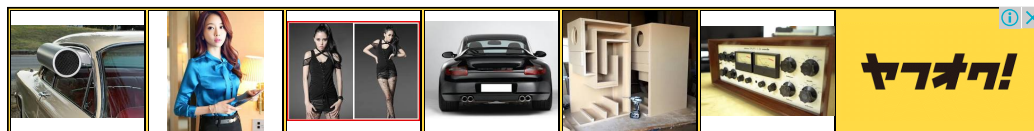


大手小町



ヤフオク!

トップ ニュース 美・ファッション コレクション グルメ 子ども 発言+ 小町印 占い 発言小町 たび小町 (PR)

大手小町

ニュースリリース

トポロジカル近藤絶縁体の特異な2次元電子状態を発見 -- 次世代半導体素子の省エネルギー化やスピントロニクス素子実現に一步近づく成果 -- 大阪大学

2016年9月2日

ツイート

おすすめ 17

G+1 0

B! 0

大阪大学大学院理学研究科の萩原健太氏（修士2年）、生命機能研究科の大坪嘉之助教、木村真一教授による、自然科学系分野の、数物系科学・物理学・物性I、同・物性II、トポロジカル近藤絶縁体、角度分解光電子分光に関する研究成果。（大阪大学の最新の研究成果はこちらから：<http://resou.osaka-u.ac.jp/ja>）

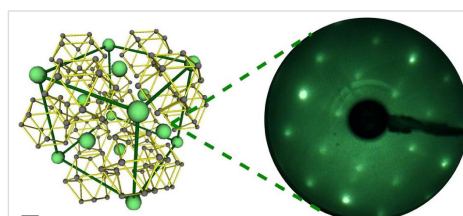


図1
(左) YbB₁₂の原子構造。緑（灰色）の丸がYb (B)原子を表す。(右) 電子回折により得られた清浄表面の回折パターン。明瞭な回折点が得られ、清浄かつ周期的に配列した表面が得られたことがわかる。

【本研究成果のポイント】

- 電子間の多体効果により半導体※1となる近藤絶縁体※2である12硼化イッテルビウムYbB₁₂単結晶の表面を原子1個レベルで平坦化・清浄化※3し、この物質がトポロジカル近藤絶縁体 (TKI) ※4となっていることを発見。
- TKIの候補物質は1種類のみが知られていたが、本研究により、新たな候補が出現した。
- 次世代の半導体素子における無散逸電流※5による省エネルギー伝導やスピントロニクス技術等への応用に役立つと期待される。

【概要】

大阪大学大学院理学研究科の萩原健太氏（修士2年）、生命機能研究科の大坪嘉之助教、木村真一教授、自然科学研究機構分子科学研究所の田中清尚准教授、Synchrotron SOLEIL（仏）のAmina Taleb（アミナ・タレブ）博士、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の組頭広志教授、広島大学放射光科学研究センターの奥田太一准教授、茨城大学理学部の伊賀文俊教授らの研究グループは、希土類ホウ化物YbB₁₂の単結晶表面を原子1個レベルで平坦化・清浄化する技術を開発し、その表面電子状態を電子スピンや軌道対称性を分けて測定した結果、この物質が理論的に予測されていたトポロジカル近藤絶縁体 (TKI) と呼ばれる状態であることを発見した。この研究は、無散逸電流による省エネルギーデバイスやスピントロニクス技術への応用に役立つと考えられる。

本研究成果は8月31日（水）18時（日本時間）にNature Publishing Group「Nature Communications」（オンライン版）で公開された。

【研究の背景】

結晶表面においては、原子が周期的に並んだ結晶内部（バルク）とは異なるさまざまな特異な現象が起きることが知られている。しかも、当然ながら結晶表面の現象はバルクの性質の影響も強く受けている。その意味で、結晶表面とは例えばグラフェンのような純粋な2次元物質と、通常の3次元物質との境界領域に当たる、非常に興味深い研究対象。結晶表面に現れる物理現象の中で特に注目されているのが、バルク電子状態の対称性によってその性質が定められる、トポロジカル表面状態（TSS）※6。TSSは結晶表面の細かい原子構造や汚染の影響を受けずに常に電流が流れること（金属性）と、バルク物質が磁性をもたなくても電子の流れに依存した向きに電子スピンの向くという性質を持つことから、スピントロニクス等の次世代半導体素子への応用等を目的として盛んに研究が行われていた。

