

Te Cluster 제어에 의한 청~녹색 발광다이오드의 개발

이홍찬[†], 이상태^{††}, 김윤식^{†††}

Development of Blue~Green LEDs by Controlling Te Cluster

Hong-Chan Lee[†], Sang-Tae Lee^{††} and Yoon-Sik Kim^{†††}

Abstract : Optical characteristics of excitonic blue and green emission of Te-doped ZnSSe:Te epitaxial layers, grown by molecular beam epitaxy, were investigated by photoluminescence (PL) measurements. The Te-doped ternary specimen shows strong blue or green emission (at 300K) which is assigned to Te_1 or Te_n ($n \geq 2$) cluster cluster bound exciton, respectively. Bright green and blue light emitting diodes (LEDs) have been developed using ZnSSe:Te system as an active layer. The green LEDs exhibit a fairly long device lifetime (>2000 h) when operated at 3 A/cm² under CW condition at room temperature.

Key words : Light Emitting Diode(발광다이오드), ZnSSe:Te, Blue(청색), Green(녹색)

1. 서 론

가시광 발광다이오드(LED: Light Emitting Diode)는, 그 용도에 있어서 최근에 급속히 사용이 증가하는 교통 신호등, 휴대폰 백라이트(back light), 자동차 계기판 및 정지램프, 대면적 full-color화 관벨, 바이오 테크놀로지, 의료용 기기 등에 이용되고 있다. 또한, 백열전구 및 형광램프 대체용으로 일반조명에 응용하고자하는 움직임이 최근 확산되고 있다. LED는 내구성, 반영구적인 수명성(약 5만시간 이상), 빠른 응답성, 경량 소형화 등의 장점과 거대한 시장성 및 에너지 절약의 관점(매우 적은 소비전력, 전구의 1/10정도)에서도 고효율 LED의 개발에 대한 기대가 크다^[1].

본 논문에서는, ZnSSe:Te 박막의 기초적인 광학적 특성, 그리고 LED의 고효율화 및 장수명화에 관한 연구결과를 소개하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 시료 제작

MBE(Molecular Beam Epitaxy) 장치를 이용하여 반질연(S.I.) 또는 n^+ -GaAs 기판 위에 $ZnS_xSe_{1-x}Te_x$ ($x=0.04-7.4$, S: ~11%) 박막(thin film) 및 LED를 성장·제작하였다. 사용한 원료로는 Zn(6N), Se(6N), ZnS(6N), Te(6N), Mg(6N), ZnTe(6N)이고, n형 dopant로는 $ZnCl_2$, p형 dopant로는 radio-frequency (RF) plasma source에 의한 active nitrogen이 각각 사용되었다. 각 시료의 성장온도($T_{sub.}$)는 230°C로 하였다.

2.2 평가 방법

박막형 시료의 광학적 특성(optical property)을 평가하기 위하여 PL(photoluminescence) 및 PLE(PL-excitation) 측정을 실시하였다. 결정성 평가를 위해 2결정 X선 회절(double crystal X-ray diffraction: DCXRD) 측정과, 각 샘플의 원소성분의 분석을 위해 EPMA(electron probe micro analysis) 장비를 사용하였다.

LED의 특성을 고찰하기 위해 EL(electroluminescence), $I-V$ (current-voltage) 특성, $C-V$ (capacitance-voltage) 특성, $I-L$ (current- optical output power), aging 시험 및 DLTS(deep level transient spectroscopy) 등을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 LED 제작

