

Cr⁴⁺:YAG 고체 포화 흡수체를 이용한 Q-switched Nd:YAG 레이저에서 2차 고조파 발생

Second Harmonic Generation from a Q-switched Nd:YAG laser Using a Cr⁴⁺:YAG Saturable Absorber

정태문, 김광석, 문희종, 김철중, 이종민
 한국원자력연구소 기반기술개발단, 대전 305-600
 jeongtm@nanum.kaeri.re.kr

Cr⁴⁺:YAG 고체 포화 흡수체를 이용한 수동형 Q-switching⁽¹⁾은 음향 광학이나 전기 광학 변조기를 사용하는 능동형 Q-switching에 비해 쉽고 저렴하게 나노초 영역의 펄스를 생성할 수 있고, 종래에 사용되던 dye 포화 흡수체에 비해 손상 문턱이 높고 별도의 여과 및 순환 장치가 필요치 않아 레이저 장치를 소형화 하기에 유리해서 많은 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 수동형 Q-switching 레이저를 레이저 다이오드로 여기하고 공진기 내부에 2차 고조파 발생 매질을 설치할 경우 수십 μ J 영역의 펄스당 에너지를 갖는 2차 고조파 펄스를 손쉽게 완전 고체 레이저에서 생성시킬 수 있다⁽²⁾. 본 연구에서는 레이저 다이오드로 뒀던 여기되는 Nd:YAG 레이저를 Cr⁴⁺:YAG 고체 포화 흡수체를 이용해서 수동형 Q-switching시킨 후, 공진기 내부에 2차 고조파 결정을 설치하여 2차 고조파를 발생시키고 그 특성을 조사하였다.

레이저 다이오드로 여기되는 수동형 Q-switching Nd:YAG 레이저의 장치도는 그림 1과 같다. 레이저 다이오드로 여기되는 Nd:YAG 레이저는 1064 nm에서 전반사하고 810 nm에서 높은 투과율을 갖는 전반사경(DM), Nd 이온이 1 at.% 첨가되었는 Nd:YAG 이득 매질, 낮은 강도 투과율이 80%인 Cr⁴⁺:YAG 결정, 단면적이 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 이고 길이가 5 mm인 KTP 결정, 1064 nm와 532 nm에서 전반사하는 거울(M2) 및 1064 nm에서는 전반사하고 532 nm는 투과하는 거울(M1)로 구성되어 있다. 모든 거울은 평면경이 사용되었고, 전체 공진기의 길이는 약 20 cm였다. 여기용 레이저 다이오드는 Thomson사 제품으로 연속으로 최고 10 W 출력이 가능하고, 직경이 900 μ m인 광섬유 다발에 연결되어 있다. 532 nm의 파장을 갖는 빔을 한방향으로 추출하기 위해서 레이저 공진기를 90° 로 접어서 2차 고조파의 출

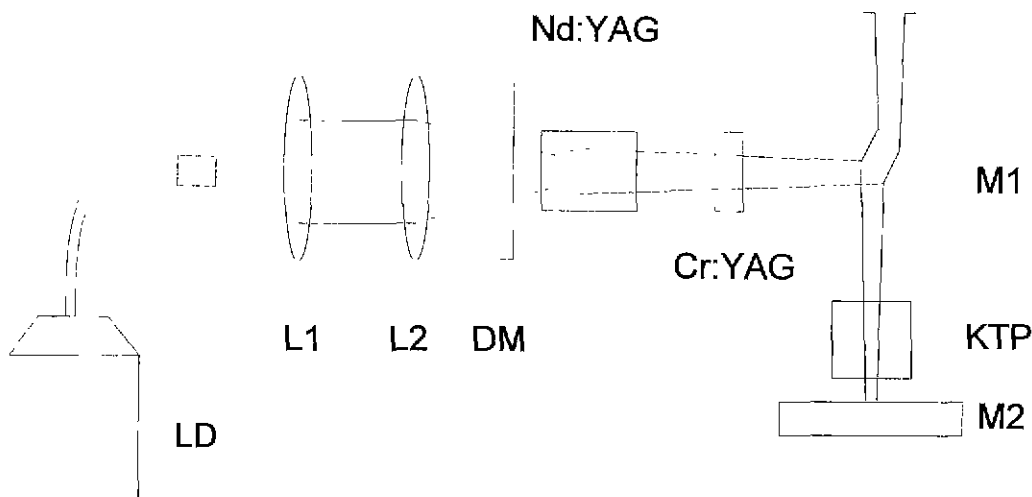


그림 1 2차 고조파 발생 레이저 다이오드 여기 수동형 Q-switched Nd:YAG 레이저

력이 M1을 통해서 나오도록 하였다. KTP 결정에서 빔의 크기는 직경이 약 850 μm 인 것으로 계산되었다.

