Laser Diode의 무반사코팅 설계 및 특성에 관한 연구

기현철, 김효진, 김회종, 한정희*, 구할본*
한국광기술원, * 전남대학교 전기공학과

Study about Anti-Reflection Coating Design and Characteristic of Laser Diode

Hyun-Chul Ki, Hyo-Jin Kim, Hwe-Jong Kim, Hee-Jong Han*, Hal-Bon Gu*
KOPTI, Chon-Nam UniV*

Abstract Anti-Reflection and High-reflection coating on the facet of semiconductor laser diode. To prevent internal feedback from both facets for realizing super luminescent diode and reducing the reflection-induced intensity noise of laser diode. Anti-Reflection coating Film was designed by Macleod Simulator. Coating Materials were decided Ti_3O_5 and SiO_2. Thickness of Coating layer Ti_3O_5/SiO_2 were 105[nm], 165[nm]
In the study Anti-Reflection coating Film was design for Laser diode and deposited by Ion-Assisted Deposition system. Then manufactured thin film measured electrical properties(L-I-V, Se, Resistor) and Optical properties(wavelength FFP). Slop-efficiency and FFP characteristic is 0.302[W/A], 22.3°(Horizontal), 24.4°(Vertical).

Key Words : Laser Diode, Anti-Reflection, Film Design, L-I-V, FFP

1. 서 론

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

양면에 무반사 코팅을 하거나, 한 면에 무반사 코팅과 반대편에 코팅함으로서 특성 향상을 기대할 수 있으며, 양 단면으로부터 발생하는 레이저 다이오드의 내부의 피드백 현상을 저하시킬 수 있다. 또한 고출력의 다이오도 제작이 가능하다. 그리고 잡음특성을 줄일 수 있고, 전류대비 레이저 다이오드의 출력의 효율(Slop-efficiency)의 증가를 얻을 수 있으며, 출력 모드의 선택성이 증가하는 이점을 얻을 수 있다.[3]

무반사(Anti-Reflection) 코팅 시 고려야할 사항은 적합한 굴절률의 물질을 선택하는 것이다.

일반적으로 레이저다이오드의 무반사 코팅 물질로는 TiO_2/SiO_2의 형태인 고굴절률과 저굴절률을 교대로 증착하여 무반사 코팅 막을 제조하게 되어진다. TiO_2는 투과영역이 400~3000[nm]이며 기계적 내구성이 높아 굴절률이 작은 SiO2와 한 짝을 이루는 고굴절률 박막으로 많이 사용되어진다. 굴절률은 약 1.9부터 2.6까지 크게 변하게 되어진다. SiO_2는 200~4500[nm]의 넓은 영역에서 투과하며 굴절률이 낮다. 본 연구에서는 TiO_2와 비슷한 굴절률 특성을 가지고 있으며, 여러 층을 증착하더라도 안정된 굴절률을 얻을 수 있는 Ti_3O_5와 SiO_2를 한 짝으로 무반사 코팅막을 제조하였다. 이러한 반도체 레이저의 무반사 코팅은 반사율이 0이 되도록 수치 해석적으로 박막의 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. 실 험

2.1 무반사 설계

광학박막의 초기 설계에 있어서 기초로 되어지는 것이 어드미턴스이다. 어드미턴스 그림은 박막의 광학 두께가 증가함에 따라 박막의 어드미턴스 변화를 복소수 평면에 나타낸 것이다. 어드미턴스는박막의 반사율 증감, 위상변화 등을 나타내며 박막의 설계와 광학적 특성 분석에 이용되어진다.

그림1은 본 연구에서 설계한 박막의 어드미턴스 그림이다. 기판인 InP굴절률에서 시작하여, 공기의 굴절률에서 끝나는 어드미턴스 그림을 그릴 수 있었으며, 그 결과 무반사 박막의 광학박막의 두께는 Ti_3O_5/SiO_2는 각각0.17875, 0.1775 [FWOT]을 얻을 수 있었다. 설계된 광학박막은 Macleod simulator를 이용하여 반사율은 1[%]이내로 예측할 수 있다. 설계된 무반사 코팅 박막은 Ion-Assisted Deposition system을 이용하여 AR/HR을 증착하였다.

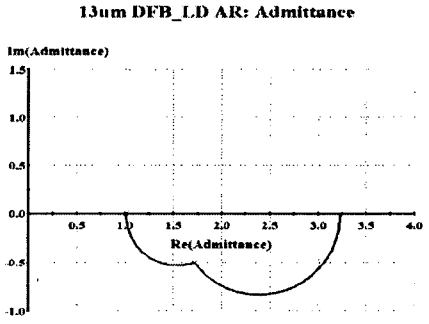


그림1. Admittance of AR coating Film

3. 결과 및 고찰

3.1 전기적 특성(L-I-V)

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]

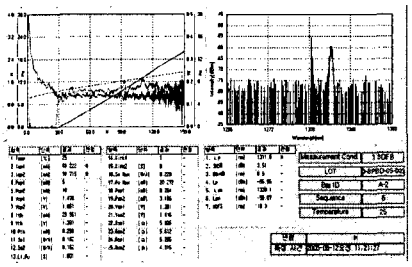
그림 4의 (a)는 AR/HR 코팅전의 Bar 상태에서의 특성 측정값이며 (b)는 AR/HR coating 공정 후 Bar 상태에서의 특성 측정값이다.

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.

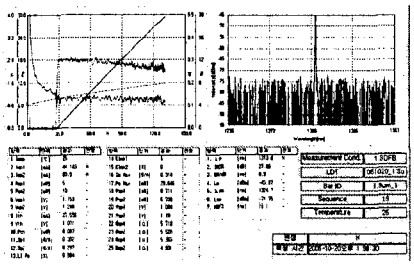
Wavelength의 특성은 AR/HR코팅 전 1310[nm]부근에서 DFB 모드와 1330[nm]부근에서 FP 모드가 발진하는 것을 볼 수 있다. AR/HR코팅이 완료되었을 때 1330[nm]부근의 FP 모드는 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

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

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



(a) AR/HR 코팅 전 Data.



(b) AR/HR코팅 후 Data

그림.2 L-I-V 특성

Bar 상태에서 측정하기 힘든 Far-Filed pattern (FFP)은 Chip 상태에서 측정을 하여야 한다. 그림3은 1.3[um]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.

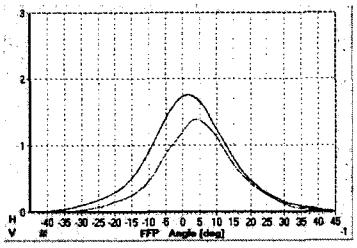


그림3. DFB-LD Far-Filed Pattern.

4. 결론

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

1. LD의 AR코팅물질은 굴절률이 안정한 Ti_3O_5/SiO_2를 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 Ith값은 코팅전 29[mA]에서 27[mA]로 2[mA]감소하였으며, Se 0.16[W/A]에서 0.302[W/A]로 증가하는 L-I 특성을 나타냈다.

3. LD의 광학적 특성인 Wavelength의 특성은 AR/HR 코팅 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 있었다.

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. lkegami, "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