

엑시톤 억제층 두께에 따른 유기 광기전력 소자의 특성

Properties in Organic Photovoltaic Cell Depending on the Exciton Blocking Layer Thickness

오현석^{1,a}, 이준웅¹
(Hyun-Seok Oh^{1,a} and Joon-Ung Lee¹)

Abstract

Photovoltaic effects in organic solar cell were studied in a cell configuration of ITO/PEDOT:PSS/CuPc(20 nm)/C₆₀(40 nm)/BCP/Al(150 nm) at room temperature. Here, the BCP layer works as an exciton blocking layer. The exciton blocking layer must transport electrons from the acceptor layer to the metal cathode with minimal increase in the total cell series resistance and should absorb damage during cathode deposition. Therefore, a proper thickness of the exciton blocking layer is required for an optimized photovoltaic cell. Several thicknesses of BCP were made between C₆₀ and Al. And we obtained characteristic parameters such as short-circuit current, open-circuit voltage, and power conversion efficiency of the device under the illumination of AM 1.5.

Key Words : Photovoltaic effects, Organics, Exciton blocking layer, BCP, Power conversion efficiency

1. 서론

1839년 금속전극과 전해질로 구성된 셀이 빛에 노출되었을 때 전류가 발생된다는 광기전효과(photovoltaic effect)가 Edmond Becquerel에 의해 발견된 이후, 최근에는 GaAs 등의 III-V족 화합물 반도체를 사용하여 30 %정도의 전력변환효율을 가지는 무기 태양전지가 개발되었다[1,2]. 그러나 무기태양전지는 많은 제작단계와 고온에서의 제조 과정이 필요하며, 또한 비싼 원료 가격으로 인해 발전단가가 한계치에 도달하고 있다. 반면에 유기 태양전지는 상온에서 제작이 가능하고 제조 공정이 간편하며 소재의 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 또한 박막형성이 쉽고 대면적화가 용이하며, 고분자소재의 경우는 휘어지는 소자의

개발도 가능하다[1,2]. 우수한 특성을 가진 유기 태양 전지의 가장 큰 단점은 전력 변환 효율이 유기 반도체 접합 태양 전지의 경우 아직 3~4 %에 불과하다는 것이다[2,3]. 따라서, 전력 변환 효율을 높이기 위한 많은 연구들이 진행되고 있으며, 본 연구에서는 ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C₆₀/Al의 구조를 가진 유기 광기전 소자에 BCP를 엑시톤 억제층으로 삽입하여 그 전기적 특성 및 광기전 특성을 연구하였다. 엑시톤 억제층은 전자받개 층으로부터 음전극으로 전자를 수송하고, 엑시톤의 재결합을 방지하면서, 음전극의 증착과정 중에 일어나는 유기물 층의 손상을 방지하는 역할도 한다. 유기 광기전 소자 직렬저항의 증가를 최소화 하면서도 엑시톤 억제층의 역할을 수행하여야 하므로, 최적의 광기전력 효과를 가진 소자를 만들기 위해서는 적절한 두께의 엑시톤 억제층을 두어야한다 [3,4]. C₆₀ 층과 Al 층 사이에서 BCP 두께를 변화시키면서, AM 1.5D인 조건아래 단락전류, 개방전압, 그리고 전력변환효율 등의 특성 파라미터를 구하였다.

1. 광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1)
a. Corresponding Author : hsound@hanmail.net
접수일자 : 2005. 9. 30
1차 심사 : 2005. 10. 10
심사완료 : 2005. 10. 19

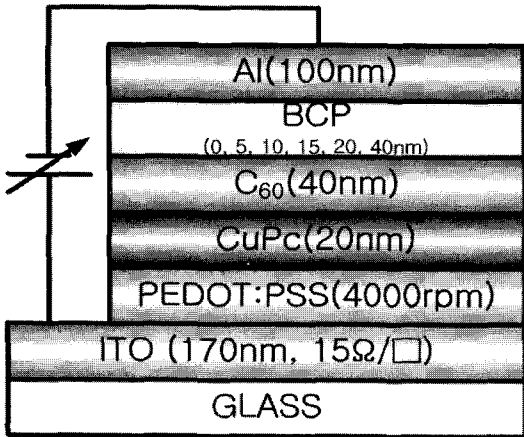


그림 1. 실험에 사용된 유기태양전지소자의 구조.
Fig. 1. Device structure of PV cell.

