

# 다중 양자 우물 구조의 상호 섞임 현상을 이용한 광도파로의 제작

## Fabrication of optical waveguide using multi-quantum well intermixing

여 덕호\*, 윤경훈, 김성준

서울대학교 전기공학부

### Abstract

We have fabricated optical waveguide using intermixing of InGaAs/InGaAsP multi-quantum well (MQW) structure. As-grown epi layer had very large absorption coefficient at the wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , however, after intermixing of the MQW the propagation loss has greatly reduced. Intermixing was done by heat treatment after deposition of  $\text{SiO}_2$  dielectric material on the sample and the optical waveguide was made by reactive ion etching using  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  gas mixture. For the waveguide after  $800^\circ\text{C}$ , 30sec heat treatment, the measured propagation loss was  $3.76\text{dB/cm}$  and  $3.95\text{dB/cm}$  for TE and TM mode respectively.

다중 양자 우물 구조(MQW)의 상호 섞임 현상은 우물과 barrier를 구성하는 물질이 서로 섞이게 하여 전자와 정공의 양자 에너지 값을 변화시켜 물질의 bandgap energy를 변화시키는 기술이다. 따라서, 이 기술을 이용하여 서로 다른 bandgap energy를 필요로 하는 광집적 회로의 제작을 가능하게 한다.[1] MQW의 상호 섞임 현상을 유발하게 하는 방법으로 P, Ar, Si, proton등의 불순물의 주입, 레이저의 집광, 불순물이 없는 vacancy의 확산 (impurity free vacancy diffusion; IFVD) 등에 의해서 이루어진다. 이 중, IFVD에 의한 방법은 산화막, 질화막 등의 유전 물질을 증착 후 고온 열처리를 하여 이루어지며, 불순물의 주입이 없으므로 광도파로의 제작에서 자유 반송자에 의한 전송 손실이 없다는 장점이 있다.

본 논문에서는 InGaAs cap 층을 갖는 MQW 구조에 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)으로 산화막을 증착 후 고온에서 열처리하여 MQW의 bandgap energy의 증가를 가져 왔으며, 이를 이용하여 광도파로를 제작하고 전송 손실을 측정하였다. 본 논문에 사용된 epitaxial layer의 구조는 그림 (1)과 같다. Epitaxial layer는 u-InGaAs cap 층과 5층의 InGaAs/InGaAsP=70Å/100Å MQW와 InGaAsP clad 층이 SCH (separate confinement

hetero-structure) 구조로 되어 있으며, MQW의 상온 PL peak wavelength는  $1.53\mu\text{m}$ 이다.  $750^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$ 에서 30초간 열처리를 한 경우 MQW의 상온 PL은 청색이동을 보이며, PL peak wavelength는 각각  $1.49\mu\text{m}$ ,  $1.41\mu\text{m}$ 이다. 그림 (2)는 as-grown(a),  $750^\circ\text{C}$ (b),  $800^\circ\text{C}$ (c)에서 30초간 IFVD 공정을 한 MQW의 상온 PL spectrum이다. 그림(2)-(a)의 PL spectrum으로부터 광통신 영역인  $1.55\mu\text{m}$ 의 광장 대역에서 as-grown epi layer는 큰 전송손실이 있을 것으로 예상이 되며, IFVD에 의해서 전송손실을 줄일 수 있을 것으로 예상된다. As-grown epi layer를 이용해서 제작한 광도파로의  $1.55\mu\text{m}$  광장에서 전송손실은 약  $450\text{ dB/cm}$ 로 측정되었다.

IFVD 후 광도파로의 제작은  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ 의 혼합 가스를 이용한 반응성 이온 식각 (reactive ion etching; RIE)로 하였다. 제작된 광도파로의 폭은  $5\mu\text{m}$ 이며, 식각 깊이는  $1.2\mu\text{m}$ 이다. 식각 공정에서 발생하는 polymer는  $\text{O}_2$  plasma를 이용하여 제거하였다.

