

# kHz 반복률의 티타늄 사파이어 이득 스위칭 레이저 발진 및 재생 증폭기 제작

## Kilohertz gain-switched laser operation and femtosecond regenerative amplification in Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

이용인, 서민아\*, 김대식\*, 이상민  
 아주대학교 분자과학기술학과, \*서울대학교 물리학과  
 e-mail: rotermun@ajou.ac.kr

극초단 펄스 레이저는 1990년대 레이저 제작 기술의 혁명<sup>(1)</sup>을 겪으면서 많은 응용 분야에서 사용되고 있다. 이는 ps에서 fs까지 달하는 짧은 시간에 일어나는 물질의 화학적, 동력학적 특성규명을 가능하게 하며, 순간 고출력을 필요로 하는 다양한 응용분야에 유용하게 사용되고 있다. 그러나 공진기로부터 방출된 펄스의 에너지는 nJ 영역에 제한되어 있으며, 그 에너지범위와 응용범위를 확장하기 위해서는 지속적인 극초단 레이저 증폭기술연구가 필요하다.

본 연구에서는 660 - 1050 nm 의 넓은 방출영역을 지닌 Ti:sapphire(Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 증폭매질로 하여 CPA(Chirped Pulse Amplification)를 이용한 재생증폭기 제작을 시도하였다.<sup>(2,3)</sup> 극초단 펄스 증폭법으로 널리 알려진 이 방법을 이용하면 증폭공진기 내로 입사된 펄스에 에너지를 효율적으로 전이시켜 높은 증폭을 이룰 수 있다. 이를 위해 Ti:sapphire 레이저 공진기에서 방출된 ~30 fs 펄스를 seed 펄스로 사용하였으며, 펄스 늘림기를 이용하여 펄스의 길이를 110 ps 로 늘리고 이렇게 늘어난 펄스를 전기광학 소자를 이용하여 증폭공진기 내부로 입사시켰다.(그림 1) 이 때 펄스의 입사 시점과 증폭된 펄스의 출사 시점은 cavity dumping 레이저에서 펌프펄스에 의한 방출펄스의 build-up 시간과 관계된다. 따라서 전기광학소자의 동작에 필요한 스위칭 시간을 결정하기 위하여 전기광학소자 없이 이득스위치<sup>(4)</sup>로 발진되는 레이저의 build-up 특성을 분석하여 본 증폭기 제작연구에 적용하였다. 이득 스위치의 동작은 kHz 반복률을 지닌 펌프 펄스길이와 관련하여 증폭매질의 광포화 상태에서 유도방출시간을 결정하는데, 펄스의 에너지가 클수록 build-up 시간이 짧아지는 반비례관계를 지니며, 이는 실험을 통해 확인되었다.

