

1.3 μm 분포 피환형 레이저 다이오드의 무반사 설계 및 특성

Design and Properties Related to Anti-reflection of 1.3 μm Distributed Feedback Laser Diode

기현철^{1,a}, 김선훈¹, 홍경진², 김희종¹

(Hyun-Chul Ki^{1,a}, Seon-Hoon Kim¹, Kyung-Jin Hong², and Hwe-Jong Kim¹)

Abstract

We have investigated the effect of the quality of 1.3 μm distributed feedback laser diode (DFB-LD) on the design of anti-reflection (AR) coatings. Optimal condition of AR coating to prevent internal feedback from both facets and reduce the reflection-induced intensity noise of laser diode was simulated with Macleod Simulator. Coating materials used in this work were Ti_3O_5 and SiO_2 , of which design thickness were 105 nm and 165 nm, respectively. AR coating films were deposited by Ion-Assisted Deposition system. The electrical and optical properties of 1.3 μm laser diode were characterized by Bar tester and Chip tester. Threshold current and slop-efficiency of DFB-LD were 27.56 mA 0.302 W/A. Far field pattern and wavelength of DFB-LD were $22.3^\circ(\text{Horizontal}) \times 24.4^\circ(\text{Vertical})$, 1313.8 nm, respectively.

Key Words : DFB-LD, Anti-reflection, Slop-efficiency, Far field pattern, Wavelength

1. 서 론

분포 피환형 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 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 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 의 형태인 고굴절률과 저굴절률을 교대로 증착하게 되어진다. TiO_2 는 투과영역이 400~3000 nm이며 기계적 내구성이 높아 굴절률이 작은 SiO_2 와 한 짝을 이루는 고굴절률 박막으로 많이 사용되어진다. 굴절률은 약 1.9부터 2.6까지 크게 변하게 되어진다[4]. SiO_2 는 200~4500 nm의 넓은 영역에서 투과하며 굴절률이 낮다[5]. 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 박막의 최적 굴절률과 두께를 결정한다.

본 논문에서는 이온 보조 법(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.

1. 한국광기술원 광소자팀
(광주시 북구 월출동 971-35)
2. 광주대학교 광통신공학과
a. Corresponding Author : kihc@kopti.re.kr
접수일자 : 2008. 12. 3
1차 심사 : 2009. 2. 16
심사완료 : 2009. 2. 20

2. 실험 방법

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. 어드미턴스는 박막의 반사율 증감, 위상변화 등을 나타내며 박막의 설계와 광학적 특성 분석에 이용되어진다.

그림 1은 피환형 반도체 레이저 단면의 AR/HR의 개략도이다.

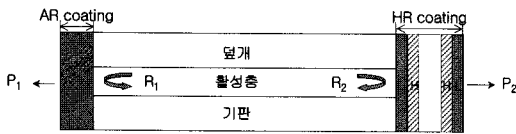


그림 1. 피환형 반도체 레이저 단면의 AR/HR coating.

Fig. 1. AR/HR coating of DFB-laser diode facet.

그림 2는 본 연구에서 설계한 박막의 어드미턴스 그림이다. 어드미턴스 그림은 박막의 광학 두께가 증가함에 따라 박막의 어드미턴스 변화를 복소수 평면 위에 나타낸 것이다[6]. 박막의 어드미턴스는 기판 위에 성장하는 박막의 반사율 증가, 감소와 위상 변화 등을 나타내며 박막의 설계와 광학적 특성 분석에 이용할 수 있다[7].

13um DFB_LD AR: Admittance

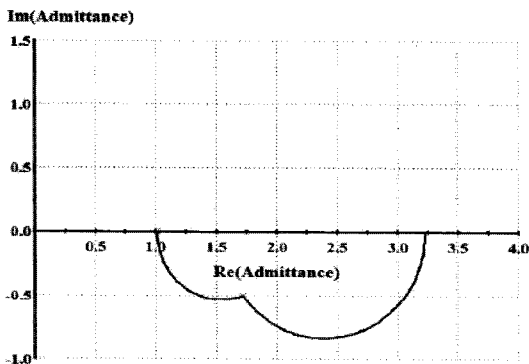


그림 2. AR 코팅 박막의 어드미턴스.

Fig. 2. Admittance of AR coating film.

기판인 InP 굴절률(3.4, 0)에서 시작하여, 공기의 굴절률(1.0, 0)에서 끝나는 어드미턴스 그림을 그릴 수 있었으며, 그 결과 무반사 박막의 광학박막의 두께는 Ti_3O_5/SiO_2 는 각각 0.17875, 0.1775 nm(1/4λ 기준; 광학적 파장)을 얻을 수 있었으며, 물리적 두께는 각각 105 nm, 165 nm이다.

그림 3은 설계된 광학박막의 반사율의 예측 결과 값이다. 설계된 광학박막은 Macleod simulator를 이용하여 반사율은 1 % 이내로 예측할 수 있다. 설계된 무반사 코팅 박막은 Ion-Assisted Deposition system을 이용하여 AR/HR을 증착하였다.

