

MBE법에 의해 성장된 GaN 나노막대의 미세구조 연구
A Microstructural Study of GaN nanorods Grown
by Molecular Beam Epitaxy

김영현¹, 이정용¹, 이승호², 오재웅², 김영민³, 김윤중³

Department of Materials Science and Engineering, KAIST

School of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

Electron Microscopy Team, KBSI

1. 서론

넓은 밴드갭 (Wide bandgap)을 가지는 III-V 질화물반도체는 직접천이형 화합물 반도체일 뿐만 아니라, 우수한 경도, 높은 열전도성, 높은 녹는점, 그리고 다양한 이종접합 구조의 형성 등의 특성 때문에 자외선 영역에서 가시광선 전 영역의 파장에서 작동하는 광방출소자 (Light Emitting Diode, LED), 레이저다이오드 (Laser Diode, LD) 및 UV (Ultraviolet) 검출기 등의 광소자와 고온, 고출력, 고주파 전자 소자 등에 응용될 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히, GaN은 청색 발광소자로의 응용을 위하여 많은 연구가 진행되었다. 그러나 GaN의 경우, 기판과의 큰 격자부정합이나 열팽창계수의 차이 때문에 에피층을 성장시키는 과정에서 높은 밀도의 결함과 결손구조가 발생하는 것으로 보고 되어지고 있다. 이러한 결함 및 결손구조는 전자들의 움직임을 방해하거나 non-radiative recombination center로 작용하여 GaN을 이용한 소자의 전기적·광학적 특성을 저하시키게 된다.

따라서 본 연구에서는 MBE법 (분자선 에피택시, Molecular Beam Epitaxy)을 이용하여, 최근 관심이 증대하고 있는 일차원 나노구조체의 형태를 가지는 GaN 나노막대를 합성함으로써 결정성이 우수한 GaN 구조체를 합성하고, 그 미세구조에 관한 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

GaN 나노막대를 합성하기 위하여 p-type Si (111) 기판이 사용되었다. GaN 나노막대는 900 °C에서 180 분간 성장되었으며, 갈륨 (Ga) 유량에 따른 GaN 구조 변화를 관찰하기 위하여 1.0 - 20.0 × 10⁻⁷ Torr 의 갈륨 유량 범위에서 실험이 진행되었다.

성장된 GaN 구조체들의 형상과 성분을 확인하기 위하여 Phillips XL30SFEG 장비로부터 SEM (Scanning Electron Microscope) image와 EDS (Energy Dispersive X-ray

Spectroscopy) 분석 결과가 얻어졌으며, 결정구조에 관한 연구를 진행하기 위하여 Rigaku D/max-RD (12 kw) 장비를 이용하여 XRD (X-ray Diffraction) 결과가 얻어졌다. 특히, 합성된 GaN 구조체의 내부 미세구조에 관한 연구가 JEM 3010 TEM (Transmission Electron Microscope) 과 HVEM (High Voltage Electron Microscope) 장비를 이용하여 진행되었다.

3. 결과 및 고찰

갈륨 유량이 어떤 임계점 이상일 경우, GaN 구조체는 박막 형상으로 성장하였으며, 갈륨 유량이 적을 경우에는 일차원 구조의 나노막대 형상으로 성장하였다. 박막과 일차원 나노막대의 경계에는 주상정 구조를 가지는 GaN 이 관찰되었다. 일차원 나노막대의 경우 갈륨 유량이 감소함에 따라 그 직경이 감소하였다. 특히, 본 연구에서 관찰된 일차원 구조체는 upper part 와 lower part 로 구분되는 층상 구조를 가지고 있었으며, 나노막대의 단면은 육각형 형상이었다.

XRD 결과로부터 성장한 구조체가 우르짜이트 (Wurtzite) 구조를 가지는 GaN 임이 확인되었으며, 성장 방향은 $\langle 0001 \rangle$ 이고, 동일한 방향으로 나노막대가 잘 정렬되어 있음을 확인할 수 있었다.

TEM 결과로부터 성장 방향이 $\langle 0001 \rangle$ 임을 확인할 수 있었고, 이러한 결과는 XRD 결과와 잘 일치하였다. SAED (Selected Area Electron Diffraction) pattern 으로부터 GaN 이 Si 기판과 GaN $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle // Si \langle 110 \rangle$, GaN $\{0001\} // Si \{111\}$ 의 방향 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 본 실험에서 합성된 구조체 중에서 100 nm 이상의 직경을 가지는 나노막대의 고분해능 연구에 있어서 가속전압 300 kV의 JEM 3010 장비로부터 얻기 어려운 고분해능 이미지를 가속전압 1250 kV의 HVEM에서 명확하게 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 1에서 보여 지는 것처럼, 300 kV 가속전압에서 희미하게 관찰되는 lattice image 들이 1250 kV 가속전압에서는 명확한 관찰이 가능하여 내부에 존재하는 결함들을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Y.H. Kim, J.Y. Lee, S.H. Lee, J.E. Oh, H.S. Lee, Appl. Phys. A 2005, published on-line.

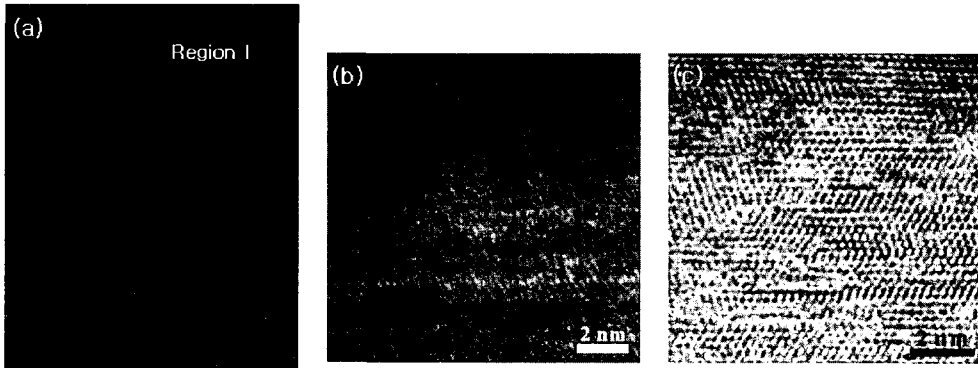


Fig. 1. (a) Bright field image of GaN nanorod. (b), (c) High resolution images taken from JEM 3010 TEM and HVEM at region I in (a), respectively.