

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	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
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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料系 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (理学) Academic Degree Requested Doctor of	
学生氏名： Student's Name	村瀬 正恭		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	笹川 崇男
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	東 正樹

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、固体物理の分野においてスピン軌道相互作用がもたらすトポロジカル電子相が注目を集めている。特に、3次元ディラック半金属などの電子構造にディラック分散を含む材料で超伝導が発現すると、非従来型超伝導状態が現れることが期待される。しかし、報告されているディラック半金属には、フェルミエネルギー付近にディラック分散が存在せず、またキャリアドーピングや圧力などの外部要因がないと超伝導性を示さないという課題がある。本研究では、ノンシンモルフィックな対称性によって保護されたギャップレスなディラック点で構成されたディラックノーダルラインを持ち、フェルミエネルギーと交差する可能性のあるディラックノーダルライン半金属に注目した。ノンシンモルフィックな空間群 $P4/nmm$ に属する LaAgBi_2 はこの状態を実現できると考えた。更に、 LaAgBi_2 は鉄系超伝導体 ($\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x$) FeAs_2 と同様の構造を持つため、超伝導の発現も期待される。

第三章では、まず LaAgBi_2 がディラックノーダルライン半金属であるかを確認するため第一原理計算により電子構造の計算を行った。その結果、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、そのディラックノーダルラインがフェルミエネルギーを横切ることを明らかにした。次に、 LaAgBi_2 の単結晶育成について、ゾーンメルト法により精製した La 原料を用いることで $RRR=131$ という高品質な単結晶が得られた。磁気輸送特性では RRR の向上に伴い磁気抵抗も大きくなり、先行研究で報告されていないフェルミ面の量子振動の観測にも成功した。量子振動について解析を行ったところ、ギャップレスディラック分散に由来する π ベリー位相を検出し、輸送特性の観点からフェルミエネルギー付近にギャップレスディラック分散が存在することを示した。更に、極低温での輸送特性を評価したところ、 $T_c = 2.02 \text{ K}$ で超伝導転移することを発見した。 $H_{c2}(0) = 3.92 \text{ T}$ 、常磁性対破壊の起こるパウリリミット $H_p = 1.86 \times T_c$ を上回る値を示した。このことは非従来型超伝導が実現している可能性を示唆する結果である。

第四章では、 LaAgBi_2 の比較対象として類似構造を持つシンモルフィックな空間群に属する $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ について研究を行った。第一原理計算により $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ はいずれも LaAgBi_2 と近い電子構造を持つが、シンモルフィックな空間群に由来し高対称運動量でディラック点にバンドギャップを持つことが明らかになった。 $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ では高純度な Zn 原料を用いることで先行研究に対して2倍の RRR を持つ単結晶育成に成功した。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 においてのみ量子振動が観測された。量子振動解析から 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となった。更に、極低温での輸送特性を評価したところ、 SrZnBi_2 では $T_c = 0.52 \text{ K}$ で、 BaZnBi_2 では $T_c = 0.21 \text{ K}$ で超伝導転移することを発見した。 SrZnBi_2 について $H_{c2}(0) = 0.21 \text{ T}$ であり、 LaAgBi_2 のようにパウリリミットを超えるようなことは起きていなかった。

第五章では、 LaAgBi_2 と $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ の物性についての比較を行った。磁気抵抗の RRR 依存性では、 $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ はいずれも近い傾きを持って RRR と共に磁気抵抗の値が線形に上昇するが、 LaAgBi_2 は $(\text{Sr},\text{Ba})\text{ZnBi}_2$ らの3倍の傾きで線形に磁気抵抗の値が上昇していた。この結果は量子振動解析から得られた π ベリー位相の有無と合わせて、フェルミエネルギーにおけるギャップレスディラック分散が磁気抵抗に影響を及ぼすことを示唆した。また、超伝導特性について、 LaAgBi_2 と SrZnBi_2 の $H_{c2}(0)$ の違いはギャップレスディラック分散の有無が関連していると考えられることから、今後理論的な解明が進むことが期待される。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(理学)
学生氏名： Student's Name	村瀬 正恭		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	笹川 崇男	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	東 正樹	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

If superconductivity occurs in a material containing Dirac dispersions in an electronic structure such as a Dirac semimetal, it is expected that an unconventional superconducting state will appear. However, the Dirac semimetals reported so far have not been ideal in that the Dirac dispersions do not exist near the Fermi energy and do not exhibit superconductivity without carrier doping and/or pressure. In this study, we focused on Dirac nodal line semimetals (DNLSs), in which Dirac nodal lines are composed of gapless Dirac points protected by nonsymmorphic symmetry and may cross Fermi energy. We chose LaAgBi₂ with the nonsymmorphic space group P4/nmm. Since LaAgBi₂ has a similar structure of an iron-based superconductor (Ca_{1-x}La_x)FeAs₂, superconductivity is also expected. For comparison, (Sr,Ba)ZnBi₂ with the symmorphic symmetry was also studied.

By first-principles calculations, LaAgBi₂ was confirmed to be the DNLS, of which gapless Dirac dispersion crosses the Fermi energy. High-quality single crystals of LaAgBi₂ were successfully grown, in which the magnetoresistance (MR) was enhanced with *RRR*, and the π -berry phase due to the gapless Dirac dispersion was detected by analyzing the observed quantum oscillations. Furthermore, LaAgBi₂ was found to exhibit superconductivity ($T_c = 2.02$ K).

On the other hand, calculations revealed that (Sr,Ba)ZnBi₂ has a band gap at the Dirac point. In high-quality (Sr,Ba)ZnBi₂ single crystals, MR increased with *RRR*. Quantum oscillations were observed only in BaZnBi₂ but π -berry phase was not detected. Superconducting transition was observed at $T_c = 0.52$ K and 0.21 K in SrZnBi₂ and BaZnBi₂, respectively.

The MR in both LaAgBi₂ and (Sr,Ba)ZnBi₂ increased linearly with *RRR*, where the slope in LaAgBi₂ was found to be three times larger than that in (Sr,Ba)ZnBi₂. This result suggests that the gapless Dirac dispersion near the Fermi energy significantly enhances the MR in LaAgBi₂. Regarding the superconducting properties, the difference of $H_{c2}(0)$ between LaAgBi₂ and SrZnBi₂ may be associated with the presence or absence of the gapless Dirac dispersion, which should be theoretically clarified in the future.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).