

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Topological Electronic, Magnetotransport, and Superconducting Properties in Layered Compounds with a Bi Square-net
著者(和文)	村瀬正恭
Author(English)	Masayuki Murase
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11387号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:笹川 崇男,東 正樹,神谷 利夫,舟窪 浩,山本 隆文
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11387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	村瀬 正恭	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	笹川 崇男	准教授	山本 隆文	准教授
	審査員	東 正樹	教授		
		神谷 利夫	教授		
舟窪 浩		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Topological Electronic, Magnetotransport, and Superconducting Properties in Layered Compounds with a Bi Square-net (Bi 正方格子を持つ層状化合物のトポロジカル電子・磁気輸送・超伝導特性)」と題して英語で書かれており、Chapter 1 から Chapter 5 の計 5 章から構成されている。本論文は、ディラック電子 (トポロジカル電子状態) の有無を特徴とする複数の Bi 正方格子を持つ層状化合物を対象として、磁気輸送特性の評価と超伝導の探索を行い、電子構造の影響を解明することを目的に行われている。

Chapter 1 “General Introduction”では、本論文の研究背景、目的、概要、及び章構成を示している。

Chapter 2 “Experimental Details”では、電子構造計算や輸送特性評価などの実験、および解析手法の詳細について述べている。

Chapter 3 “Gapless Dirac Cone protected by Glide Symmetry: LaAgBi_2 ”では、ノンシンモルフィックな空間群に属する LaAgBi_2 についての研究結果を述べている。 LaAgBi_2 がディラックノーダルライン半金属であることを示すために、第一原理計算による電子構造計算を行っている。高対称運動量方向にギャップレスなディラックノーダルラインが存在し、かつ、それがフェルミエネルギーを横切ることを明らかにしている。次に、 LaAgBi_2 の単結晶育成を行い、ゾーンメルト法により精製した La 原料を用いることで、純良で高品質な単結晶を得ている。純良性の指標である残留抵抗比 (RRR) の向上に伴って磁気抵抗は増大し、先行研究では報告例のない Shubnikov de-Haas 量子振動の観測にも成功している。これを詳細に解析することで、ギャップレスディラック分散に由来するベリー位相 ($\sim\pi$) を検出し、輸送特性の観点から LaAgBi_2 における電子構造のトポロジカル性を議論している。更に、極低温まで輸送特性を評価し、 $T_c = 2.02 \text{ K}$ で超伝導転移することを発見している。更に、絶対零度における上部臨界磁場として $H_{c2}(0) = 3.92 \text{ T}$ を持つことを明らかにしている。常磁性対破壊の起こるパウリリミット $H_p = 1.86 \times T_c$ を上回る値であることから、非従来型超伝導の発現について議論している。

Chapter 4 “Results in Reference systems with Gapped Dirac Cone: $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{ZnBi}_2$ ”では、 LaAgBi_2 の比較対象として、類似構造を持ちつつシンモルフィックな空間群に属する $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{ZnBi}_2$ についての研究結果を述べている。第一原理計算により、 $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{ZnBi}_2$ はいずれも LaAgBi_2 と類似した電子構造を持つが、シンモルフィックな空間群であるために、ノーダルラインの電子構造は現れないことを明らかにしている。高純度な Zn 原料を用いることにより、先行研究よりも 2 倍大きな RRR を示す単結晶の育成に成功している。単結晶の高純度化により磁気抵抗の値も大きくなり、 BaZnBi_2 においては量子振動も観測している。 LaAgBi_2 とは異なり、量子振動解析では π ベリー位相は検出されず、ギャップレスディラック分散を持たないという第一原理計算と矛盾しない結果を報告している。更に、極低温まで輸送特性を評価したところ、 SrZnBi_2 では $T_c = 0.52 \text{ K}$ 、 BaZnBi_2 では $T_c = 0.21 \text{ K}$ で超伝導転移することを発見している。磁場下での超伝導特性を評価できた SrZnBi_2 では、 LaAgBi_2 とは異なってパウリリミット以下の $H_{c2}(0) = 0.21 \text{ T}$ という、従来型超伝導の範疇にある結果を得ている。

Chapter 6 “General Conclusion”では、本論文を総括し、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は結晶構造中の映進対称性が作り出すトポロジカル電子状態としてディラックノーダルライン半金属の性質を理論計算および実験実証した点において、さらには対象とした複数の物質において新たに超伝導を発見した点において、理學上ならびに科学技術上貢献するところが大きい。よって博士 (理学) の学位論文として十分価値があるものと認められる。