ここ数年、TSS単独ではなく他の物性、特に電子同士の相互作用（電子相関）によるTSSへの影響について議論が盛んになっている。電子相関が強くなったときは、高温超電導や巨大磁気抵抗などのさまざまな特異な現象がバルクで現れることが知られており、これとTSSとの組み合わせにより、さまざまな新しい物理現象が理論的に予測されている。しかし、実験的には強い電子相関と密接に関わるTSSの実現は難航しており、わずかに1種類、近藤効果※7によって低温で金属から半導体（絶縁体）へ転移する、近藤絶縁体と呼ばれる六硼化サマリウムSmB₆の表面においてTSSが観測され、この物質がトポロジカル近藤絶縁体 (TKI) であるとする報告がある。しかしながら、観測例に限られること、SmB₆の表面電子状態に関する別の解釈も考え得ることなどから、この物質が本当にTKIか、すなわち電子相関によって現れるTSSが存在するのか否かに関して明確な結論は得られていなかった。

本研究では、茨城大学でのみ単結晶育成に成功している別種の近藤絶縁体である12硼化イッテルビウムYbB₁₂単結晶表面を清浄化し、そのバルクおよび表面の電子の動きや状態、特に電子のスピンや軌道対称性に関して初めて明らかにした。

【本研究の内容】

本研究では、結晶劈開※8の困難さ等からこれまで清浄表面が得られていなかったYbB12単結晶について超高真空中で加熱することで清浄面を作製し、その電子状態を角度分解光電子分光（ARPES）※9法により観測した。さらに得られた表面電子状態のスピンおよび軌道角運動量偏極構造についても、スピン分解ARPES※10および円二色性ARPES※11により調査した。

図1に示したように、真空中での加熱によりYbB12単結晶の（001）表面からは明瞭な電子回折スポットが得られた。これは、原子1個レベルで平坦化した表面原子構造が少なくとも数十ナノメートル（nm）程度のサイズで形成されていることを示している。

得られた清浄面についてARPES測定を行うと、図2(a)のような電子状態が得られた。この図では、色の濃い部分に電子状態（バンド）が存在することを示している。近藤効果によって生じた半導体の性質を表すバンドギャップの間に、電気伝導性の起源である金属的なバンドが明瞭に観測された（図2(a)中、電子エネルギーが0 meV を横切る部分）。これは、TSSがYbB12表面に出現した場合に理論的に予測される振る舞いと一致している。

さらに、このTSS候補電子状態について、円二色性ARPESおよびスピン分解ARPES測定を行い、そのスピンおよび軌道角運動量偏極を調べた。図2(b)の円二色性ARPESの結果では、明瞭なコントラストが得られた。この結果は、YbB12表面状態がTSSについて予想されるようなスピン・軌道偏極構造を持っていることを示している。

以上の結果は、近藤絶縁体YbB12の表面において、低温の絶縁相にTSSが出現し、本物質がTKIとなっていることを表している。

【本研究成果が社会に与える影響】

今回新たに発見した近藤絶縁体表面のTSSについて、詳細な表面原子構造の決定やそれに基づく理論計算との比較、あるいは表面原子1個ずつに焦点を当てた局所的な電子状態の解析を進めることで、候補物質が少ないためにこれまで理解が不十分だったTSSと強い電子相関の関係についての研究を大きく進展させることができると考えられる。このような強い電子相関物質上のTSSは、例えば次世代の半導体素子における無散逸電流による省エネルギー化やスピントロニクス素子の実現などととも、これまで予測すらできていなかった新しい機能性の発現にも繋がるものと考えられ、今後の研究の発展が期待される。

【特記事項】

本研究成果は、2016年8月31日（水）18時（日本時間）にNature Publishing Group「Nature Communications」（オンライン版）で公開された。

【題目】 Surface Kondo Effect and Non-Trivial Metallic State of the Kondo Insulator YbB12

【論文誌名】 Nature Communications (英国 Nature Publishing group) 8月31日（水）18時（日本時間）掲載予定

【著者】 Kenta Hagiwara（萩原健太、大阪大・大学院生）、Yoshiyuki Ohtsubo（大坪嘉之、大阪大・助教）、Masaharu Matsunami（松波雅治、分子研・助教）、Shin-ichiro Ideta（出田真一郎、分子研・助教）、Kiyohisa Tanaka（田中清尚、分子研・准教授）、Hidetoshi Miyazaki（宮崎秀俊、名工大・准教授）、Julien Rault（仏国・ソレイユ放射光・研究員）、Patrick Le Fevre（仏国・ソレイユ放射光・主任研究員）、Francois Bertran（仏国・ソレイユ放射光・主任研究員）、Amina Taleb-Ibrahimi（仏国・CNRS副ディレクター）、Ryu Yukawa（湯川龍、高工機構・研究員）、Masaki Kobayashi（小林正起、高工機構・助教）、Koji Horiba（堀場弘司、高工機構・准教授）、Hiroshi Kumigashira（組頭広志、高工機構・教授）、Kazuki Sumida（角田一樹、広島大・大学院生）、Taichi Okuda（奥田太一、広島大・准教授）、Fumitoshi Iga（伊賀文俊、茨城大・教授） and Shin-ichi Kimura（木村真一、大阪大・教授）

