

중공빛량자결정섬유를 리용한 진공자외선대역에서 펨토초임펄스발전

주철범, 한류정, 임성진

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《수학, 물리학, 화학, 생물학 같은 중요한 기초과학부문들을 적극 발전시킴으로써 나라의 과학기술수준을 더욱 높이고 인민경제 여러 분야에서 나서는 과학기술적문제들을 더 잘 풀어나가도록 하여야 하겠습니까.》(《김일성전집》 제72권 292페이지)

지금까지 진공자외선대역에서 펨토초임펄스의 발전을 위한 표준적인 방법은 존재하지 않고있으며 이 대역에서의 펨토초임펄스의 발전은 근적외선대역에 비해 어려운것으로 알려져있다. 그러나 진공자외선대역에서 펨토초임펄스는 미소새김과 분자들의 시간분해스펙트르분광을 비롯한 많은 응용들에서 중요하게 요구된다. 우리는 진공자외선대역에서 펨토초임펄스의 발전을 위한 한가지 방법에 대하여 논의하였다.

한방향으로 전파하는 펨토초임펄스의 전파과정은 다음의 방정식으로 표시된다.[1]

$$\frac{\partial E(z, \omega)}{\partial z} = i \left(\beta(\omega) - \frac{\omega}{c} \right) E(z, \omega) - \frac{\alpha(\omega)}{2} E(z, \omega) + \frac{i\omega^2}{2c^2 \epsilon_0 \beta_j(\omega)} P_{NL}(z, \omega)$$

이 방정식은 대단히 넓은 주파수대역에서의 연구에 리용될수 있다.

여러가지 압력의 아르곤을 채운 카고메살창외피를 가진 중공빛량자결정섬유[2]에서 초련속체복사의 시간령역 및 스펙트르령역에서의 변화과정을 그림 1에 보여주었다.

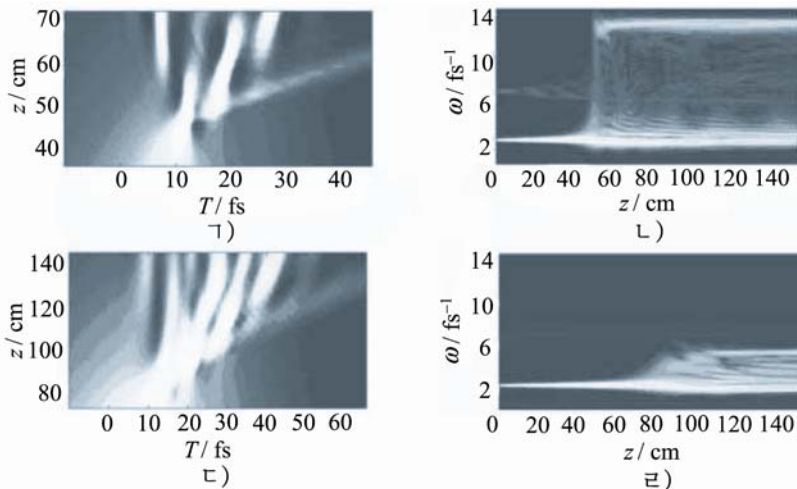


그림 1. 여러가지 압력의 아르곤을 채운 카고메살창외피를 가진 중공빛량자결정섬유에서 초련속체복사의 시간령역 및 스펙트르령역에서의 변화과정

ㄱ), ㄴ)는 0.25기압, ㄷ), ㄹ)는 2기압

그림 1의 ㄱ)에서 큰 각으로 갈라지는 밝은 선을 볼수 있다. 이것은 그림 1의 ㄴ)에서

150nm파장근방의 밝은 선에 해당된다. 이 고립된 짧은 파장에서의 발전은 고차솔리톤의 최대스펙트럼폭에서 일어나는 비솔리톤복사로 이해할수 있다. 이 단계에서 공명주파수와 솔리톤스펙트럼의 중첩은 최대로 된다. 첫단계에서는 2.26fs^{-1} 에서의 입사임펄스와 6.8fs^{-1} 에서의 3차조화발진을 볼수 있다. 50cm이후에서는 13fs^{-1} (150nm에 해당된다.)의 높은 주파수영역에서 밝은 띠를 볼수 있다. 비솔리톤복사의 지속시간은 고차솔리톤과 비솔리톤복사의 군속도차이와 한편으로는 솔리톤스펙트럼과 공명주파수가 겹치는 전파거리에 의하여 결정된다. 그림 1의 ㄱ)에서 고차솔리톤이 충분히 강하고 따라서 공명주파수와 겹치는 충분히 넓은 스펙트럼을 가질 때 비솔리톤복사가 일어난다는것을 알수 있다. 전파거리가 늘어날 때 약 3cm정도 지나서 고차솔리톤에서 특징적인 주기적변조는 중첩의 감소를 일으키고 솔리톤스펙트럼과 공명주파수는 련결이 끊어진다. 그러면 비솔리톤복사는 중단되고 결과적으로 비솔리톤복사임펄스의 지속시간은 10fs보다 짧아진다. 그림 1을 주의깊게 보면 알수 있는바와 같이 광대역의 고차솔리톤은 3cm정도 존재한다. 군속도굴절률차가 6×10^{-5} 이라는것을 고려한 계산에 의하면 비솔리톤임펄스의 지속시간은 6fs이다. 우에서 본 진공자외선대역스펙트럼성분은 위상정합조건을 통하여 확인할수 있다. 솔리톤의 파장이 800nm이고 기체압력이 0.25기압일 때 공명의 위치는 150nm에 있다. 위상정합파장의 위치는 기체압력을 증가시킬 때 긴 파장쪽으로 련속 옮겨간다. 이것을 확인하기 위하여 그림 1의 ㄷ), ㄴ)에 2기압일 때 임펄스의 스펙트럼 및 시간발전과정을 보여주었다. 여기서 볼수 있는바와 같이 높은 주파수대역의 좁은 띠가 2기압의 위상정합조건에 맞는 파장(350nm)에서 복사된다. 진공자외선임펄스의 복사는 고체속심빛량자결정섬유에서 얻을수 없다. 그것은 자외선대역에서 고체속심의 손실과 분산이 대단히 세게 일어나기때문이다.

