

Atıf İçin: Yaman A, 2021. Polimer Güneş Hücrelerinde PEDOT:PSS'ye Gümüş Nanoparçacık Katkılamanın Verime Etkisi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 2009-2015.

To Cite: Yaman A, 2021. Effect of Efficiencies of Adding Silver Nanoparticles' to PEDOT:PSS in The Polymer Solar Cell. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 2009-2015.

Polimer Güneş Hücrelerinde PEDOT:PSS'ye Gümüş Nanoparçacık Katkılamanın Verime Etkisi

Abuzer YAMAN^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, polimer güneş hücrelerinde boşluk ileten katman olarak kullanılan Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS)'ye değişik boyutlardaki (5 nm, 10 nm, 20 nm ve 30 nm) gümüş (Ag) nanoparçacıkları katkılanarak ITO (Indium tin (kalay) oxide) üzerine Döndürerek Kaplama (Spin Coating) yöntemiyle kaplandı. Katkılı ve katkısız PEDOT:PSS numuneleri, 110 °C, 130 °C ve 150 °C sıcaklıklarında tavlandı. Daha sonra Poly(3-hexylthiophene) (P3HT) ve [6,6]-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester (PCBM) karışımı PEDOT:PSS üzerine kaplanarak ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapıdaki polimer güneş hücreleri üretildi ve 110°C sıcaklıkta 20 dakika süreyle tavlandı. Üretilen numunelerin akım-voltaj (I-V) ölçümleri alınarak grafikleri çizildi. Yapılan hesaplamalardan elde edilen verilere göre en yüksek fotovoltajik verim %2.59 ile 5 nm Ag katkılı numunenin 130°C'deki tavlama ile elde edildiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Polimer güneş hücreleri, organik, nanoparçacıklar, döndürerek kaplama yöntemi, verim

Effect of Efficiencies of Adding Silver Nanoparticles' to PEDOT:PSS in The Polymer Solar Cell

ABSTRACT: In this study, silver (Ag) nanoparticles of different sizes (5 nm, 10 nm, 20 nm and 30 nm) were doped on Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS), which is used as a hole conducting layer in polymer solar cells, and coated on Indium tin oxide (ITO) by Spin Coating method. PEDOT:PSS samples with and without additives were annealed at 110 °C, 130 °C and 150 °C. Poly(3-hexylthiophene) (P3HT) and [6,6]-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester (PCBM) mixture were coated on PEDOT:PSS to produce polymer solar cells with ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al structure and It was annealed at 110°C for 20 minutes. Current-voltage (I-V) measurements of the produced samples were taken and their graphics were drawn. According to the data obtained from the calculations, it was determined that the highest photovoltaic efficiency of 2.59% was obtained by annealing at 130°C for the 5 nm Ag doped sample.

Keywords: Polymer solar cells, organic, nanoparticles, spin coating method, efficiency

¹Abuzer YAMAN ([Orcid ID: 0000-0003-0689-8942](https://orcid.org/0000-0003-0689-8942)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abuzer YAMAN, e-mail: yaman@yyu.edu.tr

Makale içeriği 29-31 Ekim 2015 tarihlerinde Antalya'da düzenlenen "2nd International Nanoscience and Nanotechnology for Next Generation Conference (NaNoNG)"da poster olarak sunulmuş, özetler kitabında yayınlanmıştır.

GİRİŞ

Günümüzde piyasada kullanılan güneş hücrelerinin çoğunluğu, tabiatta fazla miktarda bulunması nedeniyle hala inorganik yapılardır. Ancak işlenip son aşamaya gelene kadar oldukça yüksek maliyet gerektirmektedir. Ayrıca geniş ve esnek yüzey ya da düşük fiyat gerektiren piyasalara hitap edememektedir. İşte bu noktada organik yarıiletkenler; düşük altyapı maliyeti, geniş ve esnek yüzeylere uygulanabilme, kolay ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulamaya yönelik optimum özelliklere sahip malzemelerin sentezlenebilmesi gibi avantajlarla, inorganik yapıların dolduramadığı alanlara girebilecek niteliklere sahiptir.

