

## 論文の内容の要旨

論文題目	Engineering nonlinear optical processes by arbitrarily manipulating the relevant optical phases (光の位相を任意に操作することによる非線形光学過程のエンジニアリング)
学位申請者	LIU Weiyong

非線形光学過程は、非線形光学分極の位相を含むそこに関与する光の相対位相関係に強く支配される。学位申請者は、非線形光学過程が進行する過程でこの位相を自由に操作することで、目的とする非線形光学現象を様々な形態に誘導する研究をおこなった。気相のパラ水素を非線形光学媒質とするラマン共鳴四波混合過程を典型例として、この非線形光学過程が進行する過程に光の位相を任意に操作することが可能な光学デバイスを複数組込み、特定次数のラマンモードに発生エネルギーを集中させたり、またその逆に、広帯域に渡るラマンモードに発生エネルギーを均等に分布させるなど、多様な操作が現実に可能なことを実験と理論の双方から明確に示した。

博士論文は全体で5章から構成され、概要は次の通りである。第1章の序章では、本研究の背景と目的について述べ、加えて、本研究に関連の深い様々な手法に関するレビューをおこなっている。非線形光学過程がそこに関与する電磁場の相対位相関係に強く支配されること自体は、1961年に、N. Bloembergen等によって非線形光学の枠組みが形作られた時からそこに書かれていたことではあったが、その位相を非線形光学現象が進行する過程において、“様々な相互作用長で様々な位相関係に積極的に制御することで非線形光学現象を多様な形態に操作

する”という発想はこれまで議論されてこなかった。2014年にJ. Zheng等によってラマン共鳴四波混合過程を典型例とする理論的な議論が初めてなされ (Scientific Reports 5: 8874 (2015))、その後、2018年に大饗等によってその原理検証実験がおこなわれた (Optics Express, 26, 1452 (2018))。しかしながら、大饗等による原理検証実験は、効率の悪い室温下で行われたもので、結果として最低次の非線形光学過程に限定されたものに留まっていた。Liuはこの問題意識のもと、液体窒素温度 (77 K) の低温下でもそのような相対位相関係を自由に操作できる実験系を構築し、それを用いて、数十%の発生効率をもって、かつ、高次過程も含めて理論が予想する現象を現実に良く再現できることを示した。著者は第2章において、本研究のもとになる理論について、特に実験で対象とするパラ水素を非線形光学媒質とするラマン共鳴四波混合過程の場合について、具体的にその詳細を説明した。第3章では、本研究で構築した実験系の詳細について述べた。液体窒素温度の低温環境下において相対位相操作が可能なラマンセル、ラマン共鳴四波混合過程をドライブするレーザーシステム、発生する四波混合光を様々な相互作用長でモニターし、位相条件により変化する発生過程を網羅的にデータ収集する自動検出システムについて、その機構の詳細を述べている。第4章では実際に構築した実験システムを用いて試みた特定のラマンモードへのエネルギー集中やその対極にあたる広帯域なラマンモードへの均等なエネルギー配分の結果について述べ、最後に5章において論文全体のまとめをおこない、本論文を閉じている。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 LIU Weiyong

審査委員主査 桂川 眞幸

委員 美濃島 薫

委員 鈴木 勝

委員 中川 賢一

委員 森永 実

委員 大饗 千彰

令和4年7月25日に、博士論文審査のための公聴会および最終試験を6名の審査委員出席のもとで実施した。当日は学位申請者が、50分間、博士論文の内容の詳細について発表をおこない、その後、約40分間、その発表に関する質疑応答をおこなった。

学位申請者の博士論文は全5章で構成され、1章において研究の動機と背景、2章において研究の基礎となる非線形光学過程の操作に関する理論、3章において理論をもとに構築した実験システム、4章において実際に実験システムを用いて試みた特定のラマンモードへのエネルギー集中等に関する結果、最後に5章において論文全体のまとめと今後の展望が述べられている。

学位申請者はこの博士論文研究において、非線形光学過程が進行する過程に光の位相を自由に操作する自由度を組込むことで目的とする非線形光学現象を様々な形態に誘導する研究をおこなった。実際に、気相のパラ水素を非線形光学媒質とするラマン共鳴四波混合過程を典型例として、この非線形光学過程が進行する過程に光の位相を任意に操作することが可能な光学デバイスを複数組み込み、特定次数のラマンモードに発生エネルギーを集中させたり、その逆に広帯域に渡るラマンモードに発生エネルギーを均等に分布させるなど多様な操作が現実に可能なことを、実験と理論の双方から明確に示した。

学位申請者がこの博士論文の中で成し遂げた研究成果は非線形光学の体系に「光の相対位相操作を組込むことによる非線形光学現象の形態操作」という新しい一章を加えるものであり、大きな可能性を切り拓いたと位置づけられる。審査委員会は以上を踏まえ、本論文が博士（理学）の学位請求論文として十分な内容を有していると判定した。なお、学位請求論文に剽窃・盗用が無いこと

は、剽窃検知・独自性検証ツール iThenticate により検査した。