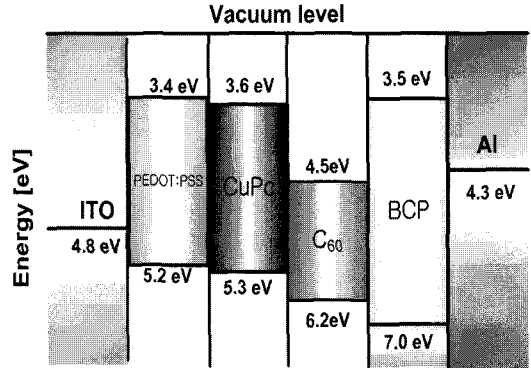


그림 2. ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C₆₀/BCP/Al 소자의 에너지 준위.
Fig. 2. Energy level diagram of ITO/PEDOT:PSS/ CuPc/C₆₀/BCP/Al.

2. 실험

2.1 소자제작

광기전력 소자의 유전특성을 연구하기 위하여 ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C₆₀/BCP/Al의 구조로 소자를 제작하였다. 양극으로 사용된 ITO 기판은 표면 저항이 15 Ω/□로 염산과 질산을 이용하여 너비 5 mm로 patterning하였다. PEDOT:PSS는 4000 rpm에서 1분간 스핀 코팅하였다. 증착기내의 증착시 진공도가 8×10^{-6} torr 상태에서 CuPc는 20 nm, C₆₀은 40 nm, 그리고 BCP는 두께를 가변하여 제작하였다. 음전극으로 사용된 Al은 너비 3 mm, 두께 100 nm으로 BCP위에 열 증착하여 흡광 면적은 15 mm²이다.

그림 1은 엑시톤 억제층으로 사용한 BCP층의 두께가 이에 미치는 영향과 최적화된 두께를 알아보기 위한 소자의 구조이며, CuPc(20 nm)/C₆₀(40 nm)의 이중접합 구조에 BCP층을 0, 5, 10, 15, 20 그리고 40 nm로 가변하여 제작하였다. 그림 2는 ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C₆₀/BCP/Al 소자의 에너지 준위를 나타낸 그림이다[4].

2.2 측정

유기 광기전력 소자의 전기적 특성 및 광기전 특성 측정은 아래 그림 2의 도식도와 같이 이루어진다. 그림에서와 같이 광원으로는 500 W xenon 램프로 광원을 소자에 조사하고, 그 광원의 세기를 photometer로 측정한다. 그리고 광원의 세기는 소

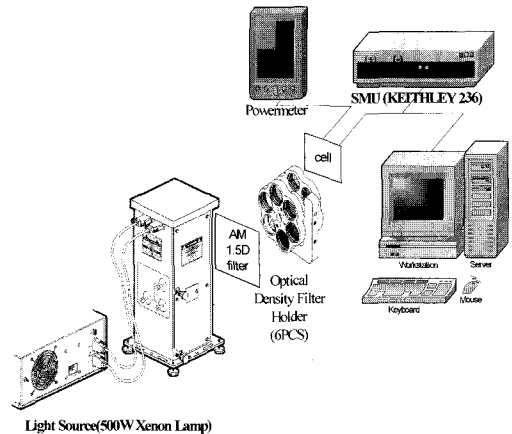


그림 3. 유기 광기전력 소자의 측정 도식도.
Fig. 3. Schematic of experimental apparatus for PV cell.

자와 xenon 램프 사이에 AM 1.5D 필터와 optical density filter 6종을 holder에 삽입, filter를 이용하여 투과율을 가변시켜 광원의 세기를 조절한다.

Optical density filter는 투과율이 각각 10, 20, 50, 63, 80 그리고 100 %인 Earling사의 제품(N/D QTZ, 25.4D, D0.1/D0.2/D0.3/D0.7/D1.0)을 사용하였다. 소자와 optical density filter holder는 검은 테스트용 박스 안에 설치하여 외부로부터의 광원에 영향을 받지 않도록 실험 조건을 조성하였다. 자체 제작한 SMU 프로그램을 이용하여 소자의 전기적 및 광기전 특성을 측정하였다[5].

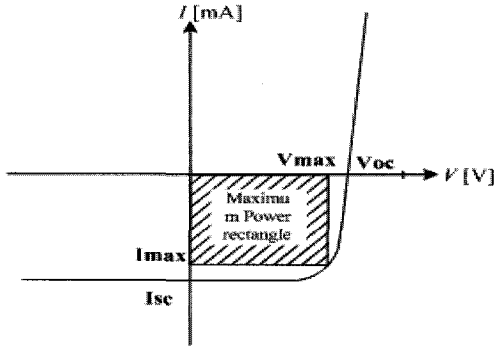


그림 4. 태양전지의 전압-전류 특성곡선.
 Fig. 4. Current-Voltage characteristics of a solar cell.

