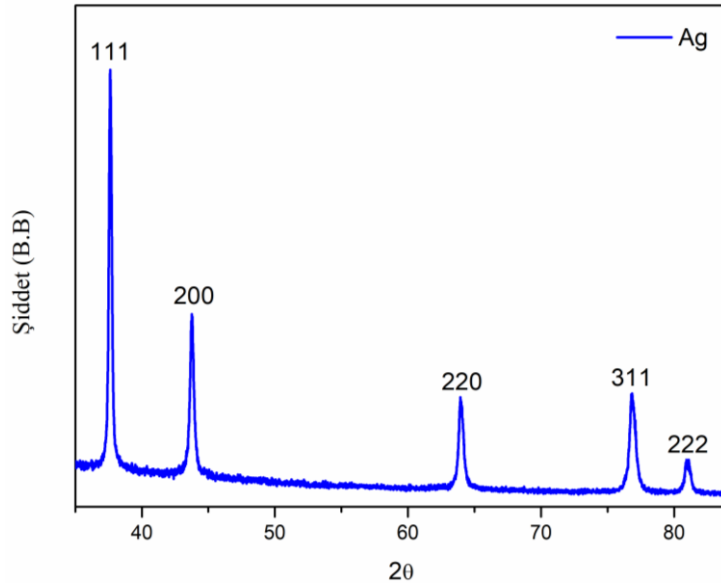
Şekil 1. Aygıtın Şematik Gösterimi

C. Karakterizasyon

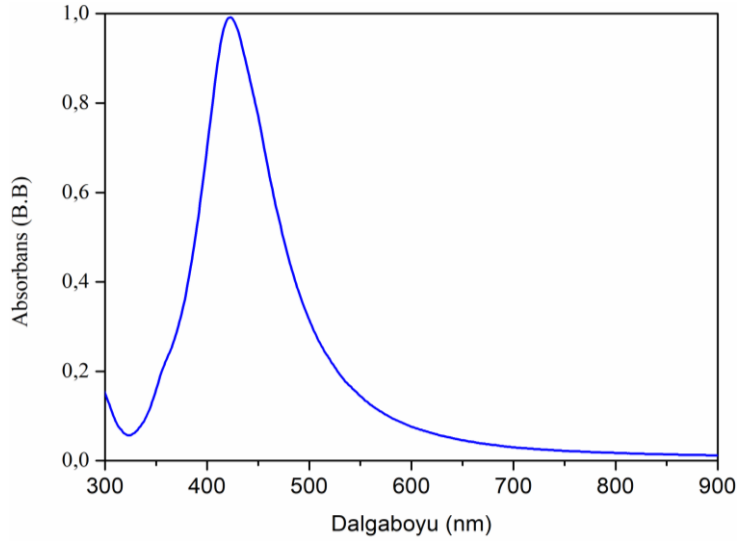
Sentezlenen Ag np'ler UV-Vis spektrofotometre (Hach DR5000), X-Işını difraktometresi (XRD) (Bruker D8 Advance), ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) (Hitachi SU-5000) ile karakterize edilmiştir. Yapılan aygıtların elektriksel parametreleri güneş simülatörü (1000 W, OAİ Trisol Sınıf AAA) ve akım-gerilim kaynak ölçer cihazı (Keithley 2400) ile belirlenmiştir. Ölçümler; 100 mW/cm², A.M 1,5 G ve oda sıcaklığı koşullarında glovebox içerisinde alınmıştır. Üretilen aygıtların elektriksel parametreleri Tablo 1'de ve J-V grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.

III. SONUÇLAR

Sentezlenen Ag np'lerin arzu edilen kristal yapıda olup olmadıklarını belirlemek için XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kırınım deseni Şekil 2'de verilmiş olup sonuç incelendiğinde 01-087-0720 PDF kart numarasına sahip kübik kristal yapısındaki Ag ile iyi bir şekilde eşleştiği belirlenmiştir. Kırınım deseninde belirlenen pikler 38,2, 44,4, 64,6, 77,6 ve 81,7 derecelerinde oluşmuş olup hkl Miller indisleri sırasıyla 111, 200, 220, 311 ve 222 şeklindedir.

