

## 펄스초 펌프-프로브 방법을 이용한 ZnO 나노선의 전자 소멸 과정 연구

### Carrier relaxation dynamics in ZnO nanorods studied by femtosecond pump-probe technique

장동욱\*, 김지희\*, 한강전\*, 이기주\*, 권병화\*, 이규철\*

\*충남대학교 물리학과, \*\*포항공과대학교 신소재공학과

9901538@nate.com

ZnO는 II-IV족 직접형 반도체로서 상온에서 3.37 eV의 에너지 넓은 밴드갭을 가진다. GaN, ZnSe, ZnS 등 III-V족 반도체와 II-IV족 화합물 반도체의 발광에 대한 연구가 활발히 진행되면서 광대역 직접형 반도체인 ZnO의 발광다이오드(LBD, Light Emitting Diode), 레이저다이오드(LD, Laser Diode)와 같은 발광소자로의 응용 가능성이 주목받게 되었다. 비록 레이저다이오드나 발광다이오드로 GaN이 이미 유용하게 사용되어지고 있지만, ZnO는 결정 구조 및 넓은 에너지 밴드갭 등 LBD 물질로 상용화되어 있는 GaN와 비슷한 특성을 가지고 있어 GaN의 대체 물질로써 주목받고 있으며 GaN에 비해 여러 가지 중요한 장점을 가지고 있다. ZnO의 엑시톤 바인딩 에너지는 60 meV로서 상온에너지(26 meV)보다 커서 상온에서 엑시톤에 의한 발광이 가능하며 이는 같은 광대역 반도체인 GaN(21-25 meV)에 비해 상당히 높은 값이다. 또한 재료 자체가 경제적이고 습식 식각이 가능하며 열이나 화학적으로도 상당히 안정화 되어 있고 동종 기판이 존재하는 장점이 있다.<sup>(1)</sup>

매우 흥미로운 사실은 1차원의 나노구조는 3차원 구조보다 더 높은 광전자 디바이스의 응용성을 가지고 있다는 점이다. 나노구조의 사이즈가 점점 보어의 전자 궤도 반지름에 가까워짐에 따라 그 디바이스의 응용성에 결정적인 영향을 주는 밴드갭이나 carrier lifetime 같은 광학적 특성이 양자화 효과로 인해 크게 영향을 받는다.<sup>(2)</sup> 이러한 이유 때문에 최근 ZnO의 나노구조에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

이번에 수행한 실험은 극초단 펄스 레이저를 이용하여 ZnO 나노선의 carrier relaxation dynamics를 측정하였다. 실험에 사용한 샘플은 유기 금속 화학 증착법(MOCVD, metal organic chemical vapor deposition) 방식을 이용하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 기판위에 500°C에서 ZnO를 1시간동안 성장시켜 35-40 nm의 지름, 길이 약 1 μm의 ZnO 나노선이 성장된 샘플을 사용하였다.<sup>(3)</sup>

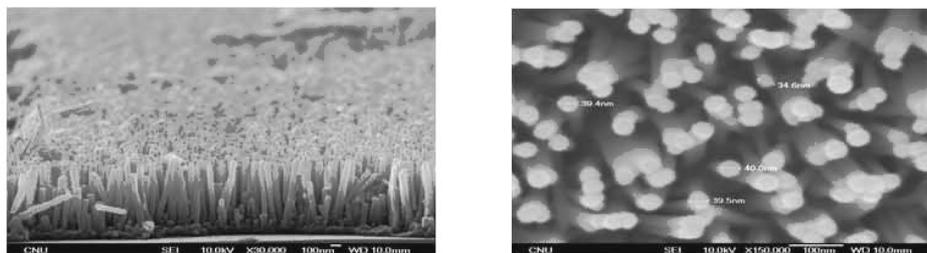


그림 1. ZnO 나노선의 FBSBM 그림

그림 1은 샘플의 표면을 장방출 주사 전자현미경(FESEM, field emission scanning electron microscope)으로 관찰한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 나노로드가 잘 성장되어 있음을 알 수 있다. PL(photoluminescence) 측정을 통해 ZnO 나노로드의 밴드갭 에너지가 3.32 eV(373 nm) 임을 알 수 있었다.

