Cr:YAG 포화 흡수체를 이용한 $Nd:YVO_4$ 레이저의 수동형 Q-switching 특성

이희철[1*], 김규욱[1], 김칠민[2]
[1]금오공과대학교 자연과학부 물리학과
[2]배재대학교 광혼돈제어연구단
gukim@knut.kumoh.ac.kr

$Nd:YVO_4$ 결정은 들뜬 상태의 발광 평균 수명이 90-100 μs로 아주 짧아서 Nd:YAG나 Nd:YLF 레이저 매질에 비해 짧은 펄스폭과 빠른 반복율을 가진 펄스들을 만들어 내는 Q-switching에 적합한 레이저 매질이다.[1] 또한 Nd:YAG 결정에 비해 아주 큰 흡수 계수 및 이득 단면적을 지니고 있어 반도체 레이저로 펌핑하는 고체 레이저에 아주 적합한 레이저 이득 매질이다.

수동형 Q-switching 방법은 능동형 Q-switching 방법보다 작고 간단하며 저렴한 비용으로 공진기를 구성할 수 있고, Doppler LIDAR, 비선형 광학, 분광학, 거리 측정, 물체의 표면에 마킹(marking)을 하는 분야 등에 많이 이용되고 있다.[2,3] 수동형 Q-switching은 공진기 내부에 포화 흡수체의 역할을 할 수 있는 물질을 설치하여 구현한다. 최근에 포화 흡수체로 각광받는 물질인 Cr:YAG 결정은 0.9~1.2 μm 파장의 넓은 흡수 대역폭을 가지고 있어 발진 파장이 1.064 μm인 $Nd:YVO_4$ 레이저에 적합한 포화 흡수체 역할을 할 수 있는 물질이다. 일반적으로 수동형 Q-switching 레이저 시스템은 레이저 매질 및 포화 흡수체의 비선형성, 복굴절 현상 등으로 인하여 Q-switching된 펄스의 출력 및 반복율 등이 불안정함을 보이는데, 최근에는 수동형 Q-switching 레이저의 출력을 안정화하여 의료 분야 및 미세 가공 분야 등에 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행 중에 있다.

레이저에서 일어나는 혼돈은 지난 20 년간 많이 연구되어 왔다. 레이저 출력의 불안정에 관한 상태는 혼돈 현상으로 설명할 수 있다. 이는 레이저의 비선형 동역학적 성질에 기인한다. 일반적으로 레이저의 경우 출력 특성은 비율 방정식으로 기술할 수 있다. 이때 기술된 레이저의 비율 방정식은 혼돈을 나타내는 동역학적 모델의 하나인 Lorenz식과 그 형태가 같아 혼돈이 일어날 수 있음을 Haken이 예견하였다. Ikeda는 고리형 공진기에서 비율 방정식을 이용하여 주기배가 갈래질이 일어남을 보였고 이 주기배가 갈래질을 광섬유를 이용한 실험에서 보였다.[4]

본 연구에서는 Cr:YAG 포화 흡수체를 이용하여 반도체 레이저로 펌핑하는 $Nd:YVO_4$ 레이저를 수동형 Q-switching시키고 그 특성을 조사하였다. 그림 1은 실험 장치를 나타내며, 한쪽 면이 1064 nm에 대하여 전반사 코팅되어 있는 두 개의 $Nd:YVO_4$ 결정을 이용하여 공진기를 구성하였다.

그림 2는 그림 1과 같은 공진기에서 한 개의 반도체 레이저로만 펌핑하고, Cr:YAG의 투과율이 90 % 일 때 반도체 레이저의 동작전류에 따른 Q-switching 펄스의 반복율과 펄스폭 변화를 조사한 것이다. 펌핑이 커질수록 펄스폭은 줄어들고, 반복율은 높아지는 것으로 나타났다.

그림 3은 Cr:YAG의 투과율이 67 %일 때 반도체 레이저의 동작 전류를 변화시키면서 Q-switching 신호의 주기 변화를 조사한 것이다. 펌핑이 약할 때에는 1-T를 보이다가 펌핑이 강해지면 2-T 또는 3-T의 현상을 나타난다.

