

CuPc/C₆₀ 구조 유기 반도체에서의 음전극의 종류에 따른 광기전 효과 연구

오현석*, 장경욱**, 이성일***, 이준웅*, 김태완****
광운대학교*, 경원전문대학**, 충주대학교***, 홍익대학교****

Photovoltaic Effects in Organic Semiconductor CuPc/C₆₀ depending on Cathodes

Hyun Seok Oh*, Kyung-Wook Jang**, Sung-Il Lee***, Joon-Ung Lee*, Tae Wan Kim****
Kwangwoon Univ.*, Kyungwon College**, Chungju National Univ.***, Hongik Univ.****

Abstract

Organic semiconductors have attracted considerable attention due to their interesting physical properties followed by various technological applications in the area of electronics and opto-electronics. It has been a long time since organic solar cells were expected as a low-cost high-energy conversion device. Although practical use of them has not been achieved, technological progress continues. Morphology of the materials, organic/inorganic interface, metal cathodes, molecular packing and structural properties of the donor and acceptor layers are essential for photovoltaic response. We have fabricated solar-cell devices based on copper-phthalocyanine(CuPc) as a donor(D) and fullerene(C₆₀) as an electron acceptor(A) with doped charge transport layers, and BCP as an exciton blocking layer(EBL). We have measured photovoltaic characteristics of the solar-cell devices using the xenon lamp as a light source.

Key Words : Photovoltaic Effect, Organic Semiconductor, Fill Factor, Power Conversion Efficiency

1. 서 론

Becquerel에 의해 발견된 광기전 효과는 태양의 복사에너지를 전기적 에너지로 변환할 수 있는 방법이다[1]. 최근 몇 년 동안, 박막 유기 광전 소자의 전력변환 효율은 꾸준하면서도 빠르게 증가해 왔는데[2], 이러한 효율의 개선은 donor/acceptor 이중결합, exciton-blocking layer(EBL), 그리고 고분순물첨가 결정물질의 적층 구조 같은 개념을 도입함으로써 이루어질 수 있었다. 최근에, 단결정 실리콘 솔라 셀의 solar power conversion efficiency가 24% 정도에 이르고 있다[3]. 그렇지만, 이러한 무기소자는 제작하는 과정에서 고온상태와 많은 인쇄단계가 필요하여 제작이 어려운 단점이 있다[4,5]. 그러나 유기 광기전 소자로 이용되는 대부분의 작은 분자들은 상대적으로 낮은 온도에서 증착을 이용하여 필요한 박막 두께를 형성

하면 된다. 이러한 광기전 소자들은 지난 십년간 집중적으로 연구되어져 왔는데, C.W.Tang이 1986년에 donor acceptor 쌍을 가진 ITO/CuPc/PV/Al의 구조로 1%의 전력변환효율과 30%의 외부양자효율을[2], Schon 등이 ZnO/Pentacene+Br/ITO(or PT) 구조로 4.5%의 전력변환효율을[6], S.R.Forrest 등이 ITO/PEDOT/CuPc/C₆₀/BCP/Al 구조에서 3.6%의 전력변환효율을 얻었다[7].

현재 유기 PV cell에 대한 연구들은 값싸고 제조에 용이한 유기 PV cell의 변환효율을 높여 상용화 하는데 목적이 있다[10]. 적층된 유기물의 종류와 두께 등이 광기전 효과에 큰 영향을 미친다는 것은 여러 연구들을 통해 알려져 있으며 [6,7,11], 전극에 대한 영향은 C.W.Tang 등이 유기 발광소자에서 음전극으로 MgAg과 LiF/Al 등을 사용하여 효율을 향상 시킨 바가 있다[8,9].

본 논문에서는, 음극 전극을 일함수가 낮은 전극

으로 바꾸었을 때 광기전 효과에 미치는 영향을 검토하기 위해서 음극으로서 Al과 일함수가 낮은 LiAl을 사용하였다. 사용된 PV cell의 구조는 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/Al과 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/LiAl을 사용하였다.

