

ZnO 나노로드 배열에 의한 GaN기반 광다이오드의 광추출을 향상

이상동, 김경국, 박재철, 김상우
 금오공과대학교, 삼성종합기술원

Improved Light Output of GaN-Based Light-Emitting Diodes with ZnO Nanorod Arrays

Sam-Dong Lee, Kyoung-Kook Kim*, Jae-Chul Park*, Sang-Woo Kim

Kumoh National Institute of Technology, Samsung Advanced Institute of Technology

Abstract : GaN-based light-emitting diodes (LEDs) with ZnO nanorod arrays on a planar indium tin oxide (ITO) transparent electrode were demonstrated. ZnO nanorods were grown into aqueous solution at low temperature of 90 °C. Under 20 mA current injection, the light output efficiency of the LED with ZnO nanorod arrays on ITO was remarkably increased by about 40 % of magnitude compared to the conventional LED with only planar ITO. The enhancement of light output by the ZnO nanorod arrays is due to the formation of side walls and a rough surface resulting in multiple photon scattering at the LED surface..

Key Words : Zinc oxide, solution, nanorods, light-emitting diode, light output

1. 서론

반도체 조명 분야에서 GaN기반 발광다이오드(LED)의 광추출을 향상은 가장 중요한 이슈 중의 하나로 간주되고 있다. 현재 LED 효율 증가를 위해 p-타입 또는 n-타입 투명전극 층을 에칭시켜 광추출율을 28-45% 향상시킨 연구가 보고 되어졌다. 그러나 기존의 lithography, laser holography 같은 표면 에칭 방법은 고비용, 저효율, 긴 제작 시간을 가질 뿐만 아니라 건식 에칭의 경우 p-GaN의 투명전극 층의 전기적 성질의 변화를 초래할 수 있다.

이에 대한 대안적인 방법으로 최근 발표된 연구에서 metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)를 이용하여 GaN LED의 투명전극 층 위에 ZnO 나노로드 또는 나노팁을 수직하게 성장시켜 광추출율을 50% 까지 향상시켰다. 이 방법이 건식에칭의 단점을 보완을 하였으나 고온에서 ZnO 나노로드를 성장시켜 p-타입 투명전극층이 열적 손상을 입어 LED의 순방향 전압(forward voltage, V_f)이 급격하게 증가하게 된다. V_f 값의 증가는 LED의 효율을 향상시킬 수 없다.

본 연구에서는, 건식 에칭과 열적 손상에 의한 p-타입 전극의 열화 없이 GaN 기반 blue LED의 광추출을 향상을 위한 연구를 하였다. 습식화학방법을 이용하여 90 °C 이하의 저온에서 p-타입 투명전극층인 ITO위에 ZnO 나노로드를 성장시켰으며 제작된 LED의 광추출율의 특성평가를 실시하였다.

2. 실험

Multi quantum well (MQW) LED의 소자 구조는 p-GaN/InGaN MQWs/n-GaN/undoped GaN/sapphire로 제작되어졌다. 기존의 ITO전극을 가진 InGaN/GaN MQW blue LED (C-LED)와 p-타입 ITO 전극층 위에 ZnO 나노로드를

