

소모적 열감소에 따른 Nd형 마이크로칩 레이저의 효율 증가

장원권, 유영문*

한서대학교, 한국광기술원*

Improvement of efficiency of Nd-type microchip laser by dissipative heat reduction

Won Kweon Jang, Young Moon Yu*

Hanseu Univ., Korea Photonics Technology Institute*

Abstract

대개의 Nd형 레이저 광소자는 ${}^4F_{5/2}$ 의 준위로 펌핑하여 양자효율이 떨어지며, 소모적 열의 발생으로 마이크로칩 레이저의 높은 펌핑 밀도에 의한 열발생을 유도한다. 그러나 ${}^4F_{3/2}$ 준위로의 직접 펌핑은 소모적 열 발생을 획기적으로 줄일 뿐 아니라 이로 인한 레이저 발진 효율의 증가를 가능하게 하였다. Nd:LSB 마이크로칩 레이저의 경우 공진기 구성에 따라 6-11%의 기술기 효율이 상승하였다.

Key Words : Nd형 레이저 광소자, ${}^4F_{5/2}$, ${}^4F_{3/2}$ 준위, Nd:LSB

1. 서론

최근 마이크로칩 레이저는 기존의 고체 레이저에서 가지고 있던 빔질을 거의 그대로 유지하면서 소형화하여 칩 안에 패키징할 수 있어 유용하며, 많은 연구가 되어오고 있다. 두께가 1mm이하의 얇은 레이저 매질에 높은 레이저 이온의 도핑농도를 유지하기 위해서 새로운 레이저매질에 관한 연구라든가 기존의 우수한 레이저 특성을 보인 Nd:YAG와 같은 물질의 도핑농도를 높이기 위한 연구는 모두 소형으로 간편화된 고품질의 레이저 광원을 얻기 위함이다. 그 중 Nd형 레이저는 특히 다른 레이저 이온에 비해 펌핑광의 흡수가 크기 때문에 유용하다. 그러나 마이크로칩 레이저는 좁은 영역에 높은 펌핑광을 주사하기 때문에 발생하는 열이 레이저의 효율을 떨어뜨리며, 이를 감소시키기 위한 여러 가지 방안이 연구되고 있다. 그러나 이러한 노력은 근본적으로 레이저 매질의 낮은 양자효율에 의한 영향을 감소시킬 수 없으므로 한계가 있다. 대개의 Nd형 고체 레이저에서는 1% 정도의 도핑농도가 사용되므로 외부적으로 열을 식히려는 장치에 의해 해결하지만 마이크로칩 레이저와 같이 높은 도핑을 가지고 있는 물질에서는

이 부분에 대한 연구도 필요해진다. 통상적인 Nd형 레이저의 펌핑 파장인 807nm에서의 흡수 최대는 바닥상태인 ${}^4I_{9/2}$ 로부터 들뜬 상태인 ${}^4F_{5/2}$ 와 ${}^4H_{9/2}$ 로의 전이에 의한 것인데 형광 스펙트럼에서는 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 에 해당하는 전이선의 분기율이 0.49 정도로 다중구조인 ${}^4F_{3/2}$ 준위로부터 전이가 가능한 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$, ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$, ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$, 및 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ 의 4개의 전이선 가운데 가장 크다. 그러므로 대부분의 Nd형 레이저 매질의 양자효율은 75% 정도가 된다. 그러나 펌핑 파장을 885nm의 흡수선인 ${}^4F_{3/2}$ 로 바꿀 경우 양자효율은 약 83% 정도로 증가하여 레이저 효율을 증대를 가져올 수 있다. 본 연구에서는 Nd형 마이크로칩 레이저의 양자효율을 낮춤으로써 소모적 열을 감소시키는 방안에 대한 검토를 하였다.

2. 실험 및 고찰

2.1 분광특성

표 1. 은 Nd:LSB의 흡수 전이선이다. 다른 보고에서 밝힌 바와 같이 Nd:LSB는 807.5nm에서 ${}^4I_{9/2}$ 로부터 들뜬 상태인 ${}^4F_{5/2}$ 와 ${}^4H_{9/2}$ 로의 흡수 최대를 가지고 있고 이 전이선이 상업용 다이오드 레이저의 파장과 잘 일치하며, 공간균과 도핑농도에 따라

3~4 nm정도로 선폭이 확대되어 있어 펄핑이 용이하다.