2. 실험

광기전 효과와 음전극 간의 상관관계를 보이기 위하여 복층 구조를 가진 유기 PV(photovoltaic) cell인 음전극(cathode)으로 Al을 사용한 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/Al과 음전극으로 LiAl을 사용한 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/LiAl을 제작하였다. 양전극(anode)으로 사용한 인듐-주석-산화물(indium-tin-oxide, ITO) 기판은 삼성코닝사의 제품을 사용하였다. ITO의 표면저항은 15Ω/□이고 두께는 170 nm이다. ITO는 염산과 질산을 3:1의 부피비로 혼합한 액체의 증기를 이용하여 5 mm의 넓이로 식각하였다. 유기물 층은 5×10⁻⁶ torr의 베이스 진공 속에서 각각의 두께를 CuPc 20 nm, C₆₀ 40 nm, BCP 12 nm로 열 증착 하였고, 음전극(cathode)은 Al과 LiAl 둘 다 3 mm의 넓이로 100 nm의 두께를 가지도록 5×10⁻⁶ torr의 베이스 진공 속에서 열 증착하였다.

유기 PV cell의 전류밀도-전압 특성은 Keithley 236 source-measure unit과 Keithley 617 electrometer를 사용하여 측정하였다. 광원으로 ORIEL사의 Xenon 램프를 사용하였고, ORIEL사의 68820 universal power supply를 전원으로 사용하였다. 빛의 세기의 측정은 International Light Inc.의 radiometer/photometer를 사용하였다. 모든 측정은 상온에서 수행 되었다.

그림 1은 본 실험에서 사용된 물질들의 에너지준위와 광전소자의 개략도를 보여주고 있다. 소자의 활성면적은 3mm × 5mm의 면적을 가지도록 제작 되었다.

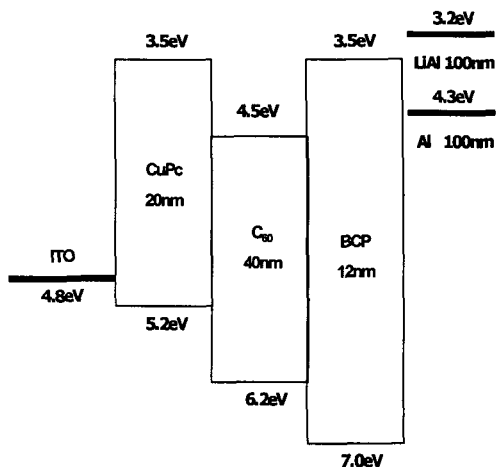
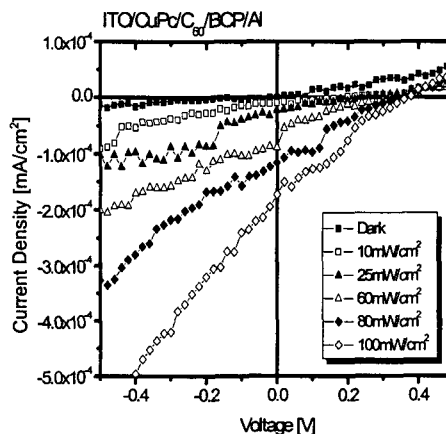


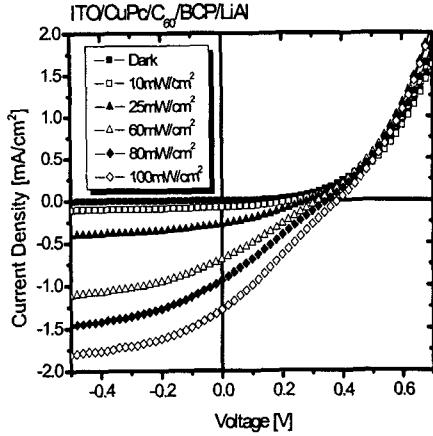
그림 1. PV 셀의 에너지 준위 개략도.
Fig. 1. Schematic the energy level of the PV cell.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 실험에 사용된 ITO/CuPc(20nm)/C₆₀(40nm)/BCP(12nm)/Al(100nm)과 ITO/CuPc(20nm)/C₆₀(40nm)/BCP(12nm)/LiAl(100nm) 두 가지 소자의 활성면적에 조사되는 빛의 세기를 변화시켜 가면서 전류밀도-전압 특성을 측정한 그래프이다. ITO/CuPc/C₆₀/BCP/Al 소자 보다 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/LiAl 소자에서 전류밀도가 더 크며, 전압-전류밀도의 변화율도 더 크다는 것을 알 수 있다.



