

반도체레이저 여기 세라믹 Nd:YAG 레이저에서 열렌즈 효과의 보상에 의한 출력특성

The Output Characteristics of the Laser-Diode Pumped Ceramic Nd:YAG Laser by the Compensation of Thermal Lensing Effect

김덕래*, 신동준**, 김영식*, 김병태**

*단국대학교 의학레이저의료기기연구센터, **청주대학교 레이저광정보공학과

duckiboy@hanmail.net

레이저는 고밀도의 데이터 저장과 검색, 광학적 센서, 색채 표시장치를 비롯하여 산업, 군사 및 의료 등 여러 분야에서 폭 넓게 사용되면서 고효율의 고체레이저 연구·개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 본 연구에서는 세라믹 Nd:YAG를 이용한 레이저 개발 시 레이저 출력에 영향을 미치는 열렌즈 효과에 대한 보상법을 분석하고, 열렌즈 효과를 보상할 수 있는 최적의 상태를 파악하는데 중점을 두었다.

세라믹 Nd:YAG는 Nd:YAG 결정에 비해 Nd^{3+} 첨가율을 약 4 배까지 높일 수 있어 발진이 쉽고, 고효율의 출력을 얻을 수 있다⁽¹⁾. 분말로 된 원료를 진공상태에서 고온으로 소결하여 만드는 매질은 제작 시간이 Nd:YAG 결정보다 짧고 제작비용도 저렴하다. 세라믹 Nd:YAG의 흡수 및 방출 스펙트럼, 형광수명, 열전도도와 열팽창률은 Nd:YAG 결정과 거의 동일하다. 세라믹 Nd:YAG은 Nd:YAG 결정보다 열충격 파라메타는 1.5 배, 곡강도는 1.3 배, 빅커스 경도는 1.1 배, 그리고 파괴인성은 최대 5 배 크다. 이와 같은 특성을 가지고 있는 세라믹 Nd:YAG는 고효율의 고체레이저에 적합하다^(2,3).

고체레이저 개발 시 저출력에서 고출력으로 이동함에 따라 레이저 매질에서의 열영향은 레이저 출력에 큰 영향을 미친다. 레이저 매질에 여기광이 입사되면 흡수된 에너지 중 레이저 출력과 공진기 손실을 제외한 값이 열로 변환된다. 변환된 열은 열확산과 매질 표면으로부터 냉각이 진행되어 매질 내부에서는 불균일한 온도 분포를 유발시킨다. 온도에 따른 굴절률 변화는 열렌즈 효과를 발생시킨다⁽⁴⁾. 열렌즈 효과는 공진하는 레이저광을 발산 또는 수렴시켜 광 경로를 바꾸어 레이저 출력의 손실과 빔질의 저하를 나타낸다. 열영향을 줄이기 위한 방법 중에서 열복굴절 현상은 공진기 내에 $\lambda/4$ 판이나 Faraday 회전판을 삽입하여 줄일 수 있고⁽⁵⁾, 열렌즈 효과는 공진기 내에 보상용 렌즈를 삽입하거나 레이저 매질의 균일한 냉각, 지그재그 슬랩형 공진기 또는 불안정 공진기를 구성하여 보상할 수 있다⁽⁶⁾.

그림 1은 세라믹 Nd:YAG 레이저의 열렌즈 효과 보상 실험장치도이다. 여기원은 코어 직경이 400 μm 인 광섬유 연결 반도체레이저로 중심파장 808 nm에서 최대 25 W까지 출력을 낼 수 있다. 반도체레이저의 광을 레이저 매질에 집광시키기 위해 구면렌즈 6매의 집속광학계를 이용하였다. Nd:YAG 세라믹은 Nd^{3+} 이 2 at.% 첨가된 것으로 길이가 10 mm이다. 공진기는 808 nm와 1064 nm에 대해 이색성 코팅한 평면거울과 반사율이 90 %, 곡률반경이 120 mm인 출력거울을 사용하였다. 공진기 내부에는 열렌즈 효과를 보상하기 위한 렌즈를 위치시켰다. 레이저 매질은 구리로 제작한 홀더에 열전소자와 수냉식 방

열판을 부착하여 매질 전체가 냉각되도록 하였다.

세라믹 Nd:YAG 레이저에서 열렌즈 효과에 의한 출력 특성에 대해 선행 연구된 결과에 의하면, 여기 파워가 6 W 이상 되면 출력거울의 반사율에 관계없이 출력 감소 현상이 나타났으며, 12 W 부근에서는 레이저가 발진되지 않았다⁽⁷⁾.