Güneşten aldığı foton enerjisini, aktif polimer tabakada oluşan elektron ve boşluk çiftleri vasıtasıyla, doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlara Polimer Güneş Hücreleri denir. Organik (polimer) güneş hücrelerinin çalışma prensibi, inorganiklerden farklıdır. İnorganik güneş hücrelerinde tek bir ara yüz varken, organik güneş hücrelerinde dağınık ara yüz vardır. Hücrelerde, fotonların soğurulmasıyla oluşan elektron-boşluk çiftlerinin yük ayrışması, elektrik alanın etkisiyle ara yüzde gerçekleşir. Ara yüz alanının artırılmasıyla eksiton sayısı da artar. Bulk Heteroeklem yapılar dağınık ara yüzüne sahip olduğundan ara yüz alanı fazla ve dolayısıyla verim yüksektir (Wright ve Uddin, 2012; Horley ve ark., 2013; Schraber ve Sariciftci, 2013). Bu tür güneş hücrelerinde, p-tipi ve n-tipi yarıiletken polimerler, homojen bir şekilde karıştığında p-n ara yüz alanı artmaktadır. Dolayısıyla etkin ayrışım oranı arttığından hücrenin verimi de artmaktadır (Yu ve Heeger, 1995; Halls ve ark., 1995). Bu nedenle polimer güneş hücresi yapımında bulk heteroeklem yapılar tercih edilmektedir.

Verimin yüksek olabilmesi için hücre yüzeyine gelen ışığın mümkün olduğu kadar çok soğurulması gerekir. Bunun için yüzeyler yansımayı önleyici tabakalarla kaplanmaktadır. Yüzeye gelen foton, serbest yük taşıyıcılarının oluşmasına neden olmaktadır. Ayrılmış serbest yüklerin, hücrenin iki tarafındaki elektrotlara (ITO ve Al) ulaşarak elektrik akımını oluşturmaktadır. Güneş hücresinin performansını arttırmak amacıyla ITO ile aktif katman arasına, boşluk ileten tabaka olarak kullanılan PEDOT:PSS katmanı eklenmektedir.

Organik güneş hücrelerinin verimlerini etkileyen en önemli katmanlardan biri ara yüz katmanlarıdır. Aktif katmanda oluşan elektron-boşluk çiftleri ayrıldıktan sonra elektronlar ve boşluklar katot ve anot elektrotlarında toplanırlar. Aktif katmandan anot ve katot elektrotlarına yük geçişinin verimli olabilmesi için ara yüz katmanları kullanılır. Bu ara yüz katmanlarının yük iletim kabiliyetleri ne kadar iyi olursa hücre verimi de o kadar iyi olur. Bu yüzden hem yeni ara yüz katmanları arayışı hem de mevcut kullanılan katmanların özelliklerinin iyileştirilmesi için birçok çalışmalar yapılmaktadır (Wright ve Uddin, 2012; Horley ve ark., 2013; Schraber ve Sariciftci, 2013). PEDOT:PSS polimeri literatürde sıklıkla boşluk ileten katman olarak kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada PEDOT:PSS'ye Au nanoparçacıklar katkılanmış ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak verime etkisi incelenmiştir. Tavlama sıcaklığının, aygıtın elektriksel özelliklerini ve yüzey morfolojisini etkilediği bu çalışmada rapor edilmiştir (Kim ve ark., 2014).

Bildiğimiz kadarıyla PEDOT:PSS'ye Ag nanoparçacık katkılamanın verim üzerine etkisi literatürde incelenmemiştir. Bu çalışmada Ag nanoparçacıkları PEDOT:PSS'ye katkılanarak, üretilen güneş hücrelerinin fotovoltajik verimi üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Böylece hem parçacık boyutunun ve hem de katkılandıktan sonra tavlama etkisinin hücre verimine etkileri ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapısında polimer güneş hücreleri üretilmiştir. PEDOT:PSS katmanının özelliklerini iyileştirmek için Ag nanoparçacıklar PEDOT:PSS ile

karıştırılarak katkılanmıştır. Bu yapıdaki PEDOT:PSS'ye farklı boyutlarda Ag nanoparçacıklar katkılanarak hücrelerin fotovoltaiik veriminde parçacıkların boyut etkisi de incelenmiştir.

