

티타늄 사파이어 펌핑 레이저의 파장 및 편광에 대한 Nd:YVO₄ 레이저의 출력 특성

Output Characteristics of a Nd:YVO₄ Laser for the Wavelength and Polarization of a Ti:Sapphire Pumping Laser

안범수*, 추한태, 김규욱
금오공과대학교 자연과학부 물리전공
htchoo@knut.kumoh.ac.kr

Nd:YVO₄ 결정은 레이저 발진 파장에서의 유도방출 단면적이 크고, 펌핑 파장에서의 큰 흡수계수 및 넓은 흡수밴드 폭을 가지고 있으므로 다이오드 레이저(LD)로 펌핑하는 고체레이저 가운데 가장 효율이 좋은 레이저 매질 중의 하나로 알려져 있다. 또한 우수한 물리적, 광학적 및 역학적 성질로 인하여 소형이면서 안정된 고출력 레이저를 얻기가 용이하며 발진 파장으로는 914 nm, 1064 nm 및 1342 nm 가 알려져 있으며, Nd:YAG 레이저와 같이 1064 nm가 주된 발진 파장이다. 최근에는 안정된 고출력 적외선 레이저 뿐 아니라 비선형 결정(KTP 또는 LBO 등)을 이용한 내부공진기 주파수 배가(intracavity frequency doubling)로 고출력 녹색 레이저 및 Cr:YAG 결정을 포화 흡수체로 이용한 소형의 Q-스위칭 Nd:YVO₄ 레이저에 개발에 대한 연구도 활발히 진행 중이다.⁽¹⁻⁴⁾

Nd:YVO₄ 결정은 Nd³⁺ 이온의 도핑 농도에 따라 다르지만 π -방향⁽⁵⁾에 대하여 600 nm 및 809 nm 근처의 파장에서 강한 흡수 단면적을 지닌 자연적인 복굴절성 결정이므로 레이저 출력도 비정상 방향(π -방향)으로 선형 편광 되어있다. 따라서, 결정의 자른 방향(a-cut 및 c-cut)에 따라 펌핑 레이저의 편광 방향 및 파장에 민감하게 출력 변동이 나타나게 된다. 따라서, 본 실험에서도 파장가변 티타늄 사파이어 레이저(750 nm ~ 930 nm 영역에서 900 mW이상의 출력)를 이용하여 펌핑 레이저의 편광 방향(E_{||}c 및 E_⊥c) 및 파장 변화 등에 따른 Nd:YVO₄ 레이저의 출력 특성에 대하여 조사하였다.

그림 1은 Nd:YVO₄ 레이저를 위한 공진기 구조를 나타낸다. 사용한 Nd:YVO₄ 결정의 크기는 3×3mm² 및 두께가 1 mm이고 Nd³⁺ 이온의 도핑 농도가 1.0 atm.%인 a-cut 결정이다. 이때, 결정의 한 쪽 면은 808 nm에서 R<5%이고 1064 nm 및 532 nm에서 R>99 %로 코팅하여 평면 고반사 거울로 사용하였고, 다른 한쪽 면은 1064 nm에서 무반사 코팅하고 열전대(TE-cooler)와 냉각수를 이용하여 항상 일정한 온도를 유지시켜 출력 효율을 높였다. 출력 거울은 곡률 반경이 100 mm이고 1064 nm에서의 반사율 R = 98 %인 오목 거울을 사용하였다. 그림 2 및 그림 3은 펌핑 레이저의 편광 방향(P-편광 및 S-편광)에 대하여 파장 변화에 따른 Nd:YVO₄ 결정의 흡수율 및 레이저 출력 특성을 각각 나타낸다. 티타늄 사파이어 레이저의 편광이 S-편광일 때가 넓은 흡수 밴드폭을 가지며 흡수율 증가에 따른 레이저 출력의 증가가 확인되었다. 그림 4는 평면-오목형 공진기 거리에 따른 Nd:YVO₄ 레이저 출력 특성을 나타낸다. 이때, 그림의 오른쪽 수치는 Nd:YVO₄ 결정에서의 공진기 모드 크기를 계산하여 나타냈다. 그림에서와 같이 결정에서의 공진기 모드 크기가 작을수록 레이저 출력이 높아짐을 확인하였다. 그림 5는 펌핑 레이저 출력에 대한 Nd:YVO₄ 레이저의 출력을 나타낸다. P-편광 및 S-편광에 대한 기울기 효율이 각각 44 % 및 57 %로 측정되었다.