ZnSSe:Te를 활성층(active layer)으로 도입한 ZnSSe:Te/ZnMgSSe double-hetero(DH) 구조의 LED를 MBE 장치를 이용하여 성장·제작하였다. n^+ -GaAs (100) 기판 상에 n^+ -ZnSe를 성장시킨 후, n형/p형-ZnMgSSe cladding layer 간에 ZnSSe:Te를 도입·성장시켰다. 전극부에는 ohmic contact특성 뿐만 아니라 고효율의 LED를 얻기 위한 매우 중요한 초격자 전극(superlattice electrode: SLE), 즉 p-ZnSe/p-ZnTe multiple quantum well (MQW) layer를 도입하였다. 이 SLE 구조는 21Å ZnSe barrier로 분리된, 3, 6, 9, 12, 15Å 두께의 ZnTe를 성장시켰다. LED의 p측표면전극으로는 Au 전극, n측은 In 또는 Au-Ge 을 사용하였다.(그림 1)

Au electrode	
p^+ -ZnTe	300 Å
SLE p-ZnSe/p-ZnTe MQW	
p -ZnSe	300 Å
p -ZnMgSSe	0.2 μ m Mg:5 %, S:10 %
i-ZnSSe:Te active layer	
n -ZnMgSSe	0.5 μ m Mg:5 %, S:10 %
n^+ -ZnSe	120 Å
n^+-GaAs substrate	
In electrode	

Fig. 1 Schematic structure of ZnSSe:Te-based DH LED grown by MBE.

3.2 LED 발광 및 수명 특성

그림 2는 제작된 LED의 실온에서 EL 스펙트럼을 나타

[†] 이홍찬(한국해양대학교 선박전자기계공학과), E-mail: leehc@bada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4259

^{††} 이상태, 한국해양대학교 선박전자기계공학과

^{†††} 김윤식, 한국해양대학교 전기전자공학과

내고 있다. Te-doping량의 제어에 의하여 청색, 청-녹색 및 녹색 LED의 제작에 성공하였다. Active layer에 도입된 ZnSSe:Te layer에 있어, 각 LED의 Te 및 S 성분은 다음과 같다. (a) 청색 (462 nm) LED는 Te: ~0.5 %, S: ~6 %이고 Te_1 속박여기자에 의한 발광이 지배적이며, (b) 청-녹색 (500 nm) LED는 Te: 2-3 %, S: ~11 %이고, (c) 녹색 (525-540 nm) LED는 Te: 4-5 %, S: ~11 %이다. 청-녹색 및 녹색 LED는 Te_n cluster 발광특성이 지배적이다.

각 LED의 I-V curve 특성은, 실온 및 암상태(dark condition)에서, turn-on 전압이 약 2.1V를 나타내었다. 이 전압은 시판되고 있는 InGaN-based LEDs (>3.2 V)에 비해서 대단히 적다. 그 이유로는 ZnSe/ZnTe MQW SLE 구조의 최적화 설계에 따른 ohmic contact의 형성된 결과로 생각된다. 또한, external quantum efficiency(η_{ex})는 전류 20 mA [전류밀도(J)= 8 A/cm²에 상당]에서 $\eta_{ex} \geq 0.6$ %를 나타냈다^[2]. 이는 bare LED chip상태임에도 불구하고 효율이 높은 수치를 의미한다.

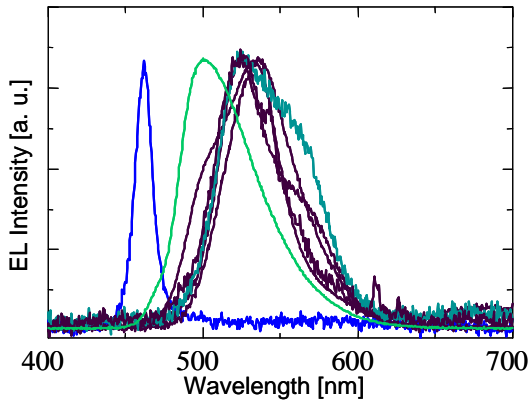


Fig. 2 Electroluminescence (EL) spectra of ZnSSe:Te-based DH-LEDs grown by MBE.

