

## Zinc phthalocyanine(ZnPc)/C<sub>60</sub> 소자를 이용한 유기 광소자의 광기전 특성

이호식<sup>1</sup>, 허성우<sup>2</sup>, 오현석<sup>3</sup>, 장경욱<sup>4</sup>, 이준웅<sup>3</sup>, 김태원<sup>2</sup>

동아대학교<sup>1</sup>, 홍익대학교<sup>2</sup>, 광운대학교<sup>3</sup>, 경원전문대<sup>4</sup>

### Photovoltaic Properties of Organic Solar Cell using Zinc phthalocyanine(ZnPc)/C<sub>60</sub> devices

Ho Sik Lee<sup>1</sup>, Sung Woo Hur<sup>2</sup>, Hyun Seok Oh<sup>3</sup>, Kyung Uk Jang<sup>4</sup>, Joon Ung Lee<sup>3</sup>, Tae Wan Kim<sup>2</sup>  
Dong-A University<sup>1</sup>, Hongik University<sup>2</sup>, Kwangwoon University<sup>3</sup>, Kyungwon College<sup>4</sup>

#### Abstract

During the last 20 years 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 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 zinc-phthalocyanine(ZnPc) as donor(D) and fullerene(C<sub>60</sub>) as electron acceptor(A) with doped charge transport layers, Alq<sub>3</sub> as an electron transport or injection layer. We observed the photovoltaic characteristics of the solar cell devices using the Xe lamp as a light source.

**Key Words** : organic solar cell, ZnPc, C<sub>60</sub>

#### 1. 서 론

유기 발광 소자의 광기전 효과는 약 3년 전부터 본격적인 관심의 대상이 되어 응용 가능성이 높은 연구 분야로 부상하고 있다. 광기전 효과의 연구는 태양 전지의 개발과 밀접한 관련이 있다. 이러한 소자를 유기 광소자 또는 유기 태양 전지라고 부른다. 또한 최근에는 대체 에너지로서 석유 자원보다 높은 효율의 에너지를 찾기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 유기 광기전 소자는 태양 광 조사하에서 수 %를 초과하지 않는 낮은 변환 효율에도 불구하고, 매우 유용한 것으로 인식되고 있다. 유기 광기전 소자는 또한 Low cost, 박

막 제작 가능 및 flexible 소자로 제작이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 1986년 C. W. Tang이 CuPc/PV 물질의 n-p type의 소자를 가지고 약 1%의 전력 변환 효율을 얻은 이후에 유기물이나 고분자를 이용한 유기 광기전 소자(photovoltaic cell)의 전력 변환 효율이 지속적이고 급속히 증가되고 있고, 최근 Forrest 등은 CuPc와 C<sub>60</sub>을 이용하여 광기전 소자를 제작하여 약 3.6%의 전력 변환 효율을 보고하였다.

#### 2. 실험

Anode 전극으로 ITO(Samsung Corning Co., 15  $\Omega/\square$ ) 기판을 사용하였고, 음 전극으로는 Al을 진공 증착법으로 형성하여 사용하였다. ITO 기판의 세척은 먼저 아세톤 혹은 클로르포름으로 50°C에서 약 30분 동안 초음파 세척을 한다. 그리고, 증류수에서 약 30분 동안 초음파 세척을 수행하여, 질소 가스를 이용하여 건조 시킨다. 광기전 소자는 n형 전자주계로 ZnPc(zinc-phthalocyanine)를 사용하였고, p형 전자받계로 C<sub>60</sub>(fullerine)을 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 물질의 분자 구조를 나타내었다. 또한 엑시톤(Exciton) 억제층(EBL; Exciton blocking layer)으로 Alq<sub>3</sub>를 사용하였다. Alq<sub>3</sub> 층의 역할은 인접한 전자받계쪽에서 음극쪽으로 전자를 수송하는 반면에 음극쪽에서 재결합하여 더 낮은 에너지 겍에서 엑시톤을 효과적으로 억제한다.

