

# 준위상맞춤 파라메트릭 형광을 이용한 좁은 선폭의 파장가변 쌍광자 광원

## Wavelength-tunable narrow-linewidth twin-photon source based on quasi-phase-matched parametric fluorescence

이동훈, 박승남, 이재용, 최상경, 박희수  
 한국표준과학연구원(KRISS) 광기술표준부  
 dhlee72@kriss.re.kr

쌍광자 광원은 특정한 상관관계를 갖는 두 개의 광자를 동시에 발생시키는 장치를 말한다. 대표적인 쌍광자 광원으로는 비선형 결정에서의 파라메트릭 형광(parametric fluorescence)을 통해 자외선 영역의 펄스 레이저 광자를 긴 파장의 광자쌍, 즉 시그널(signal) 광자와 아이들러(idler) 광자로 변환하는 장치를 들 수 있다. 이렇게 생성된 광자쌍은 서로 주파수, 운동량, 편광 등에 대하여 양자적 상관관계를 가지고 있으며<sup>(1)</sup>, 특히 광자쌍의 파장이 서로 동일한 자발 파라메트릭 하향변환(spontaneous parametric down-conversion, SPDC)은 광자의 양자 얽힘(quantum entanglement) 생성을 통해 양자 광측정 및 양자정보 분야에 널리 응용되고 있다<sup>(2,3)</sup>. 하지만 일반적으로 SPDC 광원은 비선형 결정의 복굴절 위상맞춤(phase-matching)을 이용하므로 생성되는 쌍광자의 휘도가 낮고 파장을 원하는 대로 바꿀 수 없는 단점이 있다.

우리는 준위상맞춤(quasi-phase-matching, QPM) 개념을 적용하여 기존의 SPDC 장치와 구별되는 새로운 특성을 가진 쌍광자 광원을 개발하고 있다. QPM 적용을 통해 얻을 수 있는 가장 유용한 특성은 시그널과 아이들러 광자의 파장을 자유롭게 조절할 수 있는 파장가변성이다. 또한 walk-off를 비롯해 복굴절 위상맞춤에서 비선형 결정의 길이를 제한하던 요소가 없으므로 길이가 긴 결정을 사용해 휘도가 높고 선폭이 좁은 쌍광자 빔도 생성할 수 있다. 따라서 QPM이 가능한 비선형 결정에서 파라메트릭 형광을 이용하면 서로 파장이 많이 떨어진 시그널과 아이들러 광자를 높은 휘도와 좁은 선폭으로 생성하는 쌍광자 광원을 제작하여 SPDC와는 차별된 새로운 응용 분야에 사용할 수 있다. 본 논문은 우리가 개발 중인 QPM 파라메트릭 형광 쌍광자 광원을 소개하고 가능한 응용 분야에 대하여 논의한다.

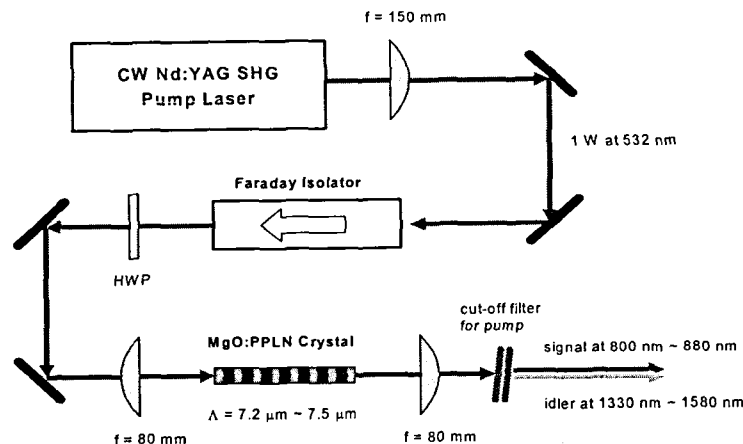


그림 1. MgO:PPLN을 이용한 QPM 파라메트릭 형광 쌍광자광원의 개략적 장치 구성.

