

## 추가 열처리 공정에 의한 GaN계 LED소자의 광학 및 전기적 특성에 대한 연구

한상현, 이재환, 송기룡, 이성남\*

경기도 시흥시 정왕동 한국산업기술대학교 나노-광공학과

III-N계 기반의 광 반도체는 직접 천이형 넓은 밴드갭 구조를 갖고 있기 때문에 자외선에서 가시광을 포함한 적외선까지 포함한 폭 넓은 발광이 가능하여 조명 및 디스플레이 관련 차세대 광원으로 많은 관심을 받고 있다. 하지만 p형 GaN의 경우, 상온에서 도펀트로 사용되는 마그네슘(Mg)이 수소(H)와 결합하여 보상 효과를 나타내기 때문에 높은 정공농도를 갖기에 어려움이 있다고 알려져 있다. 따라서, 대부분의 연구 그룹에서는 GaN계 LED 소자를 성장 후 rapid thermal annealing 공정이 요구되고 있고, 최근에는 박막 성장 후 반응로 내에서 자체적으로 열처리를 진행하고 있는 실정이다. 하지만, 열처리 조건은 LED 소자의 발광특성에 큰 영향을 주기 때문에 본 연구에서는 반응로에서 열처리가 된 LED 샘플에 대해 추가적인 열처리 공정의 유무에 따른 GaN계 LED소자의 광학적 및 전기적 특성에 대해 알아보려고 하였다. 급속유기화학증착법을 이용하여 c-면 사파이어 기판에 저온 GaN 완충층 및 2.0  $\mu\text{m}$  두께의 GaN 박막을 성장한 후, 3.0  $\mu\text{m}$  두께의 n-형 GaN에피층과 InGaN/GaN 5주기의 양자우물구조를 형성하고 0.1  $\mu\text{m}$  두께의 p형 GaN층을 성장하였다. P-형 GaN층 성장 후 온도를 내리면서 750°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 5분간 Mg 활성화를 위한 열처리를 반응로에서 in-situ로 진행하였다. 그 후 급속열처리 장비에 장입하여 650°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 5분간 추가적인 열처리를 진행하여 추가 열처리 유무에 따른 LED소자의 특성을 분석하였다. 추가적인 열처리 유무에 따른 LED소자의 레이저 여기에 의한 포토루미네선스 스펙트럼과 전계발광 스펙트럼을 조사한 바, 포토루미네선스 스펙트럼의 경우 추가적인 열처리를 진행하였을 경우, 이전보다 발광 세기가 감소함을 나타내었다. 이는 추가적인 열처리에 의해 InGaN/GaN 활성층이 손상되었기 때문이라고 추측된다. 그러나 전계발광 스펙트럼에서는 활성층이 손상되었음에도 불구하고 전계 발광세기가 3배 가량 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 20 mA 인가 시 4.2 V 에서 3.7 V로 전압이 감소하였다. 상기 결과로 미루어 볼 때 열처리에 의한 InGaN/GaN 활성층 손상에도 불구하고 광 세기가 크게 증가한 것은 급속유기화학증착장치의 in-situ 열처리에 의한 Mg가 충분히 활성화되지 못하였고, 추가적인 열처리에 의하여 p형 GaN에서 Mg-H 복합체의 분리로 인한 Mg 활성화가 더욱더 효과적으로 이루어졌기 때문이라고 추측된다.

**Keywords:** GaN, LED

## m-면 사파이어 기판을 이용한 반극성 (101) 산화아연 막대의 성장에 대한 연구

손효수, 최낙정, 박지연, 이성남\*

한국산업기술대학교, 나노광공학과, 광전재료소자연구실

산화아연은 넓은 밴드갭과 큰 엑시톤 에너지를 갖고 있어 광전자반도체 물질로 산화인듐주석의 대체물질로 유망하다. 그러나, 산화아연 박막 및 나노막대는 대부분 c-축 방향으로의 성장이 보고되고 있다. 하지만, c-축으로 성장하는 극성 산화아연은 자발분극과 압전분극을 갖으며 이는 quantum confinement Stark effect (QCSE)를 발생시킨다. 그러므로, 반극성과 무극성 산화아연의 연구가 활발히 진행 되고 있다. 더욱이, 산화아연 나노구조체는 넓은 표면적, 높은 용해도, 광범위한 적용분야 등의 이점으로 많은 연구가 이뤄지고 있다. 본 연구에서는 m-면 사파이어 기판 위에 원자층 증착법을 이용하여 비극성 산화아연의 박막을 형성 후 전기화학증착법을 이용하여 반극성 산화아연 막대를 성장하고 이에 대한 성장 메커니즘을 분석하였다. 반극성 (10-11) 산화아연 나노구조체를 성장하기 위하여 두 단계 공정을 이용하였다. 먼저 원자층 증착법을 이용하여 m-면 사파이어 기판 위에 60 nm의 산화아연 씨앗층을 195°C에서 성장 하였다. X-선 회절분석을 통하여 m-면 사파이어 위에 성장한 산화아연 씨앗층이 무극성 (10-10)으로 성장한 것을 확인하였다. 무극성 산화아연 씨앗층 위에 나노구조체를 형성하기 위하여 전기화학증착법을 이용하여 주 공정이 진행되었다. 전구체로는 질산아연헥사수화물 ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )과 헥사메틸렌테트라민을 ((CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub>)을 사용하였다. 무극성 산화아연 기판을 질산아연헥사수화물과 헥사메틸렌테트라민을 용해한 전해질에 담근 뒤 70°C에서 두시간 동안 -1.0V의 정전압을 인가하였다. SEM을 이용한 표면 분석에서 원자층 증착법을 이용해 성장한 무극성 산화아연 씨앗층 위에 산화아연 나노구조체를 성장 시, 한 방향으로 기울어진 반극성 산화아연 나노구조체가 성장하는 것이 관찰되었다. 산화아연 막대의 성장 시간에 따라 XRD를 측정할 결과, 성장 초기에는 매우 약한 31.5° (100), 34.1° (002), 36° (101) 부근의 피크가 관찰되는 반면, 성장 시간이 증가함에 따라 강한 36° 부근의 피크가 관찰되는 X-선 회절 분석 결과를 얻을 수 있었다. 이는, 성장 초기에는 여러 방향의 나노구조체가 성장하였지만 성장시간이 점차 증가함에 따라 (101) 방향으로 우선 성장되는 것을 확인하였다.

**Keywords:** ZnO, Nano, Nanorod, Polarity, Semi-polar