

課題番号	GR065
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 22 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	トポロジカル絶縁体による革新的デバイスの創出
研究機関・ 部局・職名	大阪大学・産業科学研究所・教授
氏名	安藤陽一

1. 当該年度の研究目的

トポロジカル絶縁体は、内部は電気を通さない絶縁体なのに表面には低損失で電気が流れるという変わった物質で、その表面の特長を利用した革新的な情報処理デバイスの実現が期待されている。これまでに確認されているトポロジカル絶縁体は $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ や Bi_2Se_3 などごく限られているが、これらの物質の単結晶はいずれもバルク絶縁性が低いため、電流を流すと表面よりもバルクの方に多く流れてしまい、表面状態を調べる上での大きな障害となっている。そこで平成 22 年度には、これまでに見つかっているトポロジカル絶縁体を対象に、そのバルク絶縁性の向上を目指した材料研究を行う。またこれと並行して、既知の物質よりもバルク絶縁性を実現しやすい新しいトポロジカル絶縁体を探索する。

2. 研究の実施状況

- 1) 我々が最近発見した $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ という比較的大きなバルク絶縁性を示すトポロジカル絶縁体物質において、バルク絶縁性のさらなる向上のため、結晶成長の際の仕込み組成の最適化を行った。
- 2) トポロジカル絶縁体の典型物質である Bi_2Se_3 におけるバルク絶縁性を向上させるため、Cdドーピングによるキャリアの補償という戦略を採用し、 $\text{Bi}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Se}_3$ 単結晶の成長条件の最適化を行った。
- 3) 理論的にトポロジカル絶縁体であることが予想されている Tl 系、Pb 系、Ge 系などの三元カルコゲナイド化合物の単結晶を作製し、大きな絶縁性を示すトポロジカル絶縁体の探索を行った。
- 4) 電子ドーピングされたトポロジカル絶縁体である $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 超伝導体は、「トポロジカル超伝導体」である可能性が理論的に指摘され、大きな注目を集めているが、この物質の合成は非常に難しく、これまでは全体積中のわずかな部分のみが超伝導を示すような品質の悪い試料しか得られていなかった。我々は本年度、電気化学的手法を用いた新しい合成法を試み、高品質の $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 単結晶試料を作製することに成功した。さらにその高品質試料を用いて超伝導状態における電子比熱の測定を初めて行い、超伝導状態が通常の BCS 理論に従わない、非従来型のものである可能性が高いことを明らかにした。
- 5) 非平衡状態における結晶成長によって組成を高度に制御し、バルク絶縁性の高い Bi_2Se_3 薄膜試料を作製するため、抵抗加熱型 MBE 法単結晶薄膜作製装置の立ち上げを行った。

