

## SESAM을 이용한 8 ps 모드잠금 펄스 발생 SESAM mode-locked 8 ps pulse generation.

김경남, 김하나, 서효정, 강만일, 박종욱\*, 임형철\*, 김덕현\*\*, 류지욱, 김용기  
 공주대학교 물리학과, \*한국천문연구원 우주측지연구부, \*\*한밭대학교 교양학부  
 kimyg@kongju.ac.kr

고체레이저에서 최소한의 펄스폭을 얻기 위해서 ns영역의 Q-스위칭방법으로는 한계가 있다. 때문에 모드 잠금이라는 방법을 이용하여 펄스폭을 ps영역이나 fs영역으로 현저히 줄이는 것이 가능하다. 기존의 모드잠금 기술은 여러 방법이 있으나, 공진기 구조가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 그러나 반도체 포화 흡수거울(SESAM)의 개발 이후, 별도의 광학소자가 필요 없어서 공진기가 간소화되며 안정적인 레이저의 발전이 가능해졌다.

본 연구에서는 SESAM을 이용하여 레이저 다이오드로 종여기 수동 모드잠금 Nd:YAG 레이저의 출력 특성에 대해서 연구하였다. 전체 시스템의 구성은 그림 1과 같다. Nd:YAG의 결정에 중심파장인 808 nm의 빔을 발진하는 laser diode(LD)를 여기광으로 사용하였으며 LD의 빔은 직경 800 μm, NA 0.22인 광섬유를 통하여 전달된다. 광섬유를 통해 진행되는 빔은 오목렌즈와 볼록렌즈를 이용하여 평행 빔으로 만든 후 집속렌즈(f=50 mm)로 Nd:YAG 결정에 종여기 하였다. Nd:YAG 결정은 4 mm×4 mm×10 mm의 크기를 가지며 Nd<sup>3+</sup> 이온의 도핑농도는 1%인 것을 사용하였다. 또한 3개의 거울과 SESAM을 이용하여 Z자형 공진기를 구성하였다. 전반사거울 M1과 M3는 1064 nm 파장에서는 전반사 코팅인 거울을 사용하였고, M1은 808 nm에서 무반사 코팅도 되어있는 것을 사용하였다. M2와 M3는 오목거울을 사용하였으며, 곡률반경은 각각 500 mm, 100 mm인 것을 사용하였다. M2는 1064 nm에서 반사율이 약 95 %인 것을 사용하였으며, 공진기에서 출력거울로 사용되었다.

