

세라믹 Nd:YAG 레이저매질에서의 열복굴절 특성 해석

Analysis of Thermal Birefringence Properties in a Nd:YAG Ceramic

김덕래, 신동준*, 신재현*, 김영식, 김병태*

단국대학교 의학레이저의료기기연구센터, *청주대학교 레이저광정보공학과

duckiboy@hanmail.net

고출력 레이저는 첨단과학 연구 분야는 물론 재료 가공, 박막 제작 및 리소그래피 등 산업적 응용 분야에도 다양하게 사용되고 있다. 고출력 고체레이저를 개발할 때 발생하는 가장 큰 문제점은 레이저 매질 내에서의 열영향이다. 이는 레이저 출력과 빔질에 좋지 않은 영향을 미쳐 레이저의 응용성을 떨어뜨린다. 본 연구는 세라믹 Nd:YAG에서의 열복굴절 효과를 파악하는데 그 목적을 두고 있다.

세라믹 Nd:YAG에서의 열복굴절은 세계의 여러 연구진들에 의해 많은 연구가 진행되고 있다. 현재까지의 연구결과에 의하면 Nd^{3+} 첨가율이 같은 세라믹 YAG와 (111)-cut YAG 단결정은 유사한 depolarization 특성을 나타내는 것으로 발표되고 있다^(1,2). 이에 대한 원인은 세라믹 YAG가 30~100 μm 정도의 크기를 갖는 많은 단결정 그레인(grain)이 불규칙한 방향으로 구성되어 있기 때문이다⁽³⁾. 세라믹 YAG에서의 복굴절 효과는 많은 그레인에서 나타난 복굴절 효과의 평균과 같다고 생각할 수 있다. 이는 YAG 결정과는 본질적으로 다른 특징이다. 또한 동일한 여기파워에서도 Nd^{3+} 첨가율이 증가할수록 depolarization이 증가하였으며, 이는 열부하(thermal loading)의 상승이 주된 원인이라고 보고되고 있다⁽⁴⁾.

실험장치 구성에서 여기원은 코어 직경이 400 μm 인 광섬유 연결 반도체레이저로 열전소자에 의해 27.5 $^{\circ}C$ 로 유지되고, 중심파장 808 nm에서 최대 25 W의 출력을 나타낸다. 공진기는 808 nm와 1064 nm 파장에 대하여 이색성 코팅을 한 평면거울과 곡률반경이 120 mm인 출력거울을 사용하여 반구면 형태로 구성하였다. Nd:YAG 세라믹은 Nd^{3+} 이 2 at.% 첨가된 것으로 길이가 10 mm, 직경이 5 mm인 것을 사용하였다. 세라믹 Nd:YAG에서의 열복굴절 특성을 파악하기 위하여 탐침광인 He-Ne 레이저를 사용하였다. 실험은 레이저의 발진 여부에 따라 세 가지 방법으로 측정하였다. 첫 번째는 Conoscope 방법으로 선편광을 매질에 입사시킨 후 탐침광의 강도 변화를 측정하는 것이다. 두 번째는 탐침광의 편광 상태를 원편광으로 만들어 레이저 매질에 입사시키는 것이다. 세 번째는 원편광을 입사시킨 후 매질을 투과한 탐침광이 검광자로 들어가기 전에 $\lambda/2$ 판을 조절하여 광량의 세기가 최대가 되도록 한 후 여기파워에 따른 탐침광의 변화량을 측정하는 것이다. 열복굴절에 의한 탐침광의 광량 변화 및 횡모드는 광검출기와 CCD 카메라를 컴퓨터에 연결하여 측정하였다.

그림 1은 레이저 발진 시 여기파워에 따른 탐침광의 광량 변화이다. 탐침광의 광량은 여기파워에 따라 변화되어 여기파워 12 W에서 세 가지 측정 방법에 대해 각각 10.2 %, 20.6 %

및 31.4 %로 측정되었다. 실험 결과, 선편광보다 원편광에서 탐침광의 광량 변화가 2배 정도 크게 나타났다. 이는 원편광을 이용한 경우가 매질에서의 위상차에 따른 depolarization 양이 크기 때문이다. 그리고 원편광만 입사시켰을 때보다 원편광을 입사시킨 상태에서 검광자 앞에 $\lambda/2$ 판을 설치하였을 때 탐침광의 변화량이 더 크게 나타났다. 이는 매질의 광축과 검광자 사이의 각도를 $\lambda/2$ 판으로 보정하여 매질에서의 위상차를 정확하게 측정하였기 때문에 탐침광의 광량 변화가 증가된 것으로 판단된다. 현재 이론적인 계산을 통하여 측정값과 이론값을 비교 분석 중이다.

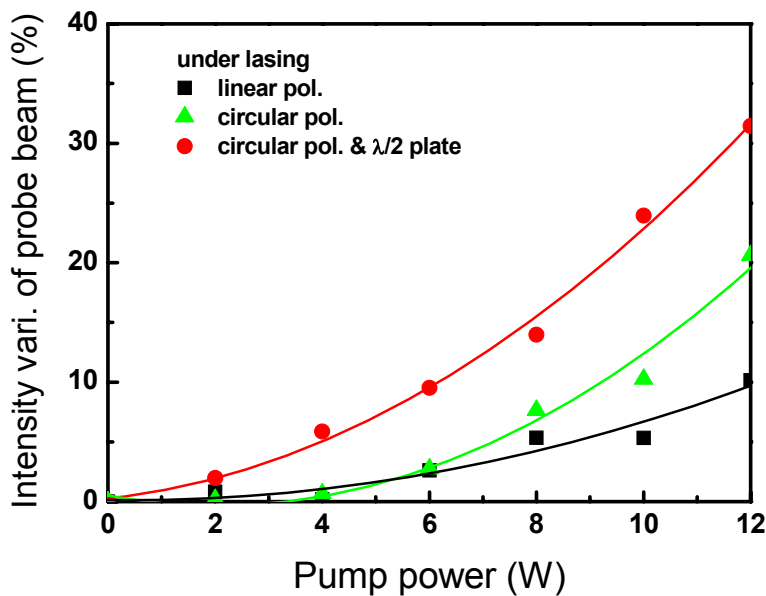


그림 1. 여기파위에 따른 탐침광의 광량 변화

참고문헌

1. E. A. Khazanov, "Thermally induced birefringence in Nd:YAG ceramics," Opt. Lett. 27, 716 (2002)
2. M. A. Kagan and E. A. Khazanov, "Features of compensation of thermally induced depolarization in polycrystalline Nd:YAG ceramic," Quantum Electron. 33, 876 (2003)
3. M. A. Kagan and E. A. Khazanov, "Thermally induced birefringence in Faraday devices made from terbium gallium garnet-polycrystalline ceramics," Appl. Opt. 43, 6030 (2004)
4. Ichiro Shoji, Takunori Taira, Akio Ikesue, "Thermally-induced-birefringence effects of highly Nd³⁺-doped Y₃Al₅O₁₂ ceramic lasers", Optical Materials 29, 2171 (2007)