(a) ITO/CuPc/C₆₀/BCP/Al



(b) ITO/CuPc/C₆₀/BCP/LiAl

그림 2. 소자들의 전류밀도-전압특성.

Fig. 2. Current density-voltage characteristics of the devices.

전류밀도-전압 특성 곡선의 x 절편과 y 절편으로부터 두 가지의 중요한 요소를 얻을 수 있는데, 하나는 open-circuit voltage V_{oc} (x 절편)이고 다른 하나는 short-circuit current density J_{sc} (y 절편)이다.

그림 3은 두 PV cell들의 빛의 세기에 따른 open-circuit voltage를 보여주고 있다. 그림에서는 빛의 세기가 증가할수록 V_{oc} 가 증가하는 것을 알 수 있으며 증가율은 Al을 음전극으로 사용한 것보다 LiAl을 사용한 것이 더 높음을 보여주고 있다. 그림 4는 두 PV cell의 단락전류밀도를 보이고 있다. J_{sc} 는 음전극으로서 LiAl을 사용한 것이 Al을 사용한 것보다 매우 높으며, 거의 같은 증가율을 보이고 있다.

Fill Factor(FF) 와 Power Conversion Efficiency (PE)는 그림 3과 그림 4에서 아래의 FF 식과 PE (η) 식을 이용하여 구한다.

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times J_{sc}} = \frac{V_m \times J_m}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{I_0} \quad (2)$$

여기서, I_0 는 입사 solar power이다.

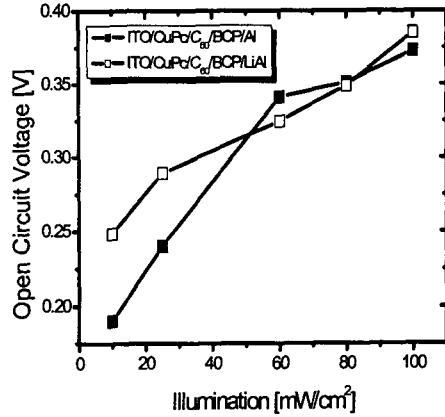


그림 3. 두 PV 셀의 개방전압-빛의 세기 특성.

Fig. 3. Open circuit voltage-illumination intensity characteristics of the two PV cells.

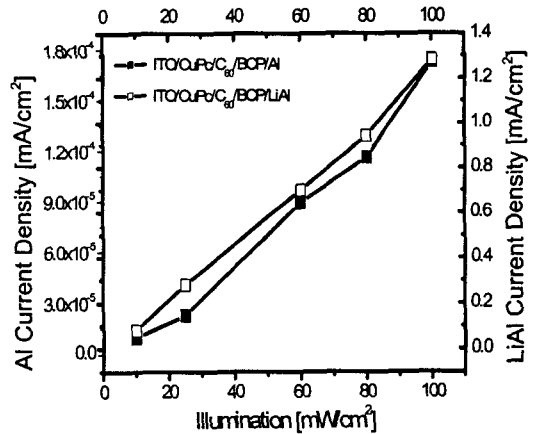


그림 4. PV 셀의 단락전류밀도-빛의 세기 특성.

Fig. 4. Short-circuit current density-illumination intensity characteristics of the two PV cells.

그림 5는 식 (1)을 이용하여 구한 두 PV cell들의 fill factor(FF)를 보여주고 있다. 음전극으로서 LiAl을 사용한 소자가 Al을 사용한 소자보다 큰 fill factor값을 가지고 있으며, 빛의 세기가 100 mW/cm² 부근에서는 약간 작다는 것을 알 수 있다.

을 얻기 위해서는 음전극의 선택도 중요하다.

