

**다중모드 다이오드 레이저를 이용한  
type-II 자발매개하향변환의 양자간섭 특성에 관한 연구**

**Quantum interference of type-II spontaneous parametric  
down-conversion pumped by multi-mode violet diode laser**

백소영\*, 권오성\*, 김윤호\*

\*포항공과대학교 물리학과

simply@postech.ac.kr

양자얽힘(quantum entanglement)상태는 양자역학의 기초적인 문제에서부터 새로운 양자광학현상에 관한 기초 실험, 양자정보분야의 실험연구 등에서 가장 기본적이며 중요한 요소이다. 실험실에서 얽힘상태를 만들어 내는 가장 잘 알려진 방법은 2차 비선형 결정에서의 자발매개하향변환(spontaneous parametric down-conversion; SPDC)을 이용해 한 개의 펌프광자로부터 2개의 광자쌍을 만들어 내는 것인데, 이렇게 생성된 2개의 광자쌍은 서로 얽힘상태에 있음이 잘 알려져 있다.

SPDC 과정의 펌프로는 주로 자외선 영역의 레이저가 사용되는데 지금까지는 Argon laser 등의 메인 프레임 레이저 등이 주로 사용되었다. 이러한 메인 프레임 레이저를 사용한 실험에서는 광자쌍을 생성시키기 위한 장치가 너무 크기 때문에 양자정보분야의 실험연구에 적합하지 않은 측면이 있다. 하지만 최근 uv 및 violet 영역에서 작동하는 diode laser가 상용화 되고 있는데, 이러한 diode laser를 이용해 SPDC 광자쌍을 만들어 낼 수 있다면 양자정보분야의 여러 실험에 쉽게 사용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 상용화된 violet diode laser를 이용해 type-II SPDC 광자쌍을 만들어 내고 또 이 광자쌍을 이용해 양자간섭실험을 수행하였다. 상용화된 uv-violet diode laser는 cw argon laser 등과 같은 메인 프레임 레이저와는 달리 레이저의 공진기가 작으며 multi-mode (longitudinal mode)로 작동하는데, 본 연구에서는 multi-mode violet diode laser를 펌프로 사용하여 생성된 type-II SPDC 광자쌍이 나타내는 양자간섭현상에 대해 집중적으로 연구하였다.

실험은 그림 1에서 보는바와 같이 collinear degenerate type-II SPDC의 방법으로 구현되었으며 펌프로는 최대 출력 50 mW를 가지는 multi-mode violet diode laser를 사용하였다. 그림 2(a)는 monochromator를 이용해 광원의 스펙트럼을 측정된 결과로서 펌프의 중심파장이 408.2 nm이고 FWHM spectral width가 0.5 nm임을 확인할 수 있다. 편광이 수직인 광자쌍 상태를 얻기 위해 2 mm의 type-II BBO 결정을 사용하였고 결정의 광축과 수직(Vertical), 수평(Horizontal)으로 편광된 광자의 V-H delay는 간섭계를 구성하여 조절하였다. 간섭계를 거친 광자쌍은 polarizing beam splitter와 10 nm의 간섭 필터를 지나 동시계수 측정 회로를 통해 측정된다.

단일 모드 cw laser가 광원인 경우 type-II 양자 간섭 현상의 최대 가시도는 100%가 되어야 하지만 넓은 선폭의 광원을 사용한 경우 가시도는 선폭과 SPDC를 발생시키는 비선형 결정의 두께에 크게 영향을 받게 된다. Monochromator 측정을 통해 얻은 광원의 스펙트럼 특성과 실험에 사용한 비선형 결정 두께로부터 이론적인 가시도  $V_{theory} = 0.62$ 가 얻어진다.

그림 2(b)는 V-H delay를 바꾸어 가면서 type-II SPDC의 양자간섭 현상을 보여주고 있으며 실험적으로 얻은 가시도  $V_{exp} = 0.59$ 가 이론값에 근접함을 보여주고 있다. 본 발표에서는 비선형 결정의 두께를 변화시켜가며 multi-mode 광원으로부터 얻어지는 스펙트럼의 모양과 가시도에 대해 다룰 것이다. 또한 광자쌍의 선폭을 구하여 광자쌍의 측정에 사용되는 스펙트럼 필터의 선폭과 가시도와의 관계에 대해서도 다루고자 한다.

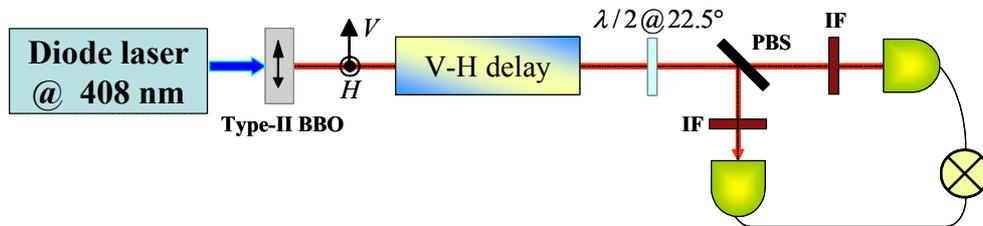


그림1. Biphoton correlation experiment with multi-mode pump

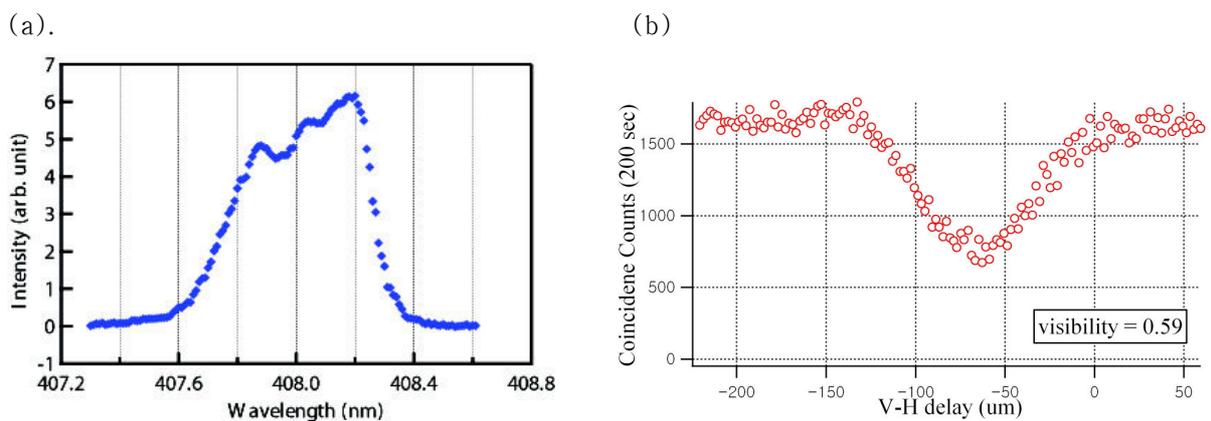


그림2. (a) The emission spectrum of the commercial blue-violet diode laser (b) biphoton interference dip as a function of V-H delay