

10 TW급 티타늄 사파이어 레이저 시스템 개발

Development of a 10-TW-class Ti:sapphire laser system

이용우, 이종훈

영남대학교 물리학과

차용호, 이기태, 남성모, 박성희, 한재민, 정영욱, 이병철, 이용주, 유병덕

한국원자력연구소 양자광학기술개발부

braverain@hanmail.net

극초단 고출력 레이저는 커 렌즈 모드록킹된 티타늄 사파이어 레이저 공진기, Offner-triplet 형태로 구성된 펄스 확대기, 포켈스 셀에 의한 펄스 선택기, 다중통과 증폭기, 펄스 압축기로 구성하였다. 커 렌즈 모드록킹된 티타늄 사파이어 레이저 공진기는 초점거리 5 cm의 오목거울, 평면거울, 출력거울로 이루어진 접힌 공진기 형태이며, 두 오목거울 사이에 형성된 집속모드에 티타늄 사파이어를 설치하였으며, 프리즘 쌍을 설치하여 군속도 분산 보상을 하였다. 펌핑 광원으로는 Nd:YVO₄ 레이저의 2차 조화파를 사용하였다. 그림 1과 같이 레이저의 스펙트럼 폭은 150 nm 이상이었으며, 펄스폭은 14 fs였다. 생성된 레이저펄스의 반복률은 100 MHz였으며, 반사율 90%의 출력거울을 사용하였을 때 평균출력은 3.5 W 펌핑에서 370 mW 였다.

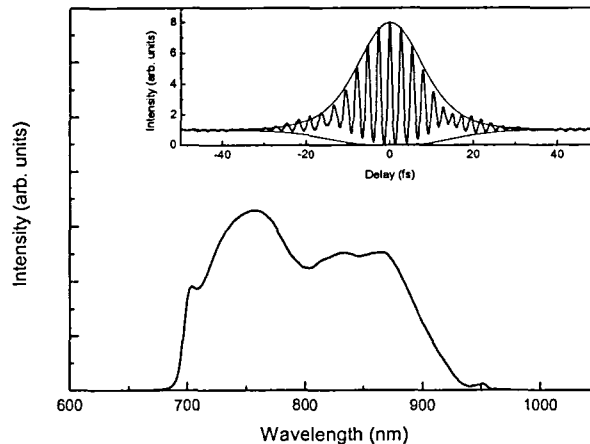


그림 1. 모드록킹된 레이저 펄스의 스펙트럼과 자체상관신호로부터 계산한 레이저 펄스폭.

티타늄 사파이어 공진기에서 출력된 레이저 펄스를 바로 증폭하면, 증폭이 충분히 되지 않은 상태에서도 펄스의 첨두 출력이 급속히 높아져서 증폭 매질이 손상되므로, 펄스를 증폭하기 전에 펄스 확대기를 사용하여 레이저 펄스폭을 확대하였다. 펄스확대기는 1200 grooves/mm 에돌이발과 초점거리 30 cm의 오목거울, 초점거리 15 cm의 볼록거울, 그리고 평면거울로 구성하여 모두 반사형 광학계만을 사용한

Offner-triplet 형태로 구성하였으며, 확대된 레이저 펄스폭은 약 250 ps였다. 확대된 레이저 펄스는 증폭단의 펌핑 에너지 한계, 증폭시 발생하는 열문제 등 때문에 레이저 펄스열을 모두 증폭할 수 없으며 그중 일부만을 선택하여 증폭해야 한다. 포켈스 셀에 의해 증폭단의 펌핑주기인 10 Hz의 반복률로 선택되어 증폭되었다. 포켈스 셀에서 선택된 레이저 펄스는 증폭단에 펌핑이 끝난 직후에 증폭 매질을 통과해야 하므로 펄스동기화장치, 시간지연장치 등을 사용하여 ns이하의 정밀도로 펌핑순간과 펄스 선택 순간을 조정하였다.

극초단 레이저 공진기에서 생성된 레이저 펄스는 펄스 확대기와 포켈스 셀 등을 통과하면서 펄스 에너지가 nJ 이하로 줄어들기 때문에 테라와트의 고출력을 생성하기 위해 다중통과 증폭단을 구성하였다. 다중통과 증폭단은 8-pass 예비증폭기, 2-pass 증폭기와 4-pass 증폭기로 구성하였으며, 8-pass 예비증폭기는 초점거리 45 cm의 오목거울 두 개, 초점거리 50 cm의 오목거울 드 개로 구성하였고, 각 오목거울이 공초점 배치가 되도록 하였으며, 초점이 맺히는 지점에 티타늄 사파이어 증폭매질을 놓았다. 펌핑 에너지 이득 매질 표면이 손상될 위험을 줄이기 위해 50:50 광속 분할기를 사용하여 펌핑빔을 나누어 양방향에서 펌핑하였으며, 펌핑에너지 50 mJ일 때 출력에너지는 약 4 mJ이었다. 예비 증폭기에서 증폭된 레이저 펄스는 빔크기가 직경 3 mm로 확대된 후, 2-pass 증폭기에 의해 다시 증폭되도록 하였으며, 이 때 레이저 펄스가 티타늄 사파이어를 통과할 때 마다 입사각도가 상당히 달라지므로 복굴절 결정인 티타늄 사파이어의 결정축과 레이저 펄스의 편광방향에 주의해야한다. 펌핑에너지 160 mJ일 때 출력에너지는 약 30 mJ이었다. 또한 2-pass 증폭기에서 나온 빔은 빔 크기가 직경 8 mm로 확대된 후 4-pass 증폭기로 입사되며, 펌핑에너지 1.2 J일 때 출력에너지는 약 500 mJ이었다.

증폭된 레이저 펄스는 펄스폭이 확대되어 있으므로 원래의 펄스폭에 가깝게 압축해야만 높은 첨두출력을 얻을 수 있다. 펄스 압축기는 펄스 확대기에서 시간적으로 배열된 스펙트럼 성분을 원래대로 합치는 장치로서, 금 코팅된 두 개의 1200 grooves/mm 에돌이발과 평면거울로 구성하였다. 펄스 압축기에 입력되는 레이저 펄스는 증폭되어 높은 에너지를 가지므로 직경 5 cm 정도로 빔 크기를 확대하여 에돌이발등이 손상되지 않도록 하였다. 이 후, 자체상관계를 이용하여 최종 펄스폭을 측정할 예정이다.

