

진행파형 반도체 광증폭기에서 이득포화 및 잡음특성의 활성층 구조 의존성

Structural dependence of a gain saturation and noise figure in a traveling-wave semiconductor optical amplifier

장세윤, 심종인, 이정석*, 김호인*, 윤인국*, 김승우*, 신현철*, 어영선
한양대학교 전자전기 제어계측공학과, 삼성전자 광통신연구소*

seyoonj@giga.hanyang.ac.kr

Abstract

The optical gain saturation and noise figure characteristics of 1550nm traveling-wave semiconductor optical amplifiers are analyzed experimentally and theoretically. The result shows that there is an optimum active layer thickness for high saturation output power and low noise figure.

1. 서론

반도체 광증폭기는 다른 광소자들과 집적이 가능하고, 증폭파장대역이 넓어 WDM 광통신용 소자로서 각광을 받고 있다. 반도체 광증폭기의 주요특성으로는 광증폭이득, 이득포화특성, 잡음특성등이 있다.^[1] 반도체 광증폭기에 의한 잡음이 신호와 함께 증폭될 경우 왜곡된 신호가 전송되므로, 반도체 광증폭기의 잡음특성이 좋아야하며, 잡음특성의 개선을 위해 광증폭이득 및 이득 포화특성에 대한 정확한 이해가 선행되어야 한다. 본 논문에서는 충분한 광증폭이득과 이득포화특성 그리고 낮은 잡음특성을 얻기에 적합한 공진기의 구조를 찾기 위하여, TMM (Transfer Matrix Method)을 이용한 simulation 결과와 제작한 광증폭기의 측정결과를 비교함으로써 simulator를 검증하고, 포화이득 및 잡음특성과 활성층의 구조와의 관계를 밝혔다.

2. 광증폭 이득의 이론적 고찰

SOA의 물질이득은 에너지 변화에 따라 parabolic 형태의 근사를 취함으로써 다음과 같은 형식으로 모델링할 수 있다.^[1]

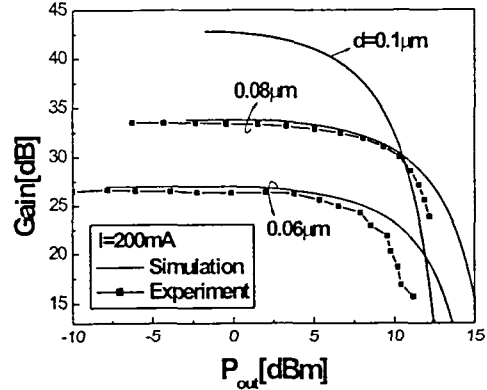
$$g_m(N, \lambda) = \frac{a_0(N - N_0) - a_1(\lambda - \lambda_p)^2 - a_3(\lambda - \lambda_p)^3}{1 + 2 \cdot \varepsilon \cdot S_{\text{photon}}} \quad \text{식(1)}$$

식(1)는, 에너지에 따른 물질이득을 계산하는 식으로 a_0 , a_1 , a_2 , a_3 는 이득상수, λ_p 는 피크파장, ε 은 nonlinear 이득상수이다. 물질이득은 피크값으로부터 파장의 변화에 따라 점차 작아지며, 이득포화를 고려하기 위해 nonlinear 이득상수가 적용되었다.

$$P_{ASE} = \frac{h \cdot c \cdot \Delta\omega}{\lambda} \cdot \frac{(1 - R_2^2) \cdot n_{sp} \cdot g_{AVE}}{\left| \frac{1 - R_1 \cdot R_2 \cdot \exp(2 \cdot \gamma \cdot \Delta z)}{\exp(\gamma \cdot \Delta z)} \right|^2} \int_{z_1}^z |P_{sp}(z)|^2 dz \quad \text{식(2)}$$

$$NF \approx \frac{2P_{ASE,out}}{Gh\nu} + \frac{1}{G} \quad \text{식(3)}$$

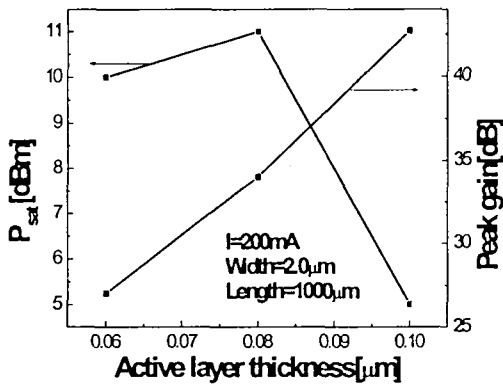
식(2)는 ASE power를 계산하기 위한 수식으로, spontaneous emission에 의한 광전력($P_{sp}(z)$)과 입출력단의 반사율(R_1, R_2), 그리고 inversion factor(n_{sp})를 고려하였다. 식(3)은 ASE power로부터 noise figure를 계산하기 위한 수식으로 ASE power에 비례하고, 이득에 반비례하는 모습을 보인다. 축방향으로 불균일한 이득분포를 고려하기 위해 공진기의 길이를 n개의 영역으로 나누고, 각 영역에서의 이득, 굴절률, 캐리어 분포등의 parameter는 일정하다고 가정하고 TMM(Transfer Matrix Method)을 사용하였다.



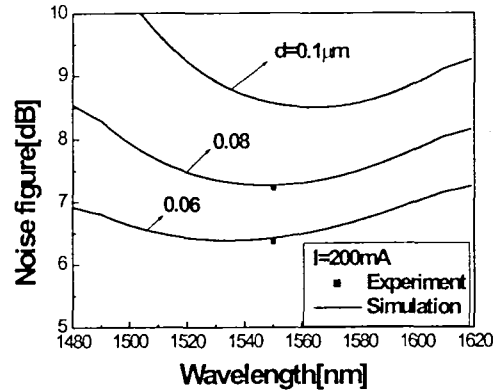
[그림1] 구조에 따른 이득포화특성

3. 실험결과

[그림1]은 구조에 따른 이득포화현상을 나타내었다. 활성층의 두께가 두꺼우면 이득이 크고, 포화이득은 증가하다가 감소한다. 이와같은 현상을 [그림2]에서 나타내었다. 이것은 활성층 구조가 커짐에 따라 광가둡계수가 커져 이득이 커지지만, 활성층 내부 포톤의 증가로 인해 이득포화현상이 빨리 발생하기 때문이다. [그림3]은 활성층 두께에 따른 noise figure를 나타내었다. 활성층의 두께가 두꺼울수록 spontaneous emission에 의한 전력이 증가하므로 noise figure는 커진다.



[그림2] 활성층두께에 따른 이득포화특성



[그림3] 활성층 두께에 따른 noise figure

4. 결론

TMM에 의해 계산된 반도체 광증폭기의 이득포화특성으로부터 활성층의 길이가 1000 μ m일때 두께 0.08 μ m에서 적당한 이득과 포화전력 및 잡음특성을 얻을 수 있었다. 이와같은 결과는 제작된 SOA에 의한 실험결과와 같은 경향을 보였다.

5. 참고문헌

[1] H. Ghafouri-Shiraz, "Fundamentals of laser diode amplifiers," John Wiley & Sons, 1996.

F
E