

## Active layer (P3HT:PCBM) 두께에 따른 유기물 태양전지의 제작 및 특성 분석

백운혁\*, 김정민\*, 윤태식\*, 이현호\*\*, 김용상\*\*\*\*  
 명지대학교 나노공학과\*, 명지대학교 화학공학과\*\*, 명지대학교 전기공학과\*\*\*

### Effect of Active layer (P3HT:PCBM) Thickness on the Performance of Bulk Heterojunction Solar Cells

Woon-Hyuk Baek\*, Jung-Min Kim\*, Tae-Sik Yoon\*, Hyun Ho Lee\*\* and Yong-Sang Kim\*\*\*\*  
 Dept. of Nano Science and Engineering, Myongji University\*  
 Dept. of Chemical Engineering, Myongji University\*\*  
 Dept. of Electrical Engineering, Myongji University\*\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 전자 주개 물질(electron donor)인 regioregular poly(3-hexylthiophene)(P3HT)와 전자 받게 물질(electron acceptor)인 phenyl-C<sub>61</sub>-butyric acid methyl ester (PCBM)을 혼합한 복합 박막 구조(Bulk Heterojunction)를 이용하여 태양전지를 제작하고 광활성층(Active layer)의 두께를 변화시키면서 광학적 특성 및 전기적 특성에 대해 분석하였다. 광활성층의 두께가 두꺼워 질수록 광흡수율이 높기 때문에 태양전지의 효율이 증가하여 200nm정도의 두께에서 가장 좋은 특성을 보였으며, 그 이상의 두께에서는 광흡수율이 높더라도 직렬 저항(Series resistance)의 증가로 개방 회로 전압이 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 최적화된 광활성층의 두께(190nm)에서 개방 회로 전압(V<sub>oc</sub>)은 0.6V, 단락 회로 전류(J<sub>sc</sub>)는 8.29mA, Fill factor(FF)는 0.59, 전력변환 효율(η)은 2.94%였다.

(J-V) 특성은 Keithley 236 SMU 를 이용하여 AM1.5G (100mW/cm<sup>2</sup>)의 빛을 조사하여 측정하였으며, 자외선/가시광선 분광계 광흡수율(UV/visible spectroscopy)은 SHIMADZU UV-1601을 사용하여 ITO/PEDOT/P3HT:PCBM을 증착한 소자로 실험하였다. 모든 실험은 대기(Ambient condition) 중에서 진행하였다.

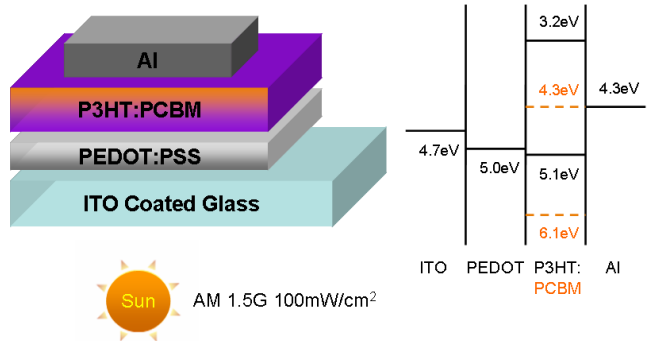
#### 1. 서 론

최근 세계적으로 석유자원을 비롯한 천연자원의 고갈로 에너지 자원의 확보는 각국의 생존과 관련된 직접적인 문제로 받아들여지고 있으며, 신재생 에너지 중에서도 무한자원이며, 청정 에너지원인 태양 빛을 이용한 태양전지는 가장 주목받는 기술 중에 하나이다. 무기물을 기반으로 하는 태양전지는 효율이 높긴 하지만 높은 제작 단가와 복잡한 제조 공정, 무겁다는 단점이 있어서 이러한 면에서 제조 공정이 간단하며 값싼 재료로 사용하며 가볍고 유연하기 때문에 다양한 방면에 적용이 가능한 유기물 태양전지가 저비용의 제품에 활용될 가능성이 높다고 할 수 있다. 현재 유기물 태양전지의 효율, 수명, 등을 향상시키기 위해 광활성층의 열처리 온도나 시간[1,2,3], 전자 주개 물질의 분자량[4,5], 전자 받게 물질과 전자 주개 물질을 섞는 비율[6,7] 등을 변화시키는 다양한 연구가 진행 중에 있다. P3HT와 PCBM을 이용하여 광활성층의 두께를 변화시켜가며 63nm의 두께에서 가장 높은 효율을 얻은 연구[1]와 밴드갭이 작은 poly[2,6-(4,4-bis-(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta[2,1-b;3,4-b']-dithiophene)-alt-4,7-(2,1,3-benzothiadiazole)](PCPDTBT)와 PCBM을 이용하여 130nm 이상의 두께의 광활성층에서는 FF와 J<sub>sc</sub>가 감소하는 결과를 얻은 연구[8] 등 최적화된 광활성층의 두께가 아직 정확히 입증되지 않았다. 본 실험에서는 P3HT와 PCBM을 사용하여 광활성층의 두께를 변화시키면서 광흡수율과 전류-전압 특성의 변화를 측정하여 최적화된 광활성층의 두께에 따른 유기물 복합박막 구조를 갖는 태양전지의 특성에 대해 연구하였다.

