

특수 광섬유 기반 예고된 단일 광자에 관한 이론적 해석에 관한 연구

우태호, 이경택, 이주한
서울시립대학교

j.h.lee@ieee.org

Theoretical Investigation on Specialty Fiber based Heralded Single Photon Source

Taeho Woo, Kyungtaek Lee, and Ju Han Lee*
University of Seoul

요 약

본 논문에서는 특수 광섬유에서 높은 순수도를 가지는 예고된 단일 광자 구현을 위한 이론적 연구를 수행하였다. 특수 광섬유의 위상정합 조건 계산을 통하여 L-band 대역의 예고된 단일 광자 (Heralded Single Photon)와 실리콘 기반 단일 광자 검출기의 동작대역에 위치하는 예고하는 단일 광자 (Heralding Single Photon) 구현을 위한 펌프 광원의 파장은 1310 nm 이었다. 이때 예고된 단일 광자 광원의 순수도 (Purity)를 펌프 광원의 대역폭에 대하여 이론적으로 계산하였고, 펌프 광원의 대역폭이 0.3 nm 일 때의 순수도의 최대값은 0.8 이다.

I. 서 론

양자 광학 분야에서 양자 통신과 양자 암호화를 구현하기 위한 단일 광자 광원이나 양자 얽힘 광원과 같은 비고전적인 광원 제작은 핵심 기술 중 하나이다 [1,2]. 비선형 광학 현상인 자발적 매개 하향 변환과 자발적 사 파장 혼합을 통하여 예고된 단일 광자와 양자 얽힘 광자 등이 구현되었다 [3]. 그 중 기존 광섬유 네트워크에 뛰어난 호환성을 가지는 자발적 사 파장 혼합을 통해 생성된 단일 광자와 얽힘 광자 쌍은 양자 통신 분야에서 큰 관심을 받고 있다. 기존 단일 모드 광섬유에서 유도되는 사 파장 혼합을 통한 양자 광원 구현 이미 많은 연구가 진행되어 왔다 [4]. 실용적인 예고된 단일 광자 광원을 위해선 통신 파장대역에서 동작하는 광원이 필요하다. 특히, 라만 산란을 최소화할 수 있는 L-band 대역에서의 비고전적 광원 제작이 주목받고 있다 [5]. 본 연구에서는 특수 광섬유에서 유도되는 예고된 단일 광자 생성을 위한 위상정합 조건을 계산하였다. L-band 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자의 구현과 높은 순수도를 위한 펌프 광원의 파장과 대역폭을 최적화하였다.

II. 본론

특수 광섬유에 따라 분산 특성이 달라진다. 특수 광섬유에서 유도되는 사 파장 혼합의 위상정합조건이 변화하며, 광자 쌍의 생성조건도 변동된다. 본 연구에서는 사 파장 혼합 현상과 특수 광섬유의 결합을 기반으로 한 L-band 대역에서 예고된 단일 광자 광원을 구현할 수 있음을 보였다. 그림 1 에서 특수 광섬유에서 계산한 위상정합 곡선을 나타내었다. 특수 광섬유의 위상정합 조건 계산을 통하여 사 파장 혼합 현상에

의해 1310 nm 대역의 펌프광을 활용하면 생성되는 광자 쌍 중 시그널의 파장은 실리콘 기반의 단일 광자 검출기 동작대역을 만족하는 1100 nm 에서 생성되며, 아이들러의 파장은 L-band 대역에서 생성할 수 있음을 확인할 수 있다.

