

## 2차원 FEM 시뮬레이션을 이용한 650 nm InAlGaP/InGaP

### 다중양자우물 대면적 레이저다이오드의 열적 분석

## Thermal analysis of 650 nm InAlGaP/InGaP MQW broad area lasers using a 2D FEM simulation

임정우, 정관수, 유재수  
 경희대학교 전자전파공학과  
 jsyu@khu.ac.kr

최근, 디스크 저장 장치로써 CD-ROM보다 고밀도 디스크 저장 장치인 DVD가 보편화되고 있다. 이러한 DVD-ROM/RAM에는 약 10-30 mW 정도의 광출력을 내는 짧은 파장의 650 nm의 적색 반도체 레이저다이오드가 사용되고 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 650 nm의 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 레이저다이오드를 대면적 (broad area)으로 제작하면 상온 연속동작에서 더 높은 광출력을 가질 수 있다.<sup>(2)</sup> 그러나 소자의 고출력 동작의 경우, 소자 내부 온도가 급격히 상승하여 소자 자체 및 패키지에 영향 미침으로써 소자의 광학적, 전기적 특성을 불안정하게 만든다. 이러한 열적 특성은 소자의 수명, 신뢰성 등 소자의 특성을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 따라서 소자 내에서 발생하는 열을 효율적으로 외부로 방출하기 위해 소자의 열적 분석을 통한 예피 및 소자 구조가 최적화되어야 한다.

본 연구는 ATLAS 시뮬레이션을 이용하여 650 nm 파장을 방출하는 다양한 너비를 갖는 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드의 V-I-L 데이터를 얻어 heat source density를 계산하였다.<sup>(3)</sup> 그리고 2차원 FEM (finite element method) 시뮬레이션을 통해 소자들의 열적 분석으로부터 소자 내의 활성영역(active region)에서 열확산 및 온도 분포, 열저항 ( $R_{th}$ )을 계산하였다.<sup>(4)</sup>

그림 1은 기본적인 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드 구조를 나타낸다. 대면적 레이저다이오드의 경우 효율적인 전류주입과 누설전류를 줄이기 위해 거의 p형 클래드층까지 식각된 릿지 구조를 가진다. 릿지 너비는 20  $\mu\text{m}$ 로부터 200  $\mu\text{m}$ 까지 변화시켰다. 그림 1에서의 레이저다이오드 구조에 대해 V-I-L 특성을 위한 ATLAS 시뮬레이션이 수행되었다. 그리고 열적 특성은 2차원 FEM 시뮬레이션에 의해 분석되었다. 활성영역에서 발생한 열은 상부 p형 클래드 층을 통해 대류에 의해 확산되거나 하부 n형 클래드 층 및 n형 GaAs 기판을 통해 전도에 의해 heatsink로 확산된다. 소자 내에서의 열전달 방정식은 다음과 같이 주어진다.<sup>(5)</sup>

$$C_p \rho (\partial T / \partial t) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (1)$$

$$[k \nabla T]_n = h (T_{ambient} - T) \quad (2)$$

여기서  $C_p$ ,  $\rho$ ,  $k$ 는 각각 물질의 비열, 밀도, 열전도율이며  $t$ ,  $T$ 는 각각 시간과 온도를 나타낸다.  $Q$ 는 단위체적당 발생하는 활성영역 내부의 열로,  $Q = VI/U$ 와 같이 나타낼 수 있다.  $V$ 는 활성영역 내에서의 전압이고  $I$ 는 인가 전류,  $U$ 는 활성영역의 체적을 나타낸다. 일정온도(여기서  $T_{ambient} = 298\text{K}$ )에서 소자 내부는 자연대류를 가정하고, 복사에 대한 열 확산은 매우 작으므로 무시하였다. 화합물 반도체 물질의 경우, 양자우물 내에서는 isotropic 열전도율을 사용하였으며, 금속 물질의 경우 실제 측정되어 알려진 열전도율을 사용하였다.<sup>(6)</sup>

그림 2는 ATLAS 시뮬레이션을 통해 얻은 레이저다이오드들의 V-I-L 특성 곡선을 나타낸다. 각각의 문턱 전류 및 전압으로부터 heat source density를 계산하였고, 그 값은 그림 2의 내부에 나타나 있다. 명백히 문턱전류는 소자의 릿지 너비가 커짐에 따라 증가하였다. 이러한 heat source density는 릿지 너비가 좁아짐에 따라  $1.046 \times 10^{14} \text{W/m}^3$  ( $W = 200 \mu\text{m}$ )에서  $1.275 \times 10^{14} \text{W/m}^3$  ( $W = 20 \mu\text{m}$ )로 급격히 증가하였다.