그림 1은 QPM 파라메트릭 형광 쌍광자 광원 구성의 개략도이다. 펌프 레이저로는 532 nm 파장에서 단일 횡모드 빔을 약 1 W 세기로 연속 출력하는 Nd:YAG 2차 조화파 레이저(Innolight Diabolo)를 사용하였다. 펌프 레이저의 출력빔은 초점거리 150 mm의 볼록렌즈를 통해 평행하게 진행하도록 만든 후 패러데이 광격리기(Faraday isolator)를 통과하여 초점거리 80 mm의 볼록렌즈로 비선형 결정의 중심에 모아 주었다. QPM 비선형 결정으로는 주기적으로 분극반전된 MgO 첨가 LiNbO<sub>3</sub>(periodically poled MgO-doped lithium niobate, MgO:PPLN)를 사용하였으며 7.1  $\mu\text{m}$ 에서 7.6  $\mu\text{m}$ 까지 0.1  $\mu\text{m}$  간격으로 분극반전 주기  $\Lambda$ 를 달리한 6개의 채널을 길이 40 mm, 폭 10 mm, 두께 0.5 mm를 갖는 하나의 기판에 가공하였다(대만 HCP 제작). 펌프 레이저의 편광은 반파장판(half waveplate)을 사용하여 MgO:PPLN 결정의 분극방향과 평행하고 결정이 놓인 방향과는 수직이 되도록 조절하였으며, 발생하는 파라메트릭 형광의 시그널과 아이들러 쌍광자 출력도 이와 같은 편광을 가진다(type-I, e-ee). 출력하는 쌍광자 빔은 초점거리 100 mm의 볼록렌즈를 사용하여 다시 평행하게 만들어 준 뒤 InGaAs PIN 광다이오드 혹은 광스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer, OSA)를 사용하여 세기와 파장분포를 측정하였다. 결정을 통과한 펌프 레이저빔을 차단하고 시그널과 아이들러 출력만을 통과하기 위하여 두 개의 단파장 차단필터(cut-off wavelength: 600 nm)를 사용하였다.

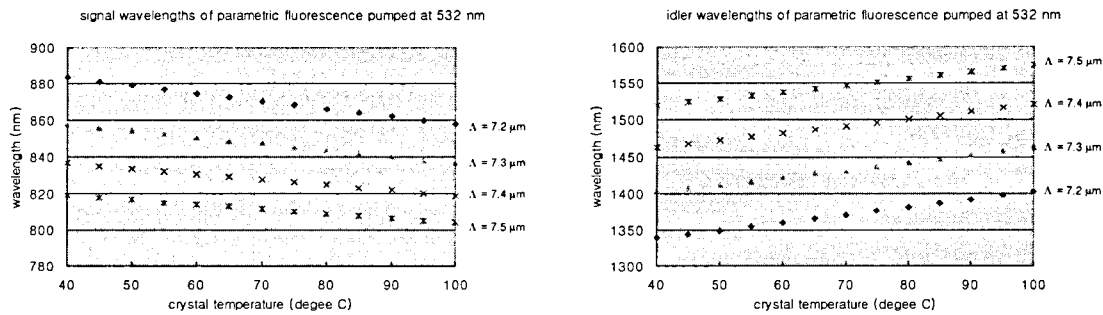


그림 2. QPM 파라메트릭 형광 쌍광자 광원의 파장가변 곡선.

그림 2는 MgO:PPLN 결정의 온도 변화에 따른 출력 시그널 및 아이들러 파장변환 특성을 OSA (Agilent 86142B)로 측정한 결과이다. 결정의 온도를 40 °C에서 100 °C까지 조절하고 분극반전 주기를  $\Lambda = 7.2 \mu\text{m}$ 에서  $7.5 \mu\text{m}$  사이 범위에서 선택하면, 시그널 광자와 아이들러 광자의 파장을 각각 약 800 nm에서 880 nm까지와 1330 nm에서 1580 nm까지의 영역에서 동시에 변환할 수 있다. 전 영역에서 스펙트럼 선폭은 반치폭(FWHM)으로 2 nm 미만이었으며 광섬유를 통해 OSA로 입력된 출력은 약 -70 dBm (100 pW) 정도로 측정되었다. 하지만 출력 광자쌍을 집속하여 검출하는 광학계의 수집 효율이 아직 최적화되지 않은 점을 고려하면, 실제 시그널과 아이들러 광의 출력은 수십 nW에 이를 것으로 추정된다.

우리는 앞으로 2 nm 미만의 좁은 선폭을 가지는 파장가변 쌍광자 광원을 이용하여 Si와 InGaAs 검출기의 양자효율을 넓은 파장영역에서 비교 측정할 수 있는 장비를 개발하고자 한다. 서로 다른 두 파장의 시그널과 아이들러 광자가 항상 쌍으로 생성되면, 두 파장영역에서의 광자 계수비가 광검출기 간의 양자효율 비율과 동일하다는 점에 착안한 응용 측정기술의 한 예이다. 이 밖에 서로 다른 파장에서 단일광자 동시계수 측정 혹은 양자 노이즈 성분 측정 등을 통한 양자 상관관계 측정기술의 개발도 계획하고 있다.

참고문헌

1. D. N. Klyshko, "Photons and Nonlinear Optics," Gordon and Breach Science Publishers, New York (1988).
2. A. V. Sergienko, "Quantum metrology with entangled photons," Proc. Inter. School of Physics 'Enrico Fermi' course CXLVI, IOS press, Amsterdam (2001).
3. D. Bouwmeester et al., "The physics of quantum information," Springer, Berlin (2000).

