

〈연구논문(학술)〉

반도체형 고분자를 이용한 태양전지섬유

송준형 · 김주용[†]

송실대학교 유기 신소재 · 파이버공학과

A solar Cell Fiber using Semi-conductive Polymers

Junhyung Song and Jooyong Kim[†]

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea

(Received: January 18, 2008/Revised: February 1, 2008/Accepted: February 15, 2008)

Abstract— Organic semi-conductive materials have characteristics such as the advantages of easy formability, low-cost and diversity along with moderate semi-conductive properties. In this paper, we developed a flexible organic-inorganic hybrid solar cell fiber.

First, we made a solar cell on the glass and attached the solar cell on the glass fiber similarly.

In the latter case, thermal deposition method was employed in order to effectively apply ITO onto fiber surface. The amount of ITO was controlled by varying the temperature from 25, 150 to 300°C. Optimum result was obtained at 150°C where maximize the deposition amount without significant decomposition of ITO.

Despite of maximum open circuit voltage of 0.39V, the resulting current was quite unstable and weak, limiting realistic applications. It was, however, concluded that the flexible solar cell fiber developed showed a possibility of low-weight application from functional clothing for military to space suit mainly due to flexibility and thus wear ability.

Keywords: solar cell fiber, organic-inorganic, flexible solar cell

1. 서 론

지구상에서 사용되는 대부분의 화석연료는 지구 온난화와 관련해 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 이를 해결하기 위한 대표적인 재생에너지로 태양에너지, 수력에너지, 풍력에너지, 조력에너지 등이 있는데, 그 중 태양전지는 무공해이고 자원의 무한함 등의 장점을 가지고 있으며 화석 연료로 인한 환경오염과 에너지 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 에너지원 중 하나다. 최근 연구가 활발한 유기 태양전지는 무기 태양전지에 비하여 조금 낮은 효율을 가지지만 낮은 생산 비용과 친환경성, 유연성, 투명성 등의 많은 장점으로 각광받고 있다^{1,2}. 태양전지의 응용분야로는 처음 만들어진 초기에는 주로 우주용으로 사용되었으나 이후 전기를 필요로 하는 무인 등대나 오지 주민의 응급 필수용 라디오나 백신 저장고의 전원 공급용으로 점차 사용범위가 확대되기 시작하고 있다.

실리콘계 태양전지를 대신할 수 있는 태양전지의 연구는 경제적으로 매우 중요한 기술이기 때문에 태양에너지의 상용화가 가속화됨에 따라 고효율 실용화를 위해 염료감응형, 고분자 bulk hetero-junction형, 유기적층 박막형의 태양전지, 나노결정 태양전지 등 대체에너지 관련 소자에 많은 연구가 이루어졌다³⁻⁵. 고분자와 유기용해성 fullerene 유도체를 섞어 단기 여기광 하에서 2.9%의 에너지 전환 효율을 갖는 고분자 태양전지가 보고되기도 하였는데, 이와 같이 고분자 고유의 공정 편리성, 즉 용액 공정으로 박막 도포가 가능하고 상온에서의 소자 제작이 용이하며, 대면적, 유연기판에 적용이 가능한 태양전지 및 광전소자를 개발하기 위한 연구가 국내외에서 활발하다⁶.

최근에도 소자의 작동 메카니즘의 새로운 해석, 새로운 소재개발을 위한 요구사항 등이 소개되었다⁷. 앞으로 유기-무기 플렉시블 소자의 경우 습기와

[†]Corresponding author. Tel.: +82-2-820-0621; Fax.: +82-2-817-8346; e-mail: jykim@ssu.ac.kr

산소의 침입에 대한 저항성을 가져 습기의 침투를 $10^8 \sim 10^2$ 보다 적게 하여 캡슐화와 장기 안정성의 문제를 해결한다면 앞으로 지능형 의류에의 소재로 그 파급효과는 매우 클 것으로 예상된다^{8,9)}. 본 연구에서는 유·무기 반도체 재료를 이용해 박막형 태양 전지를 제작하고, 엑시톤 블로킹 층을 삽입하여 그 효율이 최대화 되도록 하였다. 그리고 그 구조를 역으로 유리섬유에 이용하여 태양전지 섬유를 개발하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시료

본 실험에 사용된 섬유는 약 800°C 의 T_g 를 가지며, 직경 $12\mu\text{m}$ (300Tex)를 가지는 유리섬유로 (주)한국 오웬스코닝의 제품을 사용하였다. C_{60} (fullerene)과 CuPc[copper(II) phthalocyanine] 그리고 엑시톤 블로킹 층(EBL)으로 사용된 BCP (batho-cuproine)는 (주)Aldrich에서 구입하여 정제없이 그대로 사용하였다.

