

진행파형 반도체 광증폭기에서 이득특성의 활성층 구조 의존성

Structural dependence of an optical gain 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 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.

1. 서론

반도체 광증폭기는 다른 광소자들과 집적이 가능하고, 증폭파장대역이 넓어 WDM 광통신용 소자로서 매우 각광을 받고 있다. 반도체 광증폭기의 주요특성으로는 광증폭이득, 이득포화특성, 잡음특성등이 있다.^[1] 반도체 광증폭기는 잡음특성이 좋아야하며, 잡음특성의 개선을 위해 광증폭이득 및 이득포화특성에 대한 정확한 이해가 선행되어야 한다. 본 논문에서는 충분한 광증폭이득과 이득포화특성을 얻기에 적합한 공진기의 구조를 찾기 위하여, TMM (Transfer Matrix Method)을 이용한 simulation 결과와 제작한 광증폭기의 측정결과를 비교하였다.

2. 광증폭 이득의 이론적 고찰

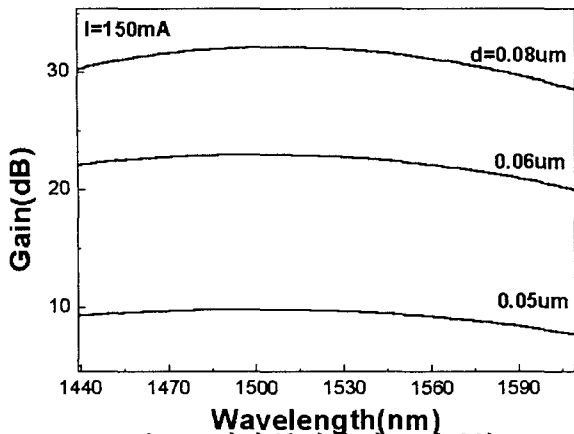
반도체 광증폭기의 이득은 자연방출에 의한 것이므로 이득 해석에는 공진기 내에서의 캐리어 농도의 계산이 중요하다. 캐리어 농도의 시간에 따른 변화는 식(1)의 rate equation으로 표현되고, steady state에서의 계산을 통해 캐리어 농도를 계산할 수 있다.^[2]

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\eta I}{qV} - R(N) - v_g S_{\text{photon}} g_m \quad R(N) = A_{nr} N + BN^2 + CN^3 \quad (\text{식1})$$

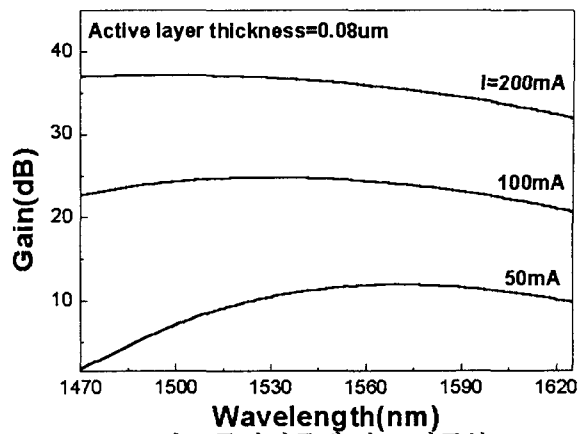
η 는 주입효율, V 는 공진기의 부피이고, $R(N)$ 은 재결합, v_g 는 군속도, S_{photon} 은 광자농도, g_m 은 물질이득이다. A_{nr} 은 표면재결합, B 는 자연결합, C 는 Auger 재결합 상수이다.

$$g_m(E) = \frac{q^2 h}{2\epsilon_0 m_0^2 c n E} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_c(E_c) \rho_v(E_v) |M_{if}|^2 L(E) [f_c(E_c) - f_v(E_v)] dE \quad (\text{식2})$$

식(2)는, 에너지에 따른 물질이득을 계산하는 식으로, ρ 는 상태밀도함수, $|M_{if}|^2$ 은 transition matrix의 평균 원소, $L(E)$ 는 선폭증가 함수이고, $f(E)$ 는 Fermi 분포함수이다. 축방향으로 불균일한 이득분포를 고려하기 위해 공진기의 길이를 n 개의 영역으로 나누고, 각 영역에서의 이득, 굴절률, 캐리어 분포등의 parameter는 일정하다고 가정하고 TMM(Transfer Matrix Method)을 사용하였다.



[그림1] 공진기 두께에 따른 이득분포

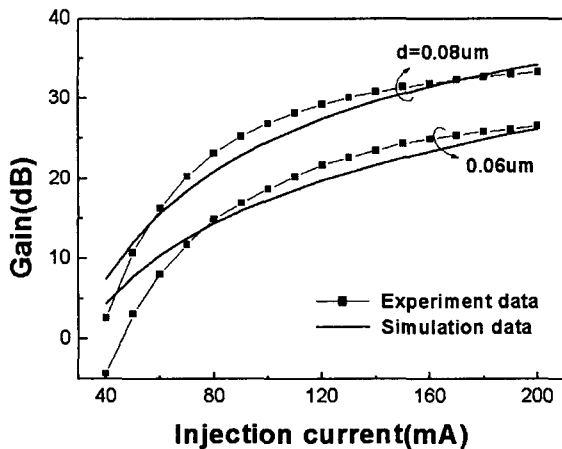


[그림2] 주입전류에 따른 이득분포

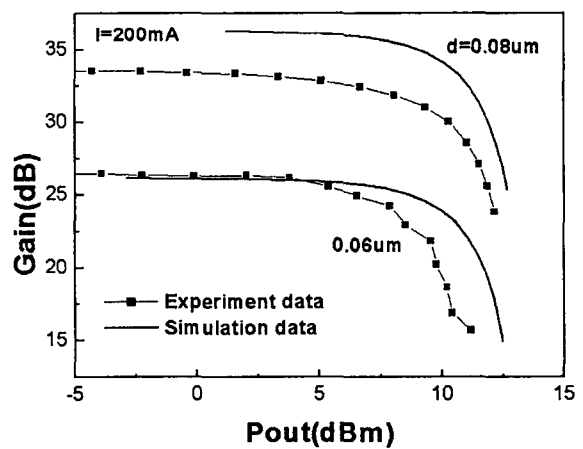
그림1)과 [그림2]는 공진기 두께와 주입전류에 따른 파장이득을 보여주는 simulation결과이다. 공진기 두께가 두꺼워짐에 따라 이득이 커지고, 중심파장이 장파장쪽으로 천이되며, 주입전류가 커짐에 따라 중심파장이 단파장으로 천이된다.

3. 실험결과

[그림3]은 주입전류에 따른 이득의 변화를 공진기 두께에 따라 각각 나타내었다. 공진기의 두께가 두꺼우면 이득이 크고, 주입전류의 증가에 따라 이득이 증가한다. [그림4]에서는 이득의 전력포화 특성을 나타내었다.



[그림3] 주입전류에 따른 이득변화 해석결과



[그림4] 공진기 두께에 따른 이득포화

4. 결론

TMM에 의해 계산된 반도체 광증폭기의 이득특성으로부터, 충분한 이득과 10dBm이상의 높은 포화출력 전력을 얻었고, 이는 실제 측정결과와 같은 경향을 보였다. 이로부터 향후 반도체 광증폭기의 중요한 특성인 잡음특성에 대한 해석 또한 가능하다.

5. 참고문헌

- [1] Tadashi Saitoh and Takaaki Mukai, *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. QE-23, No.6, June 1987
- [2] Lars Gillner, Edgard Goobar, Lars Thylen and Mats Gustavsson, *IEEE J. Quantum Electronics*, Vol.25, No8