

Nd:LSB 마이크로칩 레이저에서의 885nm 펌핑 885nm pumping of Nd:LSB microchip laser

장원권, 유영문*, Takunori Taira**

한서대학교 컴퓨터응용물리학과, *한국광기술원, **일본분자과학연구소
jwk1@hanseo.ac.kr

매우 작은 이득 매질 안에 높은 농도의 레이저 이온을 도핑하여 공진기의 길이를 수 mm 이내로 대폭 축소하였으면서도 기존의 고체 레이저보다 효율적이며, 소형화된 마이크로 칩 레이저에 관한 연구는 최근 여러 연구진에 의해 활발하게 진행되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾ 기존의 YAG는 열 전달 계수가 크며, 역학적, 광학적, 화학적 성질이 모두 매우 우수한 레이저 매질로 평가되어왔으나 대표적인 레이저 이온인 Nd이온과 비교하여 Yttrium이온의 크기가 커서 도핑 농도를 높이는데 한계를 가지고 있다. 그러므로 이러한 연구는 자연스럽게 새로운 물질을 연구 개발하는데 집중되었고, 그 중 Nd:YVO₄와 같은 물질이 많이 연구되었다.⁽⁴⁾ 그러나 Nd:YVO₄ 역시 도핑률에 한계를 가지고 있어 레이저의 효율을 올리는데 한계를 가진다.

본 연구에서는 마이크로칩 레이저 매질로써 Nd:LSB를 택하여 Nd형 마이크로칩 레이저에서 펌핑 파장을 808nm에서 885nm의 H-band로 바꾸어 펌핑하였을 때 레이저 기율기 효율이 향상되고 문지방 에너지가 낮아지는 것을 실험적으로 연구하였으며, 기존의 다른 연구결과와 비교하여 분석하였다.

Nd:LSB는 약 10년 전 러시아에서 처음으로 결정성장에 성공한 이래 독일, 중국 등의 연구진에 의하여 활발하게 연구가 진행되어 왔으며, Nd이온의 크기와 La이온의 크기가 거의 비슷하여 Nd 이온의 도핑률이 100%까지도 가능할 정도이다. 또한 높은 도핑률에도 불구하고 광학적, 화학적 성질 등이 거의 그대로 유지된다는 점에서 마이크로칩 레이저 매질로써 적당한 조건을 가지고 있다. 그러나 YAG에 비하여 현저하게 낮은 열 전달계수로 인하여 고출력 레이저의 가능성은 없는 것이 단점이다. 우리나라에서도 약 2년 전 결정 성장에 성공한 이래 연구가 진행되어 오고 있으나 결정 성장 조건에 따라 결정 구조에서 space group이 바뀌고, 그때마다 광학적 성질이 변화하여 분석에 있어 매우 까다롭다.

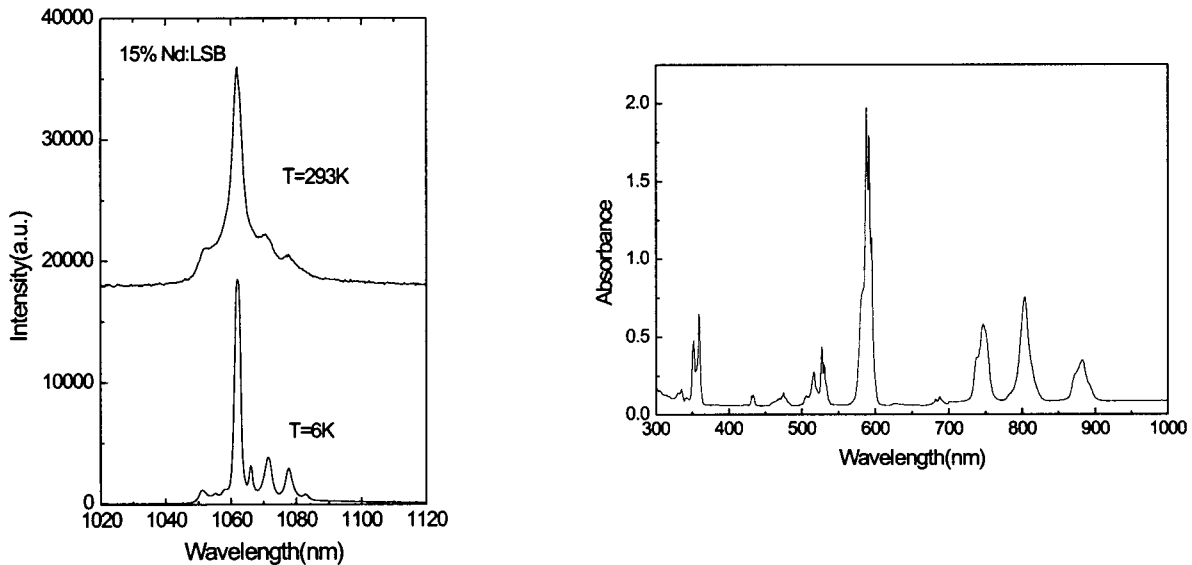


그림 1. 15% Nd:LSB의 형광 및 흡수 스펙트럼

본 연구에서는 국내에서 성장한 15% Nd:LSB 결정과 러시아에서 구입한 10% Nd:LSB 결정을 가지고 결정 구조 분석을 한 결과 모두 C2 space group에 속하는 것으로 조사되었으며, 흡수 및 형광 스펙트럼, 형광 수명 변화 및 저온에서의 스펙트럼 조사로 분광분석을 하였다.