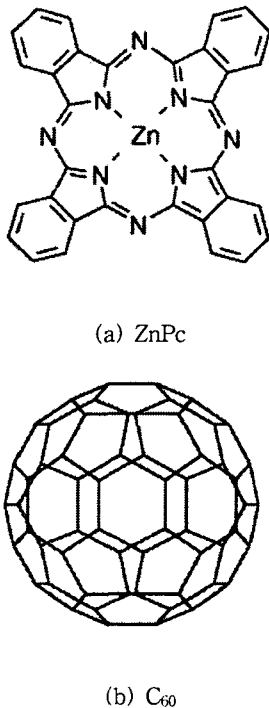


그림 1. 시료 구조.  
Fig. 1. Structure of molecules.

그림 2는 본 연구에서 사용한 유기 광기전 소자의 구조를 나타낸 것이다.

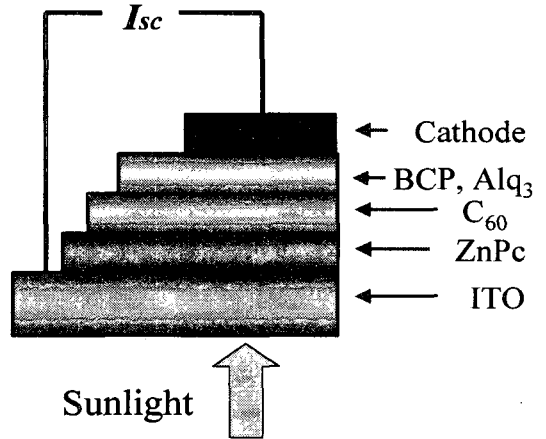


그림 2. 유기 광기전 소자의 구조.  
Fig. 2. Structure of organic PV cell.

유기물층은 약  $10^{-6}$  torr 정도의 진공도에서 0.5 ~ 1.0 Å/s의 비율로 진공 열증착을 하였으며, 각각의 유기층 두께는 ZnPc의 경우 20nm ~ 40nm, C<sub>60</sub>의 경우 40nm, 그리고 Alq<sub>3</sub>의 경우는 10nm의 두께로 형성하였다. 광기전 소자의 면적은 15mm<sup>2</sup>(3mm×5mm)로 하였다.

광기전 효과는 Keithley 236 source-measure unit을 이용하여 측정하였고, 광원으로는 500W Xenon 램프(ORIEL)를 이용하였다. 조사된 빛의 세기는 International light사의 Radiometer/photometer를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al 소자에 Xe 램프에서 나오는 빛을 조사하여 얻은 전압-전류 특성이다. 소자에 조사된 빛의 세기는 100mW/cm<sup>2</sup>이었으며, 또한 C<sub>60</sub>의 두께는 40nm로 고정하고, ZnPc는 20nm ~ 50nm의 두께로 변화시키면서 특성을 측정을 하였다. 그림에서 보면, ZnPc의 두께가 20nm일 때 가장 좋은 PV 특성을 보여주고 있으며, ZnPc의 두께가 50nm일 때 PV 특성이 가장 나쁜 것으로 보여지고 있다. 이는 n-p 형의 PV cell에서 n형과 p형 층의 적절한 두께로 제어되어야만이 좋은 PV 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

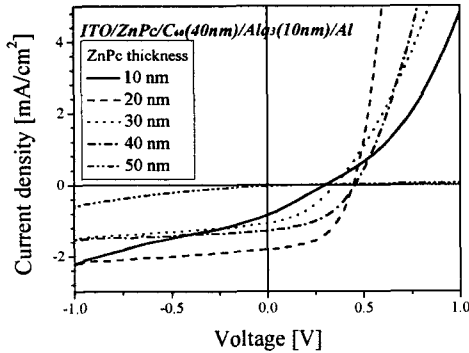


그림 3. ZnPc 두께 변화에 따른 PV 특성.  
 Fig. 3. PV characteristics of variable ZnPc thickness(Light intensity: 100mW/cm<sup>2</sup>).

