

## 집적 다파장 레이저를 위해 P<sup>+</sup> 이온 주입에 의한 양자우물 혼합에 관한 연구

### Study on Quantum Well Intermixing induced by P<sup>+</sup> ion implantation for Integrated Multiple-Wavelength Lasers

최경선, 박종국, \*이종한, \*신상원, \*송중환, 전영민, 김선호, \*\*박진우, 변영태

한국과학기술연구원 광기술연구센터,

\*한국과학기술연구원 특성분석센터, \*\*고려대학교 전자컴퓨터공학과

e-mail 주소: byt427@kist.re.kr

다중 광전 소자의 단일 집적(monolithic integration) 기법으로 만들어진 광집적회로 (photonic integrated circuit; PIC)들은 차세대 광 네트워크의 핵심기술 중 하나다. 레이저, 광변조기, 그리고 수동 도파로와 같은 소자들의 단일 집적은 여러 개의 밴드갭을 갖는 영역들이 동일 칩 상에 만들어져야 한다. 지금까지 PIC를 위해 개발되어온 대표적인 방법들은 butt-joint 재성장 기법, 선택영역 성장 (SAG) 방법, offset QW 활성영역의 이용 방법, 그리고 양자우물 혼합 방법 (quantum well intermixing; QWI) 등이 있다. 이 중에서 QWI은 성장방향의 수직인 단일 웨이퍼 상에서 다중 밴드 끝(band edge)을 얻을 수 있기 때문에 인기 있고 간단한 방법이다<sup>[1-3]</sup>.

많은 종류의 광전소자들에 필수적인 선택적인 혼합 (selective intermixing)을 얻기 위해서 지금까지 수년간 발전되어 온 대표적인 기술들에는 impurity-induced disordering (IID), impurity-free vacancy-enhanced disordering (IFVD), photoabsorption-induced disordering (PAID), 그리고 ion implantation for vacancy-induced disordering이 있다. 이 중에서 implant-enhanced interdiffusion 기법은 이온이 주입되는 동안에 생성된 point defect들이 열처리 과정에서 QW 영역으로 확산되어 양자우물 혼합이 발생한다. 이 방법은 공간 분해능이 아주 좋고 열처리 시간 (anneal time), 열처리 온도, 그리고 이온 주입량 (implant dose)을 이용하여 잘 조절될 수 있다.

본 논문에서는 implant-enhanced interdiffusion에 의한 QWI 공정기술에 관한 연구 결과들이 설명된다. 특히, TRIM (Transport of Ions in Matter) 시뮬레이터를 이용하여 phosphorous 이온의 주입 깊이와 vacancy 분포가 1 MeV 주입에너지에서 전산 모사되었고, 이 결과를 근거로하여 인 이온이  $5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>의 주입량으로 주입되었다.

그림 1은 집적광소자인 3파장 레이저 다이오드의 개념도이다. 현재 이런 구조를 만들기 위해서 사용되는 SAG와 식각후 재성장하는 기법들은 다른 밴드갭을 갖는 소자를 만들기 위해 여러 번의 에피성장 과정이 필요하므로 고비용이고 작업량이 제한된다. 매력적인 대안인 QWI 방법은 QW 경계에서 inter-diffusion을 제어함으로써 우물 모양이 요철이 줄어들고 파장이 단파장으로 이동된다. 이 때 이용되는 에피박막 구조는 이미 자세하게 발표되었다<sup>[4]</sup>.

