

MOCVD 기법으로 성장한 GaN 에피층의 전자빔 조사를 통한 결함 형성 및 분석

하임경¹, 이동욱¹, 김진석¹, 김은규¹, 배성범², 이규석², 오대곤², 한영환³, 이병철³

¹한양대학교 물리학과, ²한국전자통신연구원, ³원자력 연구소 양자광학 실험실

GaN는 3.4 eV 정도의 넓은 띠 간격이 특징인 물질로 일본의 나카무라에 의해 1993년 청색 발광 소자로 개발된 이래 청색 파장의 발광 다이오드(light emitting diodes-LED), 레이저 다이오드(laser diode-LD), 자외선 감지기(UV detector) 등의 광소자 쪽으로 응용되고 있다. 최근의 청색 발광 소자 영역에 대한 연구는 ZnO 라는 저렴하면서도 들뜸알의 결합에너지(exiton binding energy)가 60 meV로 큰 장점을 이용한 새로운 물질을 개발하려는 노력과 기존의 GaN기반의 광소자에 양자우물(quantum well)이나 양자점(quantum dot) 등의 양자 구조나 어긋나기(dislocation) 및 결함 구조를 이용하여 출력 효율이나 발광 특성을 조절하려는 노력으로 진행되고 있다.

반도체 결정에서 어긋나기나 결함은 성장 조건에 의해 성장 과정에서도 발생할 수 있지만, 전자선이나 양성자 선과 같은 고에너지로 가속된 자의 인위적인 조사(irradiation)에 의해서도 생성이 가능한데, 일반적인 경우 이런 결함 상태는 반도체 소자에 있어서 운반자 이동도의 감소 및 농도 감소 등을 초래하여 안 좋은 특성으로 나타나지만, 특별히 이들을 발광소자의 재결합 중심(radiative center)으로 이용할 경우 발광 소자의 효율을 높일 수 있는 한 방법이 될 수 있다. 더하여 GaN 반도체의 경우 전자 소자로 만들었을 때 높은 전압에서 동작할 수 있고, 낮은 누설 전류(leakage current) 특성을 보여 고전압, 고전력 소자(high power device)로의 응용역시 기대된다. 익히 알려져 있듯이 스위칭 (switching) 소자 등에서 전력의 손실을 방지하려면 소수 운반자(minority carrier)의 수명(life time)을 짧게 조절하여야 하는데, 이 경우에도 적절히 생성된 결함은 소수 운반자를 포획하여 운반자의 수명을 줄여준다. 때문에, 최근 여러 연구팀에서 고에너지 입자 조사로 유도된 결함을 연구하려는 움직임이 활발하게 이루어지고 있다, 일반적으로 이런 연구들에서 반도체 내에서의 인위적인 결함준위는 전자, 양성자, 중성자, 등의 고에너지 입자 조사로 발생시킬 수 있고, 그 이후 조사된 시료를 열처리하는 등의 기술로 그 내부에 존재하는 결함의 종류와 농도를 조절하는 방법을 사용한다. 그러나 아직까지는 전자선 조사조건이나 열처리 조건 등 결함준위를 생성시키거나 없앨 수 있는 완벽한 조건은 알려지지 않았다.

본 연구에서는 유기금속화학기상증착법 (metal organic chemical vapor deposition-MOCVD) 기법으로 증착된 GaN 에피층(epi-layer)에 전자선을 조사하여 조사 전 후의 결함 상태 및 그 분포에 대해 연구하였다. MOCVD 기법으로 성장된 에피층의 두께는 1 μm 이고 운반자 농도가 $5 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 정도범위가 되도록 도핑(doping)되었다. 그 이후 1 MeV로 가속된 전자빔을 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 농도로 조사하여 결함을 생성하였다. 이렇게 처리한 시료를 금 및 알루미늄 전극으로 증착하여 쇼트키장벽 다이오드(Schottky barrier diode)구조로 만들었다. 이 구조를 전기용량(C-V) 및 깊은준위접합과도용량분광법(Deep Level Transient Spectroscopy-DLTS)을 이용하여 운반자의 공간적인 농도분포와 새롭게 고에너지 전자선에 의해 생성된 결함 상태를 분석 연구하였다. 또한 DLTS 측정 시 측정 전압에 변화를 주어 결함의 공간적인 분포 역시 조사하였다.