

京都大学	博士（工学）	氏名	荒畑 雅也
論文題目	Study on broadband quantum infrared spectroscopy using visible-infrared photon pair sources in the mid-infrared region（可視-赤外域光子対源を用いた中赤外域における広帯域量子赤外分光に関する研究）		
<p>本論文は、光子を用いた量子技術において重要な、可視-赤外域光子対源を用いた中赤外域における広帯域量子赤外分光に関する研究を行ったものであり、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論である。量子論、量子もつれ、および光量子技術の展開や、量子赤外分光などの研究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、非線形光学結晶からの光子対生成について説明した後、擬似位相整合(QPM)とその原理、チャープ QPM 素子、さらにリッジ導波路型 QPM 素子による量子もつれ光子対生成について、主に理論的な説明を行っている。</p> <p>第3章では、本研究の主題である、量子赤外分光に関する理論を説明している。まず、量子非線形干渉計のこれまでに行われてきた研究の概説や原理の説明を行っている。その後、量子赤外分光について、申請者も貢献した成果である、フーリエ変換型量子赤外分光(QFTIR)の理論的な取り扱いを説明している。</p> <p>第4章では、波長可変な可視-赤外域量子もつれ光源の実現について述べている。まず結晶回転によるパラメトリック下方変換光子対の波長制御を提案、可視分光器を用いて、結晶角度を回転させながら可視のシグナル光子のスペクトルを取得、波長 600 nm から 965 nm までの変化を確認している。次に、赤外のアイドラ光子について、超伝導光子検出器および InSb 検出器を用いた評価を実施、赤外域での発生を確認すると共に、光子対生成率がポンプ光強度 1mW あたり、毎秒 10 の 5 乗程度であることを実証している。</p> <p>第5章では、第4章で実現した量子もつれ光源を利用した、量子赤外分光の実現について述べている。まず、その装置の概要について説明したあと、短い区間反射鏡を掃引することで、量子干渉縞の明瞭度を取得するコーススキャン法を提案している。その後、発案したコーススキャン法を用いて、中赤外域の広帯域をカバーする、1.9 μm から 5.2 μm の領域での、熔融石英サンプルの透過スペクトルを、240秒で取得したことを報告している。さらに、QFTIR法による高分解能なスペクトルの取得にも成功している。</p> <p>第6章では、高効率光子対生成が期待されるリッジ導波路型 QPM 素子を利用した可視-赤外量子もつれ光子対源について報告している。まず、リッジ導波路 QPM 素子の構造や組成について説明している。その後、チャープされていないリッジ導波路 QPM 素子に 1064 nm のパルスレーザー光を入射し、その2次高調波を観測、バルク型 QPM 素子の 500 倍の変換効率を観測している。次に、532 nm の連続レーザー光で励起、導波路型 QPM 素子からの光子対生成効率が、同種のバルク型素子に対して 600 倍大きい値を得たことを報告している。さらに、導波路型チャープ QPM 素子からの広帯域もつれ光子対生成の観測にも成功している。</p> <p>第7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	荒畑 雅也
----	-------

(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、可視-赤外域光子対源を用いた中赤外域における広帯域量子赤外分光に関する研究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. 従来の可視-赤外量子もつれ光源では、可視光子と赤外光子の発生波長の中心値が特定の値に固定されており、それらを広帯域に変えられるものは無かった。本論文では、発生用の結晶の角度を変化させることで位相整合条件を制御し、赤外光子の波長 $1.1\mu\text{m}$ から $4.7\mu\text{m}$ に相当する可視光子発生を確認している。さらに、波長 $2\mu\text{m}$ までの近赤外域では超伝導光子検出器を、さらに波長 $5\mu\text{m}$ に至る中赤外域では InSb 赤外光検出器を用いて、発生した赤外光子の直接観測にも成功、発生効率がポンプ光強度 1mW あたり毎秒 10 の 5 乗程度であることを実証している。

2. この波長可変広帯域可視-赤外量子もつれ光源を用い、中赤外域を広くカバーする、波長 $1.9\mu\text{m}$ から $5.2\mu\text{m}$ までの量子赤外分光に成功している。従来報告されていた最大の帯域は $0.9\mu\text{m}$ であり、これを大きく超える結果である。独自に提案した方法により、シリカガラスの赤外吸収スペクトルを、240 秒という短時間で測定、さらに特定の波長領域について、フーリエ変換型量子赤外分光法 (QFTIR) を組み合わせることで、 8.33cm^{-1} の高分解能でのスペクトル取得にも成功している。

3. また、量子赤外分光の信号雑音比向上や測定時間短縮に重要な、量子もつれ光子対の高効率生成に関し、リッジ導波路型擬似位相整合素子を利用した、高効率で広帯域な可視・赤外量子もつれ光の生成に成功している。チャープしていない擬似位相整合素子を利用した場合、同時計数実験によって導出した生成効率は、連続光ポンプ光強度 $1\mu\text{W}$ あたり、毎秒 10 の 6 乗程度であり、この生成効率は、バルク擬似位相整合素子を利用した場合の 600 倍の値である。さらに、リッジ導波路型チャープ擬似位相整合素子を用いて、赤外光子の波長 $2\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ に相当する、可視光子の生成も確認、また InSb 赤外検出器を用いた直接観測にも成功している。

以上、本論文は、光子を用いた量子技術において重要な、光量子センシング技術に関して、広帯域波長可変量子もつれ光源を実現、また中赤外域において既報告値最大の帯域での量子赤外分光に成功、さらに世界にさきがけて、リッジ導波路型擬似位相素子を利用した、高効率可視・赤外量子もつれ光源を実現するなど、幅広い分野への応用も大きく期待しうる成果であり、学術上、實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5年1月17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。