ZnSSe:Te계 발광다이오드의 발광(radiative carrier recombination process) 특성을 고찰하기 위해 온도 100 ~ 300 K 영역에서 EL 실험을 실시하였다. 그림 3은 대표적으로 활성층(active layer)의 Te 성분이 0.4 및 4.2%인 LED의 EL 온도의존성을 나타내고 있다.

먼저, Te=4.2%인 녹색 LED(그림3의 a)는 온도 100 K에서 peak energy(2.45 eV)는 Te_n cluster에 의한 발광이라 사료된다. 이 발광의 센터역할을 하는 Te_n cluster는 수백 meV이상의 binding energy를 갖고 있기 때문에, 실온(300 K)에서도 강한 녹색 (2.48 eV) 발광특성을 나타낸다.

다음으로, Te=0.4%인 청색 LED(그림3의 b)의 발광 메커니즘을 온도변화에 따라 3개 영역으로 분류하여 설명할 수가 있다.

(i) $10 K < T < 120 K$ 영역에서는 청-녹색 발광을 나타낸다. 발광 origin은 Te_n cluster에 의한 발광이 지배적임을 알 수 있다.

(ii) $120 < T < 200 K$ 영역은 청-녹색 및 청색 발광이 공존한다. Te_n cluster에 속박된 여기자는, 온도 상승에 따른 열해리(thermal dissociation)작용에 의해 여기자의 일부가 Te_1 state로 이동하여 청색발광이

관측된다.

(iii) $200 < T < 300 K$ 의 고온영역에서는 청색 발광만 존재한다. 이것은 여기자의 열해리작용이 더욱 진행되어 Te_1 state로부터 청색발광이 지배적이다.

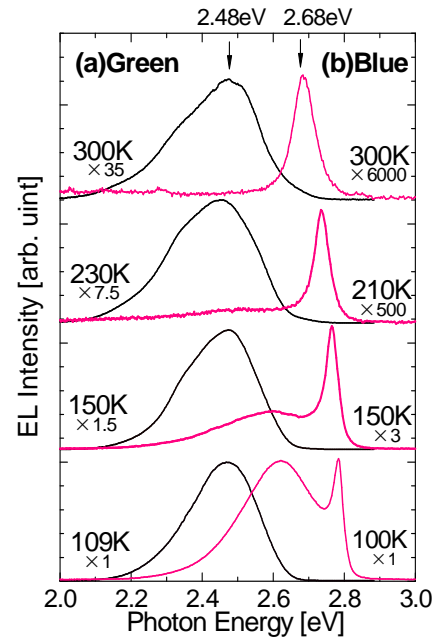


Fig. 3 Temperature dependent EL spectra of green and blue emission ZnSSe:Te-based LEDs.

LED 발광소자의 내구성을 살펴보기 위해 실온에서 aging 시험을 실시하였다. 소자수명은 2000시간 이상 (at $J=3 A/cm^2$)의 장수명의 특성을 나타내었으며, 고전류밀도 ($J=15 A/cm^2$) 조건에서도 400시간 이상을 나타내었다. 이처럼 ZnSSe:Te계 녹색 LED는 다수의 거시적 결함을 포함하고 있음에도 불구하고 장수명 특성을 띄고 있는데, 이유로는 Te-doping 의한 "lattice-hardening effect"로 생각된다^[3].

4. 결론

본 연구에서는 MBE장치를 이용하여 ZnSSe:Te 박막 및 LED를 성장/제작한 후, 각 측정실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

결정성의 향상과 Te 성분 제어에 의해 실온에서 청색 (462 nm)부터 녹색(535 nm)까지 발광하는 LED의 제작에 성공하였다.

녹색 LED의 소자수명은 2000시간 이상 (at $J=3 A/cm^2$, RT)을 나타냈다. 이것은 Te doping에 의한 hardening effect의 영향으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S. Watanabe, J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 86, No. 1, pp. 20-23, 2002
- [2] H. C. Lee *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 1359-1364, 2002
- [3] K. Maruyama *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, No. 12A, pp. 6636-6639, 1999