

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	強いスピン軌道相互作用を持つビスマステルルハライドの単結晶育成と電子物性評価
Title(English)	
著者(和文)	加納学
Author(English)	Manabu Kanou
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9731号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種類: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9731号, Conferred date:2015/3/26, 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

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	加納 学		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)

近年、固体物理の分野において軌道角運動量とスピン角運動量の結合であるスピン軌道相互作用を強く持つ物質に注目が集まっている。相対論効果の一種であるスピン軌道相互作用は特に重元素で構成された物質で顕著となり、3次元(バルク)でのラッシュバ効果やトポロジカルな表面電子状態など様々な興味深い物性を引き起こす。そこで本研究では、3次元でラッシュバ効果を引き起こす層状極性ナローギャップ半導体 BiTeI を中心とした物質群(ビスマステルルハライド)の開拓による新奇物性の発現を目指し、① BiTeI の育成法の確立およびキャリア濃度制御、② BiTeI の I サイトの Br, Cl 置換、③ BiTeI の層間への Bi_2 層の挿入を狙った研究を行った。第1章「序論」と第2章「実験方法」につき、①～③についての結果と考察を以下の通りまとめた。

第3章「 BiTeI におけるキャリア制御と不純物ドーピング効果」では、様々な育成法を試みることで、高品質な BiTeI 単結晶の合成法とそのキャリア濃度の調整法を確立したことについて報告した。 BiTeI の電子構造を第一原理計算で明らかにし、得られた結晶におけるフェルミエネルギーおよびスピントクスタチャとの関係を明らかにすることで、 BiTeI が有望な3次元ラッシュバ物質であると結論した。また、角度分解光電子分光による表面電子状態の確認を行い、内部電場に起因する p 型と n 型の表面の判別ができていたことを確認した。この成果は BiTeI の良質な単結晶育成法を確立したことを意味する。

第4章「 BiTeX ($X = \text{Br}, \text{Cl}$) におけるハロゲン置換効果」では、 BiTeI のハロゲン置換した物質 BiTeBr と BiTeCl の電子構造や単結晶育成法、輸送特性、表面電子状態などについて述べた。臭素や塩素といったヨウ素と比べて小さなハロゲン元素で置換することで物理的に超高压を印加した場合と同様な格子収縮が起こることに着目し、このような化学圧力を利用して電子状態をトポロジカル絶縁体化することを目的とした。これらの物質についても単結晶育成法を確立することに成功した。輸送特性の評価を行うことで、 BiTeBr では BiTeI と同様にキャリア制御ができていたことを明らかにした。さらに得られた結晶の角度分解光電子分光実験による電子状態の観測から、 BiTeCl がラッシュバ効果によってスピンバンド分裂したバルク電子構造を持つとともに、トポロジカル絶縁体な表面状態も持つことを見出した。この結果、 BiTeCl は反転対称性の破れたトポロジカル絶縁体の発見例の第一号となった。

第5章「 $(\text{Bi}_2)_m(\text{BiTeX})_n$ ($X = \text{I}, \text{Br}$) における Bi_2 層挿入効果」では、 $(\text{Bi}_2)_m(\text{BiTeX})_n$ ($X = \text{I}, \text{Br}$) の単結晶育成と結晶構造解析の結果、及びその電子構造について述べた。 BiTeI のスピン軌道相互作用を増大させることを目的に (BiTeI) - (BiTeI) 層の層間に Bi_2 層を挿入することを試み、 $m:n = 1:2$ で交互に規則的に積層した Bi_2TeI の単結晶育成に成功した。構造解析の結果を反映させて第一原理計算を行い、電子構造の波動関数を解析することで、 Bi_2TeI が今までにほとんど報告のない弱いトポロジカル絶縁体である可能性を明らかにした。さらにこの I を Br に置換した物質の結晶育成にも取り組み、 $m:n = 1:2$, $1:3$ の単結晶を得ることに成功した。これらの物質についても第一原理計算による電子状態の評価を行うことで、 Bi_2TeBr ($m:n = 1:2$) と Bi_2TeI は非常に似たバンドを持つことから、共に弱いトポロジカル絶縁体の可能性が高いことが分かった。

これらの結果を総合して、第6章「総括」でトポロジカル絶縁体や3次元ラッシュバ効果などを引き起こす強いスピン軌道相互作用を持つ物質の設計法について議論した。

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).

(博士課程)
Doctoral Program

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 Doctor of	(理学)
学生氏名 : Student's Name	加納 学		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, many novel phenomena, such as Rashba effect on a bulk, topological insulating state, and exotic (noncentrosymmetric/topological) superconductivity have been observed in compounds having strong spin-orbit coupling (SOC). For instance, a polar semiconductor BiTeI was established to be a three-dimensional (3D) Rashba material, having giant spin-split bands in the bulk.

In this study, bismuth layered compounds $(\text{Bi}_2)_m(\text{BiTeX})_n$ ($X = \text{I, Br, Cl}; m, n = \text{integer}$) were studied in order to further explore new 3D Rashba materials, TIs, and exotic superconductors. Sizable single crystals of BiTeX ($X = \text{I, Br, Cl}$), $(\text{Bi}_2)(\text{BiTeX})_2$ ($X = \text{I, Br}$), and $(\text{Bi}_2)(\text{BiTeBr})_3$ were successfully grown by using various techniques. In the obtained crystals, electrical transport properties were examined. Furthermore, the electronic band structures including topology of wavefunctions were analyzed by first principles calculations, some of which were experimentally examined by angle resolved photoemission spectroscopy (ARPES). These results indicated that BiTeCl and $(\text{Bi}_2)(\text{BiTeX})_2$ ($X = \text{I, Br}$) could be the first examples of a “polar” topological insulator and “weak” topological insulators, respectively.

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).