표 1. Nd:LSB의 흡수 전이선.

Transition(from ${}^4I_{9/2}$)	λ (nm)
${}^4F_{3/2}$	883.5
${}^4F_{5/2} + {}^2H_{9/2}$	807.5
${}^4F_{7/2} + {}^4S_{3/2}$	749.6
${}^4F_{9/2}$	687.7
${}^4G_{5/2} + {}^2G_{7/2}$	586.9
${}^2K_{13/2} + {}^4G_{7/2} + {}^4G_{9/2}$	521.2
${}^2K_{15/2} + {}^2G_{9/2} + ({}^2D, {}^2P)_{3/2} + {}^4G_{11/2}$	472.3
${}^2P_{1/2}$	433.8
${}^4D_{3/2} + {}^4D_{5/2} + {}^2I_{11/2} + {}^4D_{1/2}$	356.5
${}^2L_{15/2}$	332.2

표 2는 Nd:LSB의 경우 각각의 전이선에 대한 line strength를 나타낸 것이다. 바닥상태인 ${}^4I_{9/2}$ 로부터 통상적인 펄핑 전이선에 해당하는 ${}^4F_{5/2}$ 와 ${}^4H_{9/2}$ 로의 전이선의 경우가 ${}^4F_{3/2}$ 로의 전이선에 비해 약 3 배 가량 높은 것을 알 수 있다. 그러나 Nd:LSB의 경우 거의 100% 정도까지 도핑이 가능한 점을 고려하면 이것은 별 문제가 되지 않는다. 즉, 807.5nm에서 10% Nd:LSB의 흡수계수는 32cm^{-1} 로 두께를 1mm 정도로 할 경우 single pass에 의해 펄핑광의 95%정도가 흡수되는데 도핑농도에 구애를 받지 않는 Nd:LSB의 경우 펄핑 전이선을 바꾸어도 레이저 발진에 필요한 펄핑광의 흡수는 도핑농도로 보상할 수 있게 된다.

표 2. Measured and calculated line strength.

Transition(from ${}^4I_{9/2}$)	$S_{meas}(10^{-20}\text{cm}^2)$	$S_{calc}(10^{-20}\text{cm}^2)$
${}^4F_{3/2}$	0.948	1.157
${}^4F_{5/2} + {}^2H_{9/2}$	3.300	3.309
${}^4F_{7/2} + {}^4S_{3/2}$	2.548	2.732
${}^4F_{9/2}$	0.126	0.203
${}^4G_{5/2} + {}^2G_{7/2}$	7.916	7.917
${}^2K_{13/2} + {}^4G_{7/2} + {}^4G_{9/2}$	1.728	1.744
${}^2K_{15/2} + {}^2G_{9/2} + ({}^2D, {}^2P)_{3/2} + {}^4G_{11/2}$	0.434	0.327
${}^2P_{1/2}$	0.147	0.151
${}^4D_{3/2} + {}^4D_{5/2} + {}^2I_{11/2} + {}^4D_{1/2}$	2.357	2.379
${}^2L_{15/2}$	0.314	0.140

2.2 레이저 발진

펄핑광을 808nm에서 885nm로 변경하였을 때 레이저 출력의 변화를 관찰하기 위하여 빔질이 우수한 Ti:Sapphire 레이저를 펄핑 광원으로 사용하였다. 다이오드 레이저는 온도에 의한 파장 조절이 필요하고 서로 다른 출력 특성으로 본 연구에는 적합하지 않았다. 펄핑광의 출력은 빔 크기 등의 변화를 야기하지 않기 위하여 편광자와 위상 회전기를 이용하여 출력을 조절하였다.