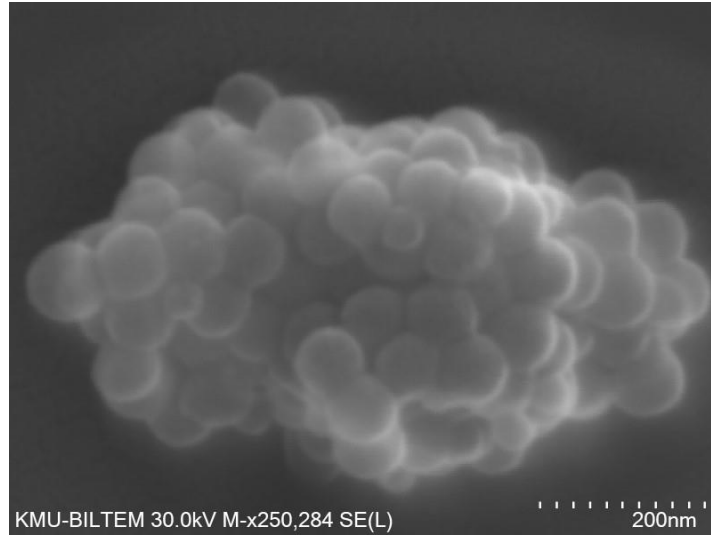


Şekil 2. Ag Np'lerin XRD Sonucu



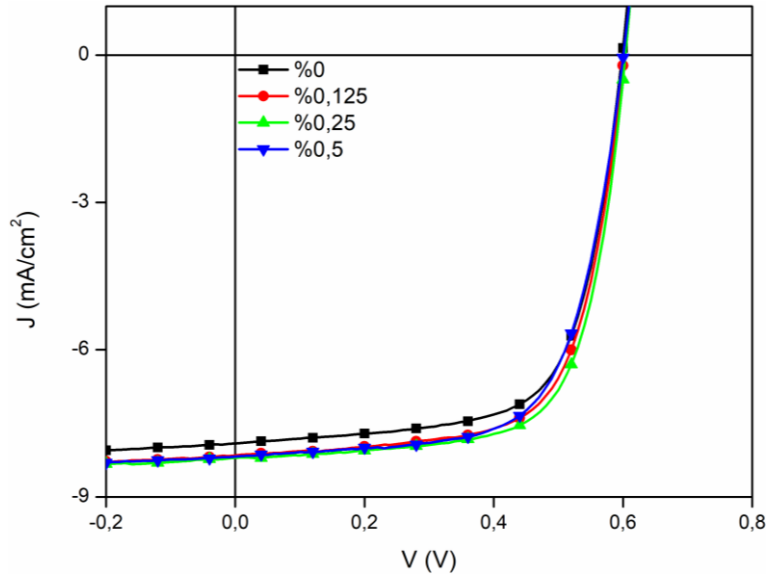
Şekil 3. Ag Np'lerin Absorbans-Dalgaboyu Grafiği

Arzu edilen kristal yapıda sentezlenebildiği belirlenen Ag np'lerin 300-900 nm dalga boyu aralığında absorpsiyon ölçümü gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde Ag np'lerin 422 nm civarında bir absorpsiyon piki sergilediği görülmektedir. Literatür incelendiğinde 420 nm civarında absorpsiyon piki veren Ag np'lerin boyutunun yaklaşık olarak 50 nm olduğu bildirilmiştir [26]. Hem bu boyuttan emin olmak hem de partiküllerin şekli hakkında bilgi sahibi olmak için FESEM analizi gerçekleştirilmiştir. FESEM görüntüsü Şekil 4'te verilmiş olup, yaklaşık 50 nm çapına sahip küresel şekilde np'ler sentezlendiği tespit edilmiştir. Böylece plazmonik etkilerinden yararlanabileceğimiz fiziksel özelliklere sahip np'ler elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 4. Ag Np'lerin FESEM Görüntüsü

Arzu edilen kristal yapıda, geometride ve boyutta sentezlenebildiği belirlenen Ag np'ler ile aktif tabakaya kütlece farklı oranlarda katkılama yapılarak aygıtlar üretilmiştir.



Şekil 5. Üretilen Aygıtların J-V Grafikleri

Tablo 1 incelendiğinde Ag np katkısı içermeyen referans aygıtta akım yoğunluğu değerinin 7,91 mA/cm² olduğu, verim değerinin ise %3,21 olduğu görülmektedir. Tüm aygıtlarda görülen 600 mV'luk açık devre gerilim (V_{oc}) değeri P3HT:PCBM kullanılan hücrelerde ideal bir değerdir [27]. Dolum faktörü (FF) aygıtın ideallığının bir ölçüsüdür. P3HT:PCBM kullanılan hücrelerde tecrübelerimize göre %60-70 arası FF değeri başarılı aygıtların üretildiğinin göstergesidir. Daha düşük bir FF ölçümü elde edildiyse hücrede iğne deliği adı verilen bazı kusurların çokluğundan veya yapıda oluşan başka birtakım olumsuzluklardan bahsedilebilir. Aktif tabakaya Ag np katkılı olduğunda plazmonik etkilerden dolayı beklenildiği üzere verim artışı sağlanmıştır. Katkı miktarı olarak kütlece %0,125-0,25-0,5 denenmiş ve sırasıyla %3,34-3,43-3,27 verim değerleri elde edilmiştir. Akım yoğunlukları ise %0,125-0,25-0,5 katkılı aygıtlar için sırasıyla 8,16-8,20-8,17 mA/cm² olarak bulunmuştur. Her ne kadar tüm aygıtlarda referans hücreye göre daha yüksek akım yoğunluğu ve verim elde edilmiş olsa da en yüksek verime %0,25 katkı miktarı ile ulaşılmıştır. %0,25 katkı miktarından sonra verim değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak katkı miktarı arttıkça yapıda Ag np kümelenmelerinin artabileceği ve P3HT:PCBM yapısında bozukluklara sebep olabileceği ön görülmüştür. %0,25 ile %0,5 katkılı