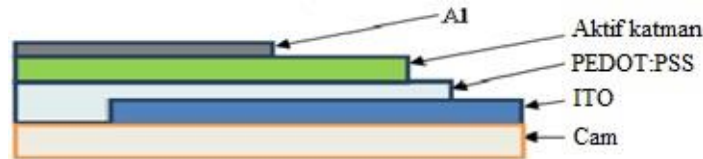
MATERYAL VE YÖNTEM

Anot altlık olarak kullanılan ITO (Indium tin (kalay) oxide) (8–12 Ω .cm) Sigma Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS), Poly(3-hexylthiophene) (P3HT) ve [6,6]-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester (PCBM) kimyasalları yine sigma aldrich firmasından tedarik edilmiştir ve hiçbir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır. PEDOT:PSS'ye katkılanan Ag nanoparçacıklar ise sıvı çözelti halinde Merck firmasından tedarik edilmiştir.

Bu çalışmada, öncelikle ITO kaplı camlar, deterjanlı suyla yıkandı. Sonra ultrasonik titreştirici yardımıyla, metanol, izopropil alkol ve saf su içerisinde titreştirilerek temizlendi ve azot gazı ile kurutuldu. Daha sonra, temizlenen ITO kaplı camların belli kısımları hidroklorik asit (HCl) yardımı ile kaldırıldı. Bunun için öncelikle cam üzerinde kalması gereken ITO tabakasının üzeri jel ile kapatılarak HCl'de bekletildi. Daha sonra çıkarılıp saf su ile yıkandıktan sonra kurutuldu. Temizlenmiş ve Şekil 1'de görüldüğü gibi belli kısımları kaldırılmış ITO'ların üzerine PEDOT-PSS döndürerek kaplama (spin coating) yöntemiyle 2000 rpm döndürme hızı ile kaplandı. Daha sonra PEDOT:PSS kaplı ITO'lar 110 °C, 130 °C ve 150 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta tavlandı. Aktif katmanı elde etmek için, n-tipi organik yarıiletken PCBM ile p-tipi P3HT polimeri ağırlıkça 1:1 oranında diklorobenzen içerisinde 50 °C sıcaklıkta bir gece boyunca karıştırılarak çözülüp homojen bir karışım hazırlandı. Hazırlanan karışım tavlanan PEDOT-PSS üzerine döndürerek kaplama yöntemi ile 800 rpm döndürme hızında kaplandı. Son aşamada alüminyum (Al) (100 nm) kontak termal buharlaştırma yöntemi ile aktif katmanın üzerine kaplandı. Son olarak oluşturulan ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapısı 110 °C sıcaklıkta 20 dk boyunca tavlandı. Güneş hücrelerinin aktif alanı termal buharlaştırma sırasında kullanılan gölge maske yardımıyla 0.04 cm² olarak belirlenmiştir.

ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al polimer güneş hücrelerinin yapısal şeması Şekil 1'de görülmektedir. Bu yapıda kullanılan PEDOT-PSS'ye dört farklı boyutta (5 nm, 10 nm, 20 nm and 30 nm) Ag nanoparçacıklar, her biri %1 oranında katkılandı. Ag nano parçacıklar PEDOT:PSS içine fiziksel karıştırma yöntemi ile katkılanmıştır. 100 ml PEDOT:PSS içine 1 ml Ag nano parçacık çözeltisi eklenecek şekilde katkılama oranı belirlenmiştir. Ag nano parçacık katkılanmış PEDOT:PSS katmanları yine katkısız PEDOT:PSS katmanları gibi 110 °C, 130 °C ve 150 °C sıcaklıklarda tavlandı. Yukarıda anlatılan aynı prosedürle üretilen Ag katkılı polimer güneş hücrelerinin verim üzerine etkileri incelendi.

