

Quantum Well Intermixing을 이용하여 집적된 3 파장 레이저 다이오드 어레이의 설계

Design of Monolithically Integrated 3-Wavelength Laser Diode Array Using Quantum Well Intermixing

김수현^(1,2), 변영태⁽¹⁾, 김선호⁽¹⁾, 정영철⁽²⁾

⁽¹⁾한국과학기술연구원 광기술센터, ⁽²⁾광운대학교 전자통신공학과
byt427@kist.re.kr

최근의 광통신 소자는 한 소자 내에 다양한 소자를 집적하는 PIC(Photonic Integrated Circuit) 형태로 발전되고 있다. PIC 형태의 소자를 제작하기 위해서는 다양한 에너지 밴드갭을 가지는 물질을 한 기판에 구성해야 한다. 이러한 구성을 얻기 위한 대표적인 방법으로 재성장(Regrowth)과 식각을 반복하는 Butt Coupling 구조와 Offset Quantum Well 구조가 있으며^(1,2), 이 외에 적절히 SiO₂ 패틴을 기판에 형성한 후 에피를 성장시켜 공간적으로 에너지 밴드갭이 다르게 성장시키는 Selective Area Growth 기술이 있다⁽³⁾. 상기와 같은 방법은 결정의 재성장을 기반으로 하는 기술이기 때문에 제작하기 어려운 단점이 있다. 성장된 에피 구조에 이온을 조사시켜 에너지 밴드갭을 변화시키는 Quantum Well Intermixing(QWI) 기술은 한 소자 내에 다양한 에너지 밴드갭 구성을 쉽게 할 수 있기 때문에 PIC 형태의 소자를 제작할 경우 다른 기술에 비해 많은 장점을 가진다⁽⁴⁾.

본 논문은 BPM(Beam Propagation Methode)과 FDTD(Finite Difference Time Domain) 모델을 이용하여 QWI 기술로 제작될 어레이 형태의 레이저 다이오드의 구조 설계에 대한 것이다. 소자의 구조는 크게 능동 영역과 수동 도파로 영역으로 나누어진다. 능동 영역은 이온 주입을 통한 QWI로 중심파장이 변화되고, 외부에 인가되는 전류에 의해 서로 다른 파장으로 발전하는 Fabry-Perot 레이저 다이오드로 구성된다. 이온의 주입 깊이를 유전체 박막의 두께로 조절하여 각각의 레이저의 발전파장을 변화시켜 레이저 다이오드 어레이가 구성된다. 그리고 수동 도파로 영역은 이온 주입 없이 유전체 박막과 열처리를 통해 Multi-Quantum Well의 중심파장을 변화시켜 구성되고, 변화된 파장은 능동영역의 파장보다 짧은 파장이 되도록 하여 능동영역에서 생성된 광파의 흡수손실이 최소가 되도록 하였다. 또한 도파로는 3개의 레이저 다이오드에서 생성된 광파가 하나의 도파로에 결합될 수 있는 구조로 구성되었다. 그림 1과 2에 소자의 구성과 에피구조가 개략적으로 도시되었다.

Fabry-Perot 레이저 다이오드로서 동작하기 위해서는 레이저 다이오드와 수동 도파로 사이에 깊이 식각된 Trench가 도입됨으로서 레이저 다이오드의 거울면이 형성되어야 한다. FDTD 모델의 전산모사를 통해 Trench의 식각 깊이에 대한 반사계수(Power Reflectance) 및 수동 도파로의 결합효율(Coupling efficiency)이 계산 되었고, 그 결과는 그림 3에 있다. 일반적인 Fabry-Perot LD를 구성하기 위한 반사계수 값을 갖기 위해서는 Trench의 식각 깊이가 Lower cladding 영역까지 식각되어야 한다. 식각 깊이가 도파로의 Core에 걸쳐 있는 경우 결합효율이 크게 떨어지는데 이는 광파의 진행 방향으로 굴절률의 분

포가 비대칭으로 구성되어 발생하는 회절손실(Diffraction Loss)에 의한 것이다.