aygıtların FF değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında katkı miktarı arttığında aygıtların ideallikten uzaklaştığı görülmektedir.

Tablo 1. Üretilen aygıtların elektriksel parametreleri

Ag Katkı Miktarı	Elektriksel Parametreler			
	Jsc (mA/cm ²)	Voc (mV)	FF (%)	η (%)
%0	7,91	600	67,6	3,21
%0,125	8,16	600	68,2	3,34
%0,25	8,20	600	69,8	3,43
%0,5	8,17	600	66,8	3,27

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Poliol yöntemi ile sentezlenen Ag np'lerin XRD, UV-Vis ve FESEM ile karakterize edildikten sonra arzu edilen kristal yapı, geometri ve boyutlarda sentezlenebildiği belirlenmiştir. Yaklaşık 50 nm boyutlarında küresel şekildeki kübik kristal yapısına sahip Ag np'ler ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısındaki evrik güneş hücrelerinin aktif tabakasına kütülecce %0,125-0,25-0,5 olacak şekilde katılanmıştır. Plazmonik etkilerden dolayı akım yoğunluğunda artış görülmüş ve en yüksek verime %0,25 katkılı aygıtta ulaşılmıştır. Akım yoğunluğu değeri 7,91 mA/cm²'den 8,20 mA/cm² değerine, verim değeri ise yaklaşık %7'lik bir artış ile %3,21'den %3,43'e çıkmıştır. İleriki çalışmalarda P3HT:PCBM yerine daha yüksek verim elde edilebilen donör ve akseptör çiftleri kullanılarak ticarileşme açısından daha rekabetçi aygıtlar üretilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Shin, D. Y., Lim, J. R., Shin, W. G., Lee, C. G. & Kang, G. H. (2021). Layup-Only Modulization for Low-Stress Fabrication of a Silicon Solar Module with 100 µm Thin Silicon Solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 221, 110903.
- [2] Aberle, A. G. (2009). Thin-Film Solar Cells. *Thin Solid Films*, 517, 4706-4710.
- [3] Cho, E. J., Cha, J. K., Fu, G., Cho, H. S., Lee, H. W. & Kim, S. H. (2022). Selective Sensitization Strategy for High-Performance Panchromatic Dye-Sensitized Solar Cells Incorporated with Ruthenium-Based Double Dye. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 115, 272-278.
- [4] Liao, X., Li, Q., Ye, J., Li, Z., Ren, J., Zhang, K., Xu, Y., Cai, Y. P., Liu, S. & Huang, F. (2023). Solid-Liquid Convertible Fluorinated Terthiophene as Additives in Mediating Morphology and Performance of Organic Solar Cells. *Chemical Engineering Journal*, 453, 139489.
- [5] Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y. & Miyasaka, T. (2009). Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells. *Journal of The American Chemical Society Communications*, 131, 6050-6051.
- [6] Raman, R. K., Thangavelu, S. A. G., Venkataraj, S. & Krishnamoorthy, A. (2021) Materials, Methods and Strategies for Encapsulation of Perovskite Solar Cells: From Past to Present. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111608.
- [7] Wu, J., Lan, Z., Lin, J., Huang, M., Huang, Y., Fan, L. & Luo, G. (2015). Electrolytes in Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemical Reviews*, 115 (5), 2136-2173.
- [8] Fukuda, K., Yu, K. & Someya, T. (2020). The Future of Flexible Organic Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 2000765, 1-10.
- [9] Brabec, J. C. & Durrant, R. J. (2008). Solution-Processed Organic Solar Cells. *MRS Bulletin*, 33, 670-675.
- [10] Zilberberg, K., Gharbi, H., Behrendt, A., Trost, S. & Riedl, T. (2012). Low-Temperature, Solution Processed MoO_x for Efficient and Stable Organic Solar Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4, 1164-1168.
- [11] Seo, J. H., Um, H. D., Shukla, A., Hwang, I., Park, J., Kang, Y. C., Kim, C. S., Song, M. & Seo, K. (2015). Low Temperature Solution-Processed Flexible Organic Solar Cells with PFN/AgNWs Cathode. *Nano Energy*, 16, 122-129.
- [12] Mandoc, M. M., Koster, L. J. & Blom P. W. (2007). Optimum Charge Carrier Mobility in Organic Solar Cells. *Applied Physics Letters*, 133504 (90), 1-3.
- [13] Atwater, H. A. & Polman, A. (2010). Plasmonics for Improved Photovoltaic Devices. *Nature Materials*, 9, 205-213.

