

다이오드로 증편평한 Nd:YVO₄ 레이저의 제2고조파 발전

Lasing Characteristics of Diode Pumped Nd:YVO₄ Laser and Frequency Doubling

이용우, 이 종훈, 김광석*
 영남대학교 물리학과, *주식회사 금광
 jhyi@yu.ac.kr

레이저 다이오드(laser diode : LD)를 사용하여 고체 이득 매질을 여기하는 방법으로 레이저를 발전시키려는 아이디어는 1960년대 초에 제안되었으며, 몇 년 후에 실증되었다.⁽¹⁾⁻⁽²⁾ 그러나, GaAlAs계의 고출력 LD가 개발되기 시작한 1980년대 후반 이후에야 실용적인 가능성이 나타나 활발히 연구되어지기 시작하였다. 초기에는 단면여기 방식을 사용하는 10 W급 이하의 저출력 레이저에 대한 연구가 주로 이루어졌으나,⁽³⁾⁻⁽⁴⁾ LD 가격이 급속히 하락하면서 측면여기 방식을 이용한 고출력 DPSSL에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾ 본 연구에서는 간단한 구조를 가진 저출력의 녹색광 레이저를 개발하는 것이 목표이므로 단면에 직접 여기하는 방식을 사용하고자 한다. 레이저 결정은 Nd:YVO₄를 사용하였다. 이 결정은 유도 방출 단면적이 매우 크고 기울기 효율(slope efficiency)이 높으며 흡수 스펙트럼 폭이 넓어서 LD의 파장 변화에 덜 민감한 장점이 있다. 사용한 LD(SDL-2300)는 단일 발광면을 가졌으며, 발광면의 면적은 200 $\mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 이다. LD의 최대 출력은 2 W이며, 이 때의 전류는 약 2 A 이다. LD의 몸체는 TE 냉각기에 의하여 온도가 조절되는 구리재질의 블록에 밀착시켜 21°C로 일정하게 유지되도록 하였다. 이 때, 다이오드의 중심 파장이 808.5 nm이 되게 하여 Nd:YVO₄의 흡수 피크와 잘 일치하도록 하였다. 집속광학계를 사용하여 LD를 Nd:YVO₄ 결정의 단면에 강하게 집속시켰다. LD가 부착된 몸체는 Nd:YVO₄ 결정을 둘러싸고 있는 냉각용 몸체와 연결되어 있다. 본 실험을 위하여 제작한 레이저의 개략도가 그림 1에 나와 있다.

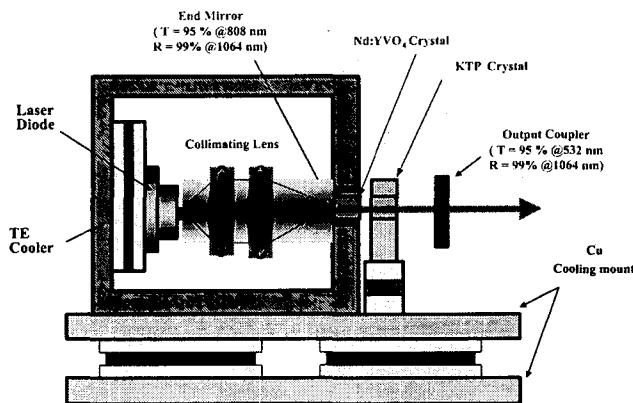


Fig. 1. Schematic structure of a diode-pumped solid-state green laser.

Nd:YVO₄ 결정 (Casix product)은 단면이 3 x 3 mm², 길이가 6 mm이며, LD가 입사되는 면의 표면에는 808 nm 파장에서 무반사가 되도록 유전체 코팅을 입히고 1064 nm과 532 nm에서 고반사가 되도록 하였다. Nd의 농도는 1.1 at.%이며, 인디움으로 감쌌다. 레이저의 기본파를 공진기 내부에서 제2고조파로 변조시키기 위하여 KTP를 사용하였다. KTP의 온도가 변화하면 결정내부에서의 위상정합 조건이 변화하고, 이로 인하여 레이저 출력의 변동에 큰 영향을 미치므로 온도를 0.5 °C 이내로 안정화시키기

위하여 별도의 온도 안정화 장치를 사용하였다. Nd:YVO₄는 단축 결정(uniaxial crystal) 구조를 가져서 선형 편광된 제2고조파가 발생하였으며, 98% 이상의 편광을 보였다.