광도파로의 전송 손실을 측정하는 방법은 cut-back method, scattering method, Fabry-Perot 간섭현상 등의 방법이 있는데, 전송 손실이 작은 광도파로는 Fabry-Perot 간섭 현상을 이용하여 비교적 정확하게 측정할 수

있다. [2] 본 논문에서는 Tunable laser를 이용한 Fabry-Perot 간섭현상을 이용하여 제작된 광도파로의 손실을 측정하였다. Tunable laser의 발진 파장에 따라서 광도파로의 출구에서 나오는 intensity는 도파로의 양 끝단에서의 반사에 의한 간섭현상에 의해 주기적으로 바뀐다. 이때, peak의 값의 비율을 이용하여 전송 손실을 구할 수 있다.

U-InGaAs	0.1 $\mu\text{m}$
U-InP	1 $\mu\text{m}$
U-InGaAsP $\lambda_{\text{g}}=1.1 \mu\text{m}$	0.15 $\mu\text{m}$
U-InGaAsP $\lambda_{\text{g}}=1.17 \mu\text{m}$	0.05 $\mu\text{m}$
5 InGaAs (lattice matched, 70 Å) / 4 InGaAsP ( $\lambda_{\text{g}}=1.17 \mu\text{m}$ , 100 Å) Multiquantum well	
U-InGaAsP $\lambda_{\text{g}}=1.17 \mu\text{m}$	0.05 $\mu\text{m}$
U-InGaAsP $\lambda_{\text{g}}=1.1 \mu\text{m}$	0.15 $\mu\text{m}$
N-InP buffer	1 $\mu\text{m}$
N-InP Substrate	

그림 (1) 실험에 사용된 epitaxial layer 구조

그림 (3)은 IFVD후 제작한 광도파로를 Fabry-Perot 간섭현상을 이용하여 측정한 전송 손실을 1.5-1.6  $\mu\text{m}$ 의 파장에 대해서 도시한 그림이다. 750°C, 30초 열처리에 의한 광도파로는 1530nm 미만의 파장 영역에서는 전송손실이 너무 커서 간섭 현상이 일어나지 않았으며 이는 그림 (2)의 상온 PL spectrum의 결과와 거의 일치한다. 800°C, 30초 열처리후 제작한 광도파로는 전체적으로 750°C, 30초 열처리한 광도파로에 비해 작은 전송 손실을 보이며 이는 IFVD가 광도파로의 전송 손실에 나쁜 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 800°C, 30초 열처리 후 제작한 광도파로는 1.55  $\mu\text{m}$  파장에서 TE, TM 모드에 대해 각각 3.76dB/cm 및 3.95dB/cm의 전송 손실을 보였다.

이로부터 광도파로를 제작하였을 때, 광통신 파장 영역인 1.55  $\mu\text{m}$  대역에서 큰 전송손실을 가지던 as-grown 상태의 epi를 IFVD를 이용하여 비교적 작은 전송손실을 가지는 광도파로를 제작할 수 있음을 보였다.

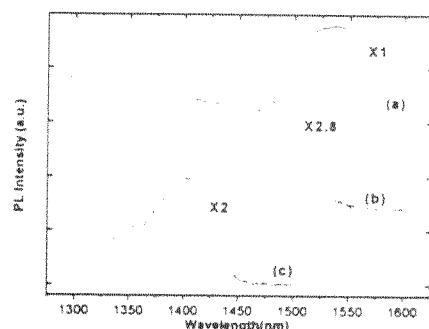


그림 (2) As-grown 및 750°C, 800°C에서 IFVD 후 MQW의 상온 PL spectrum

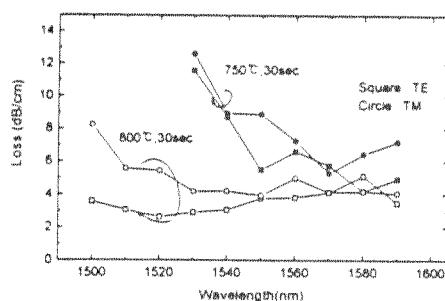


그림 (3) IFVD후 제작한 광도파로의 파장 및 TE/TM 모드에 따른 전송손실 변화  
(참고문헌)

- [1] A. Ramdane et. al. "Monolithic Integration of InGaAsP-InP Strained Layer Distributed Feedback Laser and External Modulator by Selectively Quantum-Well interdiffusion", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 1016-1018, (1995)
- [2] R. G. Walker, "Simple and accurate loss measurement technique for semiconductor optical waveguides", *Electron. Lett.*, vol. 21, pp. 581-583, 1985