Üretilen polimer güneş hücrelerinin akım-gerilim karakteristikleri Keitley 4200 yarıiletken karakterizasyon sistemi ile aydınlıkta Akım-Voltaj (I-V) eğrileri alınarak gerçekleştirilmiştir. Aydınlık ölçümleri Thermo Oriel güneş simülatörü (AM1.5, 1000 W/m²) ile yapılmıştır. Bütün üretim ve ölçüm aşamaları atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Bu çalışmada hazırlanan polimer güneş hücrelerinin şematik görünümü

Döndürerek Kaplama (Spin Coating) yöntemi, merkezciil kuvvet boyunca düzgün bir yüzey üzerine çözeltiyi eşit bir şekilde yayma işlemidir. Alttabanın merkezine damlatılan çözelti, yüzeyin her tarafına eşit bir şekilde yayılarak ince film oluşur. Yüzey dönmeye devam ettikçe film gitgide incelik ve istenen en ideal ince film halini alır (Lawrence ve Zhou, 1991).

Bir güneş hücresinde güç dönüşüm verimliliği (Eşitlik 1), maksimum çıkış gücünün (P_{max}) giriş gücüne (P_{in}) oranı olarak tanımlanmaktadır ve η ile gösterilir (Thompson ve Frechet, 2008).

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

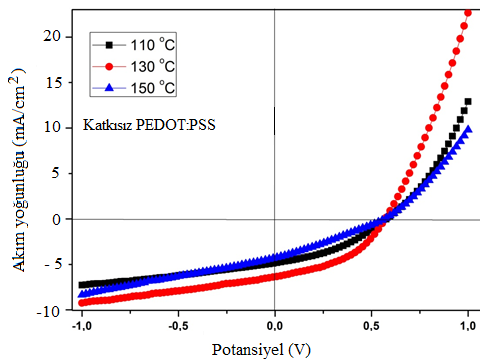
Burada; V_{oc} : Açık devre gerilimi, I_{sc} : Kısa devre akımı, FF : Dolu faktörü, P_{in} : Giriş gücüdür. Güç dönüşüm verimliliği (η), güneş hücresinin üzerine düşen ışık gücünün ne kadarının elektrik gücüne dönüştüğünü veren parametredir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

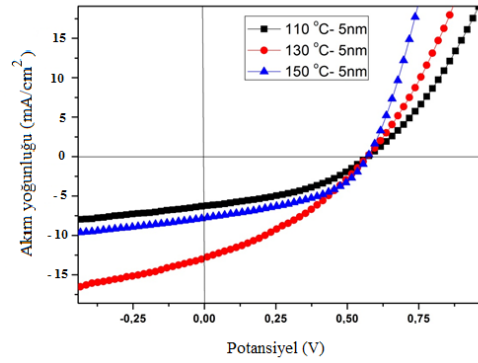
PEDOT:PSS, önce katkısız sonra dört farklı boyuttaki Ag nano parçacıklarla katkılanarak ITO üzerine kaplandı. Daha sonra her bir numune üç farklı tavlama sıcaklığında tavlandı. Tavlama katkılı ve katkısız PEDOT:PSS üzerine P3HT:PCBM karışımı kaplanarak tavlama sıcaklığının verime etkisi incelendi. Buna göre üç tavlama sıcaklığı bazında katkısız PEDOT:PSS'nin verime etkisini gösteren grafik Şekil 2'de verilmektedir. PEDOT:PSS'ye 5 nm boyutlu Ag'nin katkılanması ile her üç tavlama sıcaklığında, verime en iyi katkıyı yaptığı, Çizelge 1'de ve Şekil 3'te görülmektedir.

Çizelge 1. Katkısız ve 5 nm boyutlu Ag katkılı PEDOT:PSS'nin üç tavlama sıcaklığında güneş hücrelerinde ölçülen parametreler

Numune	FF	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	Verim (%)
110 °C	Katkısız	0.36	4.88	0.97
	+5 nm Ag	0.43	6.22	1.47
130 °C	Katkısız	0.45	6.40	1.61
	+5 nm Ag	0.37	12.74	2.59
150 °C	Katkısız	0.28	4.33	0.68
	+5 nm Ag	0.46	7.73	1.96



Şekil 2. Katkısız PEDOT:PSS'nin üç tavlama sıcaklığında verime etkisi

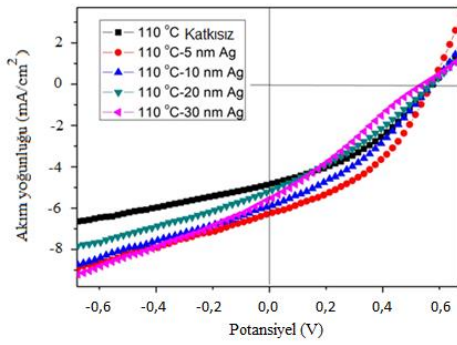


Şekil 3. 5 nm boyutundaki Ag katkılı PEDOT:PSS'nin tavlama sıcaklığına göre verime etkisi.