배열시킨 LED (NR-LED)를 제작하였다. 먼저, n-타입 GaN 층까지 LED 샘플을 부분적으로 에칭한 후에 e-beam evaporator를 이용하여 n-타입 전극층으로 Ti/Au(50/200 nm) 층을 형성시켰다. p-타입 GaN의 Ohmic 컨택을 위해 copper indium oxide/ITO (3/400 nm) 전극을 p-GaN 위에 증착하였다. 그리고 ZnO 나노로드 없이 ITO 투명 전극 층 표면 위에 Cr/Au (50/200 nm)의 bonding pad 전극을 형성시켰다. 두 번째 샘플은, p-GaN의 ITO 전극층위에 ZnO 나노로드를 성장시키기 위해, photo-resist lift-off 공정을 통해 p-전극층 ITO 영역만 개방하였다. 그리고 초순수물에 5 mM zinc acetate가 용해된 용액안에 단순한 dipping process를 통하여 90 °C에서 5분 동안 ITO 전극층위에 ZnO 씨드층을 형성시켰다. DI water, 25 mM zinc nitrate hexahydrate, 25 mM hexamethylenetetramine 혼합용액 안에서 "dipping-and-holding" 과정을 통하여 90 °C에서 30 분동안 ITO 전극층위에 ZnO 나노로드를 성장시켰다. 그 후 꺼내어 lift-off 공정을 통하여 ITO p-전극 층 표면 위에 ZnO 나노로드를 선택적으로 배열하였다.

성장된 샘플의 표면 분석을 위해 field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM)을 측정하였다. Current-voltage (I-V)와 light output-current (L-I) 측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1(a)은 ITO 전극 위에 ZnO 나노로드가 성장된 NR-LED 구조의 모식도이다. 그림 1(b), 1(c)는 각각 C-LED와 NR-LED의 평면 이미지이다. 그림 1(c)에서 보여진 것처럼 photolithography 패터닝에 의해 ITO 표면 위에만 ZnO 나노로드가 성장되었음을 볼 수 있다. 그림 1(d), (e)의 FE-SEM 이미지를 통해 ITO 투명전극 위에 성장된 ZnO 나노로드는 평균 길이와 직경이 각각 1 μm 와 100 nm를 가지고 균일하게 선택적으로 성장하였음을 볼 수 있다.

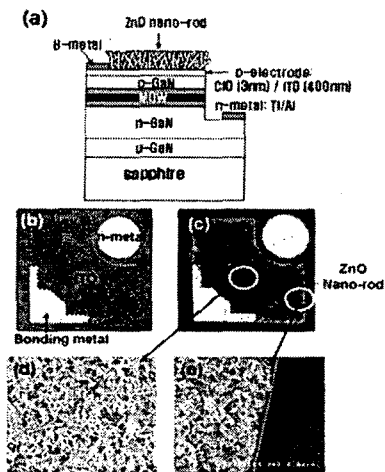


그림 1. (a) ZnO 나노로드가 배열된 GaN LED 구조 모식도, (b) C-LED의 top-view 이미지, (c) NR-LED의 top-view 이미지 (d)&(e) p-GaN의 ITO 전극위의 ZnO 나노로드의 FE-SEM 이미지.

그림 2는 위에서 제작된 두개의 LEDs의 I-V 특성을 보여준다. C-LED보다 NR-LED의 V_f 가 약간 큼을 볼 수 있다. 그러나 20 mA의 주입전류에서 C-LED와 NR-LED의 구동전압이 3.369 V와 3.373 V로 크게 차이가 나지 않음을 주목해야 한다. 100 mA 주입전류의 경우, C, NR-LED의 구동전압이 각각 4.41 V, 4.5 V 이다. 이는 NR-LED로 부터 관측된 약간 큰 V_f 는 ITO 위에 성장된 undoped ZnO nanorods가 고저항이기 때문이다. 그리고 NR-LED의 textured 표면은 측면 단면적이 줄어들어 측면저항을 증가시킨다. 그러나 ZnO 나노로드의 성장으로 V_f 가 약간 증가 할뿐 LED의 전기적 성질은 크게 떨어지지 않는 결과를 나타냈다.

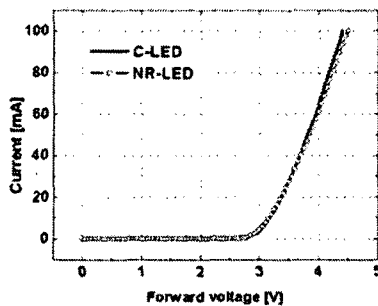


그림 2. C-LED와 NR-LED의 I-V curves.

