

세라믹 Nd:YAG 레이저 매질의 균열 해석

Analysis of Crack Behavior in a Ceramic Nd:YAG

김덕래^{*}, 김병태^{*}
Duck-Lae Kim, Byung-Tai Kim^{*}

LIG 넥스원, ^{*}청주대학교
LIG Nex1, ^{*}Cheongju University

Abstract : The crack behavior in the ceramic Nd:YAG at a laser-diode end-pumped Nd:YAG ceramic laser was investigated. The fracture critical temperature difference of the ceramic Nd:YAG is about 355 °C. The fracture of the 2 at.% and the 4 at.% ceramic Nd:YAG occurred more than 14.9 W and 6.9 W pump powers, respectively, under lasing conditions.

Key Words : Ceramic Nd:YAG, Fracture, Thermal Effects

1. 서 론

산업 현장에서 사용되고 있는 고출력 고체레이저는 주로 Nd:YAG 단결정을 이용하고 있지만, 최근 들어 YAG 결정에 비해 제작 비용과 기간을 줄일 수 있고 매질 크기와 활성 이온을 크게 향상시킬 수 있는 세라믹 Nd:YAG가 차세대 레이저 매질로 크게 주목을 받고 있다[1,2]. 세라믹 Nd:YAG의 열적 특성인 열전도도와 열팽창률은 Nd:YAG 결정과 유사함에도 불구하고 2 at.% 이상의 높은 Nd³⁺ 첨가율에 비례하여 높아진 흡수 계수는 여기광을 국부적으로 흡수하게 만들어 매질 중심과 표면 사이의 온도차를 크게 발생시킨다[3]. 레이저 매질에서의 온도차는 열렌즈 효과 및 열복굴절 효과를 발생시킬 뿐만 아니라 매질 파손도 유발시키는 요인으로 작용한다. 특히 매질 파손 현상은 고출력 레이저 개발 시 레이저 출력을 제한하기 때문에 레이저의 운용 안전성을 확보하기 위하여 반드시 분석되어야 한다. 본 논문에서는 세라믹 Nd:YAG의 첨가율에 따른 매질 내부에서의 온도 분포와 임계 온도차를 구하여 매질 파손의 원인을 규명하고, 고체 레이저로의 적용 시 안전하게 사용할 수 있는 여기 파워의 범위를 파악한다.

2. 결과 및 토의

광섬유 연결 반도체레이저 여기 세라믹 Nd:YAG 레이저의 실험 장치는 다음과 같다. 여기원은 광섬유 연결 반도체레이저(Apollo Ins. : F25-808-4P)로 광섬유 코어 직경은 400 μm, 수치 구경은 0.22이며, 여기 전류 45 A에서 최대 25 W까지 출력된다. 반도체레이저의 온도는 온도 조절기(Newport : Model 350)를 이용하여 동작 온도 27 °C로 조절하였다. 광섬유 끝에서 출사되는 레이저광은 유효초점거리가 10.9 mm, 투과율이 91.6%인 집속광학계를 이용하여 여기광의 빔직경을 380 μm로 만든 후 레이저 매질의 단면에 집속시켰다. 세라믹 Nd:YAG는 5.0φ×10 mm 크기에 Nd³⁺이 2 at.%와 4 at.% 첨가된 것으로 여기광의 입사면에는 808 nm와 1064 nm에 대해 무반사 코팅, 다른 쪽 면에는 1064 nm에 대해 무반사 코팅이 되어 있다. 레이저 공진기는 모드 정렬의 어려움이 거의 없는 안정된 반구면 공진기로 구면 거울과 구면 거울의 곡률 중심에 위치한 평면 거울로 구성하였다. 평면 거울의 크기는 10×20×2¹ mm로 808 nm에서 무반사, 1064 nm에서 전반사의 이색성 코팅이 되어 있다. 출력 거울은 곡률 반경이 120 mm이며, 1064 nm에서 반사율이 90%인 것을 사용하였다.

세라믹 Nd:YAG에서 열응력에 의해 매질 파괴가 나타나는 임계 온도차는 355 °C로 계산되었다. 레이저가 발진되는 상황에서 임계 온도차를 나타내는 여기 파워는 레이저 매질 2 at.%와 4 at.%에서 각각 14.9 W와 6.9 W이며, 이에 대한 단위 부피당 파워는 각각 24.4 kW/cm³와 25.6 kW/cm³로 계산되었다. 여기 파워를 최대 15.3 W까지 입사시킨 상황을 고려하면, 2 at.% 세라믹 Nd:YAG는 임계 온도차 근처에서 발생한 응력이 여러 번 가해져 매질 내에 균열이 서서히 성장하다가 결국 파손된 것으로 판단된다. 4 at.% 매질은 임계 온도차 이상의 여기광이 입사되어 매질이 한 번에 파손된 것으로 분석된다. 세라믹 Nd:YAG의 파손을 줄일 수 있는 방법으로 매질 직경을 5 mm에서 2 mm로 줄이면 여기 파워를 1.4배 정도 더 입사시킬 수 있어 레이저 출력을 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

참고 문헌

- [1] P. J. DONG, J. LU, A. SHIRAKAWA and K. UEDA, Appl. Phys. B 80, 39, 2005.
- [2] J. Lu, K. Takaichi, T. Uematsu, A. Shirakawa, M. Musha, K. Ueda, H. Yagi, T. Yanagitani and A.A. Kaminskii, Appl. Phys. Lett. 81, 4324, 2002.
- [3] 옥창민, 김덕래, 김병태, 한국광학회지 17, 455, 2006.

[†] 교신저자) 김덕래, e-mail: kimducklae@lignex1.com, Tel: 031-288-9203
주소: 용인시 마북동 148-1 LIG 넥스원 전자광학연구센터