4. 결론

우리는 지금까지 유기 PV cell에서 음전극의 종류에 따른 photovoltaic effect를 살펴보았다. 빛의 세기가 증가함에 따라서, short-circuit current density(J_{sc})와 open-circuit voltage(V_{oc})가 약간 증가함을 보았고, 음전극으로서 Al을 사용한 것 보다 LiAl을 사용하는 것이 J_{sc} 와 power conversion efficiency(PE)를 약 일만 배 정도 향상시킨다는 것을 알 수 있다. 따라서 PV cell에 사용되는 buffer layer의 구조뿐만 아니라 음전극에 사용되는 물질의 종류나 두께 등에 따라서도 광기전 효과에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으므로 다양한 음전극의 영향에 대한 더 많은 연구가 필요하다 하겠다

참고 문헌

- [1] A. E. Becquerel, Comt. Rend. Acad. Sci., Vol. 9, p. 561, 1839.
- [2] C. W. Tang, Appl. Phys. Lett., Vol. 48, No. 2, p. 183, 1986.
- [3] P. Peumans and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p. 126, 2001.
- [4] S. W. Park, J. Kim, Soo Hong Lee, J. Korean Phys. Soc., Vol. 43, p. 423, 2003.
- [5] Soo-Hong Lee, Transactions on Electrical and Electronic Materials, Vol. 4, No. 3, p. 29, 2003.
- [6] Schon et al., Appl. Phys. Vol. 77, No. 16, p. 2473, 2000.
- [7] S.R. Forrest et al., Appl. Phys. Vol. 79, No. 1, p. 126, 2001.
- [8] C.W.Tang, S.A.Vanslyke, Appl. Phys. Lett Vol. 51, p.913, 1987.
- [9] L.S.Hung, C.W.Tang, M.G.Mason, Appl. Phys. Lett., Vol. 70, p. 152, 1997.
- [10] 황지호, KISTEP, NEWSLETTER, Vol. 31, "태양전지기술개발동향", 2004.
- [11] Y.Hirose, A.Kahn, V.Bulovic, S.R.Forrest et., The American Physical Society, Physical Review B, Vol. 54, No. 19, p. 13748, 1996

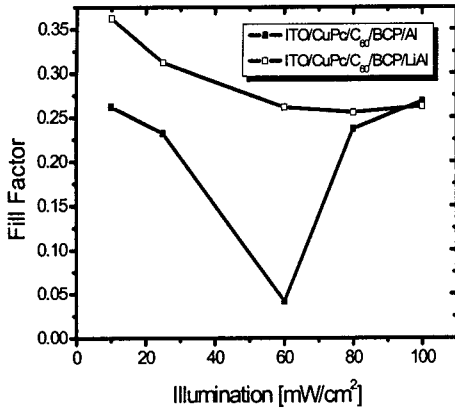


그림 5. PV 셀의 빛의 세기에 따른 Fill Factor.
Fig. 5. Fill factor of the two PV cells as a function of illumination intensity.

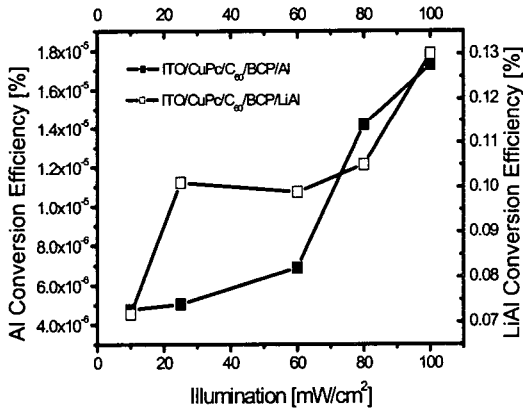


그림 6. PV 셀의 빛의 세기에 따른 전력변환효율.
Fig. 6. Power conversion efficiency of the two PV cells as a function of illumination intensity.

그림 6은 식 (2)를 이용하여 PV cell들의 power conversion efficiency (PE)를 보이고 있다. 전력변환효율(PE)는 빛의 세기의 증가에 따라 같이 증가하고 있다. 음전극으로서 LiAl을 사용한 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/LiAl PV cell이 Al을 사용한 ITO/CuPc/C₆₀/BCP/Al PV cell 보다 효율이 일만 배 정도 더 높다는 것을 알 수 있다. 그러므로 높은 PE 값