

금코팅 반사체에 의한 다이오드 측면 여기 Nd:YAG 레이저의
발진 특성 및 여기광의 흡수 효율 측정에 관한 연구

Characteristics of diode side-pumped Nd:YAG laser with a gold coated flow tube and the measurements of absorption efficiency

문희중, 이중훈, 김광석, 한재민, 이용주, 차병헌, 이종민
한국원자력연구소, 대전 305-600
hjmoon@nanum.kaeri.re.kr

다이오드 여기 고체 레이저 (diode pumped solid state laser; DPSSL)는 레이저 다이오드(LD)의 높은 전기-광학적 효율과 긴 수명과 레이저 매질의 흡수파장에 맞는 LD 선택의 용이성에 힘입어 신속히 램프여기 레이저를 대체하고 있다. DPSSL의 대표적인 예인 여기 Nd:YAG 레이저는 이미 상품화되어 여러 분야에 이용되고 있고 특히 산업 및 의료 등의 응용분야에서 많은 수요가 예측되고 있다. 다양한 방식의 고효율 다이오드 측면 여기 레이저가 최근 연구되었고, 그 중 금코팅 반사체를 이용한 방법으로 간단하면서도 고효율 레이저 출력을 얻은 결과들이 보고되고⁽¹⁾ 또 상품화되고 있다.

본 연구에서는 외벽에 금코팅(gold coating)이 된 flow tube 유리관(지름 10 mm)을 반사체로 사용하여 다이오드 측면 여기 Nd:YAG 레이저를 제작하여 그 동작 특성을 조사하고 누설광의 세기를 분석하여 여기광의 흡수율을 측정하였다. 레이저 다이오드 바(20 W × 7개) 3개를 여기광으로 사용하였으며 총 여기광의 세기는 424W이다. 펌프 헤드의 길이는 150 mm, 공진기 길이는 220 mm 이었다. 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 광섬유의 끝을 Window 부분에 근접시켜 누설광을 광다이오드로 전달하여 세기를 측정하였으며 이 때 IR 파장의 형광을 차단하기 위해 band pass 필터를 사용하였다.

φ 6 mm Nd:YAG 봉(길이 130 mm)을 사용한 최근의 연구에서는 최대 출력 130 W, 기율기 효율 43%의 결과를 얻었으나⁽²⁾ 본 연구에서는 φ 4mm 봉(길이 100mm, 0.8 at. %)을 사용하여 여기광의 흡수 분포가 더 균일하도록 함으로써 보다 향상된 결과를 얻었다. 여기광의 세기에 따른 출력 변화가 그림 2에 나타나 있다. 11% 출력경을 사용하였을 때 최대 출력 150 W를 얻을 수 있었고 이때 기율기 효율은 48%, 광효율은 35.4%에 도달하였다.

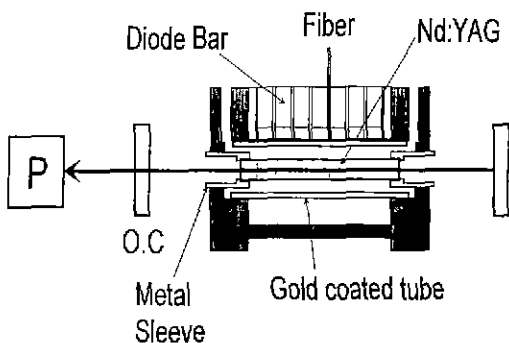


그림 1. 펌프 헤드의 구조 및 실험 장치

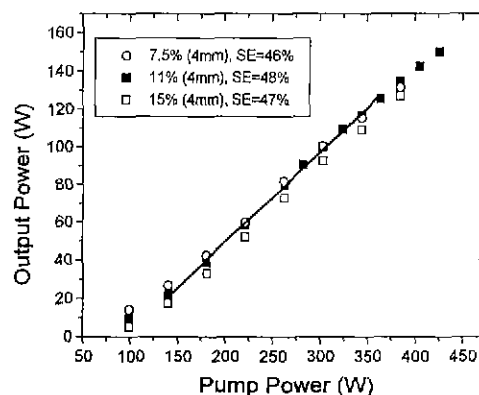


그림 2. 여기광의 세기에 따른 출력 변화

He-Ne 레이저 빔을 조사시켜 레이저봉의 열렌즈 특성을 조사하였다. 여기광의 세기가 385 W 일 때 레이저를 발진시키지 않으면 열렌즈 초점거리는 약 16 cm 이나, 11% 출력경을 사용하여 발진 시키면 때 약 22 cm 로 증가함이 관측되었다. 그림 2에서 여기광의 세기가 350 W 이상일 때 기울기가 감소하는 것은 열렌즈의 초점 거리가 너무 작아진 요인도 작용하였다고 여겨진다. 레이저 빔은 다중모드로 발진되기 때문에 발생된 레이저 빔의 빔질(M^2)은 약 50으로 크게 측정되었다. CCD 카메라로 4 mm 지름의 레이저봉의 형광을 결상하여 여기광의 흡수 분포를 측정한 결과, 3개의 LD바로 여기시켰을 때 매우 균일한 분포를 보였으며 발생된 레이저 빔의 공간적 분포도 그림 3에 나타난 바와 같이 매우 균일하였다. 이는 지름 6 mm봉을 사용한 결과⁽²⁾와 비교하여 매우 향상된 균일도를 보인다.