#### 2. 본 론

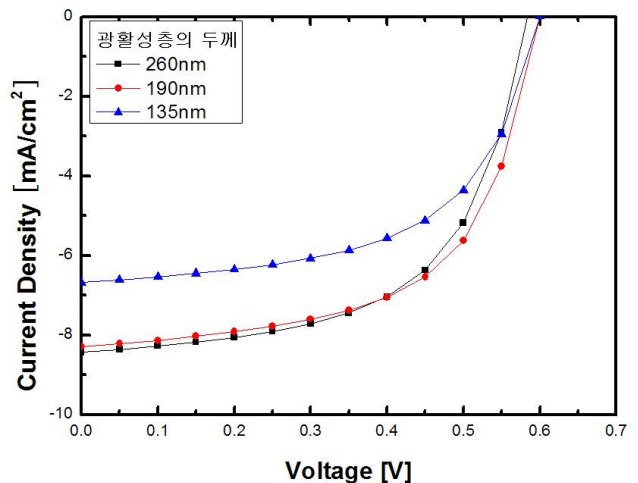
##### 2.1 실험방법

기판으로 사용된 인듐주석산화물 (Indium Tin Oxide ; ITO)은 증류수(DI water), 아세톤, 이소프로판올로 초음파(ultrasonic) 처리를 해주고, 60분간 UV-ozone cleaner로 세척하였다. ITO표면에 60nm두께의 polyethylenedioxythiophene:polystyrenesulphonate(PEDOT:PSS, Baytron P HC V4)를 스핀코팅하고 150°C의 hot plate 위에서 20분간 열처리하였다. P3HT (Rieke metals, Inc)와 PCBM (Sigma-aldrich)은 1:1의 비율로 클로로벤젠(chlorobenzene)에 3%(질량비)의 농도로 섞고 60°C에서 1시간 동안 교반해 주었다. 스핀 코팅한 박막의 두께는 표면 두께 측정장치 (Alpha-step 500)를 이용하여 측정하였다. 알루미늄(Aluminium) 음극(Cathode)은 두께가 100nm 이고 열 증착법 (Thermal evaporation)으로 증착(< 10<sup>-6</sup> torr)하였으며, shadow 마스크를 이용하여 광활성 면적 (Active area)의 크기를 0.1cm<sup>2</sup>가 되게 하였다. 음극을 증착한 후에 150°C의 hot plate에서 1분간 열처리를 해 주었다. 그림 1은 제작한 태양전지의 구조와 에너지 밴드 다이어그램을 나타낸 것이다. 전류-전압



<그림 1> ITO/PEDOT/P3HT:PCBM/Al로 이루어진 태양전지의 구조와 에너지 밴드 다이어그램

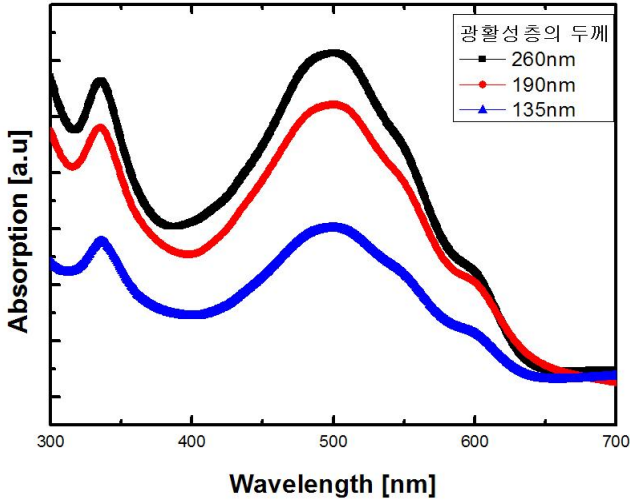
##### 2.2 결과 및 고찰



<그림 2> 광활성층의 두께에 따른 태양전지의 전류-전압 특성

그림 2는 광활성층인 P3HT:PCBM을 스핀코팅 속도를 다르게 하여 두께를 조절한 태양전지의 전류-전압 특성을 나타낸 그래프이다. 가장 두꺼운 두께(260nm)에서 단락 회로 전류가 가장 큰 값(8.43mA)을 가졌으며 두께가 얇아질수록 단락 회로 전류는 감소하여 가장 얇은 두께인 135nm에서의 단락 회로 전류는 6.68mA였다. 이러한 단락 회로 전류의 특성은 그림 3에 나타낸 자외선/가시광선 분광계 광흡수율 결과에서도

예측할 수 있다. 광활성층의 두께가 증가함에 따라 광흡수율이 증가하여 조사된 광자(photon)에 의하여 더 많은 캐리어가 생성되어 단락 회로 전류가 증가하였음을 알 수 있다. 135nm의 광활성층 두께를 갖는 소자에서는 광흡수율이 적기 때문에 가장 작은 단락 회로 전류 값을 가진 반면 190nm 두께의 소자보다 260nm 두께의 광활성층을 갖는 소자가 광흡수율은 약 15%가량 더 높은 반면에 단락 회로 전류는 2%가량만 증가한 것은 폴리머내에서 캐리어의 확산 길이(Diffusion length)와 이동도가 제한되어 있기 때문에 광흡수율이 증가하더라도 단락 회로 전류는 거의 변화가 없었다.