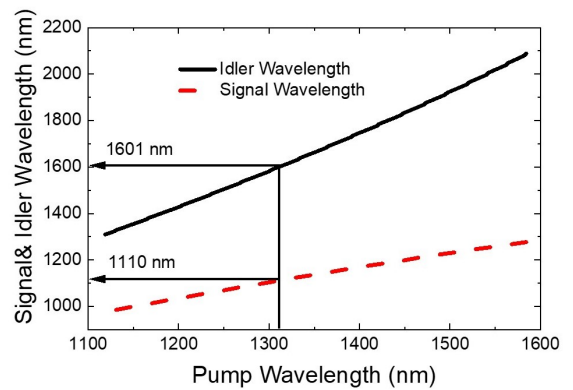


그림 1. 특수 광섬유에서 계산한 위상정합 조건

이때 예고된 단일 광자 상태의 중요한 특성 중 하나는 예고된 단일 광자 상태의 순수도이다. 이는 양자 상태에 대한 척도를 정의하여 상태가 얼마나 혼합되어 있는지에 대한 정보를 제공한다. 그림 2 에서 1310 nm 펌프 광원의 대역폭에 따라 순수도의 변화를 나타내었다. 1310 nm 펌프 광원의 대역폭이 0.3 nm 일 때 가장 높은 순수도인 0.8 을 가짐을 확인할 수 있다.

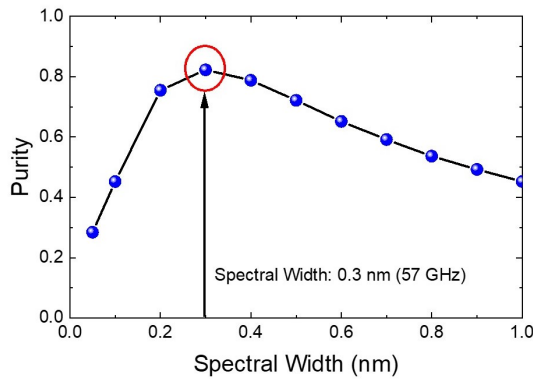


그림 2. 펌프 광원의 대역폭에 따른 순수도 변화

III. 결론

본 논문에서는 특수 광섬유의 위상정합 조건을 구하였다. 특수 광섬유를 통해 유도되는 L-band 대역에서의 예고된 단일 광자 광원의 구현과 실리콘 기반 단일 광자 검출기의 동작대역에 위치하는 예고하는 단일 광자 구현을 위한 펌프파장을 계산하였고, 예고된 단일 광자 광원의 높은 순수도를 위해 펌프 광원의 폭을 최적화하였다. 특수 광섬유에서 L-band 대역에서 예고된 단일 광자 광원 구현을 위한 펌프 파장의 파장과 대역폭은 각각 1310 nm 와 0.3 nm 로 계산되었다. 본 결과를 활용하여 특수 광섬유를 통한 예고된 단일 광자 광원 구현을 할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업 (IITP-2021-0-01810); 과학기술정보통신부 및 한국연구재단 (RS-2023-00242396).

참고 문헌

- [1] M. Davanço, J. R. Ong, A. B. Shehata, A. Tosi, I. Agha, S. Assefa, F. Xia, W. M. J. Green, S. Mookherjea, and K. Srinivasan, "Telecommunications-band heralded single photons from a silicon nanophotonic chip," *Appl. Phys. Lett* 100, (2012)
- [2] P. Vergyris, F. Kaiser, E. Gouzien, G. Sauder, T. Lunghi, and S. Tabzilli, "Fully guided-wave photon pair source for quantum applications," *Quantum Science and Technology* 2, 024007 (2017).
- [3] M. Centini, J. Peřina, Jr., L. Sciscione, C. Siglia, M. Scalora, M. J. Bloemer, and M. Bertolotti, "Entangled photon pair generation by spontaneous parametric down-conversion in finite-length one-dimensional photonic crystals," *Physical Review A* 72, 033806 (2005).
- [4] L. J Wang, C. K. Hong, and S. R. Friberg, "Generation of correlated photons via four-wave mixing in optical fibres," *Journal of optics B: Quantum and semiclassical optics* 3, 346 (2001).

- [5] A. R. McMillan, J. Fulconis, M. Halder, C. Xiong, J. G. Rarity, and W. J. Wadsworth, "Narrowband high-fidelity all-fibre source of heralded single photons at 1570 nm," *Optics express* 17, 6156-6165 (2009).