

# 레이저 다이오드 Mirror면의 Anti-Reflection 코팅 박막 제작 및 특성 분석

## The Manufacture and Properties Analysis of Anti-Reflection Coating Thin Film of Laser Diode Mirror.

기현철, 김선훈, 김상택, 김효진, 김희중\*, 홍경진\*\*, 민용기\*\*, 조재철\*\*\*, 구할본\*\*\*\*  
(Hyun Chul Ki, Seon Hoon Kim, Sang Taek Kim, Hyo Jin Kim, Hwe Jong Kim\*,  
Kyung Jin Hong\*\*, Yong Ki Min\*\*, Jae Cheol Cho, Hal Bon Gu\*\*\*\*)

### Abstract

Semiconductor laser diode has a reflective facet in a both-ends side fundamentally. Laser performance for improving, Anti-Reflection and High-reflection coating on the facet of semiconductor laser diode. To prevent internal feedback from both facets for realizing superluminescent diode and reducing the reflection-induced intensity noise of laser diode, it's key techniques are AR/HR coatings.

In the study AR coating film were manufactured by Ion-Assisted Deposition(IAD) system. Then manufactured coating film measurement electrical properties(L-I-V, Se, Resistor) and Optical properties(wavelength FFP)

**Key Words** - Anti-Reflection coating, Ion-Assisted Deposition, Laser Diode, Mirror

### 1. 서 론

반도체 레이저는 기본적으로 양단에 반사면을 가지는 Positive Feedback 구조의 소자이므로 양 단면의 반사율의 변화는 레이저 다이오드의 동작 특성에 큰 영향을 미친다.[1-2]

양면에 무반사 코팅을 하거나, 한 면에 무반사 코팅과 반대편에 코팅함으로써 특성 향상을 기대할 수 있으며, 양 단면으로부터 발생하는 레이저 다이오드의 내부의 피드백 현상을 저하시킬 수 있다. 또한 고출력의 다이오드 제작이 가능하다. 그리고 잡음 특성을 줄일 수 있고, 전류대비 레이저 다이오드의 출력의 효율(Slop-efficiency)의 증가를 얻을 수 있으

며, 출력 모드의 선택성이 증가하는 이점을 얻을 수 있다.[3]

무반사(Anti-Reflection) 코팅 시 고려해야 할 사항은 적합한 굴절률의 물질을 선택하는 것이다. 일반적으로 레이저다이오드의 무반사 코팅 물질로는  $TiO_2/SiO_2$ 의 형태인 고굴절률과 저굴절률을 교대로 증착하여 무반사 코팅 막을 제조하게 되어진다.  $TiO_2$ 는 투과영역이 400~3000[nm]이며, 기계적 내구성이 높아 굴절률이 작은  $SiO_2$ 와 한 짝을 이루는 고굴절률 박막으로 많이 사용되어진다. 굴절률은 약 1.9부터 2.6까지 크게 변하게 되어진다.  $SiO_2$ 는 200~4500[nm]의 넓은 영역에서 투과하며 굴절률이 낮다. 본 연구에서는  $TiO_2$ 와 비슷한 굴절률 특성을 가지고 있으며, 여러 층을 증착하더라도 안정된 굴절률을 얻을 수 있는  $Ti_3O_5$ 와  $SiO_2$ 를 한 짝으로 무반사 코팅막을 제조하였다. 이러한 반도체 레이저의 무반사 코팅은 반사율이 0이 되도록 수치 해석적으로 박막

1) \* 한국광기술원 광소자팀  
\*\* 광주대학교 광통신전자공학부  
\*\*\* 초당대학교 전자공학과  
\*\*\*\* 전남대학교 공과대학 전기공학과

의 최적 굴절률과 두께를 결정한다.

본 연구에서는 이온 보조 빔(Ion-Assisted Deposition) 증착장비로 AR/HR 코팅막을 제조 하였으며, 전기적 특성인 L-I-V 특성과, 광학적 특성인 파장, FFP(Far-Field Pattern)을 특성에 대하여 연구하였다.

### 2. 실험 및 방법

반사율이 0이 되도록 박막 광학 설계 프로그램인 Macleod를 이용하여 무반사 코팅막을 설계하였다.

그림1과 같이 반도체 레이저 단면의 AR코팅과 HR 코팅을 하였고, AR/HR 코팅 막을 제작하기 위하여 Ion-Assisted deposition system(IAD)을 이용하였다.

Fig1은 Ion-Assisted Deposition system의 내/외부 사진이다.