〈그림 3〉 광활성층의 두께에 따른 광흡수율

표 1은 그림 2에서의 특성을 표로 정리한 것이다. 190nm이하의 두께에서는 개방 회로 전압이 0.6V로 같았으나 260nm의 두께에서는 개방 회로 전압이 0.02V 가량 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 두께 증가에 따른 소자의 직렬저항의 증가에 의한 것으로 생각되며, 이에 대한 자세한 원 인분석은 현재 진행 중에 있다. FF는 두께에 따라서 많은 차이를 보이지 않았으며 두께에 따라서 태양전지의 효율에 가장 많은 영향을 미치는 요인은 단락 회로 전류의 변화였으며 이는 광흡수율의 차이에 따른 변화라고 볼 수 있고 190nm의 광활성층의 두께에서 최상의 효율인 2.94%를 얻을 수 있었다.

〈표 1〉 광활성층의 두께에 따른 태양전지의 특성

	260nm	190nm	135nm
J <sub>sc</sub> [mA]	8.43	8.29	6.68
V <sub>oc</sub> [V]	0.58	0.6	0.6
FF	0.58	0.59	0.57
efficiency[%]	2.87	2.94	2.3

### 3. 결 론

본 연구에서는 유기물 태양전지의 광활성층으로 전자 주개 물질인 P3HT와 전자 받게 물질인 PCBM을 1:1의 비율로 혼합한 복합 박막 구조를 이용하여 ITO/PEDOT/P3HT:PCBM/Al 구조를 갖는 태양전지를 제작하였으며 이 때 광활성층의 두께를 135nm에서 260nm까지 변화시켜가며 태양전지의 광흡수 특성과 전류-전압 특성을 측정하였다. 두께가 증가함에 따라 광흡수율이 증가하여 단락 회로 전류가 증가하지만 190nm이상의 두께에서는 폴리머에서 제한된 캐리어의 확산 길이와 이동도의 영향으로 광흡수율이 증가하여도 전류는 증가하지 않는 포화현상을 보였으며 개방 회로 전압은 감소하였는데 이는 두꺼운 광활성층으로 인한 직렬저항의 증가로 인해 일어난 결과로 생각된다. 앞서 언급한 영향들로 인해 190nm의 광활성층 두께를 갖는 태양전지에서 가장 좋은 특성을 보였으며 그 때의 단락 회로 전류 J<sub>sc</sub>=8.29mA, 개방 회로 전압 V<sub>oc</sub>=0.6V, FF=0.59, 전력 변환 효율 η=2.94% 였다.

### 〈참 고 문 헌〉

[1] G. Li, V. Shrotriya, Y. Yao, Y. Yang, "Investigation of annealing effects and film thickness dependence of polymer solar cells based on poly(3-hexylthiophene)", J. Appl. Phys., 98, 043704, 2005

[2] M. Reyes-Reyes, K. Kim, and D. L. Carroll, "High-efficiency photovoltaic devices based on annealed poly(3-hexylthiophene) and 1-(3-methoxycarbonyl)-propyl-1-phenyl-(6,6)C61 blends", Appl. Phys. Lett. 87 083506, 2005

[3] W. Ma, C. Yang, X. Gong, K. Lee, and A. J. Heeger, "Thermally Stable, Efficient Polymer Solar Cells with Nanoscale Control of the Interpenetrating Network Morphology", Adv. Funct. Mater. 15, 1617, 2005

[4] W. Ma, J. Y. Kim, K. Lee, and A. J. Heeger, "Effect of molecular weight of poly(3-hexylthiophene) on the Morphology and performance of Polymer Bulk Heterojunction Solar Cells, Macromol. Rapid Commun. 28, 1776, 2007

[5] P. Schilinsky, U. Asawapirom, U. Scherf, M. Biele, and C. J. Brabec, "Influence of the Molecular Weight of Poly(3-hexylthiophene) on the Performance of Bulk Heterojunction Solar Cells", Chem. Mater. 17, 2175, 2005

[6] Y. Kim, S.A. Choulis, J. Nelson, D.D.C. Bradley, "Device annealing effect in organic solar cells with blends of regioregular poly(3-hexylthiophene) and soluble fullerene" Appl. Phys. Lett. 86, 063502, 2005

[7] D. Chirvase, J. Parisi, J.C. Hummelen, V. Dyakonov, "Influence of nanomorphology on the photovoltaic action of polymer - fullerene composites", Nanotechnology 15, 1317, 2004

[8] D. Mühlbacher, M. Scharber, M. Morana, Z. Zhu, D. Waller, R. Gaudiana, C. Brabec, "High Photovoltaic Performance of a Low-Bandgap Polymer", Adv. Mater., 18, 2884, 2006