3차원 BPM 계산으로 도파로의 구조에 따른 단일 모드 조건이 구해졌고, 수동영역의 곡선도파로의 구부림 손실과 도파로간의 모드 불일치에 의해 발생하는 손실이 계산되었다. 곡선 도파로 영역은 계산의 효율성 및 정확도를 높이기 위해서 Simulated S-Bend BPM과 Wide Angle BPM(Pade order (1,1))을 혼용하여 사용하였다. 그림 4는 도파로의 폭이 2 μm 와 3 μm 인 경우 도파로의 식각 깊이에 따른 구부림 손실을 계산한 결과이다. 식각 깊이에 의해 구부림 손실의 변화가 크고 깊이 식각될수록 손실이 작아지지만 깊이 식각되면 도파로의 모드가 단일 모드를 유지할 수 없기 때문에 실제 소자를 제작할 경우 저손실의 단일모드 도파로를 얻기 위해서는 식각 깊이가 적절히 조절되어야 한다.

결론적으로, 계산 결과에 의하면 Trench의 폭이 1 μm 이고 식각 깊이가 2500 nm이상 일 때, 약 0.3의 반사계수와 40 %의 결합 효율이 얻어졌다. 그리고 단일 모드를 유지하면서 낮은 구부림 손실의 도파로 구조가 얻어지는 도파로의 식각 깊이는 폭이 2 μm 일 때 1200 nm이고, 3 μm 일 때 1100nm 이다.

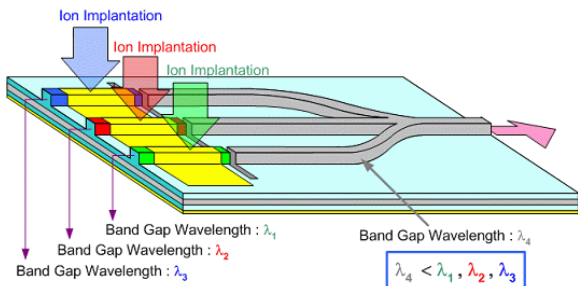


그림 1. 레이저 다이오드의 개략적인 구조

InP Cap Layer (100nm)
InGaAs Contact (200nm)
InP Cladding (1000nm)
Butterfly stop 60/20nm
InGaAsP SCH (120nm)
InGaAs/InGaAsP MQW (88nm)
InGaAsP SCH (120nm)
InP Cladding (1000nm)
InP Substrate

그림 2. 제작 및 계산에 고려된 에피 구조

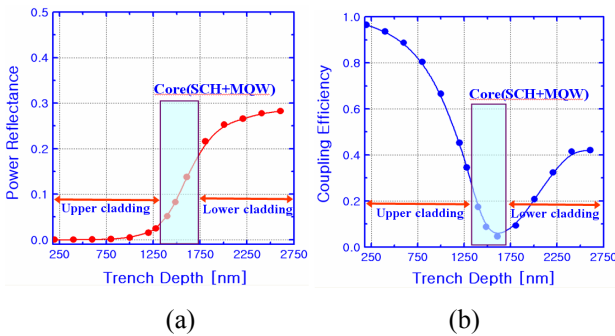


그림 3. Trench 식각 깊이에 의한 반사 계수(a)와 결합효율(b)의 변화

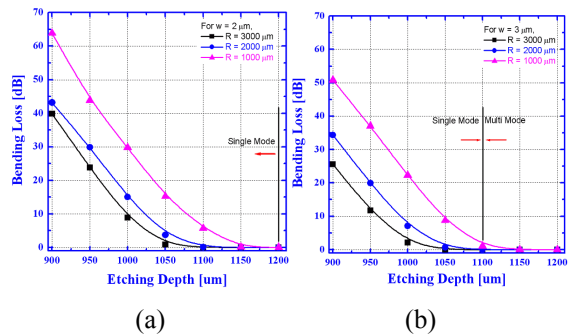


그림 4. 식각 깊이에 따른 구부림 손실의 변화도파로 폭 (a) 2mm, (b) 3mm

1. E. Gaumnt, etc, "Butt coupling process for InP based photonics integrated circuites", 8th international conference on IPRM'96, pp.256-258.
2. B. Mason, etc, "Ridge waveguide sampled grating DBR lasers with 22-nm quasi-continuous tuning range", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, pp.1211-1213, 1998.
3. T. Van Caenegem, etc, "Monolithically integrated multi-wavelength laser by selective area growth with metal organic vapour phase epitaxy", Electronics Letters, Vol. 37, Issue 5, pp.296-298, 2001.
4. S. Charbonneau, etc, "Photonics integrated circuits fabricated using ion implantation", IEEE J. Selective Topics Quantum Electronics, Vol. 4, pp. 772-793, July-Aug. 1998.