

## 유기 태양전지의 후열처리온도에 따른 전기적 Parameter들의 추출

김동영, 김지환, 이해지, 김해진, 손선영\*  
대구가톨릭대학교 전자디스플레이공학과

### Extraction of electrical parameters as a function of post-annealing in organic solar cells

Dongyoung Kim, JiHwan Kim, HyeJee Lee, HaeJin Kim, Sunyoung Sohn\*  
Department of Electrical Engineering, Catholic University of Daegu

**Abstract :** We studied the effects of post-annealing treatment on poly(3-hexylthiophene)(P3HT, donor):[6,6]-phenyl C<sub>61</sub> butyric acid methyl ester(PCBM, acceptor) blend film as an active layer in the organic solar cells(OSCs). For the formation of the active layer, 3 wt.% P3HT:PCBM solution in chlorobenzene were deposited by spin-coating method. In order to optimize the performance of OSCs, the P3HT crystallization and the redistribution of PCBM cluster at P3HT:PCBM composition as a function of post-annealing condition from room temperature to 200°C were measured by the Hall effect and the UV-vis Spectrophotometer. We thought that the improved efficiency in the OSCs with post-annealing treatment at 150°C can be explained by the efficient separation or collection of the photogenerated excitons at donor-acceptor interface by P3HT crystallization.

**Key Words :** Organic photovoltaic cell, P3HT, PCBM,, Annealing, Bulk heterojunction

## 2. 실험

### 1. 서론

반도체성 고분자(semiconducting polymer)나 광광성 단 분자(프롤로시아닌, 페릴렌), fullerene(C<sub>60</sub>)등을 기반으로 하는 유기태양전지(organic solar cell, OSC)는 대면적화가 용이하며 얇고 가벼우면서도 저렴한 비용과 물질의 특성상 유연성을 가져 roll-to-roll 방법 등에 의해 플렉서블(flexible) 소자로 응용 가능하므로 차세대 소자로 각광받고 있다[1][2]. Si를 기반으로 한 상용화 단계의 태양전지 효율에 비해 상대적으로 낮은 효율을 갖는 OSC의 단점을 해결하기 위해서 유기물 자체가 갖고 있는 광 안정성, 낮은 전하 이동도, 태양광 스펙트럼 대비 유기물의 비효율적 광 에너지 흡수대 등의 문제점들의 해결 방안들이 제시되고 있다[3].

소자의 제작방법은 간단하게 donor 물질과 acceptor 물질을 유기 용매에 녹여 스프인코팅 법을 이용하여 단일 박막을 형성하는 형태의 bulk hetero-junction구조로 주로 제작된다. 이러한 구조는 기존의 적층형(bi-layer) 구조에 비해 소자내에서 donor와 acceptor 물질 사이에서 광여기된 엑시톤들의 광여기 전하이동(photoinduced charge transfer, PICT) 현상이 더욱 효과적으로 일어나 소자의 효율을 향상시킬 수 있다[4]. 또한 bulk hetero-junction구조를 갖는 태양전지는 용매의 종류, donor와 acceptor 물질의 비율, 두께조절 등으로 태양전지의 성능을 조절할 수 있다[4].

본 연구는 poly(3-hexylthiophene)(P3HT, donor): [6,6]-phenyl C<sub>61</sub> butyric acid methyl ester(PCBM, acceptor)를 광활성층으로 사용한 유기 태양전지의 전기적 및 광학적 인 특성에서 후열처리의 효과에 대해 연구하였다.

그림 1은 유기 태양전지의 전기적인 특성을 분석하기 위해 glass/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al 구조로 제작된 소자를 도식화 하였다. P3HT(donor): PCBM(acceptor)=1:1의 비율을 갖는 광활성층은 유기 용매제인 chlorobenzene에 녹여서 3 wt.%로 제작하였다. 제작된 유기 태양전지는 후열처리 전과 각각 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C에서 후열처리 후 Newport사의 태양전지 평가 시스템을 이용하여 태양전지의 에너지 전환 효율을 측정하여 유기 태양전지에서 후열처리의 효과에 대해 연구하였다. 또한 열처리에 따른 광활성층의 광학적, 전기적 및 구조적인 특성을 분석하기 위해 Shimadzu사의 UV-1800 장치로 후열처리 온도에 따른 P3HT:PCBM 박막의 흡수스펙트럼과 에코피아사의 홀 효과 측정 장치(Hall Effect Measurement System)를 이용해 전하의 이동도, 그리고 Rigaku사의 X-선 회절장치(X-ray Diffraction, XRD)와 원자 힘 현미경(Atomic Force Microscopy, AFM)을 이용해 구조적인 특성분석을 하였다.



