

n-ZnO:Ga/*p*-Si 이종접합 발광 다이오드의 제작 및 특성 평가

한원석¹, 공보현¹, 안철현¹, 조형균¹, 김병성², 황동욱^{1,2}

¹성균관대학교 신소재공학부, ²성균관대학교 나노과학기술원(SAINT)

Fabrication and characterization of *n*-ZnO:Ga/*p*-Si heterojunction light emitting diodes

W. S. Han¹, B. H. Kong¹, C. H. Ahn¹, H. K. Cho¹, B. S. Kim² and D. M. Hwang^{1,2}

¹Sungkyunkwan Univ. ²SKKU. Advanced Institute of Nanotechnology

Abstract : *n*-ZnO/*p*-Si heterostructure is a good candidate for ZnO-based heterojunction light emitting diodes(LED) because of its competitive price and lower driving voltage. However, the conventional LED shows much lower extraction efficiency, because it has small top contact and large backside contact. In this structure, the injected current from the top contact enters the active region underneath the top contact. Thus, the emitted light is hindered by the opaque top contact. This problem can be solved by using a current-blocking layer(CBL) that prevents the current injection into the active region below the top contact.

Key Words : ZnO, heterojunction, LED, current-blocking layer

1. 서론

ZnO는 GaN보다 우수한 장점을 갖고 있기 때문에 발광 다이오드와 광 검지기 같은 광학 분야 제품으로의 응용이 기대되는 물질이다. ZnO의 주목할 만한 특징으로는 넓은 직접 천이형 밴드갭(~3.37eV)을 갖고, GaN보다 상당히 큰 엑시톤 결합 에너지(~60meV)를 갖는다. 그러나 현재까지 높은 Hall 농도와 이동도를 갖는 p-type ZnO의 성장이 재현성 있게 이루어지지 않아 ZnO homojunction을 이용한 LED 제작에 매우 큰 어려움이 있다. 따라서 ZnO를 기반으로 한 p-n heterojunction LED는 기존의 homojunction LED와 비교하였을 때 보다 우수한 성능을 보일 것으로 예상된다. 최근 n-ZnO/p-Si, n-ZnO/p-GaN, n-ZnO/p-Su₂, n-ZnO/p-SiC와 같은 여러 이종구조를 이용한 ZnO의 전계발광에 대한 연구 진행되었다.¹ 이러한 이종접합 중에서 n-ZnO/p-Si 이종구조는 가격 경쟁력이 우수하고, 낮은 구동 전압을 갖는 장점 때문에 ZnO를 기반으로 한 이종접합 다이오드 제작에 유리하다. 그러나 작은 상부 전극과 큰 하부 전극을 갖는 전형적인 LED 구조는 매우 낮은 발광 효율을 보이는데, 이러한 구조에서는 상부 전극으로 주입된 전류의 대부분이 전극 바로 밑에 위치한 active layer로 들어가 active layer에서 생성된 빛은 불투명한 상부 전극에 의해 소자 밖으로 방출되지 못하므로 발광 효율이 낮아지게 된다. 이러한 문제는 CBL을 사용함으로써 상부 전극 아래에 위치한 활성 영역으로 전류가 주입되는 것을 방지할 수 있다.

2. 실험

본 실험에서는 사진공정을 이용하여 p-Si 기판위에 photoresist(PR) 패터닝 후 e-beam evaporator를 이용하여 CBL로 사용할 SiO₂를 증착 하였다. 증착 후 lift-off 방법을

이용하여 PR을 제거하였으며, 기판 세척 후 RF magnetron sputtering법을 이용하여 Ga이 도핑된 ZnO 박막을 성장하였다. ZnO:Ga 박막 증착에는 Ga이 1wt% 포함된 ZnO target을 사용하였다. SiO₂가 패터닝 된 p-Si 기판위에 ZnO:Ga 박막을 600 °C에서 성장하였으며, 챔버에 유입되는 Ar 과 O₂ 가스 유량비는 2 : 1을 유지하였다. 한편 ZnO:Ga 박막 성장시 CBL 구조를 이용한 LED의 특성 변화 비교를 위해 SiO₂ 패턴이 없는 p-Si 기판을 동시에 이용하였다. 증착된 ZnO:Ga 박막 rapid thermal annealing 공정을 이용하여 850°C에서 3분간 열처리하였다. 박막 증착을 위해 사용된 p-Si 기판의 비저항은 1~10Ωcm이며, 증착된 ZnO:Ga 박막의 캐리어 농도는 ~3×10¹⁸cm⁻³이다. n-ZnO:Ga/p-Si LED 제작을 위한 식각 및 금속 전극 증착은 사진공정을 이용하였다. 그림 1은 SiO₂를 이용한 current-blocking 층의 유·무에 따른 LED 구조를 도식화한 그림이다.

성장된 박막의 전기적 특성 분석을 위해 Van der Pauw configuration을 이용한 Hall effect measurement가 수행되었으며, 박막의 구조적 분석은 x-ray diffraction(XRD)을 이용하였다. 또한 Hd-Cd laser(325nm)를 이용하여 ZnO:Ga 박막의 광학적 특성을 분석하였고, 제작된 LED의 단면 형태는 scanning electron microscope를 이용하여 관찰하였다. 한편, 제작된 LED는 전류-전압 및 전계발광(electroluminescence) 특성 분석을 통해 본 연구를 진행하였다.

