

반도체 레이저로 종펌핑하는 946 nm Nd:YAG 레이저의 출력 특성

Output Characteristics of the Longitudinally Pumped 946 nm Nd:YAG Laser with Laser Diode

박차곤*, 추한태*, 김규욱*

*금오공과대학교 자연과학부

cgpark@kumoh.ac.kr

1964년 J. E. Geusic 등⁽¹⁾에 의해 처음으로 발진에 성공한 Nd:YAG 레이저는 파장이 1064 nm이고 발진 문턱 값이 낮고 이득이 매우 커서, 비선형 결정을 이용하여 녹색 광원(532 nm)을 얻는데 주로 이용되어 왔다. 최근에는 발진파장 중 946 nm를 진동수 배가한 473 nm 청색 광원에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며^(2~7), 고밀도 광학저장매체, 디스플레이, 의료장비, 그리고 해저통신에 이르기까지 여러 분야에 응용할 수 있다. Nd:YAG 결정은 상온에서 ${}^4F_{3/2}$ 준위로 들뜬 경우 230 μ s 정도의 형광수명 (fluorescence lifetime)을 가지고 아래 준위로 떨어지게 된다. 이때 ${}^4I_{11/2}$ 준위로 떨어지는 천이 중 일부는 1064 nm, ${}^4I_{9/2}$ 준위로 떨어지는 천이 중 일부는 946 nm의 형광을 내게 되며, 바닥상태의 대부분의 원자들이 들뜨게 되면 ${}^4F_{3/2}$ 준위에서 각각의 준위로 천이될 확률은 0.6 과 0.25 이다⁽⁸⁾. 따라서 총 들뜬 원자의 25%만이 ${}^4I_{9/2}$ 준위로 떨어지면서 그중에 일부만이 946 nm의 형광을 내게 된다. 이것은 1064 nm의 발진가능성에 비해 946 nm를 발진시키는 것이 어렵다는 것을 의미한다.

그림 1은 본 연구에서 반도체 레이저로 종펌핑하고 946 nm에서 발진하는 Nd:YAG 레이저를 구성한 것을 보여준다. 코어 지름이 400 μ m, 개구수(numerical aperture, NA)가 0.22인 광섬유가 결합된 808 nm의 다이오드 레이저(fiber coupled LD, Limo Laser System)를 비구면 렌즈 조합(aspheric lens pair, $f = 11.0$ mm, $NA = 0.25$, AR coated at 600 ~ 1050 nm)을 통해 이득매질로 집속시켰다. Nd³⁺가 1.0 at.% 첨가된 직경 3 mm, 길이 5 mm인 이득매질 Nd:YAG 결정은 펌핑면(M₁)이 808 nm와 1064 nm에 대해 고투과되고 946 nm에 대해서는 고반사되도록 코팅하였고, 다른 면은 946 nm에 대해 무반사 코팅하였다. 선형 공진기의 출력거울 M₂는 1064 nm에 대해 90% 이상 투과시키고 946 nm에 대해 97% 반사되도록 코팅하였다.