그림 1. 제작된 태양전지의 구조.  
(Glass/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al)

### 3. 결과 및 검토

그림 2는 열처리 온도에 따른 P3HT/PCBM(1:1) 광활성층의 흡수스펙트럼을 나타낸 것이다. 열처리를 하지 않은 박막은 450-500nm 근처에서 PCBM에 의한 흡수 peak이 두드러지게 보이고 있으며, 500-600nm에서 peak가 상대적으로 약하게 관찰되고 있다. 하지만 열처리를 하게 되

면, 600nm 근처에서 보이는 P3HT의 peak가 두드러지게 증가하였고, 흡수스펙트럼이 전반적으로 적외선 파장으로 이동하는 경향을 보이고 있다. 그러므로 P3HT/PCBM의 열처리 과정에서 P3HT의 interchain interaction이 강화되고, 또한 열처리 과정에서 부드러워진 P3HT Chain 사이로 PCBM이 침투하여 가시광 영역에서 적외선 영역으로 이동하였는 것으로 볼 수 있겠다.[5]

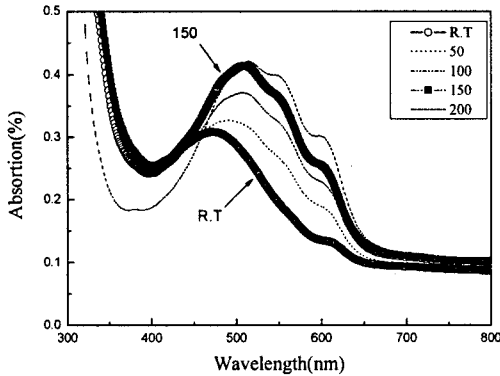


그림 2. 열처리 온도에 따른 P3HT/PCBM 박막의 광흡수 스펙트럼.

P3HT:PCBM을 기반으로 하는 소자의 효율 및 전기적 특성을 분석하기 위해 태양전지 평가 시스템을 이용하여 AM 1.5 solar illumination (100 mW/cm<sup>2</sup>)의 조건에서 측정된 전류밀도-전압 특성 곡선으로부터 측정되는 에너지 전환 효율은 아래의 식 (1)과 (2)로부터 계산된다[6]. 여기서 FF는 fill factor, PCE는 power conversion efficiency (전력변환효율), P<sub>in</sub>은 입사되는 빛의 세기, V<sub>oc</sub>는 개방 전압, J<sub>sc</sub>는 단락 전류밀도, V<sub>max</sub>와 J<sub>max</sub>는 전력이 최대일 때의 전압과 전류밀도이다.

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

$$PCE = \frac{V_{oc} \times J_{sc}}{P_{in}} \quad (2)$$

후열처리 온도의 조건에 따른 소자의 전기적 특성을 분석한 결과 열처리 하지 않은 소자에 비해 150 °C에서 열처리된 소자는 J<sub>sc</sub>의 증가에 의해 약 3배정도 향상된 전력변환효율을 나타내었다. 이는 150 °C의 열처리 후 P3HT 층의 결정화로 인해 성장된 grain 들과 비정질의 P3HT:PCBM 매트릭스 분산, 그리고 PCBM 클러스터의 재분포에 의한 것으로 사료된다.[7] 특히, 열처리 후 P3HT alkyl chain의 변화에 따른 결정화 현상은 광여기된 전하들의 원활한 이동으로 소자의 효율을 향상시키는 주 요인으로 작용한다[8]. 반면 광 흡수스펙트럼과는 달리 200 °C에서 열처리된 소자는 150 °C에서 열처리한 소자와 비교해 낮은 전기적 특성을 보이며 이는 P3HT의 유리 전이

온도 이상에서의 열처리에 의해 유기 박막이 손상되었기 때문에 사료된다.

#### 4. 결론

P3HT와PCBM을 기반으로 한 유기태양전지에서 광활성층의 후열처리 조건에따른 광학적, 전기적, 구조적인 특성 분석들은 소자의 효율 향상에 대한 메커니즘을 규명하기 위해 필수적이다. 다양한 열처리 조건에서 측정된 유기태양전지의 특성을 가운데 150 °C에서 열처리된 소자는 광활성층의 가시광 영역에서 흡수스펙트럼의 증가와 P3HT 층의 결정화와 PCBM 클러스터의 재분포로 인한 구조적 및 전기적인 특성 향상으로 인해 electron donor와 electron acceptor 사이에서 일어나는 PICT 현상을 빠르게 진행시켜 소자내에서 전자와 정공의 재결합되는 문제점을 해결함으로써 소자의 효율을 향상시킬 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 사업화연계기술개발사업(R&BD) 및 2단계 BK21 사업의 연구비 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] C.J. Brabec, N.S. Saricifci, J.C. Hummelen, "plastic solar cells," Adv. Funct. Mater. vol.11, pp.15, Feb. 2001.
- [2] C.J. Brabec, "organic photovoltaics: technology and market," Solar Energy Mater. Sol. vol.83, pp.273, June 2004.
- [3] 문상진, 김희주, "나노박막형 유기 태양전지의 기술 동향", 고분자과학과 기술, vol.17, pp.407, Aug. 2006.
- [4] S.E. Shaheen, C.J. Brabec, N.S. Saricifci, "2.5% efficient organic plastic solar cells," Adv. Funct. Mater. vol.13, pp.85, Feb. 2003.
- [5] H. J. Kim, W. W. So, and S. J. Moon, P3HT/PCBM계 유기태양전지, 한국 신 재생 에너지 학회. 150 (2005).
- [6] S.M. Sze, "physics of Semiconductor Devices," 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York, Sep. 1981.
- [7] V. Palermo, G. Ridolfi, A. M. Talarico, L. Favaretto, G. Barbarella, N. Camaioni, P. Samori, "a Kelvin Probe Microscopy study of the photogeneration of surface charges in all-thiophene photovoltaic blends," Adv. Funct. Mater. vol.17, pp.472, Feb. 2007.
- [8] W. Ma, C. Yang, X. Gong, K. Lee, A. Heeger, "thermal stable, efficient polymer solar cells with nanoscale control of the interpenetrating network morphology," Adv. Funct. Mater. vol.15, pp.1617, Oct. 2005.