

질화물계 발광다이오드에서 InGaN/GaN 양자우물구조 내 GaN 보호층에 대한 연구

송기룡¹, 김지훈², 이성남¹

¹한국산업기술대학교 나노광공학과, ²국립공주대학교 신소재공학부

III계 물질 기반의 광 반도체는 직접 천이형 넓은 밴드갭 구조를 갖고 있기 때문에 적외선부터 가시광선 및 자외선까지를 포함한 폭 넓은 발광파장 조절이 가능하여 조명 및 디스플레이 관련 차세대 광원으로 많은 관심을 받고 있다. 일반적인 청색 및 녹색 발광영역의 활성층으로는 InGaN/GaN 다중양자우물구조를 사용하고 있으나, 장파장의 녹색 발광을 얻기 위해서는 인듐의 함유량이 증가하여야 한다. 하지만, 인듐의 함유량이 증가함에 따라서 InGaN/GaN 다중양자우물 구조내에서 인듐의 편석현상의 발생이 용이하게 되어 계면 특성을 저하할 뿐 아니라, 비발광 센터를 증가하여 발광 효율을 급격히 감소시키는 원인이 되고 있다. 또한, InGaN과 GaN의 큰 성장 온도의 차이에 따라 800도 부근의 저온 영역에서 성장된 InGaN층이 1,000도 이상의 고온 영역에서 GaN층이 성장시 InGaN층의 열화 현상이 급격히 발생되고 있다. 이를 억제하기 위해서 금속유기화학증착법의 성장 변수 최적화, 응력제어, 도핑 등의 편석 억제기술 및 보호층이 사용되고 있다. 본 연구에서는 인듐함유량이 증가된 녹색 InGaN/GaN 다중양자우물구조에서 InGaN 우물층 상하부에 도입된 GaN 보호층에 따라 발생하는 양자우물구조의 광학 및 결정학적 특성 분석을 통해 GaN 보호층의 역할을 분석하고자 한다. 본 연구에서는 금속유기화학증착장치를 이용하여 사파이어 기판위에 GaN 템플릿을 성장하고, n-형 GaN, InGaN/GaN 다중양자우물구조 및 p-형 층을 성장하였다. 앞선 언급하였듯이, InGaN/GaN 다중양자우물구조내에 GaN 보호층의 역할을 규명하기 위하여 샘플 A의 경우는 보호층이 전혀 없는 구조이고, 샘플 B의 경우는 InGaN 우물층의 상단부에만, 샘플 C의 경우에는 우물층 상부 및 하단부 모두에 약 2.0 nm 두께의 GaN 보호층을 형성하였다. 이 보호층의 유무에 따른 다중양자우물구조의 계면 특성을 확인하기 위한 X-선 회절을 이용하였고, 광학적 특성을 확인하고 상온 포토루미네선스법을 이용하여 녹색 발광 파장의 변화 및 발광세기를 관찰하였다. 우선적으로, 상온 포토루미네선스법을 이용하여 각 샘플의 발광특성을 확인한 바 상하부 모두에 GaN 보호층이 존재하는 샘플 C의 경우 약 510 nm 부근에서 발광이 관찰되었지만, 상단부에 GaN 보호층이 존재하는 샘플 B는 약 495 nm영역에 발광이 확인되었다. 특히, 전혀 보호층이 존재하지 않는 샘플 A의 경우 약 440 nm에서 발광하는 현상을 관찰하였다. 이는 우물층 상단부 및 하단부에 존재하는 GaN 보호층이 In의 확산을 억제하는 것으로 판단된다. 또한, 발광파장 및 세기를 확인한 바, 보호층의 존재하지 않을수록 단파장화가 발생함에도 불구하고 발광세기는 급격히 약해지는 것으로 보아 계면특성이 저하되어 비발광센터가 증가되는 것

으로 판단된다. 이를 구조적으로 확인하기 위하여 X-선 회절법을 통한 $\omega/2\theta$ 스캔의 결과는 In의 0차 피크가 GaN 보호층이 없을 경우 GaN의 피크 방향으로 이동하는 것으로 보아 GaN 보호층은 우물층 성장 후 GaN 장벽층을 성장하기 위해 온도를 증가시키는 과정에서 In의 확산되는 것으로 판단된다. 또한, 하부 GaN 보호층의 경우 GaN 장벽층 성장 후 온도를 감소시키는 과정에서 성장되므로, 우물층으로부터 In의 탈착현상이 아닌 장벽층과의 상호 확산으로 판단된다. 또한, 계면 특성을 확인하기 위해 InGaN의 X-선 위성 피크를 확인한 바 샘플 A의 경우 매우 넓고 약한 피크가 관찰된 반면, 보호층이 존재하는 샘플 B와 C의 경우 강하고 얇은 피크가 확인되었다. 이는 GaN 보호층의 도입으로 인해 계면특성이 향상되는 것으로 판단된다. 따라서, 우리는 InGaN/GaN 다중양자우물구조에서 GaN 보호층은 상부의 열화 억제 뿐만 아니라, 하부의 장벽층 및 우물층 사이의 상호확산을 억제하는 GaN 보호층의 도입을 통하여 우수한 계면 특성 및 비발광센터의 억제를 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 이는 향후 GaN계 발광다이오드의 전계 발광특성을 증가하여 우수한 발광소자를 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: GaN, LED, MOCVD, MQWs