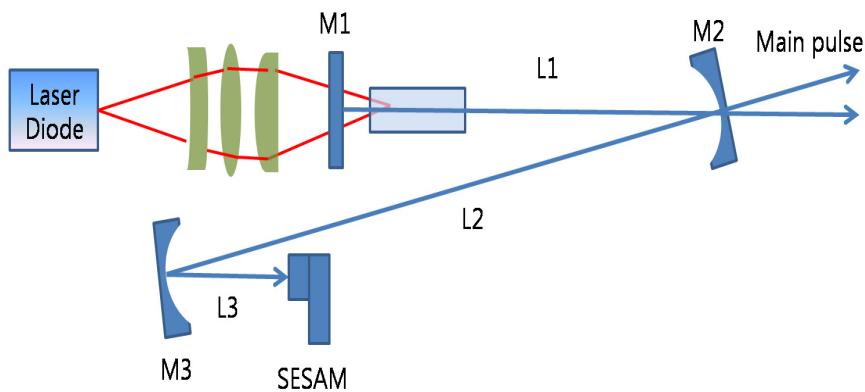


그림 1. 수동 모드잠금 Nd:YAG 레이저의 실험 구성도

각 거울 사이의 거리 L1, L2, L3은 각각 300, 600, 70 mm로 구성하였다. SESAM(BATOP Optoelectronics, Germany)은 1064 nm에서 absorptance가 1%이고 recovery time이 500 fs인 것을 사용하였다. 레이저의 출력은 출력계(Vector D200, SCIENTECH)를 이용하여 측정하였으며, 펄스폭은 autocorrelator(FR-103WS, Femtochrome Research)를 이용하여 측정하였다. 그림 2(좌)는 여기광의 세기에 따른 수동 모드잠금 Nd:YAG 레이저의 출력이다. 공진기 구성상 연속발진과 수동 모드잠금 레이저의 발진이 동시에 일어나기 때문에 연속발진 레이저는 제외하고 측정하였다. 그 결과, 여기광의 세기가 2 W에서 레이저의 출력이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 최대 출력은 여기광의 세기가 13.20 W 일 때, 2.46 W로 최대 광변환 효율은 18.63%, 기울기 효율은 21.29%의 결과를 얻었다. 그림 2(우)는 레이저의 출력이 0.20 W일 때의 펄스폭이다. 펄스폭의 측정결과 8.7 ps의 결과를 얻었으며, Gaussian fitting 결과 9 ps와 잘 일치함을 보였다. 또한 레이저의 출력이 증가함에 따라 펄스폭이 5.5 ps까지 줄어드는 것을 확인하였다.

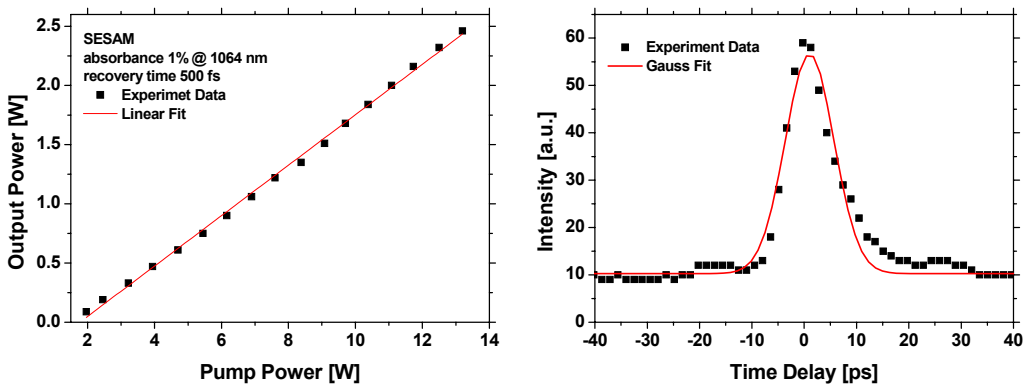


그림 2. 수동 모드잠금 Nd:YAG 레이저의 (좌) 출력 변화, (우) 펄스폭

SESAM을 이용하여 레이저 다이오드 종여기한 모드잠금 Nd:YAG 레이저의 출력변화와 펄스폭을 측정하였다. 본 연구에서와 같은 Z자형 공진기 구성의 수동 모드잠금 레이저의 데이터와 비슷한 조건의 실험논문<sup>[1,2]</sup>들의 결과와 비교하였을 때, 출력과 펄스폭에서 큰 차이가 없음을 확인하였다. 또한 세라믹 Nd:YAG로 측정한 결과<sup>[2]</sup>보다 문턱 출력은 더 낮았으며, 기울기 효율은 비슷한 결과를 나타내었다. Nd:LuNO<sub>4</sub>와 Nd:YVO<sub>4</sub>에서의 결과<sup>[1]</sup>와 비교한 결과, 출력과 효율에서는 크게 부족한 결과를 보였지만 펄스폭의 경우는 약 8 ps로 큰 차이가 없음을 확인하였다. 이러한 결과로 볼 때, 이론적인 부분과 비교분석을 통해서 최적화시키면 고효율의 수동 모드잠금 Nd:YAG 레이저 제작이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. Guo Lin, Hou Wei, Zhang Hong-bo, Sun Zhi-pei, Dafu Cui, Xu Zu-yan, Wang Yong-Gang, Ma Xiao-Yu "Diode-end-pumped passively mode-locked ceramic Nd:YAG Laser with a semiconductor saturable mirror" *Optics Express*, 13, 4085-4089 (1995).
2. H.H. Yu, H.J. Zhang, D.Y. Tang, Z.P. Wang, J.Y. Wang, Y.G. Yu, G.Q. Xie, H. Luo, M.H. Jiang, "Diode-end-pumped passively mode-locked Nd:LuVO<sub>4</sub> laser with a semiconductor saturable-absorber mirror" *Appl. Phys. B*, 91, 425-428(2008).