3. 결과 및 고찰

3.1 I-V 특성

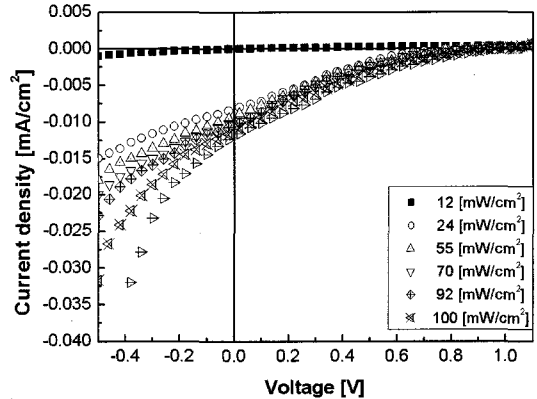
태양전지의 특성을 정량적으로 평가하는 변수들은 다음의 이상적인 전압-전류 특성곡선에서 구할 수 있다. 이를 이용하여 측정된 특성곡선으로부터 V_{max} , I_{max} , I_{sc} 그리고 V_{oc} 를 구하여 FF 나 전력 변환 효율(η) 등을 구한다.

V_{max} 와 I_{max} 는 최대 전력점에서의 전압과 전류를 나타낸다. Fill factor는 최대 전력값을 V_{oc} 와 I_{sc} 의 곱으로 나눈 값으로 곡선이 사각형에 가까울수록 값이 높게 된다. 또한 전력 변환 효율 η 은 태양전지에 의해 생성된 전력과 입사된 빛의 전력 비율로서 아래의 식으로 구할 수 있다.

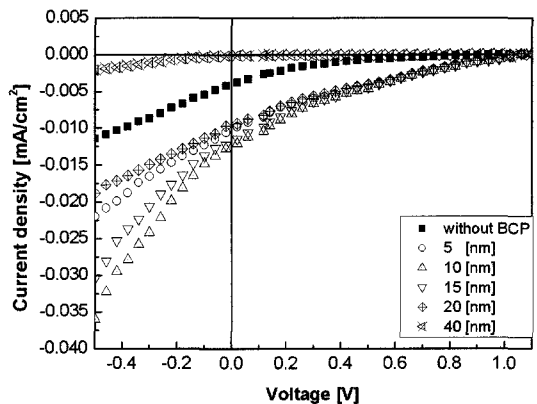
$$\eta = \frac{\text{electrical power}}{\text{light power}} = \frac{P_{max}}{P_{input}} \times 100\% \\ = \frac{I_m V_m}{P_{input}} \times 100\% = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{P_{input}} \times 100\% \quad (1)$$

따라서 태양전지의 전력 변환 효율을 증가시키려면, 위 식 (1)에서 알 수 있듯이 FF , I_{sc} , V_{oc} 가 큰 소자를 제작하여야 한다[4].

그림 5는 BCP의 두께를 변화해 가면서 전기적 특성을 측정된 것이다. 그림 5(a)에서 빛의 세기가 100 mW/cm^2 일 때 단락 전류 밀도(J_{sc})가 가장 크고, 그림 5(b)에서 BCP 두께가 10 nm 일 때 단락 전류 밀도가 가장 크고, 40 nm 일 때 가장 작다는 것을 알 수 있다.



(a) Current density-voltage characteristics depending on BCP layer thickness of 10 nm



(b) Current density-voltage characteristics on illumination intensity of 100 mW/cm^2

그림 5. ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C60/BCP/Al 소자에서의 전압-전류 특성.

Fig. 5. Current density-voltage characteristics of ITO/PEDOT:PSS/CuPc/C60/BCP/Al device.

3.2 두께에 따른 단락전류밀도와 전력변환효율

단락 전류 밀도(J_{sc})는 유기 광전력 소자에서 전력 변환 효율에 가장 직접적인 영향을 미치는 변수이다. 그림 6은 BCP 두께에 따른 단락 전류 밀도와 전력 변환 효율 특성을 나타낸 것이다.