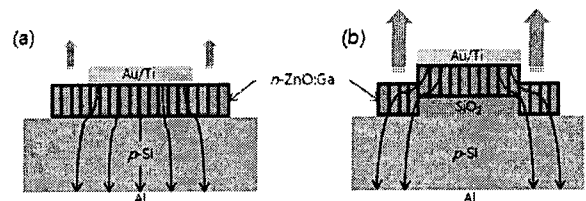


그림 1. (a)LED의 전형적인 구조와 (b)CBL을 사용한 LED 구조.

3. 결과 및 검토

p-Si 기판과 SiO₂ 층 위에 증착된 ZnO:Ga 박막을 PL (photoluminescence) 분석을 통하여 광특성을 비교하였다. 두 시편 모두 ~380nm 부근에서 near band edge(NBE) peak 이 비슷한 강도를 보이고, ZnO:Ga 박막의 deep-level과 관련된 peak이 검출되었다. SiO₂ 층 위에 증착된 ZnO:Ga 박막의 deep-level peak이 p-Si 기판을 이용한 시편의 deep-level peak 보다 약간 단파장 영역으로 이동하여 형성되었다.

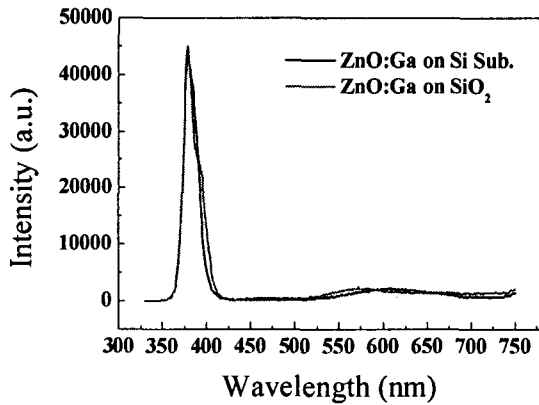


그림 2. ZnO:Ga 박막의 PL 스펙트럼.

한편, 제작된 LED를 이용하여 전류-전압을 측정하였다. CBL의 사용 유·무에 관계없이 두 소자 모두 우수한 정류 거동을 보였다. 그러나 순방향 바이어스에서 CBL을 이용한 LED가 단순한 p-n 구조의 LED 보다 전류 상승 비율이 감소하여 나타났다. Columnar 구조로 이루어진 ZnO 박막에서는 grain boundary가 기판에 수직인 방향으로 존재하는데, CBL을 사용할 경우 전류가 측면 방향으로 이동하는 경로가 길어지고 따라서 grain boundary에 의해 LED의 저항이 증가한다.

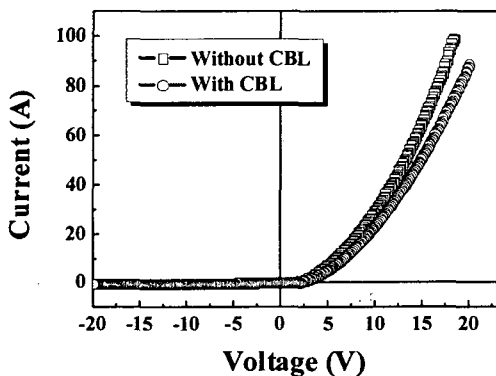


그림 3. ZnO:Ga/p-Si 이종접합 LED의 전류-전압 특성.

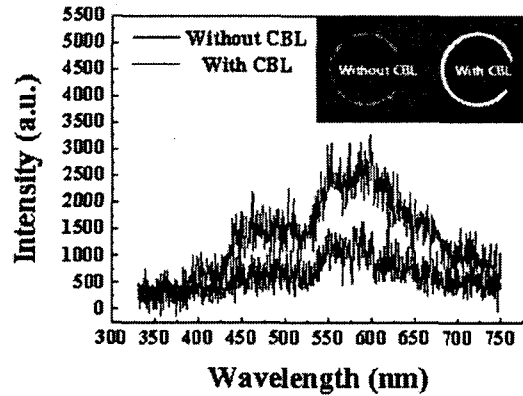


그림 4. ZnO:Ga/p-Si 이종접합 LED의 EL 스펙트럼.

LED의 electroluminescence(EL) 측정결과 단순한 p-n 구조의 LED 보다 CBL을 사용한 LED의 발광 효율이 보다 우수한 것으로 나타났다. CBL을 사용하지 않을 경우 발광 효율이 미약할 뿐만 아니라, ZnO:Ga의 NBE emission peak 또한 검출되지 않았다. 그러나 CBL 구조를 사용한 경우, 발광 강도의 증가와 함께 UV 영역대의 ZnO:Ga의 NBE emission peak(~400nm)이 검출되었다.

4. 결론

n-ZnO:Ga/p-Si 이종접합 발광 다이오드의 발광 효율을 높이기 위해 CBL을 이용하여 LED를 제작하였다. CBL을 사용한 LED는 전류-전압 측정결과 순방향 바이어스에서 전류 상승 폭이 단순한 p-n 구조의 LED보다 감소하였지만, EL 측정결과 CBL을 이용한 LED의 발광 효율이 보다 우수한 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] p. Chen, X. Ma, D. Yang, J. Appl. Phys. Vol 101, p. 053103, 2007.
- [2] E. F. Schubert, Light-Emitting Diodes (Cambridge university press), Chap.7, p. 147-148, 2003.