



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	トポロジカル光波を用いたコヒーレント分光法の確立 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	重松, 恭平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12821号
Issue Date	2017-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66504
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kyohei_Shigematsu_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 重松 恭平

審査担当者 主 査 教 授 戸田 泰則

副 査 教 授 足立 智

副 査 准教授 鈴浦 秀勝

学位論文題名

トポロジカル光波を用いたコヒーレント分光法の確立
(Coherent spectroscopy using topological lightwaves)

トポロジカル欠陥は対称性破れを伴う相転移の結果として形成され、あらゆる物理系に普遍的に存在する。例えば、レーザー発振における対称性破れは横モードにトポロジカル欠陥を形成する。このとき位相のトポロジカル欠陥 (位相特異点) を有する光波を光渦、偏光のトポロジカル欠陥 (偏光特異点) を有する光波を偏光渦と呼ぶ。これらトポロジカル光波を用いた電子励起は新たな物理現象の発現や新規の物性計測として期待され、特に原子系と分子系において研究が進んでいるが、固体、特に基礎・応用の両面から重要な位置を占める半導体に対する物性探索の実験報告は限定的である。本研究では、トポロジカル光波の特徴である位相および偏光がコヒーレント因子であることに着目し、コヒーレント分光に立脚したトポロジカル光波による物性探索および計測法を確立した。

第一章「序論」では、トポロジカル光波の諸性質と、物性探索および計測におけるトポロジカル光波の有用性を踏まえ、本研究の目的を明らかにしている。

第二章「コヒーレント分光へのトポロジカル光波適用の検討」では、トポロジカル光波の適用により可能となるコヒーレント分光の新たな機能について考究し、これに必要なトポロジカル光波の生成法および評価法について検討する。コヒーレント分光法として用いる四光波混合 (FWM) 分光と、試料として用いた窒化ガリウム (GaN) について基礎的事項をまとめた後、FWM 分光にトポロジカル位相分布を有する光渦パルスを適用することで、光励起電子 (励起子) の軌道角運動を反映した大域的空間コヒーレンス評価が可能であることを示す。また空間コヒーレンスの定量的評価を実現するため、独自の軌道角運動量分解分光法を開発する。つぎに偏光渦パルスの適用について検討し、偏光渦断面に分布した全方位直線偏光に対する応答から、異偏光励起子応答を一度に測定できることを示す。合わせて本手法に必要な偏光渦パルスの生成法と、ストークス偏光解析法についても述べる。

第三章「光渦パルスを用いたコヒーレント分光」では、光渦パルスを用いた FWM 分光を確立し、実験結果をもとに励起子重心運動の軌道角運動を反映した大域的空間コヒーレンスについて、その特徴を明らかにする。FWM 信号光に対する軌道角運動量分解分光の結果から、一般的な GaN 励起子の重心運動が光渦パルスの軌道角運動量に反映されること、励起子軌道角運動が位相緩和時間内 (ピコ秒) で十分保持され、その緩和がサブナノ秒に到達し得ることを示す。また欠陥を多く含むサファイア基板上 GaN 試料の結果と比較することにより、軌道角運動量緩和が励起子散乱の空間分布に依存することを示す。さらに複数のトポロジカル位相を有する光渦 (複合光渦) を生成

し、これを励起に用いた FWM 分光および軌道角運動量分解分光を実現する。同一条件下におけるトポロジカル位相依存性の結果から、トポロジカル位相の増加に伴う励起子軌道角運動量緩和の増大が示され、励起子散乱の空間依存性にもとづくモデル計算と傾向が一致することを示す。一連の実験結果から、励起子重心運動の軌道角運動が励起子散乱の空間分布に依存することを結論する。

第四章「偏光渦パルスを用いたコヒーレント分光」では、偏光渦を用いた励起子異方性のスナップショット計測法を確立する。異方的な歪を持つ GaN 試料は励起子遷移確率に偏光異方性を持ち、この試料に偏光渦を照射すると、信号光が特徴的な強度分布を示す。したがって、強度分布のみから異方性を瞬時に定量評価可能である。実験によって得られた異方的遷移確率から見積もられる交換相互作用定数が過去の報告と一致することを示し、測定の信頼性や確度について考察を加える。次に膜厚や歪の異なる試料に本手法を適用し、手法が微小な異方性に十分な感度および歪解析精度を持つことを示す。加えて FWM 信号光の偏光特異点解析を新たに提案し、対称性破れに対する高感度な計測となり得ることを実証する。偏光渦が持つ偏光の回転対称性が失われると、偏光特異点には分裂が生じる。この性質を利用し、信号光における偏光特異点の分裂方向や分裂幅から、励起子系との相互作用がもたらす回転対称性破れを明らかにする。

第五章「総括」では、本論文の総括を行うとともに、今後の展望について述べる。

これを要するに、著者はトポロジカル光波の物性探索応用に対し、コヒーレント分光に着目した測定技術および解析手法を確立し、半導体励起子物性測定に適用することによって、励起子重心運動の軌道角運動を反映した大域的空間コヒーレンスの観測、トポロジカル位相に対する依存性検出、励起子異方性の瞬時測定、回転対称性破れを反映する偏光特異点解析を実現した。これらは光物性、半導体物理、トポロジカル光物理学に関する新知見を与えるものであり、応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。