그림 2는 여기광의 출력에 따른 수동형 Q-switching Nd:YAG 레이저에서 발생된 2차 고조파의 출력 및 M^2 로 측정된 빔 질 인수 (beam quality factor)이다. M^2 는 Spiricon사의 beam propagation analyzer (모델명: M2-101)로 측정하였다. 2차 고조파는 여기광의 출력이 약 5.2 W 이상이었을 때 발생하기 시작하였으며, 그림에서 보는 바와 같이 9.7 W로 Nd:YAG를 여기하였을 때, 2차 고조파의 출력이 최고 550 mW로 관측되었다. 이 때, 여기광의 2차 고조파광으로의 변환 효율은 약 5.8%였다. 측정된 빔 질 인수 M^2 는 2차 고조파의 출력이 증가할수록 커지는 경향을 보였으며, 2차 고조파의 출력이 550 mW일 때 1.75였다.

그림 3은 여기광의 출력에 대한 2차 고조파의 펄스폭 및 반복율을 보여준다. 2차 고조파 레이저 펄스는 50에서 70 ns 사이의 펄스폭을 가지고 발진하였으며, 2차 고조파의 출력이 증가할수록 반복율이 증가하여 10 W 여기시 반복율은 8 kHz였다. 펄스당 에너지는 2차 고조파의 출력에 따라 60에서 최고 85 μJ 까지 관측되었다.

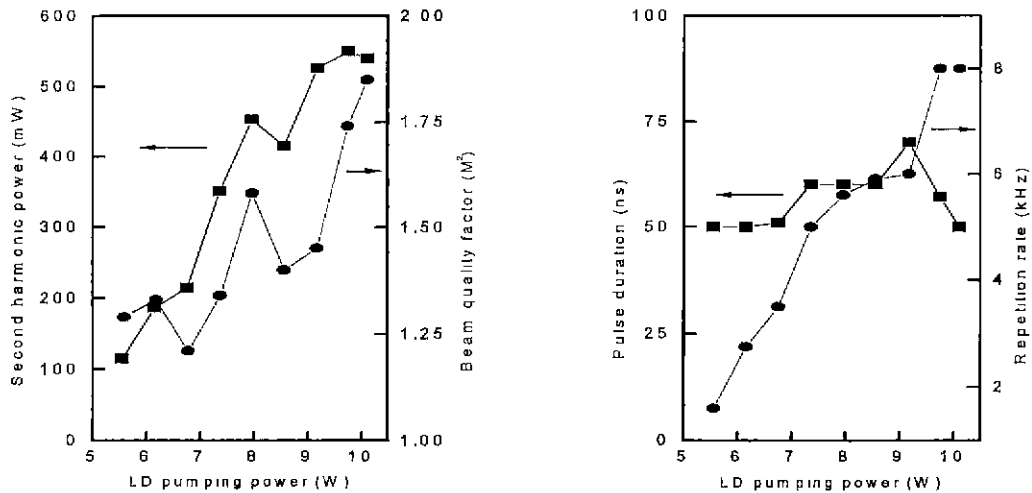


그림 2 여기 출력에 대한 2차 고조파 출력 및 빔 질 인수 그림 3 여기 출력에 대한 펄스폭 및 반복율

본 연구에서는 레이저 다이오드로 여기되는 Nd:YAG 레이저를 제작하고 고체 포화 흡수체로 Cr⁴⁺:YAG를 사용하여 수동형 Q-switching시킨후, KTP 결정을 이용하여 intracavity 2차 고조파 발생 실험을 수행하였다. 2차 고조파는 평균 출력이 최고 550 mW까지 가능하고, 레이저의 펄스폭은 2차 고조파의 출력에 따라 50에서 70 ns까지 변화하였고, 반복율은 최고 8 kHz까지 얻을 수 있었다.

1. A. Agnesi, S. Dell'Acqua and G. C. Reali, "1.5 Watt passively Q-switched diode-pumped cw Nd:YAG laser", Opt. Commun. 133, 211-215 (1997).
2. T. T. Kajava and A. L. Gaeta, " Intra-cavity frequency-doubling of a Nd:YAG laser passively Q-switched with GaAs", Opt. Commun. 137, 93-97 (1997).