

저온 습식 공정에서의 ZnO 합성을 통한 역 구조 유기태양전지 시스템 개발

Development of inverted organic solar cell system through preparation of ZnO prepared by low temperature-wet process

차기훈\*, 서보열, 이주열, 임재홍, 임동찬  
 재료연구소 표면기술 연구본부(E-mail:vidalcha@kims.re.kr)

**초 록:** 본 연구에서는 ripple 구조의 ZnO 박막을 역 구조 태양전지 내에서의 전자 수집층 으로 사용하였으며, P3HT / IC<sub>60</sub>BA와 PEDOT을 각각 active layer와 정공 수집층 으로 사용하였다. zinc acetate의 농도 조절을 통해 다양한 두께와 roughness를 갖는 ripple 구조의 ZnO를 합성할 수 있었으며, hot plate위에서의 온도 조절을 통해 저온에서의 ZnO ripple를 합성할 수 있었다. 다른 농도를 사용해 합성한 ZnO ripple를 보다 0.6M의 zinc acetate를 사용하였을 때 가장 높은 power conversion efficiency (PCE) 와 external quantum efficiency (EQE)를 보여주었다. AFM과 SEM 분석을 통해 0.6M의 zinc acetate조건에서는 표면적이 가장 넓으면서도 다른 농도를 사용 하였을 때에 비해 상대적으로 ripple의 깊이가 더 깊은 표면을 갖는 ZnO가 생성됨을 알 수 있었다. 이는 상대적으로 넓은 surface area를 갖는 ZnO ripple과 active layer 계면사이에서 보다 용이한 charge transfer가 이루어 질수 있기 때문이다.

1. 서론

신재생 에너지 및 친환경 에너지에 대한 사회적 관심이 급증됨에 따라 이차전지 및 태양전지에 대한 연구와 기술 개발이 주목받고 있다. 태양전지는 무한재생이 가능하며 소멸되지 않는 태양에너지원을 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자를 말한다. 다양한 태양전지 중 유기 고분자 물질을 이용하는 유기 태양전지 (Organic Photovoltaics, OPV)는 가격경쟁력과, glass대신 고분자 물질의 flexible한 기판을 비롯해 다양한 기판에 응용이 가능하기 때문에 최근 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 유기태양전지는 수분에 취약한 유기물을 기반으로 제작되기 때문에 내구성 및 cyclic property에 대한 문제를 안고 있다. 따라서 소재와 소자 분야에서 해결해야 할 기술적 방안이 필요하다. 특히 정 구조에서 사용되는 Al 금속 전극의 산화로 인해 급격한 효율저하가 야기됨에 따라 최근 역 구조 유기 태양전지 개발이 활발히 진행 중이다.

빛의 조사에 의해 active layer에서 생성된 전자-홀 쌍을 엑시톤 (exciton)이라 하며, 이때 쿨롱힘으로 약하게 결합되어 있는 상태로 존재하게 된다. 이와 동시에 엑시톤이 재결합 (recombination)으로 인해 사라지기 이전에 전자는 음극으로, 홀은 양극으로 빠져나와야 고효율의 전기 에너지를 얻을 수가 있다. 이러한 charge transfer를 효율적으로 분리하기위해 전하 수집층 (buffer layer)이 사용되는데, 주로 ZnO는 전자를 수집하기 위해 사용하며, NiO 혹은 MoO<sub>3</sub>와 같은 금속산화물은 홀을 수집하기 위해서 사용한다.

ZnO는 전기적 특성이 뛰어나며 표면 구조제어가 쉽기 때문에 역 구조 태양전지 내에서 전자 수집 층으로 가장 널리 사용되고 있다. 현재 많은 연구팀은 active layer의 신물질 합성과 buffer layer의 합성 및 표면처리에 초점을 맞추어 연구를 진행 중이다. 특히 Sputtering과 ALD등의 건식 공정을 이용한 buffer layer의 합성 연구가 많은 부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 공정의 간결화와 가격 경쟁력을 확보하고자 zinc acetate의 농도 조절을 통해 Spin coating을 이용한 습식 공정기반의 역 구조 유기태양전지 시스템 개발에 초점을 맞추어 연구를 진행 하였다.

2. 본론

본 연구에서는 ripple 형태의 ZnO를 제작 하고자 0.4M ~ 2M의 zinc acetate 농도 조절을 통해 다양한 표면적을 갖는 ZnO ripple를 제작하였으며, 이를 P3HT / IC<sub>60</sub>BA의 active layer와 적용하여 효율을 측정하였다.

