

(続紙 1)

京都大学	博士 (工学)	氏名	KAUR JASLEEN
論文題目	Study on quantum infrared spectroscopy using pulsed laser excitation (パルス光励起量子赤外分光の研究)		
(論文内容の要旨) 本論文は、励起光源としてパルス光を利用した、量子赤外分光に関する研究について論じており、以下の構成から成っている。 第 1 章では、量子力学や量子光学の歴史、ならびに量子重ね合わせや量子もつれについて説明した後、光量子センシング、特に量子もつれ光子対のプロセス間の量子干渉を利用する手法を紹介している。さらに、赤外分光ならびに量子赤外分光の研究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。 第 2 章では、本論文に関連する基本的な知識として、パラメトリック下方変換による光子対生成の観点から、バルク結晶中における位相整合条件、擬似位相整合などについて説明している。そして、非線形量子干渉計を説明したのち、量子赤外分光について、回折格子を利用した分散型分光器を利用する方法、ならびに、フーリエ変換型量子赤外分光の説明を行っている。 第 3 章では、分散型の分光器を利用したパルス光励起量子赤外分光の研究成果を説明している。パルス光励起が量子干渉縞に与える影響を理論的に導出し、また構築した連続光励起とパルス光励起を同一条件で実施可能な実験系により、量子干渉縞の明瞭度に対するポンプ光の線幅の影響を検討している。さらに、シリコン基板をサンプルとした検証実験により、分散型分光器を利用したパルス光励起量子赤外分光では、スペクトル分解能が劣化することを実証している。 第 4 章では、パルス光励起によるフーリエ変換型量子赤外分光(QFTIR)について報告している。まず、QFTIR では、パルス光励起でも、連続光励起に対して分解能が劣化しないことを理論的に導出している。さらに、連続光励起とパルス光励起を同一条件で実施可能なQFTIR 装置を構築、シリコン基板やアセチレンガスをを用いた実験によって実証している。さらに、シグナル光子の光路長を掃引する構成の場合には、分解能が劣化することも示している。 第 5 章では、時間分解量子赤外分光への取り組みについて報告している。まず、サンプルとして用いる半導体過飽和吸収ミラー(SESAM)における時間依存吸収現象について論じている。また波長 1064 nm の光照射時に、SESAM の反射率の強度依存性を実験で取得し、過飽和吸収特性を確認している。そして構築した時間分解量子赤外分光の実験系ならびにその調整方法について詳細に説明している。最後に、波長 1064 nm で時間幅 5 ps のポンプ光を当該サンプルに照射した際に、波長 1550nm における反射率の時間変化を、量子赤外分光を用いて、可視光検出器によって、世界で初めて観測、約 15ps の緩和時間の実測に成功している。 また、第 6 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。			

(続紙 2)

氏 名

KAUR JASLEEN

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、励起光源としてパルス光を利用した、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. 可視域の光源と検出器を利用して赤外域の分光を行う量子赤外分光において、励起光源にパルス光を利用することは、時間分解測定や、高感度化の観点から興味深い。しかしパルス光は、本質的に有限の周波数帯域幅(線幅)を有するため、周波数もつれ光子対の周波数相関が不確定さを持ち、結果として量子赤外分光の分解能が劣化すると推測されていた。本論文では、分散型の分光器を利用したパルス光励起量子赤外分光における量子干渉縞の明瞭度について理論的に検討、また構築した実験装置により、一定の線幅を有するパルス光励起時には干渉縞明瞭度が劣化することを初めて実証している。

2. 次に、パルス光励起によるフーリエ変換型量子赤外分光(QFTIR)について、励起光の線幅がスペクトル分解能に与える影響を理論的に検討している。その結果従来の推測とは異なり、分解能が劣化しないことを見出している。さらに、連続光励起とパルス光励起を同一条件で実施可能な QFTIR 装置を構築、線幅として 21 cm^{-1} の励起光源を用いても、シリコン基板やアセチレングラスを用いた、分解能 1 cm^{-1} 以下の高分解能スペクトルが取得できることを初めて実証している。

3. そして、時間分解量子赤外分光の実験系を構築、波長 1064 nm で時間幅 5 ps のポンプ光を当該サンプルに照射した際に、波長 1550 nm における SESAM の反射率の時間変化を、量子赤外分光を用いて世界で初めて観測、約 15 ps の緩和時間の実測に成功している。この実験では、波長 1064 nm のパルスレーザー光から、非線形光学結晶を用いて 532 nm の量子赤外分光の励起パルス光を生成することで、SESAM のポンププローブ実験を実現、さらにもつれ光子対と 1064 nm の SESAM 励起光との時間・空間的な精密な調整手順を独自に開発するなど、非常に高度な実験技術が駆使されている。

以上、本論文は、光量子技術において重要な、量子赤外分光に関し、分散型分光器を利用した量子赤外分光では、パルス光励起時には分解能が劣化するのに対し、フーリエ変換型量子赤外分光では分解能が劣化しないことを、理論と実験の両面で実証している。さらにパルス励起量子赤外分光を用いて、知る限り初となる、ピコ秒オーダーの時間分解赤外反射率変化測定に成功するなど、いずれも学術上、また光量子技術への応用上も寄与するところが大きい。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 8 年 1 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、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。

要旨公開可能日： 年 月 日以降