2.2 열증착을 통한 태양전지 소자 및 섬유의 제작

태양전지 제작에 앞서 ITO(indium tin oxide)가 코팅된 유리기판의 세척을 위해 아세톤에 침지하여 sonicator로 15분간 처리하였다. 뒤이어 끓는 IPA(isopropyl alcohol)에 10분간 다시 처리하고 난 뒤 N_2 가스로 건조시켰다. 박막의 형성을 위해 열증착 방법을 사용하였는데, 이 방법은 진공상태에서 열을 가하여, 증발된 물질을 상부로 기판에 가이드함으로써, 오염부를 줄일 수 있고 원하는 박막을 손쉽게 얻을 수 있는 특징이 있으며, 용매를 사용하지 않아 용매에

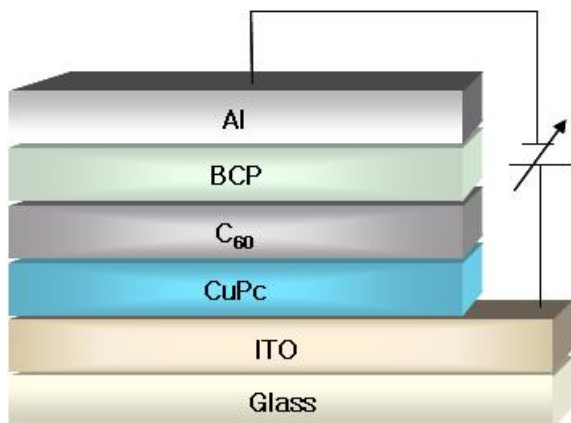


Fig. 1. A bi-layer device structure of the solar cell.

잘 녹지 않는 C_{60} 과 같은 물질을 손쉽게 증착할 수 있는 박막제조법이다. 먼저 기판을 샘플홀더에 장착시키고, 전자주게로 사용된 CuPc가 20nm, 전자받게로 사용된 C_{60} 이 40nm로 열증착하였다. 그리고 엑시톤 블로킹 층(EBL)으로 사용된 BCP가 15nm, 전극(-)으로 사용된 Al을 150nm의 두께로 연이어 증착하여(2.1×10^{-6} Torr) bi-layer구조의 태양전지 소자를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 마지막으로 공기중에서 불안정한 n-type 고분자 C_{60} 를 안정화시키기 위해 제작한 태양전지 소자를 유리로 덮어 실링하였다.

2.3 태양전지 섬유의 제작

태양전지 섬유의 제작에 있어서는 유리섬유 표면의 먼지를 제거하기 위해 Air Blower를 사용하였다. 제작방식은 태양전지 소자와 동일하게 하였고, 구조는 Fig. 3과 같이 증착순서를 Fig. 1과 반대로 하였다. 마지막으로 전극(+)으로 사용될 ITO가 스퍼터링을 통하여 170nm의 두께로 25, 150, 300의 세 가지 온도에서 증착되어 태양전지 섬유를 완성하였다. Fig. 2는 제작된 태양전지의 에너지레벨을 나타낸다. 전자주게로 사용된 CuPc는 빛에너지를 받아 전자를 여기시키고 이는 에너지준위가 낮은 C_{60} 를 거쳐 Al전극으로 이동하며, BCP층은 이 과정에서 전자의 역방향 이동으로 인한 재결합을 막아주는 엑시톤 블로킹층의 역할을 하면서 소자의 효율을 높인다.

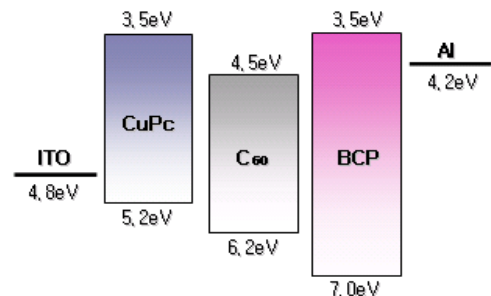


Fig. 2. Energy level diagram of the solar cell fiber developed.