일반적으로 Nd형 레이저를 펌핑할 경우 턱하게 되는 808nm 근방의 파장은 몇 가지 편리한 점을 제공해준다. 즉, Nd형 고체 레이저 매질은 대개 808nm 근방에서 높은 흡수를 가지고 있어 펌핑 광원의 출력이 효율적으로 레이저 매질에 흡수되며, 또한 상업용 다이오드 레이저의 확보가 쉬워 펌핑 광원의 확보에 문제가 거의 없다는 점이다. 그러나 최근 반도체 산업의 급격한 발달은 885nm 근방에서의 다이오드 레이저의 출현에 어려움이 없게 하였으며, 오히려 885nm 펌핑은 808nm 펌핑의 경우와 비교하여 양자효율이 높다는 점에서 레이저 매질 내의 열 발생을 효과적으로 감소시킬 수 있다. 즉, 885nm의 펌핑 파장을 이용할 경우 Nd형 레이저 발전 시 효율 향상 등을 기대할 수 있다.

본 연구에서 Nd:LSB마이크로칩 레이저매질을 이용하여 레이저 발전시 기울기 효율의 상승과 문지방 에너지의 극적인 감소에서 실험적으로 확인할 수 있었다. 실험을 위하여 Nd:LSB 결정의 한 면에 808nm에서 높은 투과율과 레이저 발전파장인 1063nm에서 높은 반사율을 가지는 이중 박막코팅을 하고 다른 면에는 1063nm에서 무반사 코팅을 하였으며, 출력경의 반사율과 곡률 반경을 변화시켜가며 레이저 출력을 측정하였다. 808nm에서의 출력을 측정한 결과 97%의 반사율과 30mm의 곡률 반경을 가진 출력경을 사용할 경우 기울기 효율은 55%이었고 문턱 에너지는 20mW로 조사되었는데 이것은 실온에서 발전한 Nd:LSB 마이크로칩 레이저에 대한 보고 중에서 가장 높은 것으로 추정된다.

885nm 펌핑에서 기울기 효율이 59%로 향상하였고 문지방 에너지도 6mW로 극적으로 감소하였다. 펌핑 광원으로는 파장 변환에 따른 출력의 빔 질 변화를 최소화하기 위하여 Ti:Sapphire 레이저를 사용하였고 펌핑광의 출력을 변화시킬 때도 출력 빔의 공간 분포 변화를 최소화하기 위하여 편광자 두 개를 이용하여 조절하였다. Ti:Sapphire레이저의 출력 빔의 크기는 600 μm 정도였으며, 38.2mm의 초점거리를 가지는 렌즈에 의하여 집속되었을 때 크기는 $\omega \sim 65.6 \mu\text{m}$ 이었다. 비교를 위하여 885nm에서의 펌핑에서는 808nm에서의 펌핑 조건과 동일하게 하였으며, wavelength analyzer와 beam profile analyzer를 이용하여 펌핑광의 흡수와 출력 빔의 공간 모드를 조사한 결과 885nm 펌핑에서 출력 레이저 빔 질은 더욱 양호해졌다. critical resonator가 구성되었다.

이러한 결과는 Stokes 인자와 양자효율의 손실을 모두 줄일 수 있기 때문으로 과거 Nd형 레이저 펌핑 파장으로 인식되어온 808nm 근방에서의 펌핑 방법에 대한 대안이 된다. 즉, 고출력 Nd 형 레이저에서 문제가 되는 열발생 문제는 종종 레이저 출력 빔 질의 저하와 선폭 확대를 일으키므로 885nm 펌핑을 할 경우 보다 효율적인 레이저 출력을 얻을 수 있다.

참고문헌

1. T. Sasaki, T. Kojima, A. Yokotani, O. Oguri, and S. Nakai, "Single-longitudinal-mode operation and second harmonic generation of Nd:YVO₄ microchip lasers", Opt. Lett., 16, 1665-1667 (1991).
2. G. Wang, W. Chen, Z. Li, and Z. Hu, "Optical transition probability of Nd³⁺ ions in a α -Nd³⁺:LaSc₃(BO₃)₄ crystal", Phys. Rev. B60, 15469-15471 (1999).
3. J. B. Gruber, T. A. Reynolds, D. A. Keszler, and B. Zandi, "Spectroscopic properties of nonlinear NdSc₃(BO₃)₄", J. Appl. Phys., 87, 7159-7163 (2000).
4. I. Shoji, S. Kurimura, Y. Sato, T. Taira, A. Ikesue, and K. Yoshida, "Optical properties and laser characteristics of highly Nd³⁺ doped Y₃Al₅O₁₂ ceramics", Appl. Phys. Lett., 77, 939-941 (2000).

M
E