

박스캐소드 스퍼터로 성장시킨 IZO 투명 전도막의 급속 열처리 효과

배정혁, 문종민, 정순욱, 김한기, 이민수*
 금오공과대학교, 상주대학교*

Rapid thermal annealing effect of IZO transparent conducting oxide films grown by a box cathode sputtering

Jung-Hyeok Bae, Jong-Min Moon, Soon-Wook Jeong, Han-Ki Kim, Min-Soo Yi*
 Kumoh National Institute of Technology (KIT), *Sangju National University

Abstract: We report on the rapid thermal annealing effect on the electrical, optical, and structural properties of IZO transparent conducting oxide films grown by box cathode sputtering (BCS). To investigate structural properties of rapid thermal annealed IZO films in N₂ atmosphere as a function of annealing temperature, synchrotron x-ray scattering experiment was carried out. It was shown that the amorphous structure of the IZO films was maintained until 400 °C because ZnO and In₂O₃ are immiscible and must undergo phase separation to allow crystallization. In addition, the IZO films grown at different Ar/O₂ ratio of 30/1.5 and 30/0 showed different preferred (222) and (440) orientation, respectively, with increase of rapid thermal annealing temperature. The electrical properties of the OLED with rapid thermal annealed IZO anode was degraded as rapid thermal annealing temperature of IZO increased. This indicates the amorphous IZO anode is more beneficial to make high-quality OLEDs.

Key Words : Rapid thermal annealing, BCS, Amorphous, Indium Zinc oxide, Synchrotron x-ray scattering

1. 서론

최근 유기발광소자용 ITO 애노드를 (Indium Tin Oxide) 대체할 수 있는 새로운 투명전도막 개발에 대한 관심 높아지고 있다. 비록 ITO 박막이 애노드 층으로 유기발광소자에 가장 일반적으로 사용되고 있지만, ITO 타겟의 쉬운 열화 특성, 비정질 ITO의 높은 저항, ITO의 화학적 불안정성, Blue 영역에서의 낮은 투과율, 저온 성막의 어려움과 같은 단점을 가지고 있다. 따라서 보다 우수한 특성을 가지며 저온에서 공정이 가능한 유기물 발광 소자를 제작하기 위해서는 ITO 전극을 대체할 수 있는 Zn를 근간으로 하는 ZnSn₂O₄, ZnSnO₃, Zn₂In₂O₅ 등의 새로운 산화물계 투명 전도막이 필요하다. 이중 ZnO가 In₂O₃에 도핑된 IZO 박막은 우수한 전도성, 높은 투과성, 우수한 표면 특성, 높은 에칭률, 낮은 증착 온도 때문에 최근 ITO를 대체할 수 있는 새로운 투명 전도막으로 각광 받고 있다 [1,2]. 이러한 IZO의 우수한 장점에도 불구하고 아직까지 박스캐소드 스퍼터로 제작된 IZO 박막의 급속 열처리에 따른 전기적, 광학적, 구조적 특성 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 박스 캐소드 스퍼터를 이용해 성장시킨 IZO 박막의 급속 열처리에 따른 구조적, 광학적, 전기적, 표면 특성을 연구하였다. 특히 synchrotron x-ray scattering 분석을 이용하여 열처리 온도의 증가에 따른 IZO 박막의 구조적 특성을 분석하였다. 또한 급속 열처리를 거친 IZO 애노드를 이용하여 유기발광소자를 제작하여 유기발광소자의 특성에 영향을 미치는 급속열처리 효과에 관해 연구하였다.

2. 실험

박스 캐소드 스퍼터 장치를 이용하여 상온에서 유리 기판위에 100 nm 두께의 비정질 IZO 애노드를 Ar/O₂ 비를 증가시키며 성장시켰다. 비정질 IZO 애노드 박막 증착 시 매개변수는 작업압력 5 mTorr, 타겟간 거리 60 mm, 타겟과 기판과의 거리 100 mm, 800 W DC 파워, 그리고 아르곤 30 sccm 으로 각각 고정 하였다. 성막 후 급속 열처리 시스템을 이용하여 질소 분위기에서 300, 400, 500, 600 °C의 온도로 급속 열처리를 2분간 수행하였다. 급속 열처리된 샘플은 가속기 빔라인 5C2 (KJIST)를 이용하여 X-ray scattering 분석을 실시하였다. 또한 Hall 측정 장치를 이용하여 급속 열처리에 따른 IZO 박막의 전기적 특성을 분석하였고, UV/VIS spectrometry를 이용하여 350~800 nm 파장 범위 내에서의 IZO 투과도를 측정하였다. IZO 박막의 급속 열처리 효과가 유기발광소자의 특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 IZO/CuPc/NPB/Alq₃/LiF/Al구조의 유기발광소자를 제작하여 그 전류-전압-휘도 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 서로 다른 Ar/O₂ 비에서 성장시킨 IZO 박막의 급속 열처리 온도 증가에 따른 X-ray scattering 분석 결과이다. Ar/O₂ 비가 30/1.5에서 성장시킨 IZO 박막은 급속 열처리 온도 증가에 따라 결정화가 일어나고 500 °C 부터 결정성을 나타내기 시작한다. 이때 일반적인 투명 전도막이 나타내는 우월 방향인 (222)면 방향으로 열처리 온도의 증가에 따라 결정화가 일어나기 시작한다.

일반적으로 IZO 박막은 600 °C 이상의 온도로 열처리 했을 때 (222) 방향성을 나타내며, ZnO 의 In_2O_3 에 대한 고용도가 상당히 낮기 때문에 (222) 방향의 peak은 cubic bixbyite 구조라고 보고하고 있다[3,4].

