



Title	Manipulating frequency of photons for quantum information processing
Author(s)	小林, 俊輝
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/61801
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (小 林 俊 輝)	
論文題名	Manipulating frequency of photons for quantum information processing (量子情報処理のための光子の周波数操作)
論文内容の要旨 Photonic quantum state is a key resource for quantum information processing. Quantum frequency conversion (QFC) process enable us to bridge gaps between frequency-dependent physical systems and devices. The QFC process is also expected to work as a frequency-domain BS. Thus, the QFC has a potential to be widely applied for quantum information processing, such as quantum computation in the frequency degree of freedom and quantum networking among diverse frequency-dependent matter quantum systems and devices. In this thesis, we show four works aiming for a quantum computation in the frequency degree of freedom and a quantum communication between matter quantum systems. First-order and second-order interferences of electric fields are building blocks for realizing photonic quantum computation. The first and second studies of this thesis experimentally show these interferences between two different frequency modes by using frequency-domain BS. In the first study, we demonstrate the phase-preserved partial frequency conversion and construct the Mach-Zehnder interferometer by using two QFC devices as a frequency-domain BS. We observe the frequency-domain first-order interference for coherent lights at 795 nm and 1580 nm with a high visibility at 50% conversion efficiencies of the BSs. The experimental results show that a visibility over 0.9 will be obtained at a single-photon level. The Hong-Ou-Mandel (HOM) interference is a second-order interference based on an indistinguishability of bosonic particles unlike the first-order interference. Such nonclassical properties of the HOM interference plays essential role of two particle quantum operations. In the second study, we demonstrated the frequency-domain HOM interference between two photons with different colors. We injected the two photons with different colors into the QFC device, and then measured the output photons from the device. We then observe an interference visibility in nonclassical regime. The result shows that two distinct bosons, which are distinguished by their frequencies, are destructive interfered by a property of identical bosonic particles after the QFC process. In order to interconnect various quantum matter systems through fiber-optic communications, a quantum system correlated with telecom photons is important as an elementary node of quantum network. The requirements of the telecom photons are the ability to manipulate a nonclassical state in quantum system and to be interfered with photons from another node for linking quantum systems. In the third study, we prepare the quantum memory by using cold Rubidium (Rb) atomic ensemble correlated with 780-nm photons. We then observe the preparation of nonclassical excitation state in the quantum memory by detection of converted photon at telecom wavelength of 1522 nm via QFC. In addition, we observe that the photon statistics of converted photons has the potential to observe the HOM interference between the two telecom photons prepared by duplicating our systems. Entanglement between various quantum systems is a vital resource required for future quantum networking. In order to distribute the entanglement through an optical fiber, telecom photons entangled with quantum systems will play essential role as a communications repeater, called quantum repeater. In the fourth study, we demonstrate an entanglement preparation between the cold Rb atomic ensemble and telecom photon by using QFC process. We measure the fidelity of prepared states to one of the maximally entangled states. It shows that the generated state is an entangled state with Rb atoms and telecom photons.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小 林 俊 輝)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	井元 信之
	副 査	教 授	鈴木 義茂
	副 査	教 授	藤本 聡

論文審査の結果の要旨

量子コンピューターや量子情報をはじめとする「量子情報処理」は、従来できなかった情報処理を可能とすることがわかっており、近年精力的に研究されている。その中では近距離の量子暗号は研究段階では実現されており、今は実用化研究フェーズである。しかし遠距離量子暗号と量子コンピューターはまだ基礎研究段階にある。量子力学と情報理論が究極的にどこまで絡んでいるかも解明され切っていないため理学的研究の要素も多く、理学と工学を掛け合わせた分野となっている。演算単位としてはビットでなく量子ビットを用いることになるが、メモリーとしては物質系、通信としては光を用いることになる。この場合、それぞれに適した光の周波数が異なるため「量子情報を壊さない－重ね合わせやエンタングルメントを壊さない」周波数変換が必須となる。その際の変換効率は当然100%であるべしと一見思われるが、実は0から100%まで可変である方が量子力学的現象を制御するためには望ましい。重要なことは、変換された部分とされなかった部分がコヒーレント（可干渉）であることである。これができると、従来3次元空間で分岐・結合させて実験していた量子干渉現象が、ただ一本の光路で、途中で周波数分岐させたり結合させたりするだけで起こせるなど、これまでになく現象が観測できるはずで、理学的にも興味深い。

そうした中、申請者は「変換された部分とされなかった部分がコヒーレント」であるような光子周波数変換装置を組み立てることから始め、それを用いて「周波数空間内で分岐・結合する」量子干渉実験を行った。まず「部分的変換器」であるが、従来は「変換されなかった部分が単に散逸してしまう」すなわち単なる不完全変換であったのが、申請者の変換器は、変換されたものとされないものがセットで時間的可逆性を保った可変変換器を開発することができた。さらに、量子干渉には1光子干渉と2光子干渉があるが、そのどちらも「ただ一本の光路で」実現してみせ、学界の注目を浴びた。この研究は周波数多重量子情報処理への道を拓くものである。申請者は以上の研究結果を学位論文としてまとめた。

学位論文は背景・意義動機・基礎事項の説明・研究の方法・結果・考察ともに構成がしっかりしており、前提となる理論・デバイス設計と評価・学術的実験のどれも的確に行われていることを物語っており、信頼性が高いと判断される。さらに、明確かつ詳細な理論的解析は申請者の深い物理の理解を示すものであり、同時に申請者の持つ幅広い興味と研究目標達成を目指す資質を十分に感じさせるものと判断された。

以上より本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。