

GaN LED에서 tunneling과 piezoelectric potential에 의한 carrier lifetime 연구

Carrier lifetime study in GaN-based LEDs: the influence of tunneling and piezoelectric potential

조 영달,* 오 은순,** 김 대식*

*서울대학교 물리학과, **서울대학교 BK21 물리 연구단

esoh@phya.snu.ac.kr

GaN는 wurtzite structure를 갖는 wide bandgap III-V족 반도체로서, 청색 반도체 laser diode (LD), light emitting diode (LED)등으로 응용되는 물질이다. InGaN quantum well은 GaN계의 청색 LD, LED 구조에서 활성층으로 사용되기 때문에 이에 대한 광학적 연구가 활발하다. InGaN는 GaN위에 성장하면 strain에 의해 piezoelectric 효과가 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 이러한 piezoelectric potential에 의해 외부에서 voltage가 가해지지 않은 상황에서도 InGaN quantum well내의 electron, hole의 wave function이 비대칭 potential의 영향을 받게된다. 여기에 reverse bias를 가하게 되면 quantum well의 비대칭 potential이 점차로 줄어들게 되어 electron과 hole의 wave-function의 overlap은 커지게 된다. 또한, reverse bias의 증가에 따라 barrier의 potential도 변화하게 되어 tunneling 효과가 증가하게된다. 본 실험에서는 voltage에 따른 lifetime의 변화로부터, piezoelectric potential과 tunneling에 의한 영향을 연구하였다.

실험에 사용된 GaN LED 구조는, MOCVD (metal-organic chemical vapor deposition) 방식으로 sapphire 기판 위에 GaN:Si layer를 3-4 micron 성장한 후, InGaN/GaN 5-period quantum well을 성장하고, 그 위에 AlGaIn:Mg을 30 nm 성장하고, 다시 GaN:Mg layer를 0.2 micron 성장시킨 구조이다. well과 barrier의 두께는 각각 2 nm, 10 nm 정도이다. 이러한 LED 구조에 voltage를 걸면서 cw, time-resolved photoluminescence (PL)와 femto-second pulse를 사용한 pump-probe 실험을 하였다.

그림 1(a)는 +2 V에서 -22 V까지 voltage 변화에 따른 cw PL의 변화를 보여준다. reverse voltage의 증가에 따라서 PL intensity는 감소하면서 blueshift하다가 -18 V 이상에서는 약간 redshift하는 것이 관찰되었다. PL peak의 blueshift는 quantum well에 걸려있는 piezoelectric potential이 reverse voltage에 의해 상쇄되는 데 기인한다. reverse voltage가 -18 V 이상에서 PL peak이 redshift하는 것은, barrier potential이 변화하여 quantum well의 confinement energy가 줄어드는 효과로 생각된다. 그림 1(b)는 이러한 PL peak energy의 변화를 voltage에 따라 plot한 것이다.

그림 2는 PL의 lifetime이 voltage의 변화에 따라 변화하는 것을 보여준다. reverse voltage의 증가에 따라서 decay time은 급격히 줄어들게 되며, 이는 barrier potential의 변화에 의해 tunneling이 쉽게 일어나기 때문이다. 그림 1(a)에서 reverse voltage의 증가에 따라서 PL intensity가 감소하는 것은 이처럼 electron과 hole이 결합하지 않고 tunneling이 쉽게 일어나는 것으로 설명할 수 있다.

reverse bias가 -20 V 이상으로 증가하면 carrier의 lifetime이 time-resolved PL 실험의 time resolution (10 ps) 이내로 감소하게된다. 이 경우에는 그림 3에서 보는 것처럼 pump-probe 방식의 반사를 변화로부터 carrier의 lifetime을 측정하였다. electron과 hole의 wave-function을 variational method로 구하여, voltage에 따른 PL peak energy와 lifetime의 변화를 이론적으로 설명하고, piezoelectric field를 결정할 수 있었다.

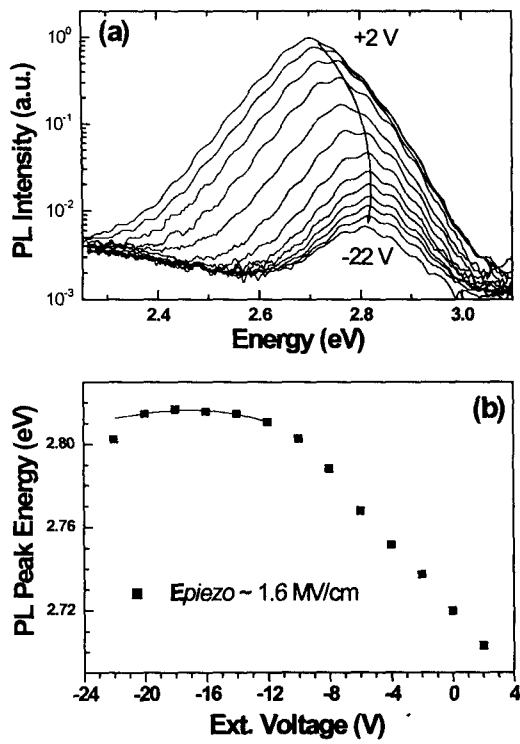


그림 1

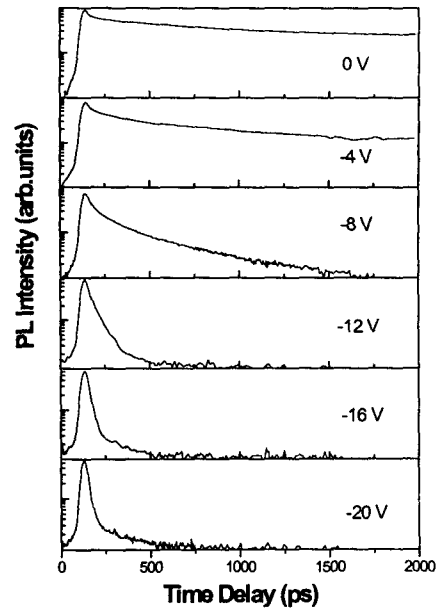


그림 2

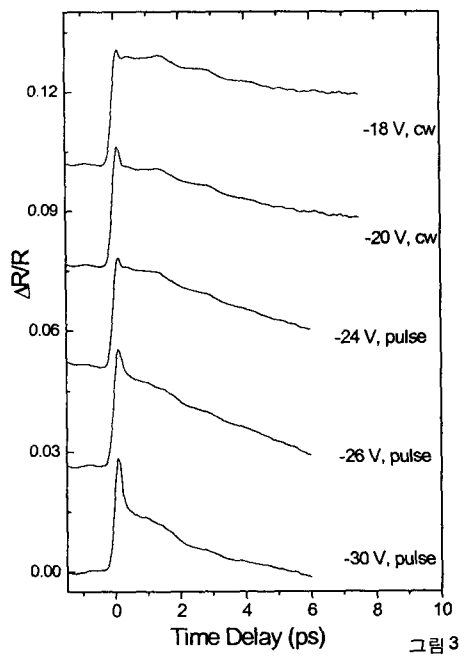


그림 3