그림 4는 KTP 비선형 결정을 이용하여 발생시킨 내부 발생형 Q-switching된 제2차 고조파 신호의 주기 변화를 조사한 것으로, 펌핑 세기의 변화에 따라 1-T, 2-T, 3-T, 4-T등의 주기 변화가 나타난다.

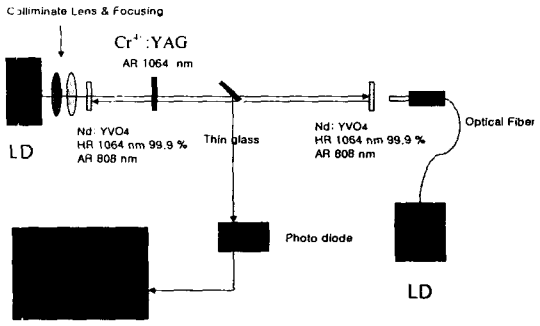

그림 1. 두 개의 Nd:YVO4 결정을 이용하여 구성한 레이저 공진기

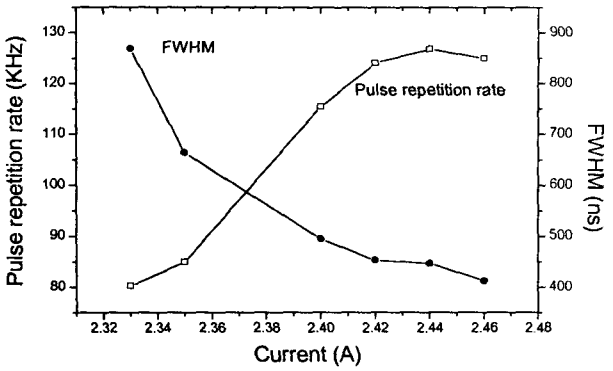

그림 2. 반도체 레이저의 동작 전류에 따른 Q-switching 펄스의 반복율과 펄스폭 변화.

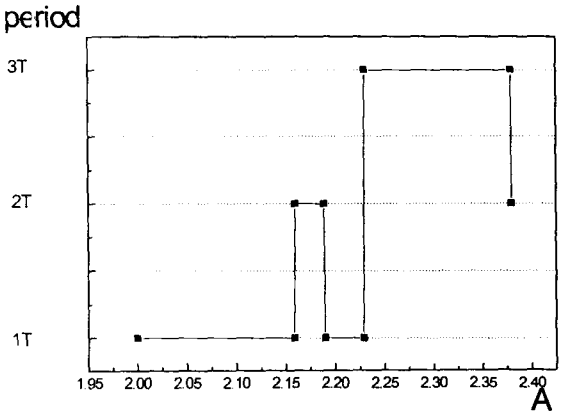

그림 3. Cr:YAG 결정의 투과율이 67 %일 때 반도체 레이저의 동작 전류 변화에 따른 Q-switching 신호의 주기 변화

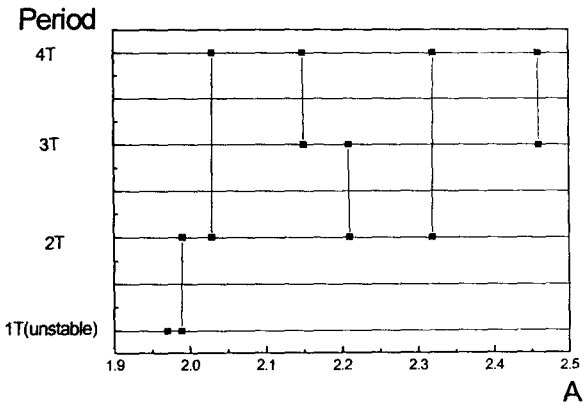

그림 4. Q-switching된 제2차 고조파 신호의 주기 변화

참고문헌

[1]. Yung-Fu Chen, Y.P. Lan and S. C. Wang, Optics letters **25**, 1016 (2000)
[2]. Xingyu Zhang, Shengzhi Zhao, and Wang, J. Opt. Soc. Am B **17**, 1166 (2000)
[3]. Marc brunel, Oliver Emile, Marc Valler, Fabien Bretenaker, and Albert Le Floch, Physical review A **60**, 4052 (1999)
[4]. Proceedings of the 3rd symposium on laser spectrocopy Vol. 3, No. 4, p 401 (1995)