様式19 別紙1

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 1 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 1 件 1. M. Kriener, Kouji Segawa, Zhi Ren, Satoshi Sasaki, and <u>Yoichi Ando</u>, Bulk Superconducting Phase with a Full Energy Gap in the Doped Topological Insulator $Cu_xBi_2Se_3$, Physical Review Letters (2011) Vol. 106, No. 12, 127004-1-4. (掲載済み一査読無し) 計 0 件 (未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 10 件</p>	<p>専門家向け 計 10 件 1. <u>Yoichi Ando</u>, Materials Studies of Topological Insulators and Superconductors, 東京大学工学部、3 月 9-11 日、International Meeting on High-Accuracy, Hierarchical and Many-Body Schemes for Materials Simulations (JST-CREST)、招待講演 2. Alexander Schafgans, Andrew LaForge, A. Taskin, <u>Yoichi Ando</u>, Dimitri Basov, Magneto-Optics in the search for the topological insulating state, 米国テキサス州ダラス、3 月 14-18 日、American Physical Society March Meeting 2011 3. <u>安藤陽一</u>, Zhi Ren, A. A. Taskin, 佐々木聡, 瀬川耕司、バルク絶縁性の高い新トポロジカル絶縁体 Bi_2Te_2Se の表面量子振動、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 4. 中村史一, 小宇佐友香, Alexey A. Taskin, Marie D'angelo, 武市泰男, 中辻寛, 小森文夫, 柿崎明人, 近藤寛, <u>安藤陽一</u>, 松田巖, $Bi_{1-x}Sb_x$ エッジ状態における準粒子散乱の解析、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 5. 小松誠, 江藤数馬, 瀬川耕司, 高坂研一郎, 相馬清吾, 佐藤宇史, <u>安藤陽一</u>, 高橋隆、タリウム系トポロジカル絶縁体の高分解能ARPES、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 6. 相馬清吾, 瀬川耕司, 佐藤宇史, H. Guo, 菅原克明, <u>安藤陽一</u>, 高橋隆、新トポロジカル絶縁体 $TiBiSe_2$ の高分解能ARPES、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 7. 高坂研一郎, 江藤数馬, 瀬川耕司, 中山耕輔, 相馬清吾, 佐藤宇史, <u>安藤陽一</u>, 高橋隆、高分解能ARPESによるトポロジカル絶縁体 $TiBi(Se_xS_{1-x})_2$ の電子状態、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 8. M. クリーナー, 瀬川耕司, 任之, 佐々木聡, <u>安藤陽一</u>, $Cu_xBi_2Se_3$ の超伝導、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 9. 瀬川耕司, Markus Kriener, Zhi Ren, 佐々木聡, <u>安藤陽一</u>、トポロジカル絶縁体を舞台とした超伝導体 $Cu_xBi_2Se_3$ の輸送特性、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 10. 江藤数馬, 瀬川耕司, <u>安藤陽一</u>、トポロジカル絶縁体候補物質 Pb 系三元カルコゲナイドの単結晶作製と輸送特性、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会第 66 回年次大会 一般向け 計 0 件</p>
<p>図書 計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況 計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件 (出願中) 計 0 件</p>

様式19 別紙1

<p>Webページ (URL)</p>	<p>《研究者によるもの》</p> <p>ウェブページの題名： 最先端・次世代研究開発支援プログラム採択課題「トポロジカル絶縁体による革新的デバイスの創出」</p> <p>ウェブサイトの名称： 大阪大学産業科学研究所安藤研究室</p> <p>アクセス URL： http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/fmc/sj_ando.html</p> <p>《所属研究機関によるもの》</p> <p>ウェブページの題名： 最先端・次世代研究開発支援プログラム—大阪大学</p> <p>ウェブサイトの名称： 大阪大学</p> <p>アクセス URL： http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next</p> <p>ウェブページの題名： 最先端・次世代研究開発支援プログラム—大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室</p> <p>ウェブサイトの名称： 大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室</p> <p>アクセス URL： http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>平成 22 年度中に研究者個人による最先端・次世代プロジェクトのホームページを立ち上げ、また大阪大学による最先端・次世代研究開発支援プログラムのホームページにおいても課題の紹介を掲載した。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計 0 件</p>	
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成22年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額
直接経費	130,000,000	0	90,000,000	40,000,000
間接経費	39,000,000	0	27,000,000	12,000,000
合計	169,000,000	0	117,000,000	52,000,000

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を 除く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度 執行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額
直接経費	0	90,000,000	0	90,000,000	3,657,834	86,342,166
間接経費	0	27,000,000	0	27,000,000	0	27,000,000
合計	0	117,000,000	0	117,000,000	3,657,834	113,342,166

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	3,625,434	計測器、試料作製実験用備品、試薬等
旅費	32,400	研究打ち合わせ旅費(名古屋大学から大阪大学)
謝金・人件費等	0	
その他	0	
直接経費計	3,657,834	
間接経費計	0	
合計	3,657,834	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
真空包装機	V-380G	1	591,570	591,570	2011/3/17	大阪大学
ソース・メータ	Keithley 2400	1	585,900	585,900	2011/3/17	大阪大学
AC&DC電流源+ナ ノボルトメータ	Keithley 6221+2182A	1	1,030,995	1,030,995	2011/3/24	大阪大学
DSP2位相デジタル ロックインアンプ	SR830	2	525,000	1,050,000	2011/3/31	大阪大学