우리는 펄스 프로브-프로브 방법을 이용하여 ZnO 나노선에 여기된 전자의 소멸 과정을 연구하였다. 극초단 펄스 레이저는 모드잠금된 Ti:sapphire 레이저를 이용하였다. 모드잠금된 Ti:sapphire 레이저는 파장가변영역이 700 nm ~ 870 nm 이고 스펙트럼 펄스폭은 90 fs, repetition rate 는 90 MHz 였다.

넓은 밴드갭을 가지고 있는 ZnO 나노선에서 free carrier relaxation dynamics 를 측정하기 위해 모드잠금된 Ti:sapphire 레이저에서 나오는 700nm 파장영역의 빔을 BBO crystal 에 투과시켜 ZnO 나노선의 밴드갭에너지(3.32 eV) 보다 큰 350 nm(3.54 eV) 파장영역의 빔을 만들어 실험에 사용하였다.

모드잠금된 Ti:sapphire 레이저의 파장가변영역 중 BBO crystal 로 인해 에너지가 두 배가 되었을 때 ZnO 나노선의 밴드갭 근처로 될 파장(720 nm~760 nm)만 선택해서 실험을 수행하여, carrier dynamics 의 파장에 따른 변화를 측정하였다.

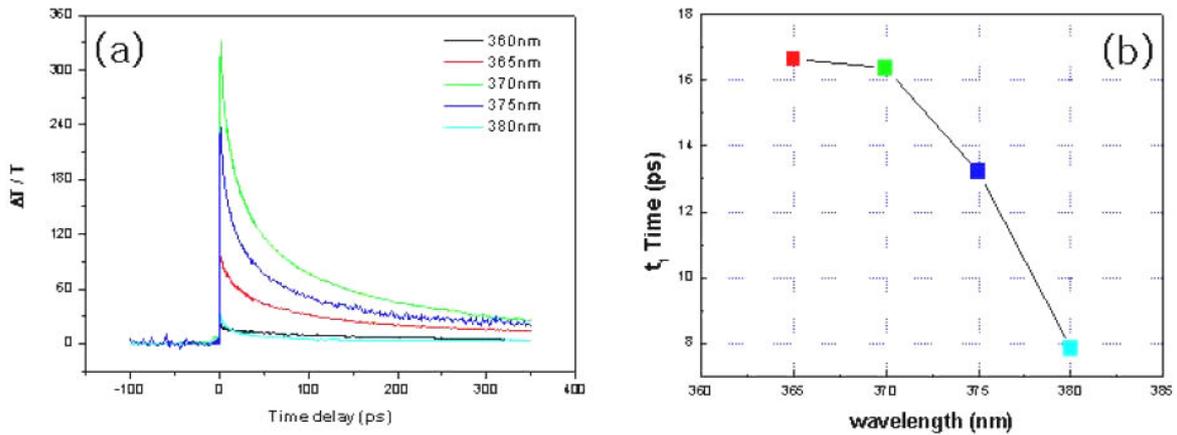


그림 2. (a) 파장에 따른 transmission signal; (b) 각 파장별 decay time

그림 2(a)는 파장별에 따른 시간 분해 투과율 변화 펄스-프로브 신호를 보여준다. 370 nm에서 투과율 변화가 최대인데, 이 에너지는 사용된 ZnO 나노선의 밴드갭과 잘 일치하는 값이다. 각 파장에서의 신호는 이차 지수 함수로 잘 근사되는데, 그림 2(b)는 빛의 파장에 따른 두 가지 시간 중 빠른 과정의 시간을 나타낸다. 실험 결과로부터 상온에서 ZnO 나노선에 여기된 전자는 13 피코초 내외의 빠른 전이 과정과 90 피코초 내외의 느린 전이 과정에 의해 소멸됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hong Seong Kang, Jeong Seok Kang, Jae Won Kim, Sang Yeol Lee, J. Appl. Phys vol. 95, No. 2, p.1246 (2004).
2. Sangsu Hong, Taiha Joo, Won Il Park, Yong Ho Jun, and Gyu-Chul Yi, Appl. Phys. Lett. 83, 20 (2003).
3. S. W. Jung, W. I. Park, H. D. Cheong, G. C. Yi, H. M. Jang, S. Hong, and T. Joo, Appl. Phys. Lett. 80, 1924 (2002).