

InGaN/GaN 양자 우물에서의 다중 성분 발광 소멸 현상 연구

Multiple component photoluminescence decay in InGaN/GaN quantum wells

차옥환, 정문석, 변지수, 고도경, 이종민, 서은경¹⁾

광주과학기술원 고등광기술연구소, ¹⁾전북대학교 반도체과학기술학과/반도체물성연구소
okhcha@apri.gist.ac.kr

InGaN/GaN quantum-well(QW) 구조는 청색 LED, LD 등의 광전소자 응용에 많이 사용되어지고 있다. 그러나 InN 와 GaN 사이의 격자 불일치 현상이 상당히 크기 때문에 InGaN 를 성장할 때 보통 indium-rich aggregation 이나 phase separation 이 발생하여 quantum-dot like nanometer-scale cluster 구조가 형성된다. 이러한 cluster 구조는 potential fluctuation 과 localized energy state 를 형성하여 운반자들을 trapping 하게 된다.⁽¹⁻³⁾ 이러한 현상들 때문에 cluster 구조는 efficient emission 의 중요한 역할을 하는데, 일반적으로 barrier 에 silicon 을 doping 한 QW 구조에서의 cluster 는 high emission efficiency 를 나타낸다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 time-resolved photoluminescence(TRPL) 측정을 함으로써 InGaN/GaN QW 시료에서의 multiple-component decay 현상을 분석하여 carrier transport mechanism 을 알아보았다.

실험에 사용되어진 시료는 LPMOCVD 에 의해서 성장된 3 주기의 InGaN/GaN multiple QW 이다. 이때의 InGaN 와 GaN 의 성장온도는 각각 795 °C 와 1140 °C 이었다. 또한 TRPL 측정을 위해서는 Hamamatsu MCP-PMT 를 사용하여 detection 하였는데 그 전체적인 temporal response 는 약 100 ps 를 가지며, excitation 을 위하여 Nd:YLF pumped Dye laser 를 사용하여 5 ps pulse width 와 80 MHz pulse repetition frequency 를 가진 optical pulse 를 생성하였다. 또한 BBO crystal 을 사용하여 생성한 frequency-doubled optical pulse 의 excitation photon wavelength 는 300 nm 였고, power 는 18 μ W 였다.

Fig. 1. 은 13 K 와 200 K 온도에서의 PL 스펙트럼을 나타낸 것이다. 온도 변화에 따라 그들의 peak 위치는 약 63 meV 정도의 차이를 보였다. 13 K 온도에서 dominant 하게 나타나는 exciton recombination 이 온도가 올라가면서 사라지게 되는 것이다. Fig. 2. 는 온도에 따른 TRPL 스펙트럼을 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 스펙트럼은 fast-decay 영역과 extended slow-decay 영역의 두 가지 성분으로 나누어진다. fast-decay 성분은 weaker localized state 에서 stronger localized state 로 carrier 가 capturing 되어지는 과정에 의해서 나타나는 것이라 여겨진다. 이러한 stronger localized state 는 QW 내에 In-rich aggregation 으로 인한 quantum-dot like nanometer-scale cluster 구조에 의하여 나타난다. 또한 extended slow-decay 성분은 stronger localized state 에 capturing 되어진 carrier 들이 서서히 recombination 되어지는 과정에 의해서 나타나는 것으로 보여진다.⁽⁵⁾ Fig. 3. 은 TRPL 의 측정 결과를 double-exponential 함수를 사용해서 decay-time 을 구하여 온도에 따라 나타낸 것이다. fast-decay time 은 전반적으로 온도에 따라 감소하며 decay-time range 는 0.95~1.5 ns 이다. 이는 여기 되었던 carrier 들이 cluster 근처에 형성된 localized 영역의 quasi-equilibrium condition 내로 relaxation 되기 때문에 나타나는 것이며, 온도가 증가할수록 thermal distribution 된 carrier 들에 의해 더 빠르게 진행되어진다. 또한 extended slow-decay

time 은 온도에 따라 증가하다가 100 K 에서 peak 를 이룬다. 그 decay-time range 는 4.4~8.4 ns 이다.⁽⁵⁾

요약해보면, InGaN/GaN multiple QW sample 들의 온도 변화 TRPL 측정을 함으로써 carrier transport mechanism 을 알아보았다. 측정 결과는 fast-decay 영역과 extended slow-decay 영역 의 두 가지 PL intensity decay 성분으로 나누어지는데, 이는 weaker localized state 에서 stronger localized state 로의 carrier transport 결과에 의해 나타나는 것이라 여겨진다. 그리고 이러한 carrier transport 과정은 어느 정도의 thermal energy 에 의해 도움을 받게 되어진다.

참고문헌

1. S. W. Feng, Y. C. Cheng, H. C. Wang, C. C. Yang, C. H. Shen, L. C. Chen, K. J. Ma, J. Y. Lin, and H. X. Jiang, Appl. Phys. Lett. 83, 3906(2003).
2. Y. Narukawa, Y. Kawakami, Sz. Fujita, Sg. Fujita, and S. Nakamura, Phys. Rev. B 55, R1938(1997).
3. T. Hino, S. Tomiya, T. Miyajima, K. Yanashima, S. Hashimoto, and M. Ikeda, Appl. Phys. Lett. 76, 3421(2000).
4. Y. C. Cheng, C. H. Tseng, C. Hsu, K. J. Ma, S. W. Feng, E. C. Lin, C. C. Yang, and J. I. Chyi, J. Electron Mater. 32, 375(2003).
5. H. C. Wang, S. C. Lin, Y. C. Lu, Y. C. Cheng, C. C. Yang, and K. J. Ma, Appl. Phys. Lett. 85, 1371(2004).

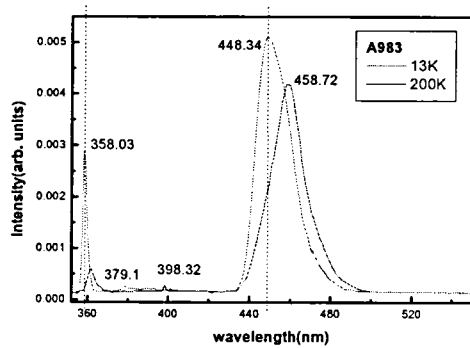


Fig. 1. The PL spectrum of the sample at 13 K and 200 K temperature.

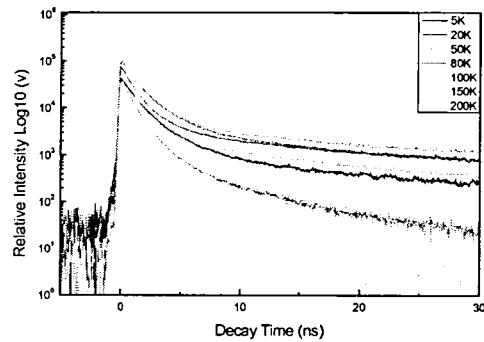


Fig. 2. Temperature-dependent of TRPL spectrum

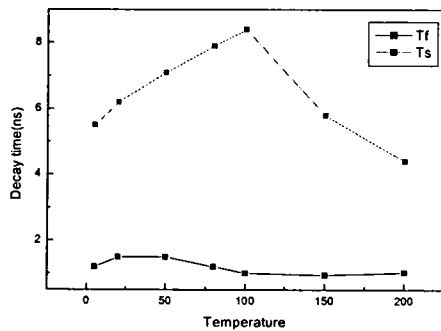


Fig. 3. Temperature-dependent of decay-time

T
P