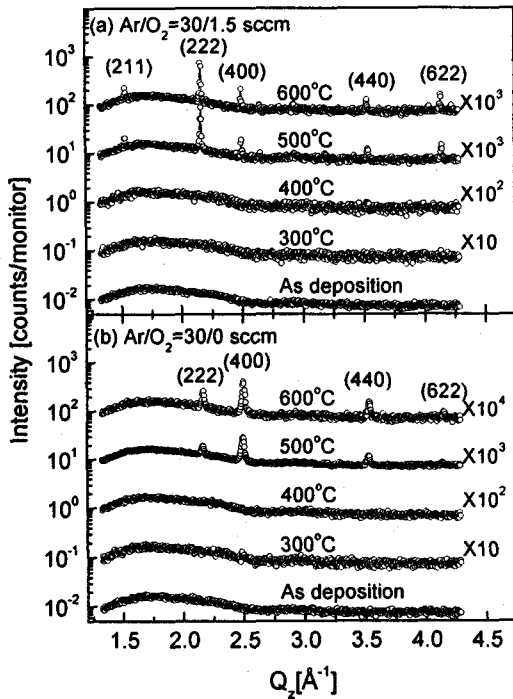


그림 1. 서로 다른 산소유량비에서 성장시킨 IZO 애노드 박막의 급속 열처리 온도 증가에 따른 X-ray scattering 분석 결과.

그러나 그림 1(b)의 산소의 공급 없이 아르곤 가스만으로 성장시킨 IZO 애노드 박막의 경우 급속 열처리 온도의 증가에 따라 (400) 방향의 우월 성장 특성을 나타내고 있다.

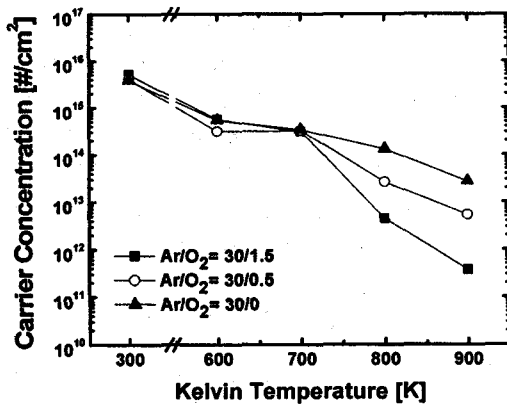


그림 2. 서로 다른 Ar/O₂비에서 성장시킨 IZO 애노드 박막의 급속 열처리 증가에 따른 캐리어 농도 변화.

그림 2는 급속 열처리 온도 증가에 따른 IZO 애노드 박막의 캐리어 농도 변화를 나타내고 있다. 전체적으로

Ar/O₂ 비에 상관없이 급속 열처리 온도에 따라 캐리어 농도가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 열처리 시 IZO 박막 내에 존재하는 산소 공공(vacancies) compensation됨에 따라 캐리어의 농도가 감소하는 것으로 사료된다.

그림 3은 급속 열처리된 IZO 애노드를 이용하여 제작한 유기발광소자의 전류-전압 특성을 나타낸다. 열처리를 하지 않은 IZO 애노드를 가진 유기발광소자에 비해 열처리를 거친 IZO 애노드를 가진 유기발광소자의 전류 밀도가 훨씬 낮은 것을 알 수 있다. 이는 급속 열처리를 거침에 따라 ZnO-In₂O₃간의 상분리와 결정화가 일어나고 이로 인해 전기적 특성이 열화 되기 때문이다. 즉 900 K 온도에서 급속 열처리한 샘플은 절연체에 가까운 전기적 특성을 가지기 때문에 그림 3에서 알 수 있듯이 소자가 Turn-on 되지 않고 있음을 알 수 있다.

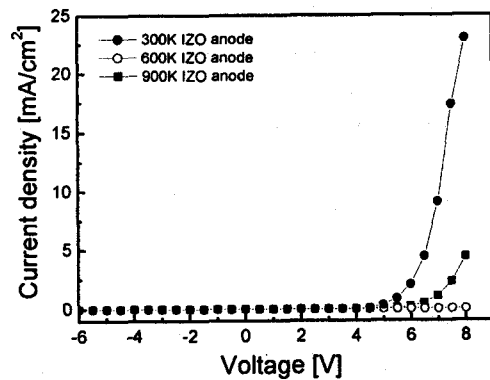


그림 3. 열처리 전/후의 IZO 애노드를 이용하여 제작한 유기발광소자의 전류-전압 특성

4. 결론

본 연구에서는 박스캐소드 스퍼터로 성장시킨 IZO 애노드 박막의 급속 열처리 온도에 따른 박막의 전기적, 구조적, 표면 특성에 대하여 연구하였으며, 특히 가속기 빔라인을 이용해 급속 열처리 온도의 증가에 따른 IZO의 구조적 특성을 면밀히 분석하였다. IZO 성막 시 산소 가스 주입의 유무에 따라 열처리 시 다른 우월 성장 방향을 나타내었으며 결정질 IZO 보다 비정질 IZO를 이용해 제작한 유기발광소자가 더 우수한 전기적 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] Han-Ki Kim, K.-S. Lee, and J. H. Kwon, *Apl. Phys. Lett.* Vol. 88, p. 012103, 2006.
- [2] Han-Ki Kim, K. -S. Lee, and H.-A. Kang, *J. Electrochem. Soc.* Vol. 153, p. H29, 2006.
- [3] E. Fortunato, A. Pimentel, A. Gencalves, A. Marques, R. Martins, *Thin Solid Films*, Vol. 502, p. 104, 2006.
- [4] N. Naghavi, A. Rougier, C. Marcel, C. Guery, J. B. Leriche, J. M. Tarascon, *Thin Solid Films* Vol. 360 p. 233, 2000.