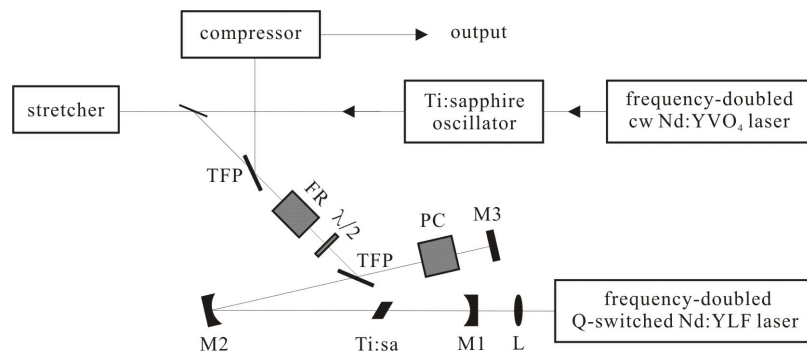


그림 1. Ti:sapphire regenerative amplifier 구성도

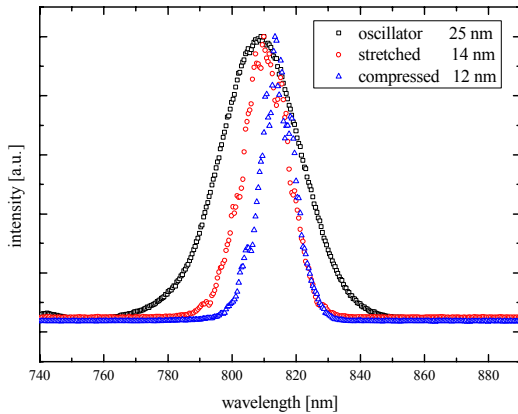


그림 2. 스펙트럼 측정

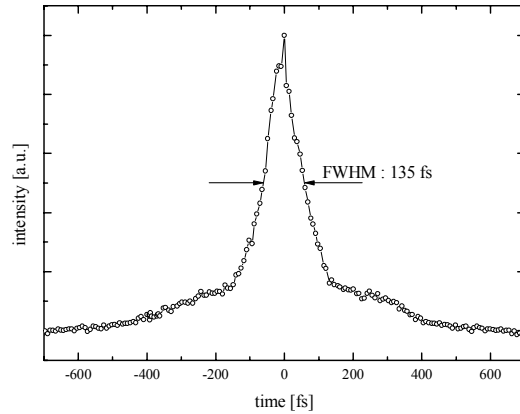


그림 3. 증폭된 빔의 펄스폭 측정

위의 측정분석 결과를 토대로 일차적으로 seed 펄스의 입사 없이 공진기 내에서 이득 스위칭만 가지고 전기광학소자를 삽입하여 cavity dumping을 통한 레이저 발진을 시도하였다. 이 실험을 통해 전기광학소자의 스위칭 시점을 결정할 수 있었으며, 차후 펄스 늘림기에서 출사된 seed 펄스의 편광상태를 바꾸어 박막 편광자를 이용하여 증폭공진기 내부에 입사시켰다. 이 때 전기광학소자를 이용하여 seed 펄스를 공진기 내에 가두어 에너지 증폭을 시도하였으며, 충분한 증폭 후 펄스를 다시 외부로 뽑아낼 수 있었다. 이 때 펄스증폭이 최적화된 전기광학소자의 스위칭 시작 시점과 종료 시점간의 차이가 240 ns였으며, 길이 1.5 m로 설계된 공진기에 입사된 seed 펄스는 총 24 번의 왕복을 통해 재생증폭되었음을 확인하였다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 증폭 후 중심파장이 ~810 nm 이고 12 nm 의 스펙트럼 반치폭을 갖는 펄스를 얻을 수 있었으며, 증폭된 펄스는 펄스 압축기를 이용하여 초기의 펄스 길이로 재압축을 시도하였다. Type-I BBO 자체 상관계를 제작하여 측정한 결과 135 fs 의 곡선 반치폭을 얻었으며 (그림 3), 펄스를 가우시안 형태로 가정하여 환산하면 펄스길이는 95 fs 에 해당된다.

1 kHz 반복률에서 증폭된 후 펄스 압축기에서 재압축된 펄스의 에너지는 펌프레이저의 출력이 4.65 W 일 때 ~200  $\mu$ J 이었으며, 차후 더 높은 펌프 출력과 레이저 구조의 최적화를 통해 500  $\mu$ J 이상의 에너지를 지닌 sub-100 fs 펄스 방출이 가능할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. D. E. Spence, P. N. Kean, and W. Sibbett, "60-fsec pulse generation from a self-mode-locked Ti:sapphire laser", *Opt. Lett.* 16, 42 (1991).
2. D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* 56, 219 (1985)
3. J. V. Rudd, G. Korn, S. Kane, J. Squier, and G. Mourou, "Chirped-pulse amplification of 55-fs pulses at a 1-kHz repetition rate in a Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> regenerative amplifier", *Opt. Lett.* 18, 2044 (1993).
4. M.R.H. Knowles and C.E. Webb, "Cavity configurations for copper vapour laser pumped titanium sapphire lasers", *Opt. Commun.* 89, 493 (1992).