참고문헌

- (1) Yung-Fu Chen, Ting-Ming Huang, Chi-Luen Wang, and Long-Jeng Lee, " Compact and efficient 3.2-W diode-pumped Nd:YVO₄/KTP green laser ", Appl. Opt., 37, 5727-5730 (1998).
- (2) D. Shen, A. Liu, J. Song, and K. I. Ueda, "Efficient operation of an intracavity-doubled Nd:YVO₄/KTP laser and pumped by a high-brightness laser diode ", Appl. Opt., 37, 7785-7788 (1998).
- (3) G. J. Friel, A. J. Kemp, T. K. Lake, and B. D. Sinclair, " Compact and efficient Nd:YVO₄ laser that generates a tunable single-frequency green output ", Appl. Opt., 39, 4333-4337 (2000).
- (4) Yung-Fu Chen, S. W. Tsai, and S. C. Wang, " High-power diode-pumped Q-switched and mode-locked Nd:YVO₄ laser with a Cr⁴⁺:YAG saturable absorber ", Opt. Lett., 25, 1442-1444 (2000).
- (5) G. J. Kintz and T. Baer, " Single-frequency operation in solid-state laser materials with short absorption depths ", IEEE J. Quantum Electron. 26, 1457-1459 (1990).

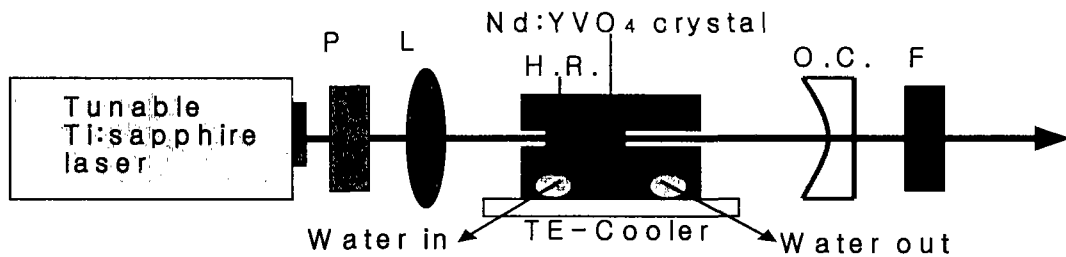


그림 1. Nd:YVO₄ 레이저를 위한 공진기 구조

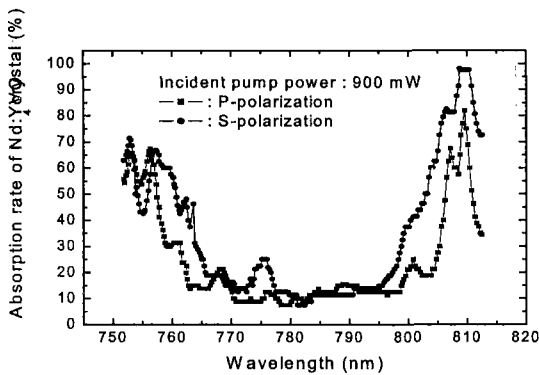


그림 2. 파장 변화에 따른 Nd:YVO₄ 결정의 흡수율

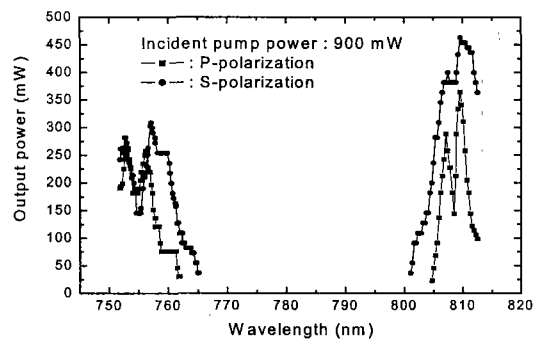


그림 3. 파장 변화에 따른 Nd:YVO₄ 레이저 출력

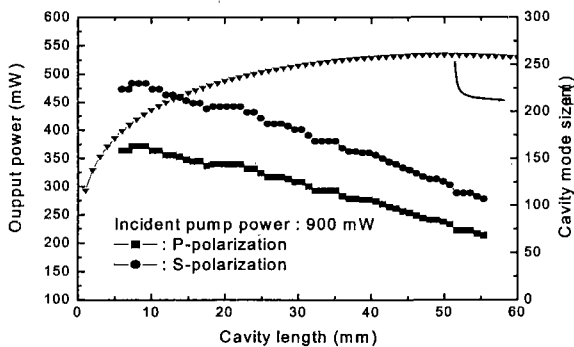


그림 4. 공진기 길이에 따른 Nd:YVO₄ 결정에서의 공진기 모드 크기와 Nd:YVO₄ 레이저 출력

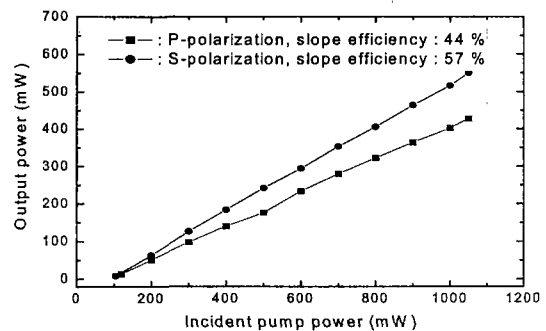


그림 5. Nd:YVO₄ 레이저 출력의 기울기 효율