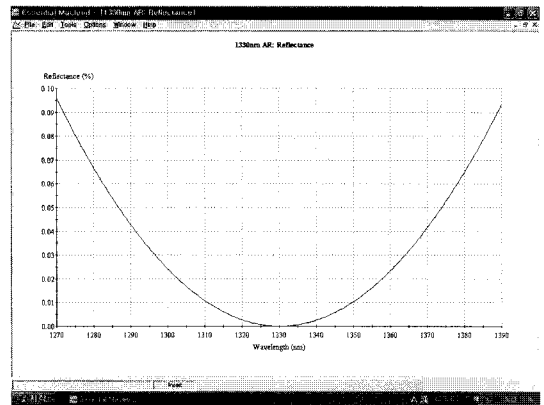


그림 3. 1310 nm LD의 AR coating simulation 결과.

Fig. 3. AR coating simulation result of 1310 nm LD.

3. 결과 및 검토

3.1 AR/HR 코팅 확인

AR과 HR의 실제 코팅 정도를 확인하는 방법으로는 AR과 HR을 각각 코팅한 FP LD Bar의 양쪽 Facet의 Power를 측정하여 그 비를 계산하여 반사율(Reflectance)을 추정할 수 있다. 간단하게 Coating 정도를 파악할 수 있는 방법으로써 Power비의 계산식은 식(1)과 같다. 그림 4는 AR 코팅의 Power비를 나타낸다. 1 % 이내의 AR코팅이 되어진 것을 알 수 있다. 여기서 P는 Power의 비이다.

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

$$B_1 = 2 + (1.445 \times P^2) \quad (1)$$

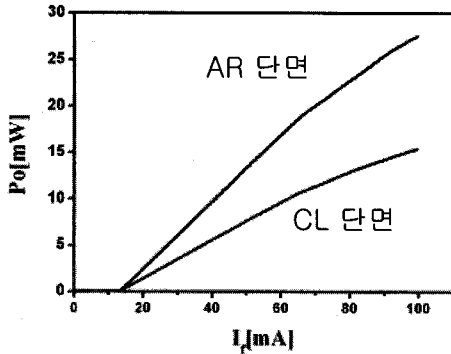
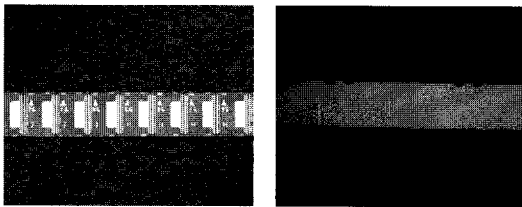


그림 4. AR 코팅의 power 비.
Fig. 4. Power ratio of AR coating.

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

그림 5는 Wafer 공정이 완료된 Laser diode와 DFB-LD의 단면을 나타낸다.



(a) LD 표면 (b) LD 단면

그림 5. 피환형 레이저 다이오드의 표면과 단면.
Fig. 5. DFB-LD surface and cross section of laser diode.

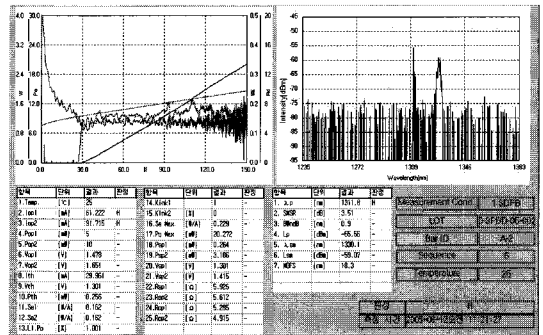
AR/HR 코팅이 완료되어진 Bar 상태의 특성을 측정하는데 사용된 설비는 Bar tester(포톤데이즈社)이며, 측정 항목 및 측정 bar는 다음과 같다.

- 측정 항목 : light-current, current-voltage 특성, optical spectrum
- 측정 Bar : cavity 400 μm , length 1000 μm , thickness : 100-110 μm
- 구동전류 : 0-150 mA

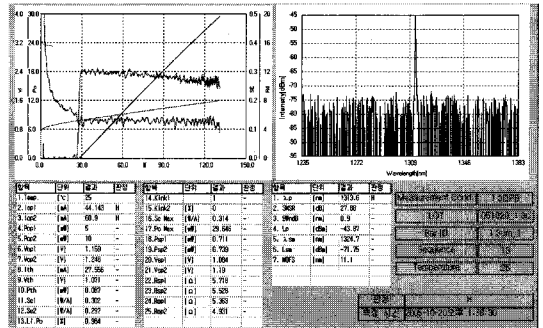
그림 6의 (a)는 AR/HR 코팅전의 Bar 상태에서 의 특성 측정값이며 (b)는 AR/HR coating 공정 후 Bar 상태에서의 특성 측정값이다.

AR/HR 코팅전과 후의 Ith값은 코팅전 29 mA 에서 27 mA로 2 mA 감소하였으며, Se 0.16 W/A 에서 0.302 W/A로 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 완료 되었을 때 1330 nm 부근의 FP 모드는 나타나지 않는 것을 알 수 있다.