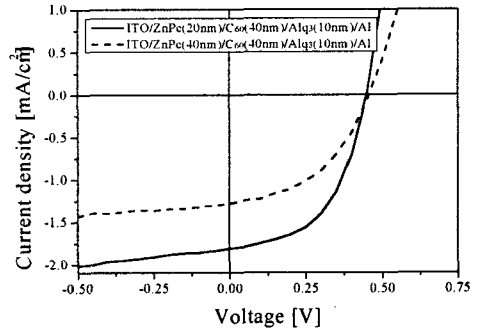


그림 5. ZnPc 두께 변화에 따른 PV 특성.  
 Fig. 5. PV characteristics of variable ZnPc thickness(Light intensity: 100mW/cm<sup>2</sup>).

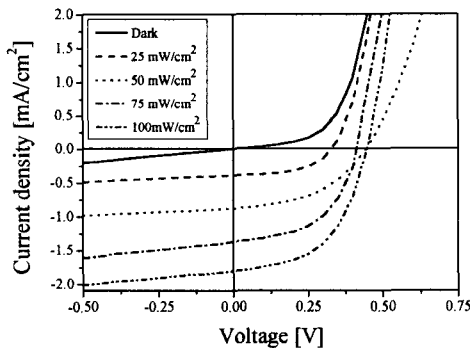


그림 4. ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al 소자의 전압-전류 특성.  
 Fig. 4. Current density-voltage characteristics of ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al device.

그림 4는 ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al 소자의 PV 특성을 측정된 그래프로서, 조사된 빛의 세기는 25, 50, 75, 100 mW/cm<sup>2</sup>으로 하였다. 빛의 세기가 증가함에 따라 단락회로 전류밀도(shot-circuit current density) J<sub>sc</sub>가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 개방회로(open-circuit voltage) V<sub>oc</sub>가 일정하지 않게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 Alq<sub>3</sub>가 EBL로서 잘 작용하지 않는 것으로 사료된다.

그림 5는 ZnPc의 두께가 각각 20nm와 40nm 이고, 100mW/cm<sup>2</sup>의 빛을 조사하였을 때의 PV 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 본

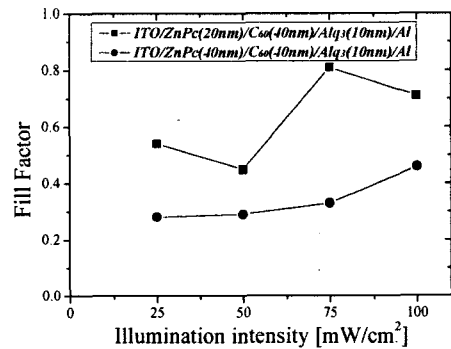


그림 6. ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al 소자의 Fill factor.  
 Fig. 6. Fill factor of the ITO/ZnPc/C<sub>60</sub>/Alq<sub>3</sub>/Al device.

그림 6은 ZnPc의 두께가 각각 20nm와 40nm일 때의 PV 특성으로부터 얻어진 Fill factor(FF)를 보여준다. FF는 최대 전력점에서 전류 밀도와 전압 값의 곱(V<sub>m</sub>×J<sub>m</sub>)을 개방회로 전압 V<sub>oc</sub>와 단락회로 전류밀도 J<sub>sc</sub>의 곱(V<sub>oc</sub>×J<sub>sc</sub>)으로 나눈값이다. 따라서 FF는 빛이 가해진 상태에서 J-V 곡선의 모양이 사각형에 얼마나 가까운 가를 나타내는 지표이다.

