

통신 파장 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자 광원에 대한 이론적 연구

이경택, 우태호, 이주한*
서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과
레이저 및 광반도체 연구실

A Theoretical Study on the Heralded Single Photon Source Operating at Optical Telecommunication Wavelength

Kyungtaek Lee, Taeho Woo, Ju Han Lee*
University of Seoul, School of Electrical and Computer Engineering
Laser and Optical Semiconductor Laboratory

*j.h.lee@ieee.org

요약

본 연구에서는 특수 광섬유에서 Spontaneous Four-Wave Mixing에 의해 생성되는 광자 쌍에 기반한 예고된 단일 광자 광원에 관한 이론적 연구를 수행하였다. 통신 파장 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자 광원 구현을 위하여 특수 광섬유의 길이에 따라 예고된 단일 광자 광원의 순수도(Purity)의 변화를 이론적으로 계산하였다. 중심 파장이 1310nm인 펌프 레이저를 활용하여 Spontaneous Four-Wave Mixing 현상을 유도하였을 때, 특수 광섬유의 길이가 0.5m일 때 순수도의 최대값은 약 0.8로 계산되었다.

I. 서론

단일 광자 광원은 양자 계측, 양자 통신, 양자 컴퓨팅 등 양자 기술을 활용하는 기술에서 핵심 소자이다 [1,2]. 특히 단일 광자 광원 구현을 위해서 Color Center, Quantum Dot, Atom/Ion Trap에 기반한 단일 광자 광원에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [3,4]. 이러한 Localized Quantum Structure에 기반한 단일 광자 광원은 구현하기 위한 실험적 복잡도가 높고 동작 파장과 대역폭이 한정되어 있는 단점이 있다. 최근 Spontaneous Parametric Down-Conversion(SPDC)과 Spontaneous Four-Wave Mixing(SFWM) 등 매질의 비선형 광학 현상에 기반한 시간 상관 관계가 높은 광자 쌍을 생성하고 [5], 한 개의 광자를 다른 광자를 예고하는 방법으로 단일 광자 광원을 구현하는 예고된 단일 광자 광원(Heralded Single Photon Source)이 주목받고 있다. 양자 정보 기술에서 예고된 단일 광자 광원이 활용되기 위해서 Multi-Photon Interference를 보여야 하는데, 이를 보이기 위해서 SDPC나 SFWM에 의해 생성되는 광자 쌍의 구별 불가능성(Indistinguishability) 및 순수도(Purity)가 높아야 한다 [6]. 본 연구에서는 통신 파장 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자 광원 구현을 위해 특수 광섬유에서 위상 정합 조건(Phase-Matching Condition)을 계산하고 생성되는 광자 쌍의 스펙트럼 순수도를 특수 광섬유의 길이에 따라 분석하였다.

II. 본론

통신 파장 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자 광원 구현을 위해서 위상 정합 조건(Phase-Matching Condition)을 계산하였다. 이때 중심 파장이 1310nm인 펌프 레이저를 특수 광섬유에 인가했을 때 L-밴드 통신

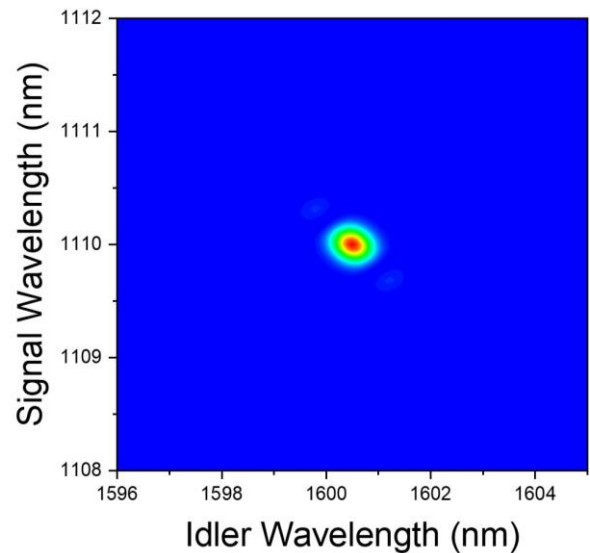


그림 1. 특수 광섬유에서 1310nm 펌프 레이저에 의해 생성되는 광자 쌍의 Joint Spectrum Intensity.

파장 대역과 1100nm 파장 대역에서 광자 쌍이 생성됨을 확인하였다. 그림 1은 길이가 0.5 m인 특수 광섬유에 중심파장이 1310 nm이고 스펙트럼 대역폭(Spectral Bandwidth)이 57 GHz인 펌프 레이저를 인가했을 때 Joint Spectral Intensity를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 이때 계산된 순수도는 대략 0.8이다. 특수 광섬유에 길이에 따른 예고된 단일 광자 광원의 순수도의 변화를 계산하였다. 중심파장이 1310nm이고 스펙트럼 대역폭이 57 GHz인 펌프 레이저를 인가하였을 때 특수 광섬유에 길이에 따라 순수도를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 특수 광섬유에 길이에 따라 순수도가 변화하였고, 특수 광섬유 길이가 0.53m일 때 순수도가 최대값을 가졌다.

III. 결론

본 연구에서는 통신 파장 대역에서 예고된 단일 광자 광원을 위하여 특수 광섬유의 위상 정합 조건을 계산하고, 특수 광섬유의 길이에 따른 순수도를 계산하였다. 길이가 0.5m 인 특수 광섬유에 1310nm 의 중심 파장을 가지는 펄스 레이저를 활용하여 SFWM 현상을 유도하였을 때, 중심 파장이 L-band 대역에 위치한 예고된 단일 광자 광원의 순수도는 0.8 로 계산되었다. 본 연구 결과를 활용하여 통신 파장 대역에서 동작하는 예고된 단일 광자 광원을 구현할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업 (IITP-2021-0-01810)과 과학기술정보통신부 및 한국연구재단 (RS-2023-00242396)의 사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] V. Giovannetti, S. Lloyd, and L. Maccone, "Quantum Metrology," *Phys. Rev. Lett.* 96, 010401 (2006).
- [2] J. L. O'Brien, "Optical Quantum Computing," *Science* 318, 1567–1570 (2007).
- [3] J. McKeever, A. Boca, A. D. Boozer, R. Miller, J. R. Buck, A. Kuzmich, and H. J. Kimble, "Deterministic Generation of Single Photons from One Atom Trapped in a Cavity," *Science* 303, 1992 (2004).
- [4] M. Keller, B. Lange, K. Hayasaka, W. Lange, and H. Walther, "Continuous Generation of Single Photons with Controlled Waveform in an Ion-Trap Cavity System," *Nature* 431, 1075 (2004).
- [5] C. Hong, Z. Ou, and L. Mandel, "Measurement of subpicosecond time intervals between two photons by interference," *Phys. Rev. Lett.* 59, 2044–2046 (1987).
- [6] K. Lee, J. Jung, and J. H. Lee, "Optical fiber polarization-entangled photon pair source using intermodal spontaneous four-wave mixing in the visible spectral band," *Laser Phys. Lett.*, 20, 015101 (2022).