

테라와트 티타늄 사파이어 레이저에서 발생하는 자발방출증폭 분석

Temporal characterization of amplified spontaneous emission in a terawatt Ti:sapphire laser

차용호, 이용우, 이기태, 남성모, 차형기, 정영욱

한국원자력연구원 양자광학기술개발센터

yhcha@kaeri.re.kr

극초단 고출력의 레이저가 발전함에 따라, 보다 강력한 세기의 레이저를 생성할 수 있게 되었으며, 이를 이용하여 양성자 혹은 전자 가속이나 소규모 핵융합을 이용한 중성자 발생 등의 연구가 가능하게 되었다. 그러나, 레이저의 세기가 증가하면서, 주 레이저 펄스 외에도 선행 펄스나 자발방출증폭 (amplified spontaneous emission) 등의 선행 성분들도 함께 증가하여, 주 레이저 펄스가 타겟과 상호작용하기 전에 선행 성분들이 타겟 성질을 변화시키거나 파괴하는 문제가 발생하게 되었다. 따라서, 매우 높은 강도의 레이저를 요구하는 고체 박막 타겟을 이용한 양성자, 중성자 발생과 같은 연구에서는 선행 성분을 분석하고, 감소시키는 것이 매우 중요하다.

선행 성분 중에서 극초단의 선행 펄스는 대부분의 경우 시간적으로 주 레이저 펄스와 잘 분리되어 있으므로, 광검출기와 Pockels cell 등을 사용하여 비교적 쉽게 측정, 제거가 가능하다. 그러나, 자발방출증폭은 주 레이저 펄스와 시간적으로 겹쳐있기 때문에, 측정과 제거가 까다로운 문제점이 있다. 자발방출증폭을 측정하는 방법에는 광검출기로 직접 측정하는 방법과 3차 상관계를 사용하는 방법이 주로 사용된다. 광검출기로 측정하는 방법은 비교적 쉽게 주 레이저 펄스 앞에 존재하는 약한 선행 성분을 측정할 수 있으나, 강한 주 레이저 펄스 성분 때문에 자발방출증폭 성분을 정확하게 분석하는 것이 어려운 단점이 있다. 3차 상관계는 주 레이저 펄스 부근에 수십-수백 피코초 영역에 존재하는 자발방출증폭 성분을 비교적 정밀하게 측정할 수 있으나, 단일 펄스 측정이 불가능하고, 나노초 영역에 걸쳐 존재하는 자발방출증폭 성분을 모두 측정하기가 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 광검출기를 사용하는 방법을 개선하여, 테라와트 티타늄 사파이어 레이저에서 발생하는 자발방출증폭 성분을 분석하였다.

본 연구에서 개발한 자발방출증폭 성분 측정 방법은 주파수 영역에서 자발방출증폭 성분만을 위한 주파수 영역을 할당하여, 증폭 후에 이 주파수 영역의 성분만을 광검출기로 측정하는 것이다. 이를 위해, 그림 1과 같이 테라와트 레이저 시스템에 사용되는 펄스 확대기에서 입력 레이저 펄스의 특정한 주파수 영역만을 제거하였으며, 증폭후에 bandpass filter를 사용하여 이 주파수 영역의 증폭 레이저 신호를 광검출기로 측정하였다. 제거된 주파수 영역은 증폭된 주 레이저 펄스의 에너지, 전반적인 스펙트럼 모양 등에 영향을 주지 않을 만큼 작게 하였다. 이처럼, bandpass filter를 사용하여 입력 레이저 스펙트럼이 제거된 주파수 영역을 통해 레이저 신호를 측정하면, 이 주파수 영역에서는 주 레이저 펄스 신호가 존재하지 않으므로, 순수하게 자발방출증폭 성분만을 검출할 수 있다. 그림 2는 이러한 방법을 사용하여 테라와트 티타늄 사파이어 레이저 시스템에서 예비증폭기 이후에 생성된 자발방출증폭 성분을 측정하는 것이다. 그림과 같이 주 레이저 성분이 제거되었기 때문에, 자발방출증폭 성분만을 깨끗하게 측정할 수 있으며, 선행 성분뿐만 아니라 주 레이저 펄스 다음에 발생하는 성분도 측정이 가능하다.

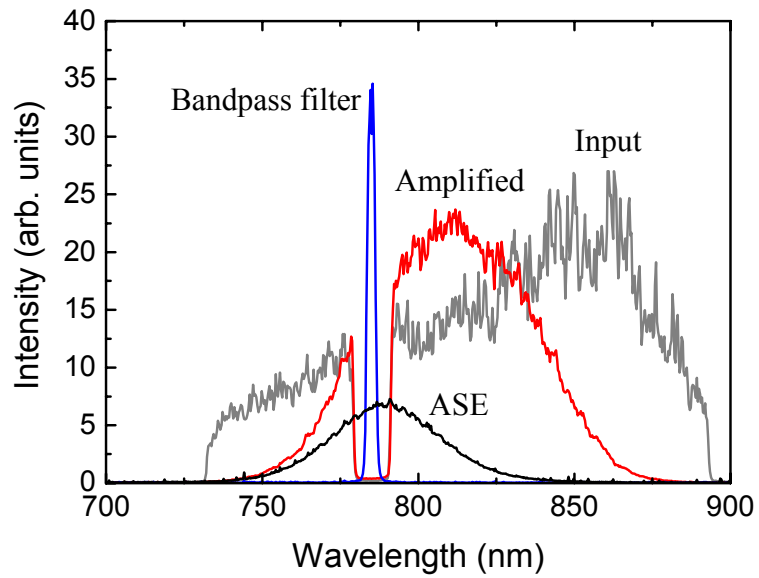


그림 1. 입력 스펙트럼에서 특정 주파수 영역이 제거된 모습.

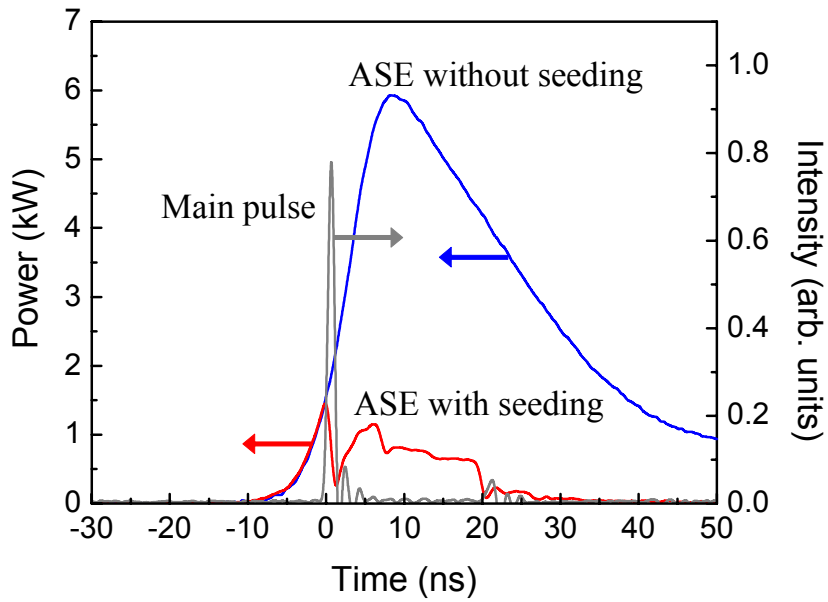


그림 2. 예비증폭기에서 발생한 자발방출증폭 성분.