제2고조파 레이저의 출력 특성을 출력경의 곡률과 공진기의 길이를 변화시키면서 측정하였다. 출력경의 곡률이 50 mm, 공진기 길이가 30 mm 인 때, 전류에 따른 제2고조파(532 nm) 레이저의 출력을 측정한 결과, 최대 출력은 45 mW 이었다. 이 상태에서 공진기의 길이를 45 mm로 늘리면, 출력은 약 55 mW로 조금 더 증가하였다. 공진기의 길이가 늘어나면 모드공간(mode volume)이 조금 더 늘어나기 때문에 출력이 증가하였으리라 본다. 그림 2는 공진기의 길이를 30 mm로 두고, 출력경의 곡률을 100 mm로 증가시켰을 때의 532 nm 레이저의 출력을 보여준다. 출력은 약 100 mW로 증가하였다. 이 상태에서 공진기 길이를 45 mm로 증가하여도 출력의 증가는 관측되지 않았다. 곡률이 커진 결과, 공진기의 길이 증가로 인한 모드 공간의 증가는 둔화된 것이 원인으로 생각된다. 공진기 길이 증가에 따른 모드 직경의 변화를 확인하기 위하여 공진기의 길이가 30 mm, 출력경의 곡률이 100 mm인 때, 공진기 내부에서 TEM₀₀ 모드 레이저빔 직경을 ABCD 행렬을 사용하여 계산하였다. 그 결과 레이저 결정 위치에 서, TEM₀₀ 모드의 빔 직경은 214 μm 정도이었으며, 다이오드 레이저빔의 직경과 거의 일치한다. 따라서 다이오드 레이저 에너지 전달 조건이 이 때에 가장 좋아서 가장 큰 출력이 나온 것으로 생각된다.

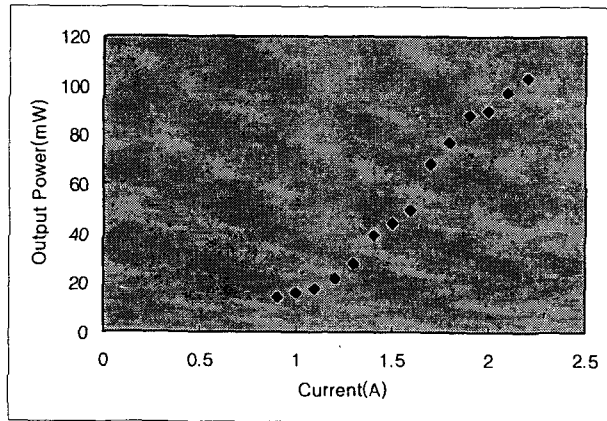


Fig. 2. Output power of second harmonic of Nd:YVO₄ laser vs. diode current. (cavity length: 30 mm, output coupler curvature: 100 mm, laser wavelength: 532 nm)

레이저 출력의 요동을 시간에 따라 기록하면서 레이저 종모드의 변화를 관측하였다. 관측된 모드는 약 3개이었다. 레이저의 출력은 약 7%의 요동을 보였으나, 종모드의 변화가 관측될 때는 30% 이상의 출력 요동을 보였다. 결론적으로, 단일 발광면을 갖는 다이오드 레이저로 여기하는 Nd:YVO₄ 레이저 공진기를 제작하고 출력 특성을 측정하였으며, 그 결과, 출력경의 곡률이 100 mm, 공진기 길이가 30 mm 인 때, 제2고조파 (532 nm) 레이저의 최대 출력 100 mW를 얻었다.

<감사의 글>

이 논문은 2001학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.

<참고문헌>

1. W. Koechner, Solid State Laser Engineering (4'th Edition, Springer - Verlag, Berlin).
2. R J Keyes and T M Quist, Appl. Phys. Lett, 4 50 (1964).
3. W. A. Clarkson and D. C. Hanna, Opt. Lett. 21, 869(1996).
4. D. Golla, M. Bode, S. Knoke, W. Schoene and A. Tuennermann, Opt. Lett. 21, 210 (1996).
5. S. Konno, S. Fujikawa and K. Yasui, Appl. Phys. Lett. 70 (20), 2650 (1997).
6. B. J. Le Garrec, G. J. Raze, P. Y. Thro and M. Gilbert, Opt. Lett. 21, 1990 (1996).