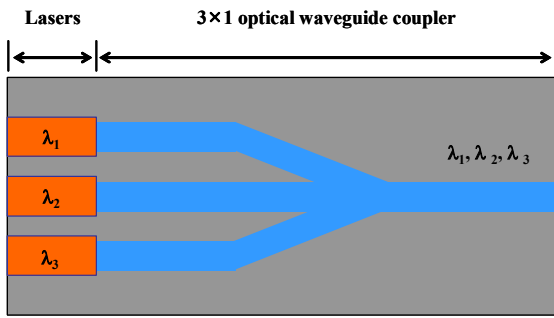


그림 1. 3파장 레이저 집적광소자인 개념도

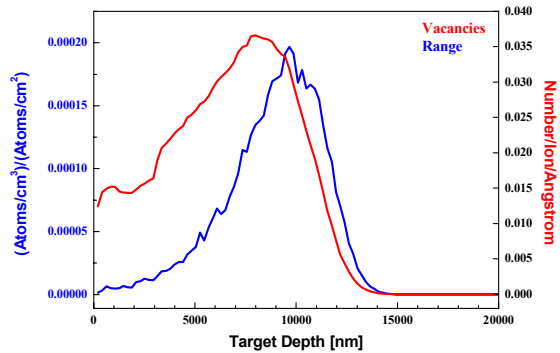
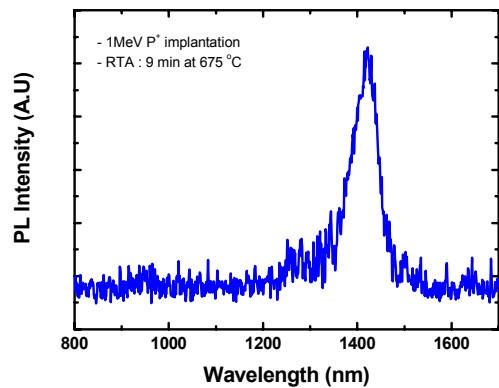


그림 2. 에피박막 구조와 골절률 분포

그림 2는 SRIM 전산모사를 이용하여 계산된 이온주입 깊이와 이온주입 과정에서 발생하는 vacancy 분포를 보여준다. 이 때 사용된 이온주입에너지는 1 MeV 이다. 에피박막 표면으로부터 QW의 위쪽 경계면까지의 거리가 1500 nm이다. 따라서 주입된 이온들과 vacancy들은 모두 QW에서 떨어져 있음을 알 수 있다.

그림 3은 1MeV의 주입에너지를 이용하여 인(P) 이온이  $5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>으로 주입된 시료에서 측정된 PL 스펙트럼이다. 이온이 주입되는 과정에서 시료의 온도는 200 °C로 유지되고 채널링 효과를 제거하기 위해 7°로 주입되었다. 한편 열처리 과정에서 인이 방출되는 것을 방지하기 위해 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 필름이 PECVD를 이용하여 증착되었다. 열처리 공정은 675°C에서 1분부터 12분까지 수행되었으며 100 nm 이상의 밴드갭 이동을 얻기 위해서는 9분 이상 열처리를 하여야 한다. As-grown 시료의 밴드갭 파장이 1527 nm



이기 때문에 그림 3은 밴드갭 파장의 이동은 108 nm이다. 그림 3 P<sup>+</sup> 이온주입에 의한 PL 스펙트럼

결론적으로 SRIM으로부터 예측된 이온 주입 깊이로 인(P)이온이 1 MeV 에너지로 주입되었다. 이 시료는 675°C에서 약 110 nm의 밴드갭 파장의 변화를 보여준다. 이는 시료의 표면에서 QW의 위쪽 경계면까지의 길이가 1500 nm이기 때문에 675°C의 열처리 온도에서 vacancy의 확산속도가 느리기 때문으로 추정된다.

### 참고문헌

[1] S. Charbonneau, et al., IEEE. J. Sel. Topics Quantum Electron. 4(4), 772(1998).  
 [2] E. Skogen, et al., IEEE. J. Sel. Topics Quantum Electron. 9(5), 1183(2003).  
 [3] A. Ramdane, et al., IEEE Photon. Technol. Lett. 7(9), 1016(1995)  
 [4] Young Tae Byun, et al., Photonics Conference 2005, Chungmu Marina Resort, p.412-413(2005)