광원의 세기가 100 mW/cm^2 인 경우, BCP가 두께가 20 nm 일 때까지 BCP가 없는 소자보다 단락 전류 밀도와 전력 변환 효율이 향상되었다. 또한 BCP의 두께가 10 nm 에서 단락 전류 밀도와 전력 변환 효율이 최대이며 20 nm 의 두께를 초과하면서

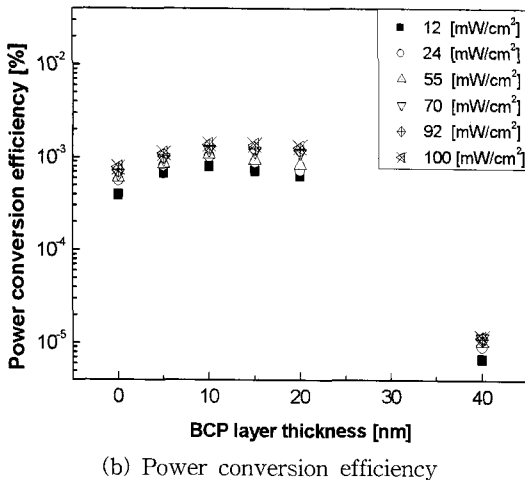
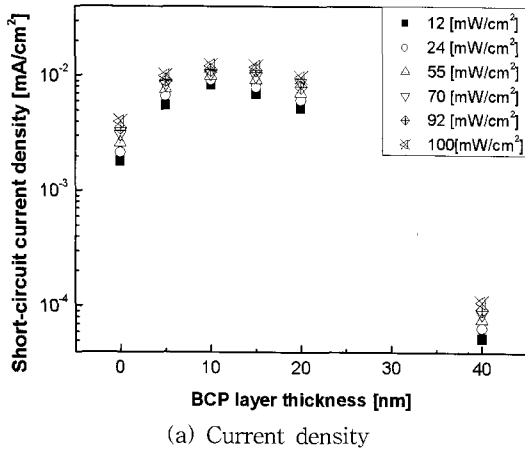


그림 6. BCP 두께에 따른 (a) 단락 전류 밀도 및 (b) 전력 변환 효율.

Fig. 6. (a) current density and (b) power conversion efficiency depending on BCP layer thickness, respectively.

단락 전류밀도와 전력 변환 효율이 지수 함수적으로 감소되는 것을 알 수 있었다. 이는 금속을 증착 하면서 발생하는 BCP층의 열화로 인하여 BCP의 HOMO와 LUMO(3.5 eV) 사이에 형성되는 결함 준위(defect states)가 C₆₀ 층에서 음전극으로의 전자 수송을 증가시키지 못하기 때문이라 사료된다.

4. 결론

실험을 통하여 엑시톤 억제층으로 사용한 BCP

의 두께가 20 nm를 초과하게 되면 C₆₀와 BCP 사이에 이러한 결함 준위가 형성되지 않는 영역이 발생되어 C₆₀층에서 음전극으로의 전자 이동이 감소하게 된다. 이에 따라 BCP의 두께가 두꺼워질수록 광기전력 소자의 특성 또한 지수 함수적으로 감소되는 것을 알 수 있었다. 또한 엑시톤 억제층을 적용한 소자와 적용하지 않은 소자간에 광기전 특성위 차이가 발생되는데, 이는 엑시톤 억제층을 적용하지 않은 소자의 경우, 금속 증착시 발생하는 뜨거운 Al 원자로 인해 C₆₀층이 손상을 입어 C₆₀층에서 Al 층으로의 전자의 이동이 감소되어 나타나는 현상으로 판단된다. 따라서 엑시톤 억제층의 효과에 대해 정리해 보면 다음과 같다.

1. 엑시톤의 재결합을 방지한다.
2. BCP를 사용함으로써 뜨거운 금속 원자에 의한 결함 준위가 BCP의 LUMO 아래에 형성되어 결함 준위로 C₆₀에서 음전극으로의 전자의 이동을 향상.
3. 금속 증착 동안 발생하는 뜨거운 금속 원자부터 유기층을 보호한다.

참고 문헌

- [1] H. Spanggaard and F. C. Krebs, "A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics", Elsevier, Solar Energy Materials & Solar Cells 83, p. 125, 2004.
- [2] 이정훈, 김태완, 설 창, "유기태양전지의 연구개발동향", 전기전자재료학회지, 17권, 7호, p. 12, 2004.
- [3] P. Peumans, A. Yakimov, and S. R. Forrest, "Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells", J. Appl. Phys., Vol. 93, No. 7, p. 3693, 2003.
- [4] P. Peumans and S. R. Forrest, "Very-high-efficiency double-heterostructure copper phthalocyanine/C₆₀ photovoltaic cells", J. Appl. Phys., Vol. 79, No. 1, p. 126, 2001.
- [5] 허성우, 오현석, 이준용, 이성일, 한원근, 김태완, "CuPc와 C₆₀을 이용한 유기 광기전력 소자에서 유기층의 두께에 따른 특성 연구", 한국전기전자재료학회 2004춘계학술대회논문집, p. 254, 2004.