실험은 열렌즈 효과를 보상하기 위한 보상용 렌즈의 초점거리 및 유효직경과 공진기 내부에서 보상용 렌즈의 위치에 따른 레이저 출력을 측정하였다. 초점거리가 30 mm, 유효직경이 22 mm인 보상용 렌즈를 평면거울로부터 35 mm 떨어진 곳에 설치하였을 경우 열렌즈 효과가 가장 잘 보상되어 레이저 출력이 크게 향상 되었다. 실험에서는 기구물의 여유 공간이 없어 보상용 렌즈를 35 mm 이하로 위치시킬 수 없었다. 이 때 여기파워 12 W에서 29 %의 레이저 출력 효율을 얻었다. 세라믹 Nd:YAG에 펄스 형태로 여기 하였을 경우 나타나는 열렌즈 효과에 대한 실험이 진행 중이다.

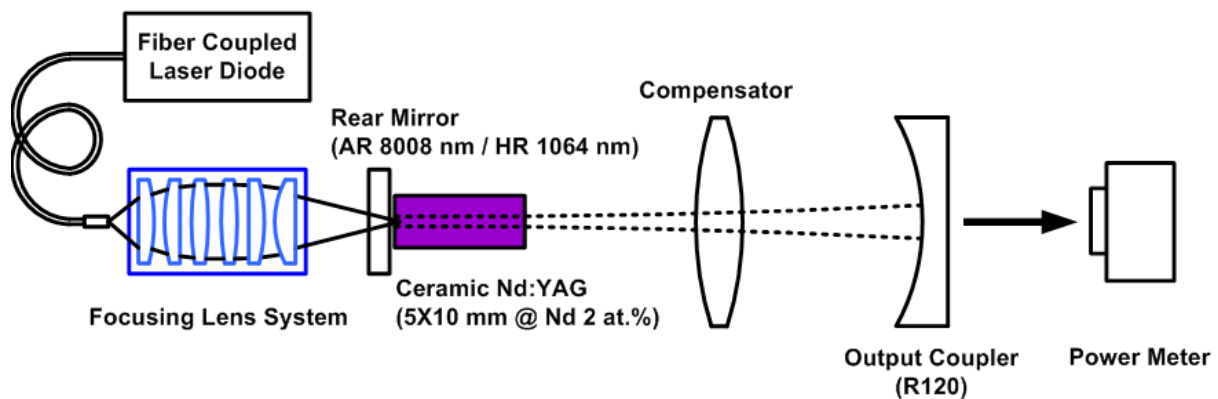


그림 1. 세라믹 Nd:YAG 레이저의 열렌즈 효과 보상 실험장치도

참고문헌

1. J. Dong, J. LU, A. SHIRAKAWA, K. UEDA, "Optimization of the laser performance in Nd^{3+} :YAG ceramic microchip lasers", Appl. Phys. B80, 39 (2005).
2. Jianren Lu, Ken-ichi Ueda, Hideki Yagi, Takagimi Yanagitani, Yasuhiro Akiyama, Alexander A. Kaminskii, "Neodymium doped yttrium aluminum garnet ($Y_3Al_5O_{12}$) nanocrystalline ceramics—a new generation of solid state laser and optical materials", J. Allous and Compounds 341, 220 (2002).
3. J. LU, M. Prabhu, J. Song, C. Li, J. Xu, K. Ueda, A. A. Kaminskii, H. Yagi, T. Yanagitani, "Optical properties and highly efficient laser oscillation of Nd:YAG ceramics", Appl. Phys. B71, 469 (2000).
4. W.Koechner, "Solid-state Laser Engineering", Springer-Verlag, 413 (1999).
5. M. Ohmi, M. Akatsuka, L. Ishikawa, K.Naito, S. Nakai, Y. Yonezawa, Y. Nishida, Y. Izawa, M. Yamanaka, "High sensitivity two-dimensional thermal and mechanical-stress-induced birefringence measurement in a Nd:YAG rod," Appl. Opt., 33, 6368 (1994).
6. Welford, D., Rines, D.M., Dinerman, B.J., Martinsen, R., "Observation of Enhanced Thermal lensing Due to Near-Gaussian Pump Energy deposition in a Laser-Diode Side-Pumped Nd:YAG Laser," IEEE J. Quantum Electron, 28, 1075 (1992).
7. 옥창민, 김병태, 김덕래, "광섬유 연결 반도체레이저 여기 세라믹 Nd:YAG 레이저에서 열렌즈 효과에 의한 출력특성", 한국광학회지, 17, 455 (2006).