

3차 조화 모드록킹 Nd:YLF 레이저의 특성 연구

Characteristics of a third-harmonic mode-locked Nd:YLF laser

성재희*, 유태준, 남창희
 한국과학기술원 물리학과/전자광학특화센터
 sungjh@kaist.ac.kr*

GHz 급의 아주 높은 반복율을 가지면서, 피코초 단위의 펄스 열을 발진시키는 레이저를 만들기 위해 능동형 모드록킹 방법을 이용하였다. 이 방법은 공진기안에 광 변조기를 삽입하고, RF 신호를 가하여 시간적으로 공진기내에서의 손실을 변화시키는 방법이다.⁽¹⁾ 공진기 길이를 충분히 길게 하면서도 고 반복율을 가지는 레이저를 만들기 위해 조화 모드록킹 방법을 사용했는데, 이는 레이저 펄스의 반복율을 공진기 길이에 의한 기본 반복율의 정수배가 되도록 하는 방법이다.^{(2),(3)} 3차 조화 모드록킹 방법을 이용한 Nd:YLF 레이저 시스템을 그림 1에서 나타내었다.

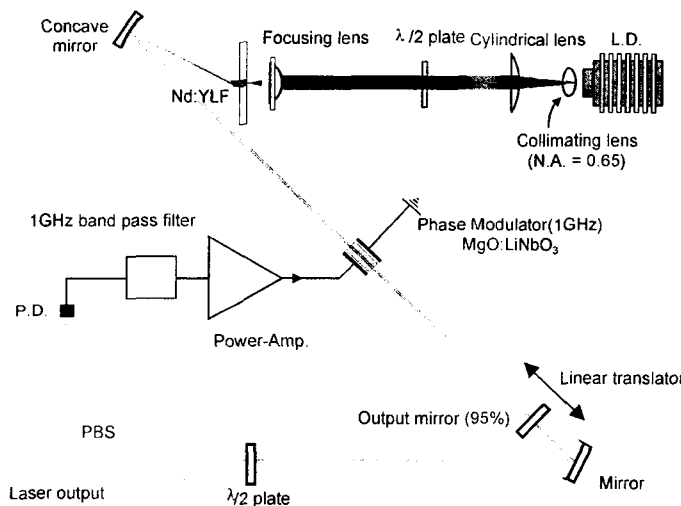


그림 1 자체 구동 능동형 3차 조화 모드록킹 레이저 시스템

기본 공진기의 길이는 45 cm로 기본 반복율인 1/3 GHz의 3배로 레이저 펄스의 반복율이 정해진다. 그림 1에서 보듯이 레이저 공진기에서 나오는 레이저 펄스 자체의 1 GHz AC 성분만을 증폭시켜 RF 신호로 이용하는 자체 구동 방식을 취하였다. 이 방법은 RF synthesizer 없이 열적 변화나 역학적인 진동에 의한 변화에도 펄스의 반복율과 RF를 일치시키는 방법이다. 펌핑 광원은 레이저 다이오드를 사용하였고, CW 상태에서의 최대 출력은 300 mW, 발진 효율은 약 33%였다. 모드록킹시 효율은 31%였다.

위의 레이저 시스템의 특성을 파악하고 이해할 목적으로 레이저의 스펙트럼과 시간 폭을 측정하였다. 스펙트럼을 측정하기 위해 자체 제작한 scanning Fabry-Perot 간섭계를 이용하였고, 시간 폭을 측정하기 위해 마이켈슨 간섭형의 자체 상관계를 이용하였다. 그림 2에 스펙트럼 측정 결과가 나타나 있다.

그림 2(a)는 Nd:YLF 레이저의 CW 상태에서의 스펙트럼으로 다수의 공진 모드가 발생하며, 출력경의 에탈론 효과에 의한 mode selection 효과가 나타남을 보여준다. 그림 2(b)는 위상 변조기 안에 있는 MgO:LiNbO₃에 의한 에탈론 효과가 존재할 때 나타나는 모드록킹된 레이저의 스펙트럼이다. mode selection 효과가 나타나고, 1 GHz의 간격으로 종 모드가 발생하는 것을 보여준다.⁽²⁾ 이 때, 레이저 스펙트럼 폭은 작은 봉우리의 폭으로 정해지는데, 약 3.5 GHz로 레이저 펄스 폭은 수백 ps이다.