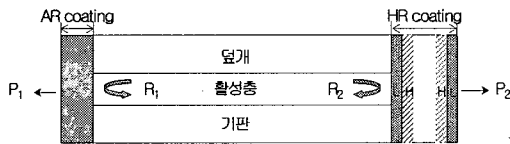
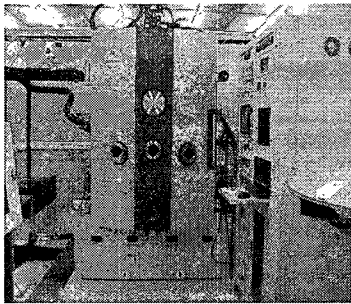
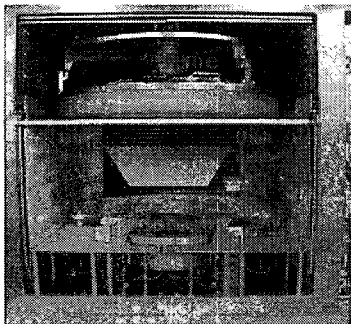


그림1.반도체 단면의 AR/HR coating.



(a) 외부



(b) 내부

Fig. 1. Ion-Assisted Deposition system.

그림 2는 1310[nm]의 Laser diode의 Mirror면에 코팅 전 박막설계인 프로그램인 Macleod을 이용하여 설계한 simulation 결과를 나타낸다, 반사율은 1[%] 이내로 목표로 하였다.

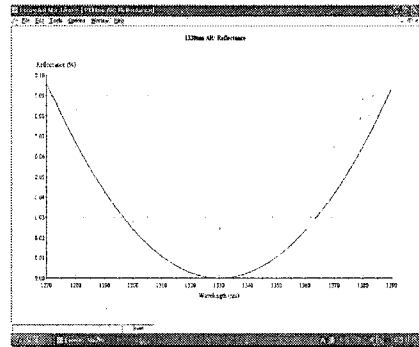


그림2 1310[nm] LD의 AR coating simulation 결과.

무반사 1[%] 이내의 박막의 각 layer의 각각 두께는 약 105[nm], 165[nm]이다.

### 3. 결과 및 검토

AR과 HR의 실제 코팅 정도를 확인하는 방법으로 는 AR과 HR을 각각 코팅한 FP LD Bar의 양쪽 Facet의 Power를 측정하고 그 비를 계산하여 Reflectivity를 추정한다. 간단하게 Coating 정도를 파악할 수 있는 방법으로써 Power비의 계산식은 식 (1)과 같다. 그림3은 AR 코팅의 Power비를 나타낸다. 1[%]이내의 AR코팅이 되어진 것을 알 수 있다.

$$\frac{(B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4})}{2}$$

$$B_1 = 2 + (1.445 \times P^2) \quad \text{(식-1)}$$

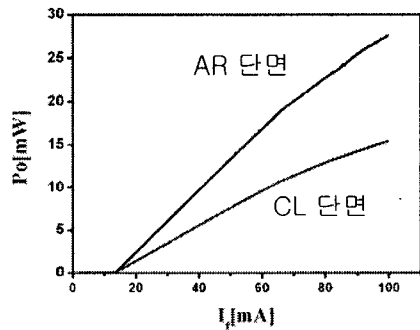
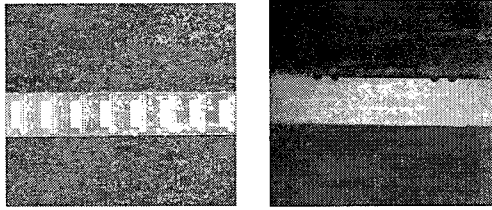


그림 3. AR 코팅 정도.

DFB-Laser diode mirror면의 AR/HR 코팅 중에서 전기 및 광학적 특성에 영향을 주는 것은 AR 코팅이다.

Fig.2는 Wafer 공정이 완료된 Laser diode와 DFB-LD의 단면을 나타낸다.



(a) LD 표면

(b) LD 단면

Fig.2. Surface and Cross section of Laser Diode.

AR/HR 코팅이 완료되어진 Bar 상태의 특성을 측정하는데 사용된 설비는 Bar tester(포톤테이즈 社)이며, 측정 항목 및 측정 bar는 다음과 같다.

- 측정 항목 : *light-current, current-voltage* 특성, *optical spectrum*
- 측정 Bar : *cavity 300[um], length 1000[um], thickness : 100-110[um]*
- 구동전류 : *0-150[mA]*

그림 4의 (a)는 AR/HR 코팅전의 Bar 상태에서의 특성 측정값이며 (b)는 AR/HR coating 공정 후 Bar 상태에서의 특성 측정값이다.

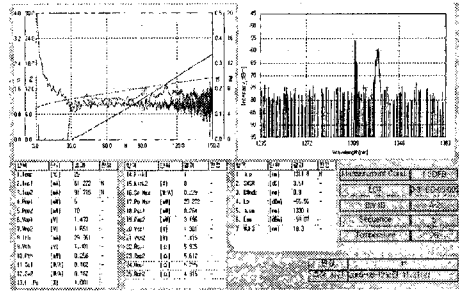
AR/HR 코팅전과 후의 Ith값은 코팅전 29[mA]에서 27[mA]로 2[mA]감소 하였으며, Se 0.16[W/A]에서 0.302[W/A]로 증가하는 L-I 특성을 나타냈다.