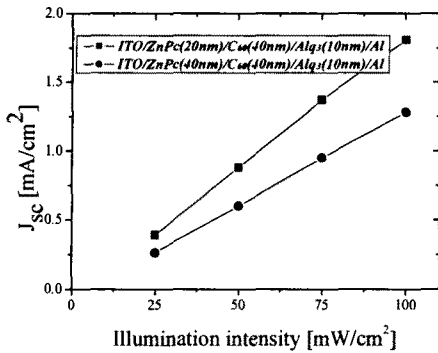


그림 7. ITO/ZnPc/C60/Alq3/Al 소자의 단락전류.

Fig. 7. Shot-circuit current-illumination intensity characteristics of the ITO/ZnPc/C60/Alq3/Al device.

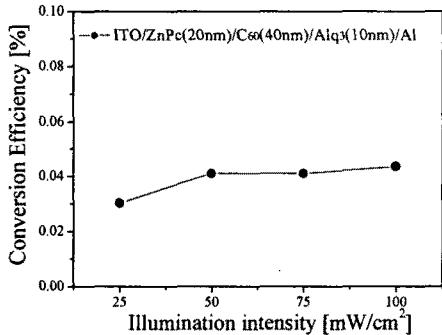


그림 8. ITO/ZnPc/C60/Alq3/Al 소자의 변환 효율.

Fig. 8. Conversion efficiency-illumination intensity characteristics of the ITO/ZnPc/C60/Alq3/Al device.

그림 7은 빛의 세기에 따른 단락 회로 전류밀도  $J_{sc}$ 를 보여주고 있다.  $J_{sc}$ 는 회로가 단락된 상태, 즉 외부 저항이 없는 상태에서 빛을 받았을 때 나타나는 역방향(음의 값)의 전류 밀도이다. 이 값은 우선적으로 입사광의 세기와 파장 분포에 따라 달라지지만, 이러한 조건이 결정된 상태에서는 광흡수에 의해 들뜬 전자와 정공이 재결합하여 손실되지 않고 얼마나 효과적으로 소자 내부에서 외부 회로쪽으로 보내어지는가에 의존된다. 이때, 재결

합에 의한 손실은 재료의 내부나 계면에서 일어날 수 있다. 두 소자의 경우 모두,  $J_{sc}$ 는 빛의 세기가 강할수록 더 많은 캐리어들의 들뜸을 의미한다.

그림 8은 빛의 세기에 따른 변환 효율로 빛의 세기에 따라 효율이 다소 증가하는 양상을 보이고 있다. PV cell의 효율은 최대 전력과 입사광 에너지 사이의 비율이다. 빛의 세기가  $100\text{mW/cm}^2$ 일 때 변환 효율은 약 0.0578%의 값을 보이고 있다.

#### 4. 결론

ZnPc/C60 이중 결합층을 이용한 유기 PV cell을 제작하여 광기전 특성을 살펴보았다. 또한 C60의 두께를 40nm로 고정하고, ZnPc의 두께를 변화해 가면서 특성을 조사한 결과, ZnPc:C60의 두께비가 1:2일 때의 경우가 가장 좋은 특성을 보이고 있다. 또한 FF(Fil factor)값도 ZnPc의 두께가 20nm 인 경우에서 최대 0.8(Light intensity;  $75\text{mW/cm}^2$ )의 값을 보여주고 있으며, 변환 효율은 약 0.0578%(Light intensity;  $100\text{mW/cm}^2$ )이는 n 형과 p 형, 각각의 적절한 두께비를 통하여 더 좋은 PV 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] T. D. Anthopoulos, T. S. Shafai, Thin Solid Films, Vol. 441, p. 207, 2003.
- [2] C. Winder, A. Andreev, H. Sitter, G. Matt, N. S. Sariciftci, D. Meissner, Synthetic Metals, Vol. 139, p. 573, 2003.
- [3] C. W. Tang, Appl. Phys. Lett., Vol. 48, p. 183, 1986.
- [4] 김상걸, 이현돈, 정동희, 오현석, 홍재일, 박종욱, 김태완, "유기물을 이용한 Photovoltaic cell의 광기전력 특성", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, p. 123, 2003.