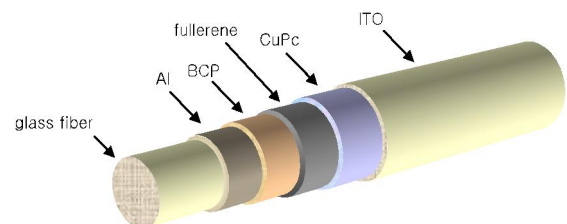
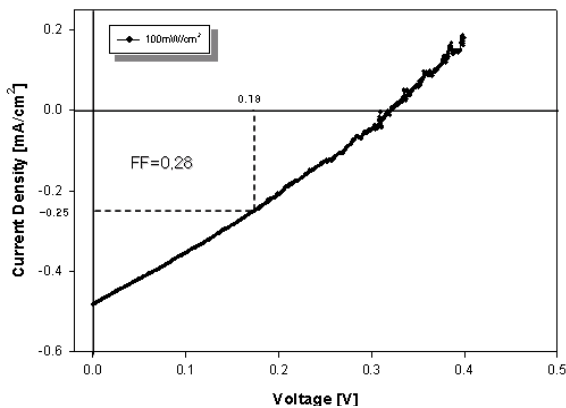


Fig. 3. Schematic illustration of the solar cell fiber.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4 는 100mW/cm²의 광원 하에서 유리기판위에 제작된 태양전지 소자의 I-V 곡선을 보여준다. 결과 단락전류는 $J_{sc} = 0.482 \text{ mA/cm}^2$, 개방전압은 $V_{oc} = 0.320 \text{ Volts}$, 필팩터(Fill Factor, FF) 는 0.285의 값을 가진다. 에너지 전환효율은 아래 공식에 따라 $\eta_e = 0.044\%$ 로 효율적인 태양전지 소자가 제작되었으며, 실제 효율은 전압 0.19V일 때, 그 최대값을 갖는다. 여기서 개방전압은 광전류가 흐르지 않을 때의 전압을 의미하며, 전압을 걸지 않았을 때 태양전지에서 외부로 흐르는 전류를 단락전류, 그리고 빛을 쬐었을 때 얻어지는 I-V특성 곡선에서 그려지는 사각형의 최대 면적으로부터 FF를 정의 할 수 있다. 따라서, 태양전지의 효율을 증대시키려면, J_{sc} , V_{oc} 그리고 FF가 큰 소자를 제작해야 한다.



$$\eta_e(\%) = FF \frac{J_{sc} \times V_{oc}}{P_{light}}$$

Fig. 4. I-V characteristics of ITO/CuPc/C60/BCP/Al devices under 1.5G illumination of 100mW/cm².

150°C에서 ITO가 증착된 태양전지 섬유의 굵기를 SEM 이미지로 Fig. 5 에 나타내었다. 삽입된 그림은 태양전지 섬유 최외곽에 증착이 된 ITO의 파단면을 보여주는데, ITO가 소자의 전극으로써 유리섬유 표면에 평활하게 증착되었음을 알 수 있다. ITO는 온도에 따라 각각 25°C, 150°C, 그리고 300°C에서 증착되었으며, 증착시 섬유 표면의 온도는 각각 25°C, 33°C, 133°C로 측정되었다. 증착 온도 150°C에서 소자는 가장 좋은 저항치 결과 282Ω/cm(1,000end)를 보여주었다. 0mW/cm²에서 태양전지 섬유는 0.17V의 V_{oc} 를 나타냈고 20mW/cm² 하에서는 최대 0.39V까지의 V_{oc} 를 보

였지만 전류의 측정은 다소 불안정하였다. 300°C에서 ITO를 증착한 태양전지 섬유는 그 효율의 측정이 불가능하였는데, 이는 태양전지 섬유에 증착된 여러 층 중에서 비교적 열에 약한 BCP가 손상을 입어 전자의 이동이 억제된 것으로 추정된다. 섬유에 증착된 태양전지의 I-V 곡선은 매우 낮고 불안정한 전류 측정치로 인해 측정이 거의 불가능하였으며, 이는 실과 실 간의 간격 때문에 전자의 이동이 불연속적으로 이루어졌기 때문이라 사료된다.