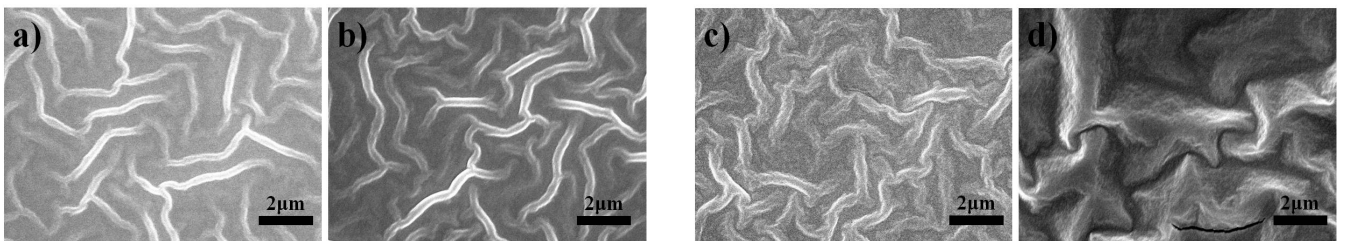


Fig. 1. 다양한 농도의 Zinc Acetate를 이용해 제작한 ZnO ripple의 SEM 이미지 a) 0.5M, b) 0.6M, c) 0.8M, d) 1.0M.

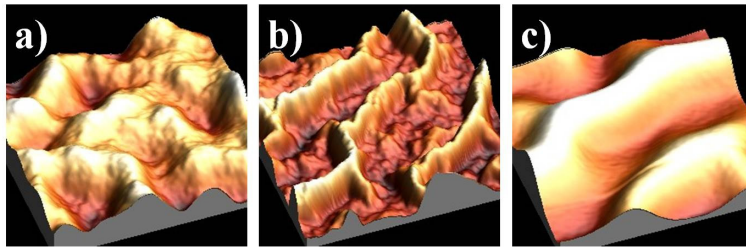


Fig. 2. Zinc Acetate 농도에 따른 ZnO의 AFM 이미지. a) 0.5M, b) 0.6M, c) 1.0M

Fig. 1 은 각각 0.5 M, 0.6 M, 0.8 M, 1.0 M의 Zinc Acetate를 이용하여 200°C 이하의 열처리를 통해 생성시킨 ZnO ripple의 SEM 이미지이다. Zinc Acetate의 농도가 진해짐에 따라 thickness가 굵고 보다 적은 ripple구조가 형성됨을 관찰할 수 있다. 이는 Fig. 2의 AFM 이미지를 통해서도 확인 할 수 있다. 건식 공정을 통해 ZnO를 제작하는 방법에 비해 spin coating의 습식 공정과 hot plate의 저온 공정을 통해서도 표면적이 향상된 ZnO 전자 수집층을 제작할 수 있다는 것을 본 연구는 제시하고 있다.

Fig. 3은 다양한 농도의 Zinc Acetate를 이용해 제작한 ZnO ripple들의 J-V characteristics를 보여주고 있다. 0.6M의 Zinc Acetate를 사용하였을 때 가장 높은 효율 (5.758%)을 보여주었으며 그 이상의 농도에서는 점차 효율이 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 2.0 M이상의 농도에서는 효율이 급격하게 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 농도가 높아짐에 따라 ZnO ripple 표면의 surface area가 감소한 결과이며, electron의 이동이 원활하지 않고 정공과 전자의 재결합이 상대적으로 잘 이루어 지기 때문이다.

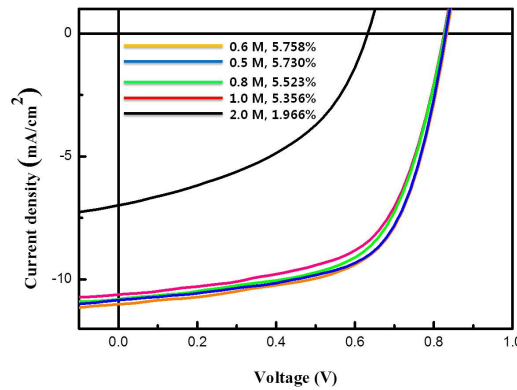


Fig. 3. Zinc Acetate 농도에 따른 J-V characteristics와 EQE

### 3. 결론

200°C이하의 hot plat를 이용하여 다양한 농도의 zinc acetate를 통해 ZnO ripple의 구조 및 thickness의 제어가 가능함을 확인할 수 있었으며, 0.6M의 zinc acetate를 사용하여 ZnO ripple을 제작하였을 때 가장 높은 power conversion efficiency (PCE)를 얻을 수 있었다. 이는 ZnO ripple의 표면적이 증가함에 따라 active layer와 ZnO ripple layer 간에 charge transfer 가 원활히 이루어진 결과로 볼 수 있다. 이를 통해 앞으로의 spin coating을 통한 저온 습식 공정에서의 유기 태양전지 (Organic Photovoltaics, OPV) 제작의 방향을 제시할 수 있다.

### 참고문헌

1. G. Yu, J. Gao, J. C. Hummelen, F. Wudl, A. J. Heeger, Science 270 (1995) 1789.
2. W. H. Shim, S. Y. Park, M. Y. Park, H. O. Seo, K.-D. Kim, Y. T. Kim, Y. D. Kim, J. W. Kang, K. H. Lee, Y. Jeong, D. C. Lim, Adv. Mater. 23 (2011) 519.
3. K. Vanheusden, W. L. Warren, C. H. Seager, D. R. Tallant, J. A. Voigt, B. E. Gnade, J. Appl. Phys. 79 (1996) 7983
4. M.-G. Kang, H. J. Park, S. H. Ahn, L. J. Guo, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 93 (2009) 447-453