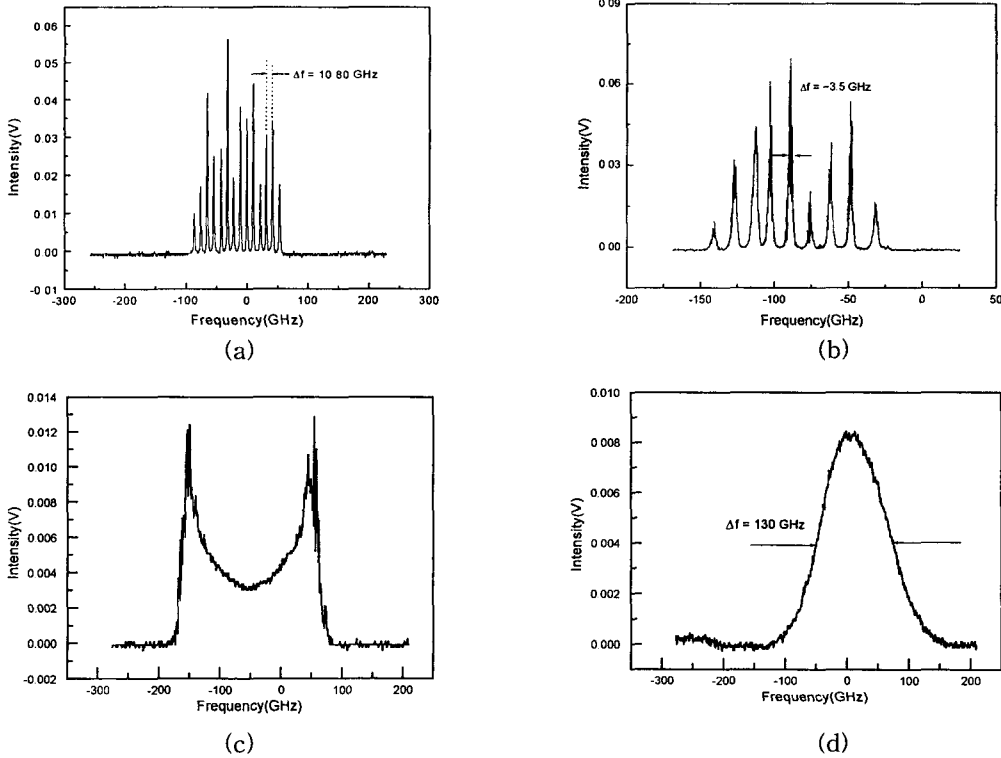


그림 2 Nd:YLF 레이저의 CW, FM 레이저, FM 모드록킹 레이저의 스펙트럼

MgO:LiNbO₃에 의한 에탈론 효과가 존재하지 않을 때, detuning에 따른 스펙트럼을 나타낸 것이 그림 2(c), (d)이다. 그림 2(c)는 일정한 진폭을 가지고 심한 진동수 변조가 일어나는 FM 레이저 상태의 스펙트럼이다.^{(2),(3)} FM 레이저의 스펙트럼 폭은 detuning > 150 kHz의 범위에서 최대 250 GHz까지 커진다. detuning이 더욱 작아지면 FM 모드록킹 상태가 되는데 그 때의 레이저 스펙트럼이 그림 2(d)이다. 앞의 경우와는 달리 mode selection 효과는 전혀 없으며, 변조기에 의해 종 모드가 1 GHz 간격으로 발생하고 스펙트럼 폭도 약 130 GHz로 상당히 넓어진 것을 알 수 있다. 이 때, 펄스 폭은 11 - 26 ps로 측정되었다.

참고문헌

1. D. J. Kuizenga and A. E. Siegman, "FM and AM Mode Locking of the Homogeneous Laser-Part I: Theory," IEEE J. Quantum Electron. **6**, 694-708 (1970).
2. M. E. Becker, D. J. Kuizenga and A. E. Siegman, "Harmonic Mode Locking of the Nd:YAG Laser," IEEE J. Quantum Electron. **8** 687-693 (1972).
3. S. Longhi, P. Laporta, S. Taccheo, and O. Svelto, "Third-order-harmonic mode locking of a bulk erbium:ytterbium:glass laser at a 2.5-GHz repetition rate," Opt. Lett. **19**, 1985-1987 (1994).