레이저의 효율적인 출력을 얻기 위해서는 레이저봉에 의한 흡수 분포가 균일하고 흡수 효율이 커야 한다. 램프 여기 시와 비교하여 다이오드 여기의 경우에는 LD 전류의 증가에 따라 LD 중심 파장이 이동하고, 각각의 LD바 중심파장이 다를 수 있고, fine grind된 레이저봉 측면에서의 산란 등이 고려되어야 하므로 흡수 효율의 측정이나 계산이 어렵다. 본 연구에서는 광다이오드와 연결된 광섬유로 window에서 세어 나오는 누설광의 세기를 측정, 분석하여 흡수 효율을 구하고 이를 기존의 Findlay-Clay 방법⁽³⁾으로 측정한 흡수 효율과 비교하였다. 사용한 LD의 중심파장은 전류가 증가함에 따라 799 nm 에서 805 nm로 파장 이동을 보이며 전체 LD바의 선포는 약 3 nm였다. 흡수가 없을 때의 산란광의 세기를 기준으로 삼기 위해, 굴절율이 Nd:YAG 굴절율 1.82와 비슷한 1.78을 가지는 FD60봉(측면 연마 : fine grind)을 사용하였다. 그림 4는 FD60봉(Reference)과 Nd:YAG봉으로부터의 누설광의 세기를 보여준다. 최대 여기광의 세기에서 약 87.5%의 흡수 효율을 보이고 802.4 nm에서 약 76%의 흡수 효율을 나타내었다. 11% 출력경을 사용하여 레이징 시켰을 경우 흡수 효율은 최대 여기광의 세기에서 93.5%로 증가하였고 이는 내부 레이저 빔의 존재에 의한 여기율의 증가 때문이다. LD 파장이 802.4 nm에 고정되도록 냉각수의 온도를 조절하면서 측정한 반사율에 따른 문턱여기광의 세기를 측정하여 Findlay-Clay 방법으로 계산한 여기광의 흡수 효율은 약 74%였다. 이로부터 우리가 제시한 누설광 분석 방법이 쉽고 신뢰성이 있는 방법임을 확인할 수 있었다. 이 방법은 여기광의 분포가 레이저봉의 측면향으로 일정할 경우, 다른 반사체를 사용한 다이오드 측면여기 펌프 헤드에도 적용될 수 있음을 보여준다.

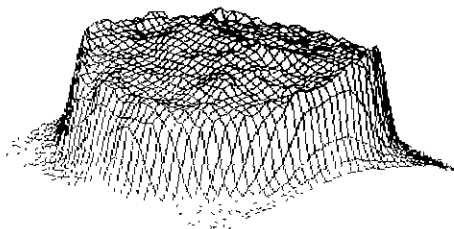


그림 3. 발생된 레이저 빔 모양

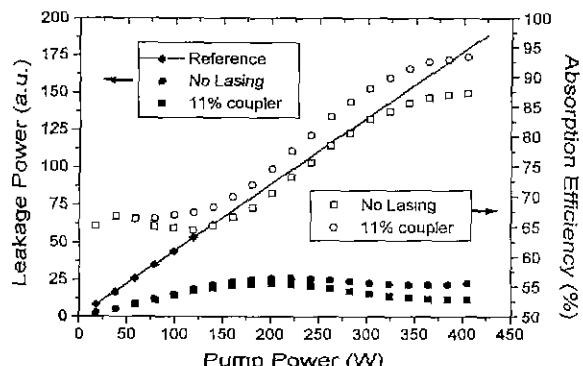


그림 4. 누설광의 세기 변화와 흡수 효율 변화

참고문헌

1. D. Golla, M. Bode, S. Knoke, W. Schone, and A. Tunnermann, Opt. Lett. 21, 210(1996).
2. Jongmin Lee, H. J. Moon, Jonghoon Yi, Jaemin Han, and Yongjoo Rhee, 광학회지, 게재예정 (1998).
3. D. Findlay, and R. A. Clay, Phys. Lett. 20, 277(1966).

