

京都大学	博士（工学）	氏名	杉浦 健太
論文題目	Investigation of spectral properties of broadband photon-pairs generated by four-wave mixing in an on-chip ring resonator（リング共振器内で四光波混合により発生する広帯域光子対のスペクトルに関する研究）		
<p>本論文は、光子を用いた量子技術において重要な、オンチップ広帯域周波数もつれ光子対を生成、詳細な理論的検証を行ったものであり、9章からなっている。</p> <p>第1章は序論である。広帯域量子もつれ光子の重要性とその応用、オンチップ光子対源の研究の状況について概説したのち、当該分野における本研究の位置付けと目的を明らかにしている。</p> <p>第2章では、本論文に関連する基本的な知識として、リング共振器の線形・非線形応答、さらに光子対生成と、ラマン散乱に関して、理論的な説明を行っている。</p> <p>第3章では、本研究で用いる実験系の説明を行っている。まず、リング共振器の透過スペクトルや分散などの光学特性の評価、チップ上の光導波路と光ファイバーの結合装置、励起レーザー周波数の精密な制御方法、発生する光子対の評価実験系について説明している。</p> <p>第4章では、高コントラストドープガラスリング共振器における、2光子吸収の影響について述べている。2光子吸収が存在する場合、素子に入射できるポンプ光強度が制限され、光子対生成量に上限が課せられる。高Q値リング共振器の連続光励起時について、励起レーザー光強度が100mWに至るまで2光子吸収による飽和が見られない事を明らかにしている。</p> <p>第5章では、高コントラストドープガラスリング共振器における、広帯域周波数量子もつれ光の生成について報告している。高コントラストドープガラスリング共振器を用い、シグナル光子、アイドラ光子のそれぞれについて、周波数モード数59、帯域23.6nmと、従来最大となる広帯域光子対生成を確認している。また、申請者が創案した理論計算式を用いてジョイントスペクトル強度を計算した結果が、実験値とよく一致していることも確認している。</p> <p>第6章では、窒化シリコンを用いたリング共振器における、広帯域周波数量子もつれ光の生成について報告している。窒化シリコンリング共振器により、全体として周波数モード数42、帯域51.25nmと、さらに広帯域な光子対生成にも成功している。この帯域幅は、オンチップリング共振器によって生成された光子対に対してこれまで報告されている中で最大である。</p> <p>第7章では、生成された光子対の周波数空間におけるピークが分裂するというChemboによる理論予測を、リング共振器を非常に狭い線幅の可変周波数フィルターとして用いる事で、周波数相関測定により初めて観測に成功している。さらに、分裂したもつれ光子対のピーク同士についても周波数相関が存在することを、2つのリング共振器をフィルターと用いて取得したジョイントスペクトルにより実証している。</p> <p>第8章では、マイケルソン干渉計を利用した、あらたな広帯域周波数相関の観測方法を提案、実証している。相関光子対の特性評価法として、狭帯域フィルターを利用してジョイントスペクトルを取得する方法では、ある特定の光子対のみを選択して同時計数を得るため、長時間を要するという問題があった。本手法は、将来的に相関光子対の特性評価の効率化に寄与すると期待される。</p> <p>第9章では、本論文の成果をまとめ、今後の課題と展望について論じている。</p>			

氏名	杉浦 健太
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、光子を用いた量子技術において重要な、オンチップ広帯域周波数もつれ光子対を生成、詳細な理論的検証を行ったものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. シリコンを用いたオンチップリング共振器では、ポンプ光強度増大時に2光子吸収により生成される光子対数が飽和するという問題が存在した。本研究では、高コントラストドープガラスのリング共振器では出力されるもつれ光強度に飽和が見られないことを、一般に光子対生成で用いられる連続光の励起光を用いて、励起光強度が100mWという高い強度にいたるまでの範囲で実証している。

2. この高コントラストドープガラスリング共振器を用い、シグナル光子、アイドラ光子のそれぞれについて、周波数モード数59、帯域23.6nmと、従来最大となる広帯域光子対生成を確認している。さらに、オンチップリング共振器から発生するもつれ光子対のスペクトルを、透過率スペクトルより導出可能な分散などから予測するための理論計算式を提案、実験で得られたジョイントスペクトル強度と比較し、よい一致を示す事を確認している。さらに、窒化シリコンリング共振器を用いて、全体として周波数モード数42、帯域51.25nmと、さらに広帯域な光子対生成にも成功している。

3. また、リング共振器から生成されるもつれ光子対に関するChemboによる一般的な理論に着目、当該論文中で予測されていた、ローゲイン領域において生成された光子対の周波数空間におけるピークが分裂するという現象の検証に成功した。また、当該論文中では明示されていない、分裂したピーク間の周波数相関の実験的な検証にも成功している。また検証実験では、オンチップリング共振器自体を、精密な温度制御により、非常に狭い線幅の可変周波数フィルターとして用いるという工夫を凝らしている。

4. さらに、マイケルソン干渉計を利用した、あらたな広帯域周波数相関の観測方法も提案、実証している。

以上、本論文は、光子を用いた量子技術において重要な、オンチップリング共振器を用いた広帯域光子対の生成に関して、既報告値最大の帯域での光子対生成に成功、そのスペクトルを予測する理論式を提案、検証するとともに、また物理的に興味深いスペクトルピークの分裂に関しても精密な検証実験に成功するなど、量子光学分野および量子通信や量子計測への応用にも大きく寄与する成果であり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。