

# 난반사체를 이용한 다이오드 횡여기 Yb:YAG 레이저의 열유도 효과 연구

## Thermal Effect of a Diode Side-Pumped Yb:YAG Laser Using a Diffusive Reflector

이성만, 김선국, 윤미정, 문희종, 김현수, 고도경, 차병현, 이종민  
한국원자력연구소 양자광학기술개발팀  
smlee3@kaeri.re.kr

난반사체를 이용한 다이오드 횡여기 Yb:YAG 레이저에서 레이저 결정의 반경과 레이저 결정의 도핑 농도 등을 매개변수로 하여 이들 매개변수의 변화가 열초점거리에 미치는 영향을 분석해 보았다. 이 때 결정의 굴절률은 1.826, 결정의 투과율은 90%, 결정의 길이는 10 mm로 하였으며, 냉각수의 굴절률은 1.33, 냉각튜브의 두께는 1.5 mm로 하였다. 또 렌즈를 통과한 광선의 divergence는 5도, 난반사 공동체의 반사율은 95.7%로 계산하였다. 다이오드의 전체 출력은 600 W이다. 펌프헤드의 구조도를 그림1에 보였다.

먼저 아래의 이차원 열전도 방정식으로부터 레이저 결정내의 온도분포를 구한다.

$$\left( \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} \right) T(x, y) + \frac{Q(x, y)}{K} = 0 \quad (1)$$

여기서  $K$ 는 레이저 결정의 열전도이고  $Q(x, y)$ 는 단위 부피당 발생하는 열을 나타내며 이 값은 단위 부피당 흡수된 출력에 열손실율을 곱한 값이다. 단위 부피당 흡수된 출력은 광선추적법을 이용하여 구하였고 Yb:YAG의 열손실율은 10%로 계산하였다.<sup>1</sup> 이 방정식은 SOR(Successive Overrelaxation)법을 이용하여 수치해석적으로 풀었다.<sup>2</sup> 레이저 결정 중심 단면에서의 온도분포를 그림2에 보였다.

열초점거리( $f_T$ )는 레이저 결정의 온도에 따른 굴절률 변화를 구면렌즈의 경우에 대응시켜서 구할 수 있는데 이때 열초점거리를 나타내는 식은 (2)식과 같다.<sup>3</sup> 여기서  $L$ 은 레이저결정의 길이이고  $T_2$ 는 이차 온도 계수이며  $dn/dT$ 는 굴절률의 온도 변화 계수이다.

$$f_T = - \frac{1}{2LT_2(dn/dT)} \quad (2)$$

레이저 결정의 도핑농도를 1 at. %에서 5 at. %까지 1 at. % 간격으로 변화시켜 보았다. 이 때 난반사 공동체의 반경은 7 mm, 결정의 반경은 1 mm로 하여 계산하였다. 열초점거리는 레이저 결정의 도핑농도의 변화에 따라 반비례하는 양상을 보임을 알 수 있다. 도핑농도가 1 at. %일 때의 열초점거리는 44.5 cm이고, 5 at. %일 때의 열초점거리는 21.8 cm이다.

레이저 결정의 반경( $r$ )을 1 mm에서 3 mm까지 0.5 mm간격으로 변화시키면서 열초점거리를 조사해 보았다. 이때 난반사 공동체의 반경은 6 mm, 레이저 결정의 도핑농도는 2.5%로 하여 계산하였다. 레이저 결정의 반경이 증가하면 열유도효과가 감소함을 알 수 있다. 문턱 흡수출력을 고려했을 때<sup>4</sup> 레이저

결정의 반경은 1.5 mm정도가 적당하고 이 때 열초점거리는 46.8 cm로 계산되었다.

[참고문헌]

1. T. Y. Fan, "Heat Generation in Nd:YAG and Yb:YAG", IEEE Journal of Quantum Electronics 29, 1457 (1993)
2. W. H. Press, S. A. Teukolsky, "Numerical Recipes in C" (Cambridge University Press, Cambridge, 1996) Chapter19.
3. Jie Song, Anping Liu, Kazunori Okino, and Ken-ichi Ueda, "Control of thermal lensing effect with different pump light distributions", Appl. Opt., Vol. 36, No. 30, pp. 8051-8055 (1997)
4. Sungman Lee, Sun Kook Kim, Mijeong Yun, et al., "Design of a Stacked Diode Array Pumped Yb:YAG Laser with a Diffusive Optical Cavity", Proceedings of The 8th Symposium on Laser Spectroscopy held in KAERI, Taejeon, Korea, 2000.

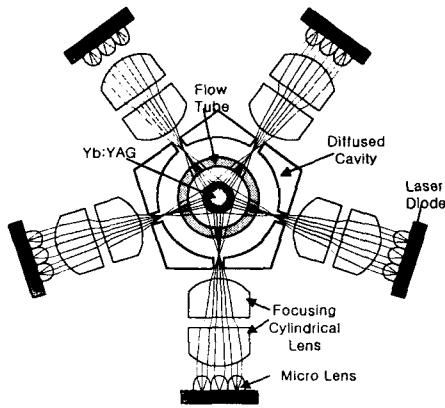


그림 1

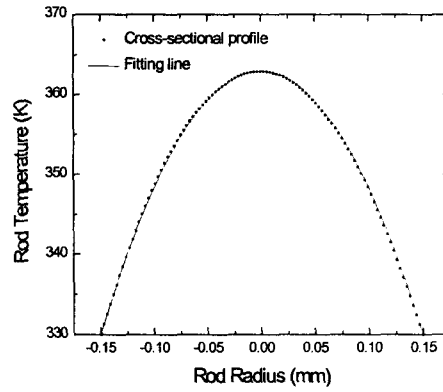


그림 2

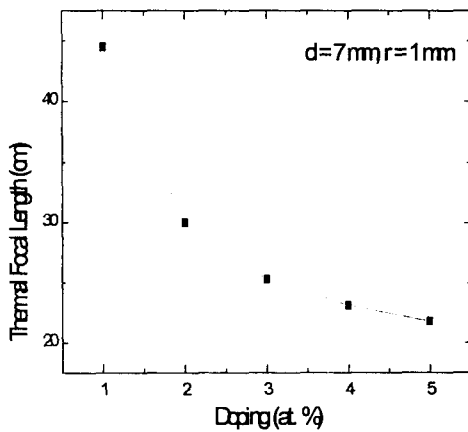


그림 3

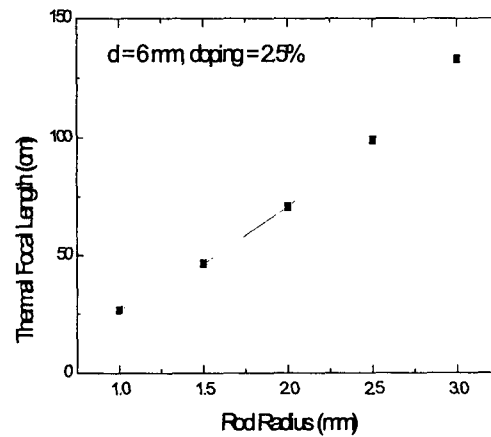


그림 4