위에서 언급한 것처럼, C-LED와 비교해서 NR-LED의 증가된 광추출율은 ZnO 나노로드 성장에 의한 NR-LED의 textured 표면 형성에 의한 결과이다. 많은 수의 나노로드 side walls과 거친 표면에서, MQW 영역에서 생성된 photon이 LED 표면에서 다중 산란 현상이 일어나고 효과적으로 소자로 부터 빠져나갈 수 있게 된다.

그림 3(a)는 20 mA와 100 mA의 주입전류에서 C-LED와 NR-LED의 electroluminescence(EL) 스펙트라를 보여준다. 두 LEDs 모두 약 20 nm의 반치폭을 가지고 EL 픽 위치가

450 nm로 크게 다르지 않다. 그러나 NR-LED의 EL 강도가 20과 100 mA에서 모두 C-LED 보다 큼을 확인 할 수 있다. 그림 3(b)는 ZnO 나노로드의 밀도에 따른 current-light output power의 결과이다. 낮은 밀도의 ZnO 나노로드에서는 20 mA와 100 mA의 주입전류에서 C-LED보다 각각 15.9%와 21.0% 더 높은 light output을 나타내었다. 높은 밀도인 경우는 20 mA와 100 mA에서 C-LED와 비교했을 때 각각 56.8%와 59.1% 더 높은 light output을 나타내었다. 이는 ZnO 나노로드가 배열된 NR-LED의 textured 표면의 광추출율 증가에 의한 결과이다.

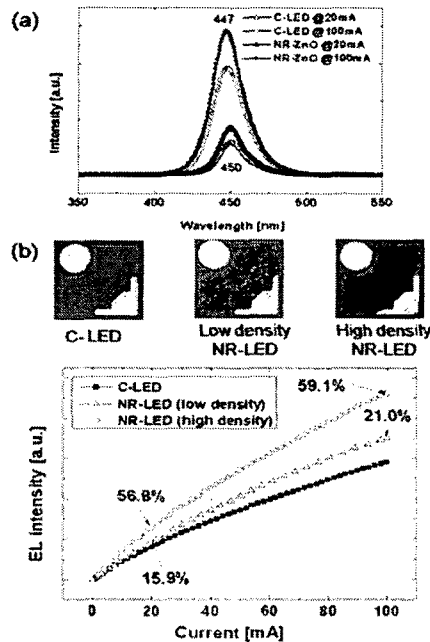


그림 3. (a) 20 mA와 100 mA에서 C-LED와 NR-LED의 EL spectra, (b) C-LED와 저밀도와 고밀도의 나노로드를 가진 NR-LED의 이미지와 전류에 따른 light output power.

4. 결론

본 연구에서는 LED p-전극의 데미지 없이 ZnO 나노로드를 성장시키기 위해 습식화학방법을 제안한다. 습식화학 방법은 낮은 온도에서 공정이 되기 때문에 p-전극에 영향을 미치지 않으며, 따라서 LED의 V_f 도 크게 증가하지 않는다.

습식화학 방법에 의해 GaN기반 LED의 ITO 전극위에 ZnO 나노로드를 90 °C에서 성장 시켰다. ZnO 나노로드가 배열된 NR-LED는 기존 C-LED에 비해 광추출율이 40% 이상 증가하였다. ZnO 나노로드 배열에 의한 광추출율의 증가는 side walls과 거친표면의 결과로 LED 표면에서 다중 photon 산란에 의한 결과이다.

참고 문헌

- [1] J. -K. Sheu, Y. S. Lu, M.-L. Lee, W. C. Lai, C. J. Kuo, and C.-J. Tun, Appl. Phys. Lett. Vol 90, p. 263511, 2007
- [2] S. J. An, J. H. Chae, G.-C. Yi, and G. H. Park, Appl. Phys. Lett. Vol 92, 121108, 2008