

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	強い相対論効果と空間反転対称性の破れを持つ遷移金属カルコゲナイドの磁気抵抗と超伝導
Title(English)	Magnetoresistance and Superconductivity of Transition Metal Chalcogenides with Strong Relativistic Effects and Broken Inversion Symmetry
著者(和文)	並木宏允
Author(English)	Hiromasa Namiki
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10295号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:笹川 崇男,中村 一隆,東 正樹,神谷 利夫,吉本 護
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10295号, Conferred date:2016/9/20, 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

専攻： Department of	物質科学創造	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested	（ 理学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	並木 宏允		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	笹川 崇男
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	中村 一隆

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

相対論効果の一種であるスピン軌道相互作用はバルクのバンド構造に大きな影響を及ぼし、様々な興味深い物性を引き起こす。その代表例に、2008年に発見されたトポロジカル絶縁体を代表とする相対論的電子系物質が挙げられ、その後ゼロギャップ系である 3D ディラックセミメタルやホールと電子のバンドを持つトポロジカルセミメタルによるトポロジカル超伝導の実現といった方向で研究が展開されてきた。さらに近年では、空間反転対称性の破れまたは時間反転対称性の破れを考慮する事で新たなゼロギャップな相対論的電子系物質であるワイルセミメタルといった物質に興味注がれている。一方、物性物理学の大きな分野の一つである超伝導では、強いスピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れに起因したスピンバンド分裂による spin-singlet と spin-triplet が混成したパリティ混成超伝導が大きな関心を集めている。そこで本研究は、「強いスピン軌道相互作用」と「空間反転対称性の破れ」の破れに着目し、ワイルセミメタルやトポロジカル超伝導、パリティ混成超伝導といった物質の開拓を目的とした。そこで、これらの物性を網羅できる可能性を有するセミメタリックなバンド構造を持つ物質を出発点として選定し、輸送特性の観点から評価した。

第一章「General Introduction」では本研究の研究背景を簡単に説明し、最後に本研究の目的を述べた。

第二章「Experimental Details」では本研究で用いた単結晶育成法や、各種測定方法について述べた。

第三章「Results in PbTaSe₂ Single Crystals」では、セミメタリックなバンド構造を持ち空間反転対称性の破れた超伝導体である PbTaSe₂ に着目し、純良単結晶育成と磁気抵抗、超伝導特性を報告した。第一原理計算による検討から、PbTaSe₂ は顕著なスピンバンド分裂とトポロジカルに保護された表面状態を持つ事を明らかにし、パリティ混成超伝導体とトポロジカル超伝導体の有力な候補である事を見出した。計算による検討の後、多結晶の合成しか報告が無かった PbTaSe₂ の単結晶育成に取り組み、フラックス法に改良を加えることで mm サイズの結晶を得ることに成功した。育成条件の制御により、結晶の純良さの指標となる室温における抵抗率と極低温の残留抵抗率の比 RRR (Residual Resistivity Ratio) を系統的に変化させた単結晶を得る事にも成功した。これら試料の極低温 (~5 K) において、磁場に対して抵抗率が線形で上昇する線形磁気抵抗を観測した。磁気抵抗の大きさは RRR に対して線形な関係性を持ち、非磁性金属にも関わらず、最も純良 ($RRR \sim 260$) な結晶では 7 T において ~400% という巨大な値になる事も発見した。空間反転対称性を持ち、トポロジカルな表面状態を持たない SnTaS₂ との比較から、この異常な磁気抵抗がスピンバンド分裂またはトポロジカルな表面由来である事を提案した。一方、超伝導特性においては、単結晶における超伝導パラメータを初めて明らかにした。また Bi ドープによる T_c の向上に成功し、その要因を電子構造の観点から考察した。計算から、顕著なスピンバンド分裂をもつ母物質について、極低温 (< 1.7 K) での超伝導状態の検証が重要であることを指摘した。この目的のために断熱消磁法で ~0.3 K まで測定できるシステムを自作し、上部臨界磁場が発散する異常な振る舞いの観測に成功した。これらの結果から、PbTaSe₂ が通常の超伝導体とは異なるエキゾチックな超伝導体である可能性を見出した。