- [14] Stuart, H. R. & Hall, D. G. (1998). Island Size Effects in Nanoparticle-Enhanced Photodetectors. *Applied Physics Letters*, 73, 3815-3817.
- [15] Liang, A., Liu, Q., Wen, G. & Jiang, Z. (2012). The Surface-Plasmon-Resonance Effect of Nanogold/Silver and its Analytical Applications. *Trends in Analytical Chemistry*, 37, 32-47.
- [16] Fan, X., Zheng, W. & Singh, D. J. (2014). Light Scattering and Surface Plasmons on Small Spherical Particles. *Light: Science & Applications*, 3, 1-14.
- [17] Xue, M., Li, L., Villers, B. J. T. D., Shen, H., Zhu, J., Yu, Z., Stieg, A. Z., Pei, Q., Schwartz, B. J. & Wang, K. L. (2011). Charge-Carrier Dynamics in Hybrid Plasmonic Organic Solar Cells with Ag Nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 98 (253302), 1-3.
- [18] Paci, B., Genorosi, A., Albertini, V. R., Spyropoulos, G. D., Stratakis, E. & Kymakis, E. (2012). Enhancement of Photo/Thermal Stability of Organic Bulk Heterojunction Photovoltaic Devices via Gold Nanoparticles Doping of the Active Layer. *Nanoscale*, 4, 7453-7459.
- [19] Huang, Y. F., Zhang, Z. L., Kang, K. B., Zhao, M., Wen, T., Liu Y. X., Zhai, X. P., Lv, S. K., Wang, Q., Qiu, W. Y. & Qiu, D. (2013). Mitigation of Metal-Mediated Losses by Coating Au Nanoparticles with Dielectric Layer in Plasmonic Solar Cells. *RSC Advances*, 3, 16080-16088.
- [20] Li, G., Shrotriya, V., Huang, J., Yao, Y., Moriarty, T., Emery, K. & Yang, Y. (2005). High-Efficiency Solution Processable Polymer Photovoltaic Cells by Self-Organization of Polymer Blends. *Nature Materials*, 4, 864-868.
- [21] Erray, M., Hanine, M. & El Amrani, A. (2020). Study of P-Type Doping Effect on P3HT: ICBA Based Organic Photovoltaic Solar Cell Performance. *Optik*, 202 (163543), 1-7.
- [22] Cameron, J. & Skabara, P. J. (2020). The damaging effects of the acidity in PEDOT:PSS on semiconductor device performance and solutions based on non-acidic alternatives. *Materials Horizons*, 7, 1759-1772.
- [23] Li, J., Guo, C., Bai, Yu., Liu, W., Chen, Y, He, J., Li, D., Yang, X., Qiu, Q., Chen, T., Yu, J., Huang, Y. & Yu, J. (2022). One-Step Formation of Low Work-Function, Transparent and Conductive MgF₂/O₂ Electron Extraction for Silicon Solar Cells. *Advanced Science*, 9, 2202400.
- [24] Liang, Z., Zhang, Q., Wiranwetchayan, O., Xi, J., Yang, Z., Park, K., Li, C. & Cao, G. (2012), Effects of the Morphology of a ZnO Buffer Layer on the Photovoltaic Performance of Inverted Polymer Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 22 (10), 2194-2201.
- [25] Zhao, T., Sun, R., Yu, S., Zhang, Z., Zhou, L., Huang, H. & Du, R. (2010). Size-Controlled Preparation of Silver Nanoparticles by a Modified Polyol Method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 366 (1-3), 197-202.
- [26] Agnihotri, S., Mukherji, S. & Mukherji S. (2014). Size-Controlled Silver Nanoparticles Synthesized over the Range 5–100 nm Using the Same Protocol and their Antibacterial Efficacy. *RSC Advances*, 4, 3974-3983.
- [27] Sun, Y., Cui, C., Wang, H. & Li, Y. (2011). Efficiency Enhancement of Polymer Solar Cells Based on Poly(3-Hexylthiophene)/Indene-C₇₀ Bisadduct via Methylthiophene Additive. *Advanced Energy Materials*, 1, 1058-1061.