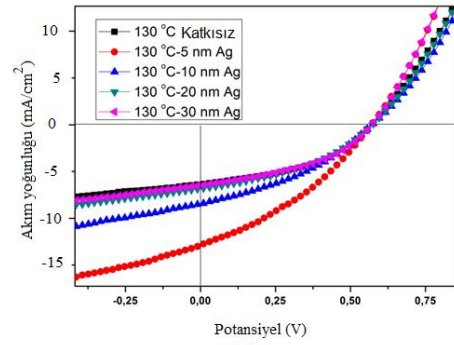
Katkılı ve katkısız PEDOT:PSS'nin, 110 °C, 130 °C ve 150 °C'deki tavlama sıcaklığında ve boyutlar bazında verime etkisini gösteren grafikler Şekil 4, 5 ve 6'da verilmektedir. Bu grafiklere ait parametreler Çizelge 2, 3 ve 4'te verilmektedir.

Çizelge 2. 110 °C tavlama sıcaklığında, Ag katkılı ve katkısız PEDOT:PSS için güneş hücrelerinde ölçülen parametreler

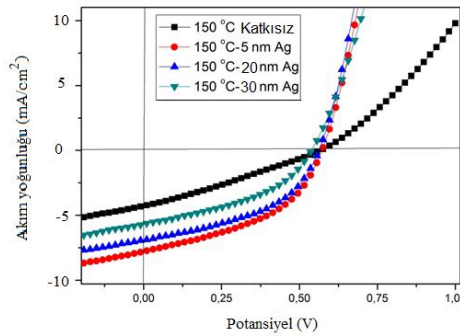
Numune	FF	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	Verim (%)
110 °C Katkısız	0.36	4.88	0.550	0.97
110 °C -5 nm	0.43	6.22	0.550	1.47
110 °C -10 nm	0.37	5.87	0.555	1.20
110 °C -20 nm	0.32	5.23	0.556	0.93
110 °C -30 nm	0.27	5.60	0.530	0.80



Şekil 4. 110° C tavlama sıcaklığında farklı boyutlardaki Ag'nin verime etkisi



Şekil 5. 130° C'deki tavlama sıcaklığında farklı boyutlardaki Ag'nin verime etkisi



Şekil 6. 150° C'deki tavlama sıcaklığında farklı boyutlardaki Ag'nin verime etkisi.

Çizelge 3. 130 °C tavlama sıcaklığında, Ag katkılı ve katkısız PEDOT:PSS için güneş hücrelerinde ölçülen parametreler

Numune	FF	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	Verim(%)
130 °C Katkısız	0.45	6.40	0.560	1.61
130 °C - 5 nm	0.37	12.74	0.550	2.59
130 °C - 10 nm	0.38	8.40	0.556	1.77
130 °C - 20 nm	0.40	6.87	0.554	1.52
130 °C - 30 nm	0.44	6.42	0.560	1.58

Çizelge 4. 150 °C tavlama sıcaklığında, Ag katkılı ve katkısız PEDOT:PSS için güneş hücrelerinde ölçülen parametreler.

