

Index-coupled DFB lasers와 $\lambda/4$ -shifted DFB 레이저의 단면반사율에 따른 이득 마진 해석

Analysis of the gain margin of the index-coupled and $\lambda/4$ -shifted DFB lasers for various facet reflectivities

김형주*, 김상택, 전재두, 김부균
 숭실대학교 정보통신전자공학부
 hjkim@sunbee.soongsil.ac.kr

Abstract

Normalized gain difference for index-coupled and quarter wavelength shifted DFB lasers for various facet reflectivities are calculated as a function of facet phases.

광통신 시스템에서 장거리 대용량 전송을 위해서는 선폭이 좁고 안정된 단일모드로 동작하는 광원이 필요하다. Distributed-feedback (DFB) 레이저는 다른 반도체 레이저에 비해 고속의 안정된 단일 모드 동작이 가능하기 때문에 광통신용 소자로 많이 사용되고 있다. 기존의 antireflection (AR) 코팅된 단면을 가진 index-coupled (IC) DFB 레이저는 발진모드의 degeneracy 문제가 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 threshold에서의 non-AR 코팅된 단면을 가진 IC DFB 레이저에 대한 많은 연구가 행해졌다.⁽¹⁾ 또한 quarter-wave-shifted (QWS) DFB 레이저는 양단면을 AR 코팅함으로써 단일 모드로 동작하도록 많은 연구가 행해졌다.^(1,2)

본 논문에서는 전달행렬방법을 사용하여 antireflection(AR)-cleaved(CL) 단면을 가진 IC DFB 레이저에 대하여 AR 코팅된 단면의 위상이 0이고, 32%의 단면반사율을 가진 CL 단면의 위상을 $-\pi$ 에서 π 까지 변화시키면서 threshold와 threshold 이상에서 수율을 계산하였다. 수율은 한쪽 단면의 전체 위상(16개)에 대한 단일 모드로 동작하는 이득 마진 0.17 이상을 갖는 위상의 비로 정의하였다. 또한 AR-AR 단면을 가진 QWS DFB 레이저에 있어서 한 단면의 위상은 0이고, 다른 단면의 위상을 $-\pi$ 에서 π 까지 변화시키면서 threshold와 threshold 이상에서 수율을 계산하였다. 사용된 파라메타 값은 브래그 파장이 $1.55\mu\text{m}$, 활성층의 폭 $1.5\mu\text{m}$, 활성층의 두께 $0.12\mu\text{m}$, confinement factor 0.35, differential gain $2.7 \times 10^{-20}\text{m}^2$, differential index $-1.8 \times 10^{-26}\text{m}^3$, transparency carrier density $10^{24}/\text{m}^3$, 내부손실 40/cm, threshold에서의 유효굴절율 3.283, 비선형 상수 $5 \times 10^{-23}\text{m}^3$, group index 3.7이며, 결합세기의 정도를 나타내는 αL 은 1.6이다.

표 1은 IC DFB 레이저에 대하여 threshold와 threshold 이상에서 단면 위상에 따른 수율을 보여준다. AR 코팅된 단면의 반사율의 크기가 2%일 때 단면의 위상에 따른 수율이 가장 큰 값을 가짐을 볼 수 있다. AR 단면의 반사율의 크기가 3%일 때는 위상에 따라 부모드가 발진하는데 필요한 이득이 감소함으로 2%에 비해 수율이 작아지는 것으로 해석된다. 또한 전류가 증가함에 따라 spatial hole burning (SHB) 효과에 의하여 수율이 감소함을 볼 수 있다.

표 2는 QWS DFB 레이저에 대하여 threshold와 threshold 이상에서 단면 위상에 따른 수율을 보여 준다. IC DFB 레이저와 달리 AR 코팅된 단면의 반사율의 크기가 0.1%일 때 단면의 위상에 관계없이 단일 모드로 동작할 수 있는 개인 마진(0.17)보다 큰 값을 갖으며, threshold에서는 위상에 관계없이 단일 모드로 동작하지만 전류가 증가함에 따라 수율이 낮아지며, 또한 단면 반사율이 커짐에 따라 수율이 낮아짐을 볼 수 있다. 이는 단면 반사율이 커짐에 따라 위상에 따른 영향이 커지기 때문으로 해석된다.

본 논문에서는 xL 을 1.6에 대해서만 살펴보았다. 하지만 xL 값의 변화에 따라 SHB의 영향이 달라 지므로 다른 값에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 AR-CL 코팅된 QWS DFB 레이저에 있어서 CL 코팅된 단면 반사율의 위상에 따른 수율이 낮아짐으로 이에 대한 비교가 필요할 것이다. 그리고, AR-CL 코팅된 IC DFB 레이저와 AR-AR 코팅된 QWS DFB에 있어서 내부 손실에 대한 영향에 대한 연구가 필요할 것이다.

AR-CL 코팅된 IC DFB 레이저와 AR-AR 코팅된 QWS DFB 레이저에 있어서 한쪽 단면 위상에 따른 수율이 차이가 남을 알 수 있었다. 앞으로 양단면 위상에 따른 수율에 대한 연구는 중요하다고 할 수 있다.

표 1. Index-coupled DFB laser의 AR 반사율에 따른 수율(%). (CL:32%)

J/J_{th}	AR(0%)-CL	AR(0.1%)-CL	AR(1%)-CL	AR(2%)-CL	AR(3%)-CL
1.00	0	0	75	81.25	75
1.05	6.25	6.25	43.75	75	62.5
1.10	6.25	12.5	37.5	62.5	56.25

표 2. QWS DFB laser의 AR 반사율에 따른 수율(%).

J/J_{th}	AR(0.1%)- AR(0.1%)	AR(0.5%)- AR(0.5%)	AR(1%)- AR(1%)	AR(2%)- AR(2%)
1.00	100	100	100	100
1.05	100	100	100	100
1.10	100	100	100	81.25
1.50	100	100	75	43.75
2.00	100	93.75	56.25	25

- (1) P. G. Mols, P. I. Kuindersma, W. V. Es-Spiekman, and A. F. Baele, "Yield and Device Characteristics of DFB Laser: Statistics and Novel Coating Design in Theory and Experiment," *IEEE Quantum. Electro.*, vol. 25, no. 6, pp.1303-1313 (1989).
- (2) K. Utaka, S. Akiba, K. Sakai, and Y. Matsushima, " $\lambda/4$ -Shifted InGaAsP/InP DFB Lasers," *IEEE Quantum. Electro.*, vol. QE-22, no. 7, pp.1042-1051 (1986).

