

필라멘트 방식을 이용한 타이타늄 사파이어 레이저의 광대역 스펙트럼 생성

Supercontinuum generation of Ti:Sapphire laser through filamentation

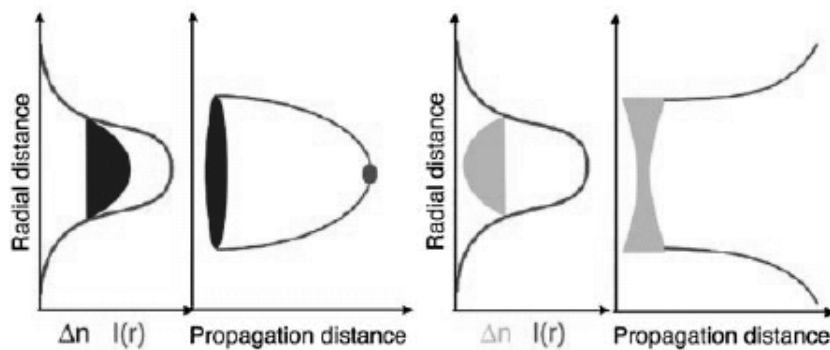
박주윤*, Tayyab Imran, 남창희

한국과학기술원 물리학과, 결맞는 X선 연구단

TEL: +82-42-869-8423, FAX: +82-42-869-2510

juyuni@kaist.ac.kr

티타늄사파이어 레이저를 이용하여 고출력 펄스 레이저를 구성할 수 있다. 수 펨토초의 고출력 레이저를 만들기 위해서는 초 펨스 증폭된 티타늄사파이어레이저를 다시 한 번 더 펄스 압축시켜야 하며, 이를 위해서는 매우 넓은 스펙트럼을 형성해야 한다. 넓은 스펙트럼을 생성시킬 때 지금까지 레이저를 가스가 채워진 긴 모세관을 통과시키는 방법이 주로 이용하였으나, 모세관이 사용되므로 정렬의 어려움과 안정성 때문에 이를 개선하기 위한 방법을 모색하여왔다. 필라멘트는 충분히 강한 짧은 펄스폭을 가진 레이저가 물질을 지나갈 때 발생된다. 이는 두 가지의 물리적인 현상에 의해 발생된다. 즉, 강한 레이저 펄스와 비선형 굴절률의 상관관계에 의한 자기 집속 효과(self focusing effect) 와 플라즈마 생성에 의한 초점 퍼짐(defocusing) 현상이다(그림 1).⁽¹⁾ 이 두 현상이 균형을 이룰 때 레이저 빔의 크기가 일정하게 유지가 되고 이 동안에 자기 위상 변화(self-phase modulation)가 발생하여 스펙트럼이 넓어지게 된다.



Focusing by Kerr effect

$$n = n_0 + n_2 I$$

Ionization Defocusing

$$\nabla n_e = - N_e(I) / 2N_{crit}$$

그림 1 채널 형성의 메커니즘

필라멘트를 생성시키기 위해 가스가 채워진 관에 레이저를 집속시킨다. 이 때 집속된 빔의 세기는 가스가 이온화되는 임계출력($P_{crit} = \lambda^2 / 2\pi n_0 n_2$)보다 크고 여러 개의 필라멘트가 생

성되는 출력인 $5P_{crit}$ 보다 적어야한다. 이를 위해서는 레이저 에너지를 조절하면 된다. 그러나 높은 에너지를 사용할 경우에는 레이저 빔의 크기와 집속하는 초점거리를 조절⁽²⁾ 함으로써 단위면적당 빔의 세기를 조절할 수 있다. 또한 사용되는 가스의 압력을 조절함으로써 임계출력을 높일 수 있다.

필라멘트에 사용된 레이저는 1 kHz의 반복률을 가진 티타늄 사파이어 레이저이고 이의 펄스폭은 30 fs, 최종단에서의 에너지는 3.5 mJ이다⁽³⁾. 아르곤 가스를 가스관에 670 torr 만큼 채우고, 입사 에너지가 1.5 mJ이고 스펙트럼 반치폭이 40 nm인 레이저를 이용하여 필라멘트를 생성시켰을 때, 출력되는 스펙트럼의 반치폭은 153 nm이고(그림 2) 출력에너지는 1.31 mJ 이다.

가스의 종류와 압력, 입사되는 빔의 크기와 초점거리를 바꾸면 보다 높은 에너지를 사용할 수 있으며, 보다 넓은 스펙트럼을 또한 얻을 수 있다. 그럼으로써 최종 목적인 고효율의 5 fs를 가진 레이저를 생성해 낼 수 있다.

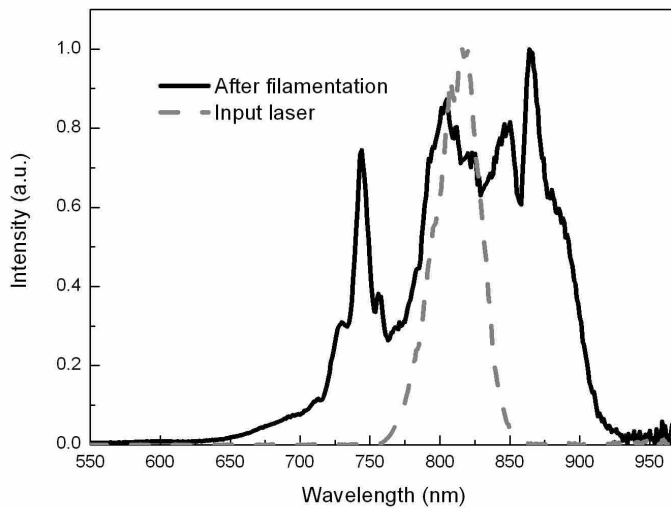


그림 2 필라멘트 전과 후의 스펙트럼 비교

참고문헌

1. C. P. Hauri, W. Kornelis, F. W. Helbing, A. Heinrich, A. Couairon, A. Mysyrowicz, J. Biegert, U. Keller "Generation of intense, carrier-envelope phase-locked few-cycle laser pulse through filamentation," Appl. Phys. B, **79** 673-677 (2004).
2. Q. Luo, S. A. Hosseini, W. Liu, J. -F. Gravel, O. G. Kosareva, N. A. Danov, N. Aközbek, V. P. Kandidov, G. Roy, S. L. Chin, "Effect of beam diameter on the propagation of intense femtosecond laser pulses," Appl. Phys. B, **80**, 35-38 (2005).
3. J. H. Sung, J. Y. Park, T. Imran, Y. S. Lee, C. H. Nam, "Generation of 0.2-TW 5.5-fs optical pulses at 1 kHz using a differentially pumped hollow-fiber chirped-mirror compressor," Appl. Phys. B **82**, 5-8 (2006).