(a) AR/HR 코팅 전 Data



(b) AR/HR코팅 후 Data

그림 6. 1.3 μm 피환형 레이저 Bar 측정결과.
Fig. 6. 1.3 μm DFB-LD bar result.

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 사라 지게 된 것은 AR/HR 코팅에 의한 이득 차이가 크게 됨으로써 나타나는 현상이다. AR/HR 코팅 전 Kink가 발생하지 않는 것도 확인할 수 있었다.

Far-Filed pattern (FFP)은 측정하기 위하여 Chip 상태로 제작하였다. 그림 7은 Bar 상태에서 Chip 상태로 만들어진 DFB-LD의 chip 사진이다. Chip의 size는 300(width) \times 400(cavity) μm 이다.

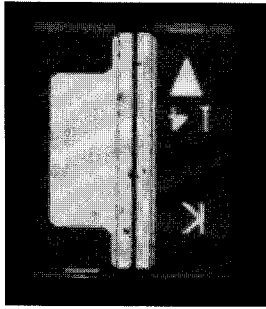


그림 7. 1.3 μm 피환형 레이저 다이오드 칩.
Fig. 7. 1.3 μm DFB-LD laser diode chip.

그림 8은 1.3 μm DFB-LD chip의 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.

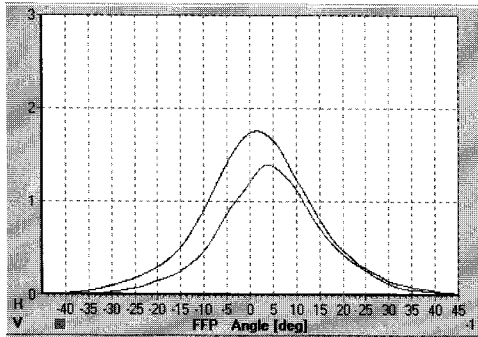


그림 8. 1.3 μm 피환형 레이저 다이오드의 빔 패턴.
Fig. 8. 1.3 μm DFB-LD far-filed pattern.

4. 결론

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

1. LD의 AR코팅물질은 굴절률이 안정한 Ti_3O_5/SiO_2 를 선정하여 AR코팅을 박막 설계프로그램인 Macleod를 이용하여 코팅 박막을 설계하였고, 각각 105 nm, 165 nm의 최적의 두께를 구할 수 있었으며, Ion-assisted deposition system을 이용하여 증착하였다.
2. LD의 전기적 특성은 AR/HR 코팅전과 후의 Ith

값은 코팅전 29 mA에서 27 mA로 2 mA감소하였으며, 기울기 효율(Slop-efficiency)은 0.16 W/A에서 0.302 W/A로 증가하는 L-I 특성과 DFB-LD의 AR 코팅정도를 확인하였다.

3. LD의 광학적 특성인 Wavelength의 특성은 AR/HR 코팅전 1310 nm부근에서 DFB 모드와 1330 nm부근에서 FP 모드가 발진하는 것을 볼 수 있다. AR/HR코팅이 완료되었을 때 1330 nm 부근의 FP 모드는 나타나지 않고 1310 nm에서 DFB-LD가 발진함을 확인 하였다. AR/HR 코팅 후 미분효율, 선형성등 일반적인 특성이 좋아진 것을 알 수 있다
4. 빔패턴(FFP)은 50 % 수준에서 각각 22.3° (Horizontal), 24.4°(Vertical)로 단일 모드 (spatial single mode)로 발진함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T. Ikegami, "Reflectivity of mode facet and oscillation mode in double heterostructure injection lasers", IEEE J. Quantum Electron, p. 470, 1972.
- [2] C. M. Herzinger, "The semiconductor waveguide facet reflectivity problem", IEEE J. Quantum Electron, Vol. 29, No. 8, p. 2273, 1993.
- [3] T. Saitoh, "Theoretical analysis and fabrication of antireflection of coatings on laser-diode facet", Journal of Lightwave Technology, Vol. 3, No. 2, p. 288, 1985.
- [4] J. M. Bebett, E. Pellertier, G. Albrand, J. P. Borgogno, B. Lazaides, C. K. Camiglia, R. A. Chmell, T. H. Allen, T. Tuttle-Hart, K. H. Guenther, and A. Saxer, "Comparison of the properties of titanium dioxide films prepared by various techniques", Appl., Vol. 28, No. 16, p. 3303, 1989.
- [5] P. G. Pai, Chao S. S., Takagi Y., Lucovsky G., "Infrared spectroscopic study of SiOx films produced by plasma enhanced chemical vapor deposition", J. Vac. Sci. Technl., Vol. 4, No. 3, p. 689, 1986.
- [6] H. A. Macleod, Thin-Film Optical Filters, 3rd ed., 1986.
- [7] P. R. Willey, Practical Design and Production of Optical Thin films, 2nd ed, 1996.