

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	フォトニック結晶におけるバレー依存した光学現象とトポロジカルに保護された偏光特異点
Title(English)	Valley-dependent physics and topologically-protected singularities in photonic crystal slabs
著者(和文)	養田大騎
Author(English)	Taiki Yoda
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11364号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:納富 雅也,村上 修一,藤澤 利正,金森 英人,西田 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11364号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		養田 大騎	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	納富 雅也	教授	審査員	西田 祐介	准教授
	審査員	村上 修一	教授			
		藤澤 利正	教授			
		金森 英人	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

論文は「Valley-Dependent Physics and Topologically-Protected Singularities in Photonic Crystal Slabs」と題し、光バレートロンクスとしての性質を持つ新しいフォトニック結晶構造の提案と、フォトニック結晶の放射場に様々なトポロジカル特異点を生成消滅する新しい手法・構造の提案、及びその実験による実証の研究を行ったものであり、全6章よりなる。

第1章「Introduction」で本論文の目的及び全体構成を紹介した後、第2章「Introduction of Photonic Crystal」において、フォトニック結晶における固有モードの持つ一般的な性質、特に本論文で扱う2次元フォトニック結晶スラブ構造の特徴を説明している。

第3章「Valley-dependent physics in photonic crystals with triangular lattice」では、新しいタイプのバレーフォトニック結晶を提案している。従来のバレーフォトニクス研究では、ハニカム格子型フォトニック結晶スラブ構造の反転対称性を破ることで、Dirac コーンを構成するバンドにギャップを開き、その上下に存在するバレーに特異な性質を発現させていたが、本研究では、単純三角格子型フォトニック結晶の反転対称性を破ることで、Dirac コーンを起源としない最低次バンドにも同様に角運動量、ベリー曲率等のバレー的性質が出現することを初めて報告している。本成果は、従来バレーフォトニック結晶に Dirac コーンの存在が必須という常識を打ち破ると共に、単純三角格子型フォトニック結晶は、ハニカム格子より構造が単純で、大きなギャップを持ち、フォトニック結晶分野で広く標準的に用いられていることから、本成果は重要である。本章の最後には、電子系と光系におけるバンドが持つ角運動量のアナロジーについて、反転対称性を壊したワイル半金属の磁化を用いた議論を展開している。

第4章「Generation and annihilation of topologically-protected bound states in the continuum and circularly-polarized states by breaking spatial symmetry」では、まず冒頭で、フォトニック結晶の放射場がトポロジカルな性質を持ち、トポロジカル数に応じた特異点として、Bound states in the continuum (BIC) と呼ばれる非自明な束縛状態や円偏光状態(CPS)が出現するという近年のトポロジカルフォトニクスの研究成果を紹介している。これまで、面内波数を持たない Γ 点上に結晶の対称性で守られたBICが出現することは知られていたが、非 Γ 点にも偶然的な干渉によりトポロジーによって守られたBICが出現することが近年判明し興味を持たれている。しかし、従来決定論的に非 Γ 点BICを形成する機構は知られていなかった。本研究では、三角格子型フォトニック結晶の対称性を壊すことにより、 Γ 点上の高次BICを分裂させ、非 Γ 点BICを決定論的に生成する新たな手法を見出した。これまで次数が1を超えるBICは殆ど研究例がなかったが、本研究では高次BICの対称性を様々な方向に壊すことにより、非 Γ 点BICを生成できるだけでなく、CPSを対生成・対消滅する様々なプロセスも発見した。また、これら全ての過程が、掌性に依存する二つのトポロジカル数を導入することで説明できることも見出した。

第5章「Experimental observation of generation of off- Γ BICs from at- Γ BIC」では、第4章で理論的に予測した新たな非 Γ 点BIC形成プロセスを実験的に実証する研究について説明している。まず、フォトニック結晶の放射場ブロッホ関数の波数空間における性質を直接観測するために、フーリエ光学系をベースにした観測系を新たに構築した。次に第4章で設計したフォトニック結晶構造を、半導体ナノ加工技術を用いてシリコン基板上に作製し、これを用いて測定を行った。その結果、 Γ 点上にトポロジカル数-2のBICを持つ状態から、結晶の対称性を壊す一軸歪を入れることにより、有限の波数を持つ非 Γ 点BICが出現することが、等周波数面観察およびバンド構造観察により確認できた。また、偏光子を入れた実験により、この過程でBICの次数が-2から-1に変化していることも確認できた。

第6章「Conclusion and outlook」では、論文の全体を概観し今後の展望について述べている。以上をまとめると、本論文では、前半で従来の研究とは異なるコンセプトに基づく簡易な構造のバレーフォニック結晶を提案し、後半では非 Γ 点 BIC という非自明な光学モードをフォニック結晶の対称性を下げるだけで決定論的に実現する新しい手法を発見し、同様な手法で様々な CPS の対生成・消滅プロセスを見出した。さらに自ら提案した新しい非 Γ 点 BIC 生成手法を実験により実証することにも成功した。これらの仕事は、バレーフォニクスと光 BIC という近年研究が活発化しているトポジカルフォニクスの分野における二つのトピックにおいて、新しい研究の方向性を切り開くものであり、今後の物理学の発展に大いに資するものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。