

열처리 조건이 이종접합 유기태양전지의 효율에 미치는 영향

김영훈^{1,2}, 한상면², 한민구², 이용욱¹, 한정민¹

¹전자부품연구원 디스플레이연구센터

²서울대학교 전기컴퓨터공학부

Effect of Thermal Annealing on the Power Conversion Efficiency of Heterojunction Organic Photovoltaics

Y. H. Kim^{1,2}, S. M. Han², M. K. Han², Y. U. Lee¹, J. I. Han¹

¹Information Display Research Center, Korea Electronics Technology Institute

²School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

Abstract - 열처리 조건이 이종접합 유기태양전지(heterojunction organic photovoltaics)의 power conversion efficiency(PCE)에 미치는 영향에 대해 살펴보고 있다. 본 연구에서는 열처리 온도와 열처리 시간을 변수로 다양한 조건하에서 유기태양전지를 제작하고 AM1.5G 조건에서의 효율 변화를 관찰하였다. 열처리 온도는 90°C, 열처리 시간은 20분에서 가장 우수한 변환효율이 관찰되었다.

1. 서론

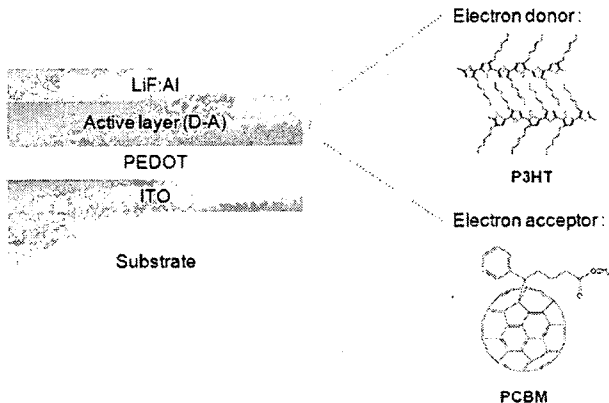
최근 유기물 반도체를 이용한 유기태양전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-5]. 유기태양전지는 기존의 실리콘이나 화합물 반도체와 비교해 볼 때 공정이 매우 단순하기 때문에 향후 가격이 매우 저렴한 태양전지를 개발함에 있어 매우 유리하고 또한 공정 온도가 150°C 이하로 매우 낮아 고분자 기판을 이용한 플렉서블 태양전지 개발에도 활용할 수 있다. 박막형 유기태양전지에서는 기존의 p-n 접합 형식인 실리콘 태양전지와는 달리 주로 이종접합 구조를 많이 채택하고 있는데 이는 유기물에서의 전자 및 정공의 이동도가 실리콘에 비해 매우 작기 때문이다. 광자에 의해 여기된 exciton이 전극을 통해 collect되기 위해서는 재결합이 이루어지기 전에 exciton이 전자와 홀로 분해되어 전극을 통해 빠져나가야 하지만 유기물은 이동도가 매우 낮기 때문에 p-n 접합 구조를 이용할 경우 효율은 매우 낮을 수 밖에 없다. 따라서 박막형 유기태양전지에서 효율을 높이기 위해서는 이종접합 구조를 사용해야 하며 최근 이 구조를 활용한 태양전지에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 이종접합 구조를 가진 유기태양전지를 열처리를 통하여 효율을 향상하고자 하였다. 특히 열처리 조건인 온도 및 시간을 조절하여 최대의 변환 효율을 얻을 수 있는 조건을 확보하고자 하였다.

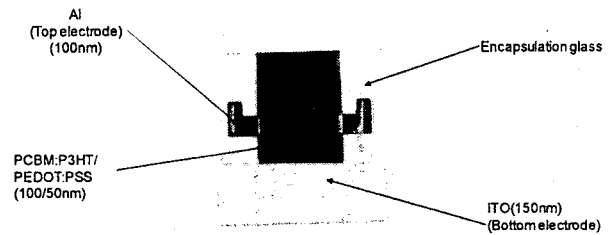
2. 본론

2.1 소자의 구조 및 제작방법

그림 1에서는 heterojunction organic photovoltaic의 구조를 나타내고 있다. 투명한 indium-tin-oxide(ITO)가 증착된 유리 기판 상에 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)) 박막을 스프레이 코팅으로 형성하고 열처리하였다. 이후 PEDOT:PSS 상부에 electron acceptor 및 donor 역할을 하는 [6,6]-phenyl-C61-buteric acid methyl ester(PCBM)와 poly(3-hexylthiophene)(P3HT)를 스프레이 코팅하고 질소 분위기에서 1시간 동안 건조시켰다. 이후 전극 역할을 하는 LiF:Al 박막을 thermal evaporation을 이용해 순차적으로 증착하고 glove box에서 glass encapsulation을 하였다. (그림 2)



〈그림 1〉 이종접합 유기태양전지(heterojunction organic photovoltaics)의 구조 및 electron acceptor 및 donor로 사용된 물질의 분자구조