第四章「Results in MoTe₂ Single Crystals」では、セミメタリックなバンド構造を持ち、現時点で唯一のワイルセミメタルかつ超伝導体である MoTe₂ に着目し、純良単結晶育成と磁気抵抗、超伝導特性を報告した。単結晶育成には第三章同様の改良型フラックス法を用いる事で RRR の制御にも成功し、これまでの報告値の ~20 倍の $RRR = 520$ を持つ単結晶の育成に成功した。極低温 (~2 K) の磁気抵抗が RRR の 2 乗に比例して増大することを見出し、7 T において従来結晶の ~400 倍におよぶ 20000% を超える超巨大磁気抵抗の観測に初めて成功した。輸送方程式を用いて、電子とホールのキャリアバランスが重要であること、 RRR が大きい試料では極低温で移動度が急激に増大して超巨大磁気抵抗を発現することなどを議論した。一方、超伝導特性においては、母物質の $T_c \sim 0.3$ K が等方圧力によって大幅に上昇する先行研究を踏まえて、Te をイオン半径の小さな S や Se で置換することにより生ずる化学圧力効果を利用して T_c の上昇を試みた。置換した単結晶の育成にも成功し、S と Se 置換でそれぞれ 1000% (3.0 K) と 1200% (3.5 K) の T_c 上昇に成功した。これらについて、磁場下抵抗率測定で ~0.3 K までの磁気相図を決めることにも成功したが、上部臨界磁場の異常は見られなかった。PbTaSe₂ の結果も踏まえ、母物質の MoTe₂ を対象として 0.1 K 以下における検証が不可欠であると提言した。

第五章「General Conclusion」では、本論文を通して得られた結果に関して総合的な議論を行い、本論文を総括するとともに、将来展望を述べた。

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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	物質科学創造	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (理学)	Doctor of (理学)
学生氏名 : Student's Name	並木 宏允		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	笹川 崇男	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	中村 一隆	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Recently, in condensed matter physics, Weyl semimetals, topological superconductors, and parity-mixing superconductors, which have unique electronic structures owing to strong spin-orbit coupling and/or noncentrosymmetric crystal structures have attracted tremendous interest. It is predicted that these materials show unusual responses in transport measurements under magnetic fields, which include extremely large and non-saturated magnetoresistance, upper critical fields above and beyond Pauli limit, and so on. However, due to the lack of candidate materials, experimental researches have been far behind the theoretical predictions. In this study, in order to explore both Weyl semimetals and exotic superconductors (i.e., topological and parity-mixing ones), we focused on semimetals with superconductivity, strong spin-orbit couplings, and noncentrosymmetric crystal structures. As a result, in this study, we picked up two material systems: PbTaSe_2 and $\text{T}_d\text{-MoTe}_2$.

From first principles electronic-states calculations, we revealed that PbTaSe_2 was a promising candidate as a topological and/or parity-mixing superconductor. For the first time, single crystals of PbTaSe_2 were successfully grown by a modified flux method. In the obtained crystals, it was found that, in spite of a non-magnetic compound, PbTaSe_2 showed non-saturated and linear magnetoresistance at 5 K, which reached 400% at 7 T. In the superconducting state ($T_c = 3.8$ K), we discovered that the upper critical fields showed an upward curvature and non-saturated behavior below 1.7 K, indicating possible exotic superconductivity. On the other hand, we also succeeded in enhancing T_c from 3.8 K to 4.2 K in PbTaSe_2 by Bi substitution for Pb.

Single crystals of $\text{T}_d\text{-MoTe}_2$ were successfully grown by the modified flux method as similar to PbTaSe_2 . In the obtained crystal, we discovered extremely large and non-saturated magnetoresistance at 1.8 K, which reached 22000% at 7 T. Furthermore, from Hall measurements, we revealed that extremely large magnetoresistance in $\text{T}_d\text{-MoTe}_2$ was caused by high carrier mobility strongly correlated with the sample quality and the carrier balance between holes and electrons. As for superconductivity, we succeeded in enhancing T_c in $\text{T}_d\text{-MoTe}_2$ (pristine: $T_c \sim 0.3$ K) by S or Se doping, which dramatically increased onset $T_c \sim 3.0$ K and 3.5 K, respectively, at the optimum doping.

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).