그림 1은 펄핑광의 파장을 808nm로 하였을 때와 885nm로 하였을 때의 Nd:LSB 마이크로칩 레이저의 출력을 비교한 것이다. 출력경의 반사율은 모두 1064nm에서 99%의 반사율을 갖는 동일한 것으로 30mm의 곡률을 가지고 있어 광밀도를 극대화하기 위해 공진기의 길이를 30mm 정도로 유지하였다. 실험에 사용한 결정은 10% Nd:LSB로 C2/c 공간 군에 속하는 것으로 두께는 1mm로 양면 평행 연마된 것이었다. 펄핑광의 입사면은 펄핑광의 파장에 대해서는 높은 투과율을 가지고 레이저 발진 파장인 1064nm에 대해서는 100% 반사하도록 박막처리 되었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 808nm 펄핑 하였을 경우보다 885nm로 펄핑 하였을 경우의 출력이 향상된 것을 알 수 있다. 기울기 효율은 33.4%에서 37.1%로 증가하였으며, 문지방 에너지는 12mW에서 4mW로 낮아졌다.

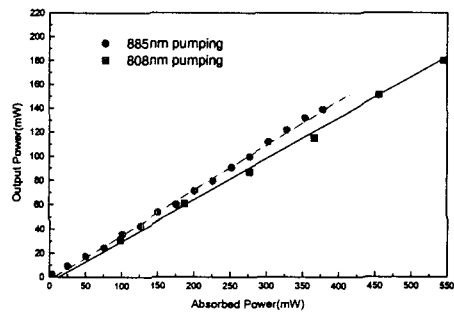


그림 1. 펄핑광의 파장 변화에 따른 레이저 출력.

3. 결론

초소형 마이크로칩 레이저의 새로운 매질인 Nd:LSB를 이용하여 레이저 발진을 할 경우 펄핑광의 파장을 통상적인 ${}^4I_{9/2}$ 로부터 들뜬 상태인 ${}^4F_{3/2}$ 에 해당하는 808nm로부터 ${}^4F_{5/2}$ 와 ${}^4H_{9/2}$ 에 해당하는

885nm로 바꾸었을 때 양자효율의 증가와 함께 레이저 발진 효율도 증가하는 것을 실험적으로 확인하였다. 출력경의 반사율을 99%로 하였을 때 기울기 효율은 약 11.1%증가하였고, 문지방 출력은 12mW에서 4mW로 매우 감소하였다. 그러므로 고농도 도핑과 고밀도 펌핑이 필수인 마이크로 칩 레이저에서 Nd형 레이저의 경우 소모적 열의 감소를 목적으로 펌핑광의 파장을 808nm로부터 885nm로 변경하는 것이 레이저 효율의 증대에 효과적임을 알 수 있었다. 또한 이러한 결과에 대한 이론적 검토와 함께 보완적 연구가 이루어질 경우 새로운 레이저 형태인 마이크로칩 레이저의 출력을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] P. Gavrilovic, M. S. O'Neill, K. Meehan, J. H. Zarrabi, S. Singh, and W. H. Grodkiewicz, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 60, p. 1652 (1992).
- [2] D. K. Sardar, F. Castano, J. A. French, J. B. Gruber, T. A. Reynolds, T. Alekel, D. A. Keszler, and B. L. Clark, Spectroscopic and laser properties of Nd³⁺ in LaSc₃(BO₃)₄ host, *J. Appl. Phys.*, Vol. 90, pp. 4997-5001 (2001).
- [3] I. Shoji, Y. Sato, S. Kurimura, T. Taira, A. Ikesue, and K. Yoshida, Optical properties and laser characteristics of highly Nd³⁺ doped Y₃Al₅O₁₂ ceramics, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 77, pp. 939-941 (2000).
- [4] Won Kweon Jang, Tae Hoon Kim, Young Moon Yu, Takunori Taira, "Optical and lasing characteristics of Nd:LSB microchip device", *Proceeding of SPIE Annual Conference*, Vol. 4813, pp 86-93, 2002.
- [5] Won Kweon Jang, Takunori Taira, Tae Hoon Kim, Young Moon Yu, Ho Seob Kim, "Improved lasing property of neodymium doped lanthanum scandium borate microchip laser", *Proceeding of Photonics Asia 2002*, Vol. 4918, pp 259-266, 2002.