Numune	FF	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	Verim(%)
150 °C Katkısız	0.28	4.33	0.560	0.68
150 °C -5nm	0.46	7.73	0.550	1.95
150 °C -20nm	0.47	6.94	0.554	1.80
150 °C -30nm	0.43	5.62	0.530	1.28

SONUÇ

Bu çalışmada boşluk taşıyıcı tabaka olarak kullanılan PEDOT:PSS'ye dört farklı boyutta Ag nanoparçacık, verimi arttırmak amacıyla katkılıdır. Ag ile katkılanan PEDOT:PSS, ITO üzerine kaplandıktan sonra üç ayrı tavlama sıcaklığında tavlandı. Katkılı ve katkısız numunelerin hem boyut hem de tavlama sıcaklığı açısından verime etkisi karşılaştırıldı. Yapılan çalışmalarda en verimli sonucun 110-150°C sıcaklık aralığında 10-20 dakika zaman zarfında uygulanan ısıl işlemlerden elde edildiği rapor edilmektedir (Padinger ve ark., 2003; Li ve ark., 2005). Bu nedenle 110 °C, 130 °C ve 150°C sıcaklık değerleri baz alınarak yapılan çalışmada, optimum sıcaklığın 130 °C'de en iyi tavlama sıcaklığı olduğu görüldü. Tavlama işlemi, PEDOT:PSS katmanının mikro yapısını düzenlediğinden, katkılanan Ag atomları iyi bir karışımdan sonra PEDOT:PSS içine nüfuz ederek düzenli bir bağ oluşturur. Daha fazla boşluğun iletimi sağlanarak akımın artmasına neden olur. Akım gerilim grafikleri incelendiğinde, açık devre geriliminin hemen hemen sabit, kısa devre akımının ise katkılanan atomun

boyutuna göre değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla akımın artmasıyla verim de artmaktadır.

Her üç tavlama sıcaklığında da 5 nm boyutundaki Ag nanoparçacık katkılı PEDOT:PSS, verime en iyi katkıyı yapmaktadır (Bkz. Çizelge 1). Bu parçacığın katkılanmasıyla 110 °C'deki tavlama sıcaklığında, verim katkısız numuneye göre %51,5 artışla 0.97'den 1.47'ye, 130 °C'deki tavlama sıcaklığında ise %60.87 artış ile 1.61'den 2.59'a artarak en yüksek verim değerleri elde edilmiştir. 150 °C'deki tavlama sıcaklığında ise katkısız numunenin verimi düşük (0.68) olmasına rağmen katkılanmayla verim 1.96'ya çıkarak oldukça yüksek oranda, yaklaşık 3 kat artmaktadır. Hemen hemen her üç tavlama sıcaklığında boyut büyüdükçe verimde azalma olduğu görülmektedir (Çizelge 2, 3, 4). Boyut büyüdükçe verimin azalması, konsantrasyonla ilgili olduğu düşünülmektedir. Her bir boyut için %1 oranında katkılama yapıldığından katkılanan parçacık sayısında farklılık olacaktır. Küçük boyutta daha fazla parçacık olurken boyut büyüdükçe parçacık sayısında azalma olacak, dolayısıyla verim de azalacaktır. Buradaki verim artışı, tavlama sıcaklığı ve katkılanan parçacık boyutuna göre kısa devre akımının (I_{sc}) artışına bağlı olarak değişmiştir. En yüksek akım değeri her 3 tavlama sıcaklığı için de PEDOT:PSS'nin 5 nm boyutlu Ag nanoparçacık ile katkılanması sonucu elde edilmiştir. PEDOT:PSS'nin yük taşıma özelliği 130 °C de 5 nm boyutlu nanoparçacıkların kullanımı ile optimum değere ulaşmış ve en yüksek akım değerine ulaşarak ($12,74 \text{ mA cm}^{-2}$) en yüksek verim değeri elde edilmiştir.

Tavlama sıcaklığı ile verimin değişmesi şu şekilde açıklanabilir. Uygulanan ısı tavlama işleminin yük kilitleyici iç yapı defolarını ve mikro çatlakları yok ettiği için malzemenin direncini de düşürdüğü düşünülmektedir. Direnç düşüncü akım artar; dolayısıyla verim de artar. Çizelge 4 incelendiğinde, 110 °C'deki tavlama sıcaklığının verime katkısı 130 °C ve 150 °C'deki tavlamalara göre daha düşük; 130 °C'deki tavlamanın ise verime etkisi diğer tavlama sıcaklıklarına nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bir başka faktör, aktif katman yüzeyinin ısı işlem nedeniyle daha pürüzsüz bir hal alması ve böylece kontak direncinin düşmesidir. Bunun yanı sıra, aktif katmanın, (450-600 nm) dalgaboyundaki ışığı %95 soğurabilmesi için, kalınlığının 240 nm olması gerektiği teorik olarak hesaplanmıştır (Coakley ve McGehee, 2004). Aktif katmanın bu kalınlıklarda defosuz ve düzgün bir moleküler yapıyla üretilmesi, bu sayede düşük bir seri dirence sahip olması ısı işlemle mümkün kılınmıştır (Li ve ark., 2005).

