

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Glide-symmetric Z2 magnetic topological crystalline insulators
著者(和文)	金熙宰
Author(English)	Heejae Kim
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11372号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村上 修一,齋藤 晋,笹本 智弘,納富 雅也,西田 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11372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

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	金 熙 宰	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		
	主査	村上 修一	教授	西田 祐介	准教授
	審査員	斎藤 晋	教授		
		笹本 智弘	教授		
		納富 雅也	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

論文は「Glide-symmetric Z_2 Magnetic Topological Crystalline Insulators」と題し、映進対称性を持つトポロジカル相に関する理論構築とフォトニック結晶での実現に関する理論提案を行っており、7章よりなる。

第1章「Introduction」では結晶で実現されるトポロジカル相について概観している。トポロジカル絶縁体を始めとしたさまざまなトポロジカル相について説明した後、結晶の空間群に依存したさまざまなトポロジカル相についての最近の理論の進展について述べている。特にK理論やsymmetry-based indicator理論について概観している。さらにこの学位論文で扱う映進対称性に守られたトポロジカル結晶絶縁体相について解説している。最後に本論文の全体を概観している。

第2章「Topology, symmetry, and band theory of materials」では、ベリー曲率やフォトニック結晶でのバンド構造に関する基礎的な性質を紹介した後、トポロジカル相の研究のうち、本博士論文に関係の深いものについて解説を行っている。特に、空間群対称性に守られたトポロジカル結晶絶縁体相、Symmetry-based indicator理論、その他のさまざまなトポロジカル相、特にトポロジカル絶縁体やワイル半金属について解説している。

第3章「Weyl semimetals and spinless Z_2 magnetic topological crystalline insulators with glide symmetry」では、映進対称性に守られたトポロジカル結晶絶縁体について、通常の絶縁体相との相転移の一般論を構築している。まずこのトポロジカル結晶絶縁体について概説したのち、この相転移が必ずワイル半金属相を間に挟む形で現れることを有効模型等により説明し、さらに模型での数値計算を行ってこれを実証している。またこの転移に伴いワイル半金属でのフェルミアーク状態が生まれてそれが表面でのディラックコーンになっていく様子を計算で示している。

第4章「Interplay of glide-symmetric Z_2 magnetic topological crystalline insulators and symmetry: inversion symmetry and nonprimitive lattice」では、映進対称性に守られたトポロジカル結晶絶縁体に対して、空間反転対称性を加えて対称性を高めたときの、 Z_2 トポロジカル不変量の表式を定式化している。映進対称性のみの場合の、積分で表された表式から出発し、空間反転対称性を加えるとその式が波数空間の高対称点での状態の既約表現のみで表せることを示している。特にこのトポロジカル結晶絶縁体が、高次トポロジカル絶縁体と呼ばれる相と等価であることを示している。またさらに、格子を単純格子から底心格子にしたときにも同様の結論を示している。この結果は、先行研究である、K理論とsymmetry-based indicator理論の結果と整合しており、これまで明確でなかった、これら二つの先行研究の理論の間の関係を完全に明確化するものとなっている。

第5章「Topological invariants and tight-binding models from the layer constructions」では、layer constructionという方法で、映進対称性によるトポロジカル結晶絶縁体に対応するトポロジカル不変量を、第4章と同様の空間群に関して導出している。このトポロジカル不変量の構成手法は第4章の手法とは全く異なるが、その結果は第4章の結果と完全に一致することを示している。さらにこれに基づいた強く束縛された電子の模型を構築し、これらの手法の正しさを実証している。

第6章「Glide-symmetric Z_2 topological crystalline insulators in magnetic photonic crystals」においては、第4章、第5章の結果を踏まえて、映進対称性に守られたトポロジカル結晶絶縁体相をフォトニック結晶において実現するための条件について理論的に明らかにしている。まず第4章で導いたトポロジカル不変量の式から、波数空間のH点での規約表現のみが鍵となることを示し、特にH点で最も周波数の低いバンドの既約表現が H_1 となる場合にのみ、時間反転対称性を破ったときに、トポロジカル結晶絶縁体相になることを示している。さらに H_1 が最低

バンドとなる条件を探るため、どのワイコフ位置に誘電体を置くことで H_1 が最低バンドとなるかを調べ、その結果、空間群 230 番の場合、ワイコフ位置 e に誘電体球を置いた場合のみトポロジカル相になることを示している。さらに先行研究でトポロジカル結晶絶縁体相となっているフォトニック結晶が、ここで示したワイコフ位置 e に対応した位置に誘電体柱が置かれていて、本章の結果と整合することを指摘している。

第7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、映進対称性を持つトポロジカル相に関して、対称性を高めていくことでトポロジカル不変量の表式がどのように変化するかを詳しく論じ、それによりいくつかの先行研究で断片的に知られていた Z_2 トポロジカル不変量の理論に統一的理解を与えた。さらにこの相が高次トポロジカル絶縁体相と等価であることも示している。さらに物理的な解釈がされていなかったトポロジカルフォトニック結晶についても、その構造とトポロジカル相の関係を直接明らかにしている。このように、映進対称性を持つトポロジカル相に関する総合的理解を与えることで、さまざまな系での実現例探索への道を開く大きな波及効果を持つものである。このようにトポロジーと結晶対称性の複雑な協奏現象を明らかにした本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定される。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分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。