

# 주파수 위상 간섭계를 이용한 펨토초 레이저 펄스의 시간적 특성 연구

## Temporal Characterization of Femtosecond Laser Pulses using Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction

강용훈, 홍경한, 남창희  
한국과학기술원 및 결맞는 X선 연구단  
kangyh@kaist.ac.kr

주파수 위상 간섭계를 이용한 전기장 재구성 방법(SPIDER)은 현재의 전자장치로 분해 해낼 수 없는 짧은 펄스의 시간적 특성을 광학적 방법을 사용하여 분해 해내는 기술이며<sup>[1-3]</sup>, 다음과 같은 순서로 시간 영역의 펄스를 재구성 한다 : 1)주파수 간섭계(spectral interferometry)를 사용하여 일정한 시간지연을 갖는 동일한 펄스 쌍을 만든다. 2)분산이 큰 물질(highly dispersive material)이나 에돌이 발 쌍(pairs of gratings)을 사용하여 크게 chirping되며 200배 전후로 펄스폭을 늘린 펄스를 생성한다. 3)측정하고자 하는 짧은 펄스쌍과 크게 chirping된 펄스를 비선형 광학물질에 입사시켜 합주파수 발생(sum frequency generation ; SFG)을 통해 펄스 쌍의 각 주파수를 층밀림(shearing) 한다. 이 과정을 통해 측정하려는 펄스의 주파수 영역의 위상이 층밀림되며, 이런 위상 차이로 위상변조(phase modulation)된 간섭무늬는 다음 식으로 표현된다 :

$$I(\omega) = |E(\omega_1 + \phi_1) + E(\omega_2 + \phi_2)|^2 = I_1 + I_2 + E_1 E_2 \cos(\phi_1 - \phi_2 + \omega\tau).$$

4)분광기를 사용하여 위의 간섭무늬를 측정 후, 푸리에 필터링으로 AC부분의 위상을 알아낸 다음 concatenating 방법으로 주파수 영역의 위상을 재구성 해낸다. 5)펄스의 스펙트럼을 측정 후, 제곱근을 취해 주파수 영역의 진폭을 얻고, 재구성한 주파수 영역의 위상과 함께 푸리에 변환하여 시간 영역의 펄스를 재구성 할 수 있다.

본 연구에서 구성한 SPIDER장치의 구성도는 그림 1과 같다. p편광으로 입사한 펄스는 투과율 50%인 펨토초 빔가르개에서 갈라져서, 투과한 빔은 8cm길이의 SF10 매질을 지나면서 강하게 chirping되어 4-ps 가량의 긴 펄스가 생성되고, 반사된 빔은 마이켈슨 간섭계를 통과하면서 약 250-fs의 시간지연을 갖는 펄스 쌍이 만들어 진다. 이 빔은 Periscope 를 통과하며 편광방향이 90° 만큼 바뀌게 되며, 수평이 동기 T2를 조절하여 긴 펄스와 경로차이를 일치시켜 준 다음, 초점거리 10cm인 금코팅된 구면거울로 두께 30μm인 제 2종(type-II) BBO( $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 결정에 강하게 집속시켜 합 주파수 발생을 시켰다. 합 주파수 발생된 근자외선 영역의 펄스를 분광기로 분광하여 SPIDER신호를 얻게 되며, SPIDER장치 앞

에 flipper를 설치하여 간섭형 자체상관계의 신호를 동시에 측정 할 수 있도록 하였다.

그림 2는 SPIDER를 이용하여 측정된 신호를 앞에서 말한 방법을 통해 주파수 영역의 위상(spectral phase)을 재구성한 것이다. 점선은 펄스의 시간 영역의 전기장의 세기(intensity)를 재구성한 것이며, 실선은 시간영역의 위상을 나타내는 것이다.

SPIDER로 측정된 펄스를 컴퓨터계산을 통하여 만든 간섭형 자체상관신호와 직접 측정된 간섭형 자체상관 신호와 비교하여, 잘 일치하는 것을 확인 하였다. 컴퓨터 계산을 통한 자체상관신호를  $\text{sech}^2$ 함수와 Gaussian으로 fitting 했을 때의 펄스폭이 본래의 펄스폭에 비해 각각 4-fs, 1-fs 만큼씩 차이가 나는 것을 확인하였고, 이것은 펄스형태를 가정함으로써 생기는 펄스폭의 오차이므로, SPIDER를 사용하여 정확한 펄스의 모양을 알아내는 것이 중요하다.

참고문헌

- [1] Ian A. Walmsley, Optics & Photonics News p29 (1999)
- [2] C. Iaconis and Ian A. Walmsley, Opt. Lett. 23, 792 (1998)
- [3] Chris Iaconis and Ian A. Walmsley, IEEE J. Quantum Electron. 35, 501 (1999)

그림 1. SPIDER 장치의 구성도

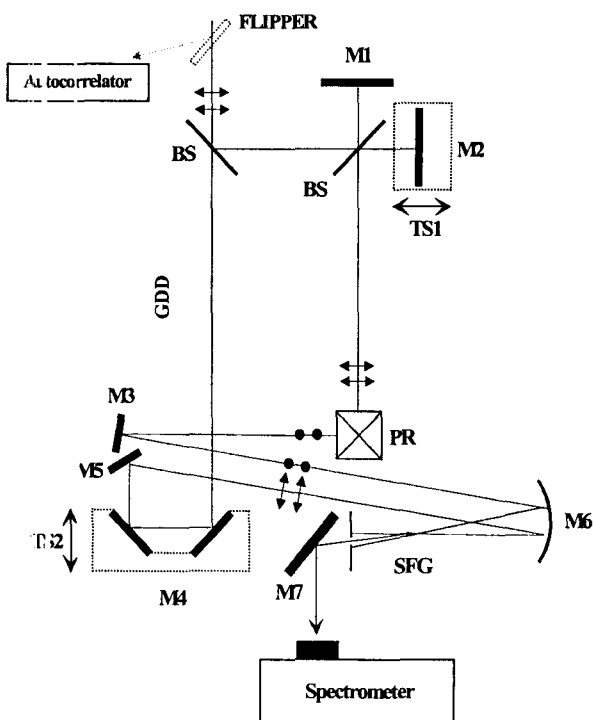


그림 2. SPIDER로 재구성한 시간영역의 펄스 모양과 위상