자외 및 진공자외성분의 복사를 더 깊이 연구하기 위하여 그림 2에 초련속체복사에서 임펄스의 모양을 보여주었다. $z=105\text{cm}$ 일 때 150nm의 중심파장을 가지는 진공자외선성분은 임펄스의 나머지부분과 명백히 분리된다. 그 지속시간은 5fs밖에 되지 않으며 이것은 입사임펄스와 거의 같은 최고세기를 가진다. 이 초단진공자외선임펄스의 에너지는 $25\mu\text{J}$ 이고 이것은 입사임펄스에너지의 20%에 해당된다. 진공자외선임펄스의 중심주파수는 압력을 변화시키는 방법으로 쉽게 변화시킬수 있다.

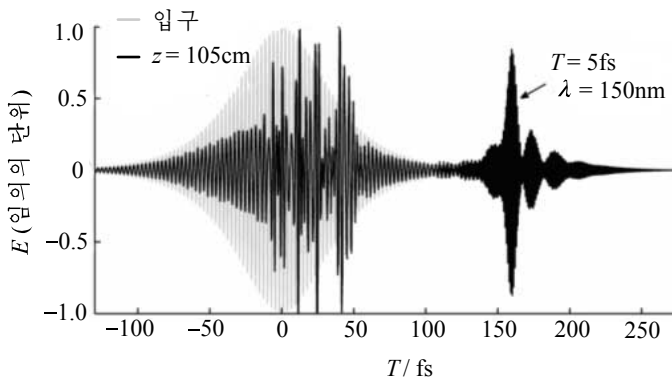


그림 2. 초련속체복사에서 임펄스의 모양

그림 3에서 볼수 있는바와 같이 감소하는 압력에 따라서 높은 주파수의 봉우리는 짧은 파장쪽으로 옮겨간다. 자외선 및 진공자외선성분의 파장은 2기압에서 350nm, 1기압에서

250nm, 0.5기압에서 180nm, 0.25기압에서 150nm이다. 보다 낮은 압력에서 파장은 115nm까지 감소될수 있다. 그림 3에 보여준 여러가지 곡선들에서 여러가지 입사세기들이 취해졌지만 자외선 및 진공자외선성분의 에네르기몹은 항상 20%정도이다. 임펄스지속시간은 0.25기압에서 5fs로부터 2기압에서 20fs로 변한다. 이것은 서로 다른 자외선 및 진공자외선주파수에서 군속도차가 서로 다르기때문이다.

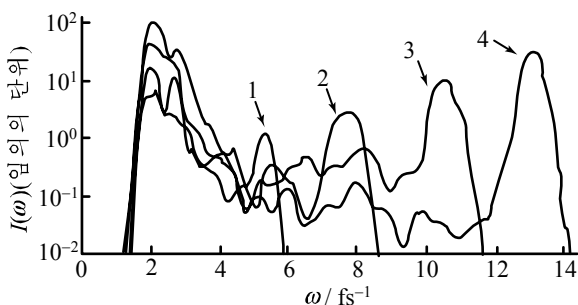


그림 3. 여러가지 압력에서 파장가변자외선 및 진공자외선스펙트르
1—4는 압력이 각각 2, 1, 0.5, 0.25기압인 경우

맺 는 말

중공빛량자결정섬유를 리용하여 진공자외선대역에서 펨토초임펄스를 발진하기 위한 한가지 방법을 제기하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. J. Im et al.; Optics Express, 18, 5367, 2010.
- [2] P. St. J. Russell et al.; Nature Photonics, 8, 278, 2015.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

Generation of Femtosecond-Pulse in VUV Using Hollow Core Photonic Crystal Fibers

Ju Chol Bom, Han Ryu Jong and Im Song Jin

We proposed an approach for generation of femtosecond-pulse in vacuum ultraviolet using hollow core photonic crystal fibers.

Key words: nonlinear optics, hollow core photonic crystal fibers, vacuum ultraviolet