

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	吉田 恭平
論文題目	Direct observation of mode-selective phonon excitation for bulk material by MIR-FEL (中赤外自由電子レーザーによるバルク材料の選択的格子振動励起の直接観測)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、中赤外レーザーを照射することで、光学的にバルク材料の格子振動を選択制御できること(選択的格子振動励起)を、世界で初めて直接観測した実験研究を論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、本論文で対象とするバルク材料の選択的格子振動励起の概要および重要性を述べると共に、従来の選択的格子振動励起の観測方法の問題点とその解に至る方法等について論じている。</p> <p>第2章は、振動分光法および中赤外光源の概略について述べており、本研究で選択的格子振動励起の観測に用いるラマン散乱分光法と、選択的格子振動励起を行うための光源としての京都大学自由電子レーザー(KU-FEL)の有効性について述べている。</p> <p>第3章は、自由電子レーザー(FEL)の概要を述べており、FELの発振原理およびFELを用いた応用研究例を示すとともに、発振波長域・偏光およびパルスエネルギーなど選択的格子振動励起を行うために用いるKU-FELの性能について述べている。</p> <p>第4章は、KU-FELの応用実験を行う上で必要となるFELビームの伝送システムについて述べている。焦点距離が750 mmの球面ミラーをFELの射出口であるキャビティーミラーから770 mm離れた位置に置くことで、24 mの伝送路中のあらゆる点で広い波長範囲に渡り17.7mm以下のビーム径となることを計算により示し、FELビームの効率的な伝送のための球面ミラーの最適条件を導出した。次に、上記のように球面ミラーを配置したのち、24 mの伝送路中のFELビーム径を実測し、計算結果から得られた最適条件が正しいことを実証した。この結果より、二つのFEL応用実験ステーションまでの伝送率を、ほぼ理想値である87%と73%まで高めることに成功している。また、FELのレーザーの光路を窒素置換することで、空気の吸収によるFELの伝送ロスおよびスペクトルの変化を抑制できることを示した。更に、FELビームには目的とする基本波だけではなく10次までの高次高調波が含まれていることを実測により確認し、KU-FELを用いた応用実験を行う上で高次高調波をカットするフィルターが必要不可欠であることを示した。</p> <p>第5章は、第4章で準備したKU-FELを用いて行った、バルク材料の選択的格子振動励起を、炭化ケイ素を試料に、アンチストークスラマン散乱分光法によって直接観測した結果について述べている。まずアンチストークスラマン散乱分光法による選択的格子振動励起の直接観測の原理について述べ、実際に開発した観測システムについて述べている。また、この</p>			

システムを用いて、14 K まで冷却したバルク体の炭化ケイ素に、プローブ光となる Nd:YAG レーザー（波長 532nm）と炭化ケイ素の格子振動の吸収波長(10.4 μm)に調節した FEL を同時照射して 10.4 μm のエネルギーに相当するピークを観測し、アンチストークスラマン散乱分光法を用いて中赤外レーザーによる格子振動励起を直接的に確認している。なお、同時に FEL 波長 12.5 μm や 9.05 μm での照射実験も行い、これらの条件ではピークが観測されないことも確認している。これらの結果、バルク材料の中赤外レーザーによる選択的格子振動励起の直接的実証に成功した。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

本研究成果は、ワイドギャップ半導体材料の基礎物性研究に多大な貢献を行うと共に、これまで困難であったバルク材料での格子振動の精密制御という新たな研究手法を開拓したと言える。さらに FEL 伝送システムに関して、ビーム径および伝送率の定量的評価、また FEL ビームに混入している高次高調波の観測という、KU-FEL の応用実験を行う上で基盤となる要素の確立に大きく貢献している。これらの成果は、高性能なエネルギー材料開発に不可欠なバルク材料の基礎物性の解明のために有用な技術であると認められる。また、幅広い波長可変性と短パルス性を有する KU-FEL の特性を有効に利用した先駆的研究であり、その有用性は光物性研究のみならず、様々な利用研究に大きな貢献を行うものである。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 7 月 23 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、中赤外レーザーを照射することで、光学的にバルク材料の格子振動を選択制御できることを、世界で初めて直接観測した実験研究をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

まず、格子振動を選択的に制御するための方法として、エネルギー理工学研究所にて開発された波長可変の中赤外自由電子レーザー(KU-FEL)を選択し、これを本研究目的に利用可能にするためのビームラインの設計と設置を行い、搬送されるレーザービームの最適化、およびレーザーのスペクトル及び伝送率の測定を行った。この結果、レーザーのビーム径を、24m の伝送路中のあらゆる点で広い波長範囲に渡り 17.7mm 以下に絞る事に成功した。これにより、レーザーの伝送率をほぼ理想値の 87%にまで高める事に成功した。さらに、FEL ビーム中に、目的とする波長の光だけでなく、整数倍のエネルギーをもつ高調波が最大 10 次まで含まれていることを観測した。よって FEL を用いた分光研究には、フィルターを用いて高調波成分を除去する事が重要であることを見出し、FEL 応用のための基盤技術を確立した。

以上の準備研究を行った後、FEL を用いた格子振動の選択励起の直接観察のために、アンチストークスラマン散乱光を観測する手法を開発した。このために試料を極低温に冷却して熱励起を抑制した上で、特定の波長の FEL 光を、プローブ用の Nd:YAG と同期させて照射し、アンチストークスラマン散乱光を観測する計測システムを構築した。最終的に、このシステムを用いて、14K にまで冷却したバルクの 6H-SiC 試料に対し、その光学活性ピーク (波長 10.4 μ m) に相当する波長の FEL を照射した時にのみ、アンチストークスラマン散乱光を観測した。

これらの研究成果は、ワイドギャップ半導体材料の基礎物性研究に多大な貢献を行うと共に、これまで困難であったバルク材料での格子振動の精密制御という新たな研究手法を開拓したと言える。また、幅広い波長可変性と短パルス性を有する KU-FEL の特性を有効に利用した先駆的研究であり、その有用性は光物性研究のみならず、様々な利用研究に大きな貢献を行うものである。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 7 月 23 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降