Yapılan çalışmalarda katı hal ısı işleminin aktif katman mikroyapısı üzerinde çok etkili olduğu ve pozitif sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Camaioni ve ark. 2002).

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "2013-FBE-D001" kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Camaioni N, Ridolfi G, Casalbore-Miceli G, Possamai G, Maggini M, 2002. The Effect of a Mild Thermal Treatment on the Performance of Poly(3-alkylthiophene)/Fullerene Solar Cells. *Advanced Materials*, 14: 1735-1738.

- Coakley KM, McGehee MD, 2004. Conjugated polymer photovoltaic cells. *Chemistry of Materials*, 16: 4533–4542.
- Halls JJM, Walsh CA, Greenham NC, Marseglia EA, Friend RH, Moratti SC, Holmes AB, 1995. Efficient Photodiodes from Interpenetrating Polymer Networks. *Nature*, 376: 498-500.
- Horley P, Jimenez L, Garcia S, Quintana JA, Vorobiev YV, Bon RR, Makhniy VP, Hernandez JG, 2013. *Thin Film Solar Cells: Modeling, Obtaining and Applications*, 1th Edition, InTech.
- Kawano K, Ito N, Nishimori T, Sakai J, 2006. Open Circuit Voltage of Stacked Bulk Heterojunction Organic Solar Cells. *Applied Physics Letters*, 88: 073514.
- Kim H., Gilmore, C. M., Piqué, A., Horwitz, J. S., Mattoussi, H., Murata, H., Kafafi, Z. H., Chrisey, D. B., 1999. Electrical, Optical, and Structural Properties of Indium–Tin–Oxide Thin Films for Organic Light-Emitting Devices. *Journal of Applied Physics*, 86 (11), 6451-6461.
- Kim SH, Park BM, Kim GP, Yuh J, Chang YC, Chang HJ, 2014. Annealing effects of Au nanoparticles embedded PEDOT:PSS in bulkheterojunction organic solar cells. *Synthetic Metals*, 192: 101-105.
- Lawrence CJ, Zhou W, 1991. Spin Coating of Non-Newtonian Fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 39(2): 137-187.
- Li G, Shrotriya V, Yao Y, Yang YJ, 2005. Investigation of annealing effects and film thickness dependence of polymer solar cells based on poly(3-hexylthiophene). *Applied Physics*, 98: 043704.
- Louwet F, Groenendaal L, Dhaen J, Manca J, Van Luppen J, Verdonck E, Leenders L, 2003. PEDOT/PSS: Synthesis, Characterization, Properties and Applications. *Synthetic Metals*, 135-136: 115-117.
- Padinger F, Rittberger RS, Sariciftci NS, 2003. Effects of Postproduction Treatment on Plastic Solar Cell. *Advanced Functional Materials*, 13: 85-88.
- Schraber MS, Sariciftci NS, 2013. Efficiency of Bulk Heterojunction Organic Solar Cells. *Progress in Polymer Science*, 38(12): 1929-1940.
- Thompson BC, Frechet JM, 2008. Polymer-Fullerene Composite Solar Cells. *Angewandte Chemie*, 47: 58-77.
- Wright M, Uddin A, 2012. Organic-Inorganic Hybrid Solar Cell: A Comparative Review. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 107: 87-111.
- Yang X, Loos J, Veenstra SC, Verhees WJH, Wienk MM, Kroon JM, Michels MAJ, Janssen RAJ, 2005. Nanoscale Morphology of High-Performance Polymer Solar Cells. *Nano Letters*, 5: 579–583.
- Yu G, Heeger AJ, 1995. Charge Separation and Photovoltaic Emission Conversion in Polymer Composites with Internal Donor/Acceptor Heterojunctions. *Journal of Applied Physics*, 78: 4510-4515.