그림 3은 2차원 대칭구조를 이용하여 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드 ( $W=50\ \mu\text{m}$ )의 열해석 시뮬레이션에 의한 열확산 및 온도 분포를 나타낸다. 그림 3에서 보듯이 대부분의 열이 전도에 의하여 하부 n형 클래드 층과 기판을 통해 heatsink로 확산됨을 볼 수 있다.  $W=50\ \mu\text{m}$  소자에 대해서 내부온도는 최대 361 K 까지 상승하였다.

그림 4는 레이저다이오드의 릿지 너비에 따른 열저항 및 열전도도를 보여준다. 릿지 너비가 감소함에 따라 열저항은  $W=200\ \mu\text{m}$ 에 대해  $R_{th}=66\ \text{K/W}$ 로부터  $W=20\ \mu\text{m}$ 에 대해  $R_{th}=657\ \text{K/W}$ 까지 증가하였다. 반면, 열전도도 ( $G_{th}$ )는  $G_{th}=25.4\ \text{W/K}\cdot\text{cm}^2$ 로 릿지 너비에 관계없이 일정하게 유지되었다. 실제 열전도도는 릿지 너비에 의해 다른 값을 가질지도 모른다. 이러한 결과는 ATLAS 시뮬레이션에 의한 이론적인 V-I-L data값에 기인할 수 있다. 보다 실제적인 소자의 열적 분석은 추후 V-I-L 측정결과에 기반을 둔 heat source density로부터 FEM 시뮬레이션을 통해 얻어질 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 650 nm InGaAlP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드에 대해 다양한 릿지 너비에 대해 이론적으로 얻어진 heat source density를 기반으로 2차원 열확산 모델을 사용하여 열 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 시뮬레이션을 통해 소자의 열확산, 온도분포, 열저항 및 열전도도가 계산되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발사업 [2008-F-045-02, 실감 휴대단말용 프로젝션 입·출력 광 플랫폼 개발]의 일환으로 수행하였음.

참고 문헌

1. J. Kongas et al., IEEE Photon. Technol. **10**, 1533 (1998).
2. K. Itaya, G. Hatakoshi, Y. Watanave, M. Ishikawa, and Y. Uematsu, Electron. Lett. **26**, 214(1990).
3. Silvaco ATLAS (vol. I&II) user's manual, Silvaco International.
4. COMSOL Multiphysics © 1994-2007 by COMSOL AB.
5. G. Hatakoshi, M. Onomura, M Mashimoto, S Nunoue, K. Itaya, and M. Ishikawa, Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 2764 (1999).
6. W. Nakwaski, J. Appl. Phys. **64**, 159 (1988).

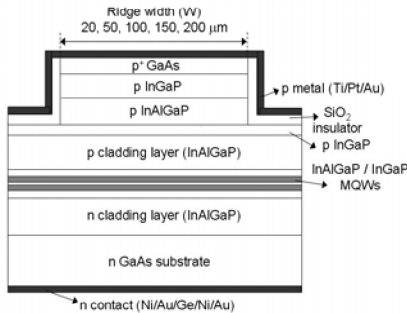


그림 1. 기본적인 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드의 구조도.

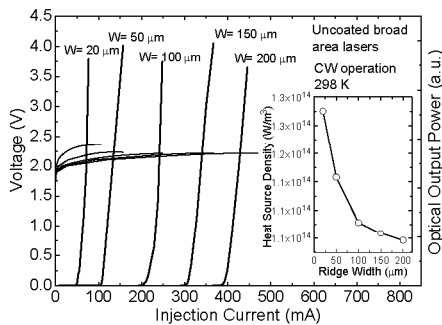


그림 2. ATLAS 시뮬레이션을 통해 얻은 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드들의 V-I-L 특성곡선.

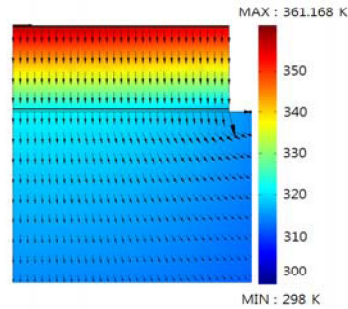


그림 3. 2차원 대칭구조를 이용하여 InAlGaP/InGaP 다중양자우물 대면적 레이저다이오드 ( $W=50\ \mu\text{m}$ )의 열해석 시뮬레이션에 의한 열확산 및 온도 분포.

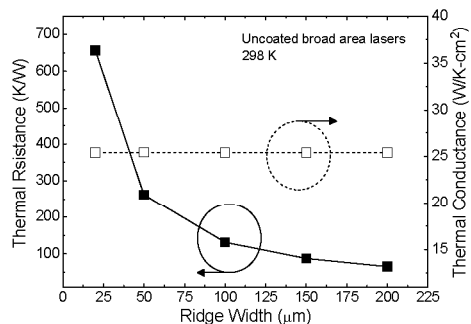


그림 4. 레이저다이오드의 릿지 너비에 따른 열저항 및 열전도도.