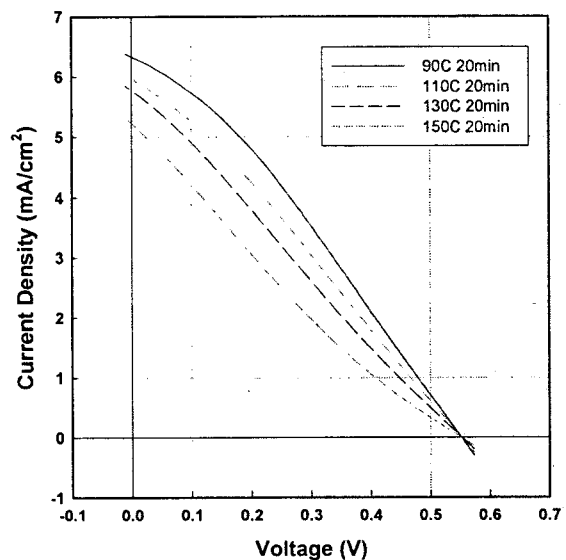


〈그림 2〉 유리 기판 상에 제작된 heterojunction organic photovoltaics (단위셀 면적 : 0.25 cm²)

2.2 열처리 온도에 따른 효율 변화

그림 3에서는 AM1.5G illumination하에서의 유기태양전지의 J-V(current density-voltage) 특성을 보여주고 있다. 여기서 열처리 온도는 각각 90°C, 110°C, 130°C 및 150°C로 설정하였으며 열처리 시간은 모두 동일하게 20분으로 고정하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 90°C에서 열처리한 소자가 가장 높은 효율 변환 특성을 나타내었다. 열처리 온도가 증가할수록 short circuit current 및 fill factor는 감소하였고 반면에 open circuit voltage는 열처리 온도와 상관없이 약 0.55 V로 일정하게 유지되었다. 열처리 온도 90°C에서 20분 동안 열처리한 소자는 PCE가 약 1.12%이었다.

Solar Cell J-V Characteristics



〈그림 3〉 열처리 온도에 따른 유기태양전지의 J-V 특성 변화

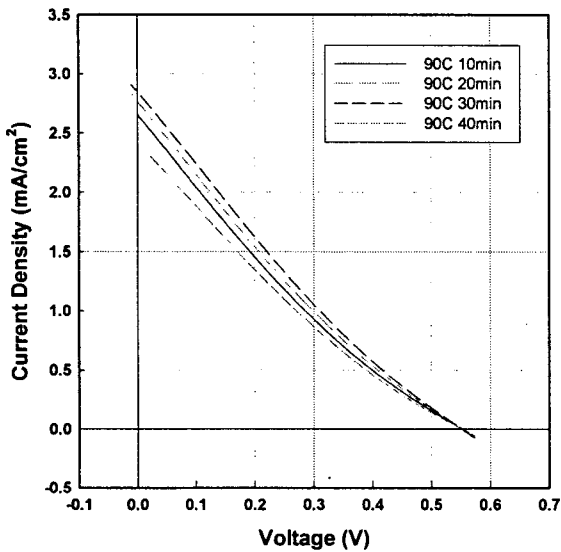
〈표 1〉 열처리 온도에 따른 유기태양전지의 전기적 특성 변화

Annealing temp. (°C)	I _{sc} (mA)	V _{oc} (V)	Fill factor	Efficiency (%)
90	1.47	0.56	0.42	1.12
110	1.52	0.55	0.28	0.97
130	1.37	0.55	0.25	0.78
150	1.26	0.55	0.22	0.62

2.3 열처리 시간에 따른 효율 변화

그림 4에서는 열처리 시간을 달리한 유기태양전지의 J-V 특성을 보여주고 있다. 여기서 열처리 시간은 각각 10, 20, 30 및 40분으로 설정하였으며 열처리 온도는 모두 동일하게 90°C로 고정하였다. 표 2에서는 열처리 시간에 따른 유기태양전지의 전기적 특성을 보여주고 있다. 본 연구에서는 열처리 시간의 20분일 때 가장 높은 변환 효율이 관측되었으며 이 때의 효율은 약 0.49%로 나타났다. 열처리 온도를 변화 주었을 때의 결과와 유사하게 열처리 시간에 관계없이 open circuit voltage는 거의 동일하였다. 하지만 열처리 시간이 길어질수록 short circuit current가 감소하고 fill factor 역시 감소하게 되어 전체적으로 소자의 효율이 떨어지는 결과를 나타내었다. 열처리 시간을 20분으로 설정한 소자를 기준으로 볼 때 열처리 시간이 40분이 되면 효율은 약 50% 감소함을 알 수 있다.

Solar Cell J-V Characteristics



〈그림 4〉 열처리 시간에 따른 유기태양전지의 J-V 특성 변화

〈표 2〉 열처리 시간에 따른 유기태양전지의 전기적 특성 변화

Annealing time (min)	I _{sc} (mA)	V _{oc} (V)	Fill factor	Efficiency (%)
10	0.71	0.53	0.25	0.27
20	0.89	0.56	0.24	0.49
30	0.80	0.57	0.23	0.43
40	0.54	0.52	0.20	0.24

3. Conclusions

본 연구에서는 열처리 조건이 이중접합 유기태양전지 변환 효율에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 다양한 열처리 온도와 열처리 시간을 변수로 소자를 제작하고 특성을 분석해본 결과, 열처리 온도 90°C, 열처리 시간 20분에서 가장 우수한 변환효율이 관찰되었다.

[References]

[1] A. P. Smith et. al., Chem. Mater., 16, 4687 (2004).
 [2] B. A. Gregg et. al., J. Phys. Chem. B, 107, 4688 (2003).
 [3] C. J. Barbec et. al., J. Appl. Phys., 85, 6866 (1999).
 [4] S. Gunes et. al., Chem. Rev., 107, 1324 (2007).
 [5] J. Cremer et.al., Chem. Mater., 18, 5832 (2006).