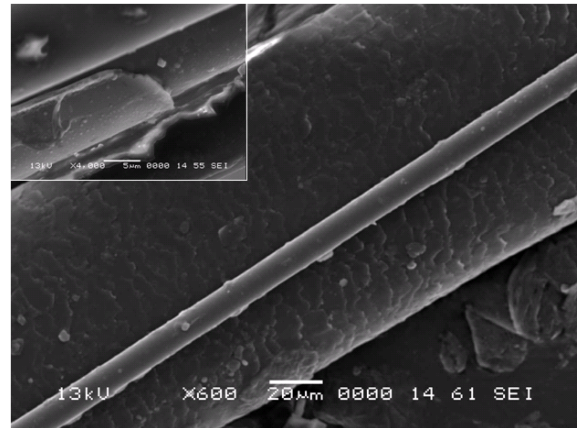


Fig. 5. Comparison of the solar cell fiber made with an actual hair. Inset: ITO deposited glass fiber.

4. 결론

태양전지의 광여기 전하이동(photo-induced charge transfer)의 원리를 이용하여 유·무기 하이브리드 태양전지를 제작하였다. 그 결과 0.044%의 에너지 전환효율을 얻었다. 이와 유사하게 유리섬유에 태양전지 구조를 역으로 적용하여 ITO를 (+)전극으로서 최종적으로 스퍼터링을 함으로써 태양전지 섬유를 개발하였다. 스퍼터링 온도에 따라 그 전극의 성능은 달라졌는데, 스퍼터링 온도가 150°C일 때, 전극은 가장 작은 저항을 가지며 소자의 효율은 가장 높은 것으로 측정되었다. 유리섬유의 섬도가 작아 전류의 측정은 다소 불안정하여 그 효율의 측정은 어려웠으나, 12μm의 직경의 태양전지 섬유에서 최대 0.39V의 개방전압을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어 졌음

참고문헌

1. K. Inoue, R. Ulbricht, P. C. Madakasira, W. M. Sampson, S. Lee, J. Gutierrez, J. Ferraris, A. A. Zakhidov, Temperature and Time Dependence of Heat Treatment of RR-P3HT/PCBM Solar Cell, *Synth. Met.*, **154**, 41-44(2005).
2. J. Y. Kim, S. H. Kim, H. H. Lee, K. Lee, W. Ma, X. Gong, and A. J. Heeger, New Architecture for High-Efficiency Polymer Photovoltaic Cells Using Solution-based Titanium Oxide as an Optical Spacer, *Adv. Mater.*, **18**, 572-576(2006).
3. C. K. Chiang, C. R. Fincher, Jr., Y. W. Park, A. J. Heeger, H. Shirakawa, E. J. Louis, S. C. Gau and A. G. MacDiarmid, Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene, *Phys. Rev. Lett.*, **39**, 1098-1101(1977).
4. S. E. Shaheen, C. J. Brabec, and N. S. Sariciftci, 2.5% efficient organic plastic solar cells, *Appl. Phys. Lett.*, **78**(6), 841-843(2001).
5. P. Vanlaeke, A. Swinnen, I. Haeldermans, G. Vanhoyland, T. Aernouts, D. Cheyys, C. Deibel, J. D'Haen, P. Heremans, J. Poortmans, J. V. Manca, P3HT/PCBM bulk heterojunction solar cells: Relation between morphology and electro-optical characteristics, *Solar Energy Materials & Solar cells*, **90**, 2150(2006).
6. G. Yu. J. Gao, J. C. Hummelen, and F. Wudl, A. J. Heeger, Charge separation and photovoltaic conversion in polymer composites with internal donor/acceptor heterojunctions, *J. Appl. Phys.*, **78**, 4510(1995).
7. S. E. Shaheen. D. S. Ginley, and G. E. Jabbour, Bulk Heterojunction Organic Photovoltaic Devices Using Dendrimers, *MRS Bulletin*, **30**, 10(2005).
8. P. Peumans and S. R. Forrest, Very-high-efficiency double-hetero structure copper phthalocyanine/C60 photovoltaic cells, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 126-128(2001).
9. S. W. Hur, H. S. Oh, Y. C. Oh, D. H. Chung, J. U. Lee, J. W. Park, and T. W. Kim, Organic Photovoltaic Effects Using CuPc and C60 Depending on Layer Thickness, *Synth. Met.*, **154**, 49-52(2005).