Wavelength의 특성은 AR/HR코팅 전 1310[nm]부근에서 DFB 모드와 1330[nm]부근에서 FP 모드가 발진하는 것을 볼 수 있다. AR/HR코팅이 완료되었을 때 1330[nm]부근의 FP 모드는 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

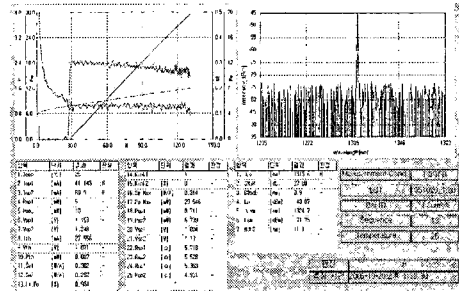
AR/HR 코팅 후 미분효율, 선형성등 일반적인 특성이 좋아진 것을 알 수 있다.

특히 AR/HR 코팅 전에는 FP 모드가 매우 크게 나타났었지만 코팅 후 DFB 모드가 크게 증가하고 FP 모드가 사라지게 된 것은 AR/HR 코팅에 의한 이득 차이가 크게 됨으로써 나타나는 현상이다.

AR/HR 코팅 전 Kink가 발생하지 않는 것도 확인할 수 있었다.



(a) AR/HR 코팅 전 Data.



(b) AR/HR코팅 후 Data

그림.4 Bar 상태에서의 결과

Bar 상태에서 측정하기 힘든 Far-Filed pattern (FFP)은 Chip 상태에서 측정을 하여야 한다. Fig. 3은 Bar 상태에서 Chip 상태로 만들어진 DFB-LD의 chip 사진이다. Chip의 size는 cavity가 300[um]이다.

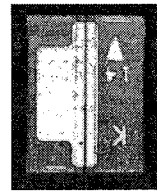


Fig.2. Laser Diode chip

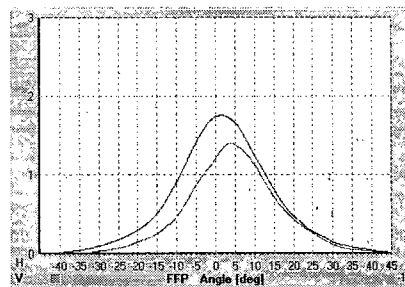


그림5. DFB-LD Far-Filed Pattern.

그림 5는 1.3[ $\mu\text{m}$ ]의 Far-Filed pattern의 특성을 측정한 결과 값이다.

Far-Filed pattern은 50[%] 수준에서 각각 22.3°(Horizontal), 24.4°(Vertical)로 단일 모드(spatial single mode)로 발진함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

Laser Diode의 Mirror면에 AR/HR 코팅을 하여 LD의 전기 및 광학적 특성을 고찰하였다.

1. LD의 AR코팅물질은 굴절률이 안정한  $\text{Ti}_3\text{O}_5/\text{SiO}_2$ 를 선정하여 AR코팅을 박막 설계프로그램인 Macleod를 이용하여 코팅 박막을 설계하였고, 각 박막의 두께는 약 105[nm], 165[nm]이다.

2. LD의 전기적 특성은 AR/HR 코팅전과 후의  $I_{th}$  값은 코팅전 29[mA]에서 27[mA]로 2[mA]감소 하였으며, Se 0.16[W/A]에서 0.302[W/A]로 증가하는 L-I 특성을 나타냈다.

3. LD의 광학적 특성인 Wavelength의 특성은 AR/HR 코팅전 1310[nm]부근에서 DFB 모드와 1330[nm]부근에서 FP 모드가 발진하는 것을 볼 수 있다. AR/HR코팅이 완료되었을 때 1330[nm]부근의 FP 모드는 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

AR/HR 코팅 후 미분효율, 선형성등 일반적인 특성이 좋아진 것을 알 수 있다

4. Far-Filed pattern은 50[%] 수준에서 각각 22.3°(Horizontal), 24.4°(Vertical)로 단일 모드(spatial single mode)로 발진함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. T. Ikegami, "Reflectivity of mode facet and oscillation mode in double heterostructure injection lasers," IEEE J. Quantum Electron, QE-8, pp 470-476, 1972
2. C. M. Herzinger, "The semiconductor waveguide facet reflectivity problem," Ieee J, Quantum Electron, Vol. 29, No. 8., pp.2273-2281, 1993
3. Tadashi Saitoh, "Theoretical analysis and

fabrication of antireflection of coatings on laser-diode facet," Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-3, No. 2, 1985