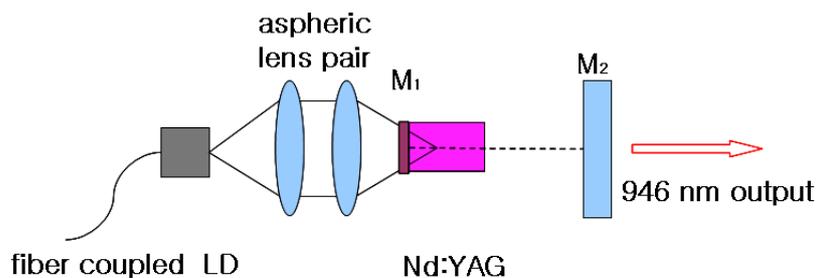


그림 1. 반도체 레이저로 종펌핑하는 946 nm Nd:YAG 레이저 장치

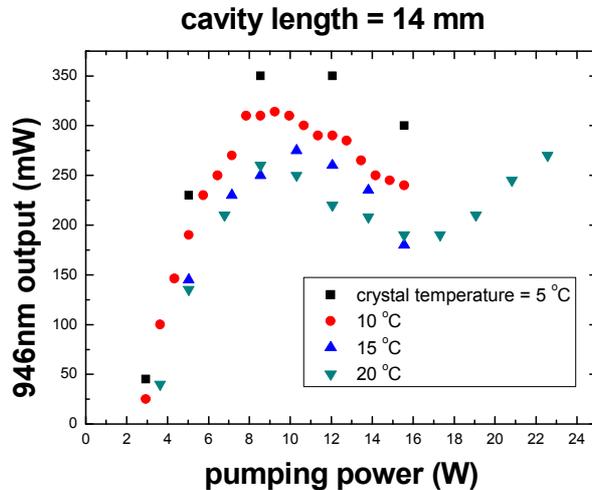


그림 2. 펌핑 레이저의 출력에 따른 946 nm의 출력특성

선형 공진기의 길이가 14 mm인 경우에 펌핑 레이저의 출력에 따른 946 nm 파장의 출력을 관측한 결과를 그림 2에 나타내었다. 이때 열전 냉각기를 이용하여 이득매질의 온도를 5 °C, 10 °C, 15 °C 그리고 20 °C로 유지시켰다. 그 결과 이득매질의 온도를 낮게 유지할수록 더 높은 출력(5 °C에서 최고 350 mW)을 얻을 수 있었으며, 상온에 가까워질수록 발진 문턱값이 2.45 W에서 3.08 W로 점차 높아짐을 확인할 수 있었다. 또한 펌핑 레이저의 출력이 높을수록 이득매질의 열적인 효과가 커져 출력이 떨어지는 양상을 보였다.

1. J.E. Geusic, H.M. Marcos and L.G. Van Uitert, "LASER OSCILLATIONS IN Nd-DOPED YTTRIUM ALUMINUM, YTTRIUM GALLIUM AND GADOLINIUM GARNETS", Appl. Phys. Lett. 4, 182-184 (1964).
2. W. A. Clarkson, R. Koch, and D. C. Hanna, "Room-temperature diode-bar-pumped Nd:YAG laser at 946 nm", Opt. Lett. 21, 737-739 (1996).
3. C. Czeranowsky, E. Heumann, and G. Huber, "All-solid-state continuous-wave frequency-doubled Nd:YAG-BiBO laser with 2.8-W output power at 473 nm", Opt. Lett. 28, 432-434 (2003).
4. R. Zhou, T. Zhang, E. Li, X. Ding, Z. Cai, B. Zhang, W. Wen, P. Wang, J. Yao, "8.3 W diode-end-pumped continuous-wave Nd:YAG laser operating at 946-nm", Opt. Expr. 13, 10115-10119 (2005).
5. Q. H. Xue, Q. Zheng, Y. K. Bu, F. Q. Jia, and L. S. Qian, "High-power efficient diode-pumped Nd:YVO₄/LiB₃O₅ 457 nm blue laser with 4.6 W of output power", Opt. Lett. 32, 1070-1072 (2006).
6. R. Zhou, E. Li, H. Li, P. Wang, and J. Yao, "Continuous-wave, 15.2 W diode-end-pumped Nd:YAG operating at 946 nm", Opt. Lett. 31, 1869-1871 (2006).
7. H. Peng, W. Hou, Y. Chen, D. Cui, Z. Xu, "Generation of 7.6-W blue laser by frequency-tripling of a Nd:YAG laser in LBO crystals", Opt. Expr. 14, 6543-6549 (2006).
8. T. Kushida, H.M. Marcos, and J.E. Geusic, "Laser Transition Cross Section and Fluorescence Branching Ratio for Nd³⁺ in Yttrium Aluminum Garnet", Phys. Rev. 167, 289-291 (1968).