この研究は、科学研究費補助金 研究活動スタート支援（課題番号26887024）、基盤研究B（15H03676）、基盤研究A（23244066）、および村田学術振興財団研究助成金の補助を受け、自然科学研究機構・分子科学研究所・UVSOR施設利用（課題番号26-540及び27-542）、高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・放射光共同利用（2015G540）、広島大学放射光科学センター・共同利用（16AG006）、Synchrotron SOLEIL standard proposal（20150291）により行われた。

【用語解説】

※1 半導体

電子の詰まっている状態（価電子帯）と空席のある状態（伝導帯）の間に有限のエネルギー差（バンドギャップ）が存在する物質。そのため、バンドギャップを越えるような励起の無い状況では電流を流さない。

※2 近藤絶縁体

高温相では金属だが、低温で結晶中の電子同士の相互作用（電子相関）によりバンドギャップが形成されて絶縁体へと転移する物質の1種。電子相関の種類（近藤効果※7）から近藤絶縁体と総称される。

※3 清浄化

結晶の表面は大気中から吸着した酸素や水分子、あるいは結晶の作製・破断時に付着した油脂などにより汚染されており、そのままでは純粋な結晶表面に現れる物理現象を観察することができない。そこで本研究では、大気圧の10の13乗分の1程度という超高真空環境で加熱等を行うことにより、上記のような汚染を排除した純粋なYbB12結晶表面を作製し、その電子状態の観察を行った。

※4 トポロジカル近藤絶縁体（TKI）

近藤絶縁体の伝導帯及び価電子帯を構成する電子の対称性が通常の絶縁体とは反転していた場合に実現するとされる電子状態。結晶表面には必ずトポロジカル表面状態※6を持つために電気伝導性があり、しかもその性質が電子相関により保持されることから、さまざまな特異な物理現象が理論的に予測されている。

※5 無散逸電流

通常の固体の中を流れる伝導電子は、結晶の不純物や原子欠陥等によって散乱を受ける。これが電気抵抗の原因となるのだが、後述の

TSSを介して伝導する電子はこのような散乱を起こさないことが予想されている。そのため、ジュール熱の発生等によるエネルギー損失を非常に少なくした省エネルギーデバイスが実現可能になると期待されている。

※6 トポロジカル表面状態（TSS）

トポロジカル絶縁体の表面に必ず現れるとされる電子状態。伝導帯・価電子帯間のバンドギャップを横切るような分散関係を持つために常に電気伝導性があり、さらに電子伝導方向に依存したスピン・軌道角運動量偏極構造を持つ等、応用面で魅力的な性質を多く持つ。

※7 近藤効果

純粋な金属は、温度を下げていくとその電気抵抗も減少するが、金属中に非常に低い濃度の磁性を持った不純物（鉄やニッケルなど）が存在する場合、ある温度以下で電気抵抗が温度の低下に対し増加する現象が見られる。この現象は古くから知られていたが、その物理的機構を1964年に近藤淳博士が初めて理論的に解明したことから、この名前が付けられている。

※8 結晶劈開

原子が周期的に配列した結晶には、特定の面方位で割れやすいという性質（劈開性）を持つものがある。代表的な例は食塩（塩化ナトリウム）等だが、これを用いれば簡単に平坦な結晶面を出すことができるため、結晶表面の物理現象の研究にはよく用いられる。しかし、YbB12結晶には劈開性がないため、本研究以前にはその表面電子状態の研究は困難であった。

※9 角度分解光電子分光

固体に光を当てて、飛び出てくる電子の角度とエネルギーを観測することにより、固体内電子の運動量と束縛エネルギーを観測する手法。固体における電子の状態を調べるための手法として近年盛んに用いられ、分解能や感度などの性能が日進月歩で進歩している。

※10 スピン分解ARPES

ARPESにより取り出した電子について、さらにそのスピン偏極度についても磁性体ターゲット等を用いたスピン偏極計で同時に測定する技術。

※11 円二色性ARPES

ARPES測定の際に右回り及び左回りの円偏光した入射光を用い、両者の信号の差を取ることで、ARPESで得られた電子状態の軌道角運動量に関する情報を得る技術。

▼本件に関する問い合わせ先

＜研究内容＞

大阪大学 大学院生命機能研究科 光物性研究室
助教 大坪 嘉之（おおつぼ よしゆき）、教授 木村 真一（きむら しんいち）
E-mail: y_oh@fbs.osaka-u.ac.jp（大坪 嘉之）、kimura@fbs.osaka-u.ac.jp（木村 真一）
TEL: 06-6879-4600, 4604
FAX: 06-6879-4601

関連URL: <http://www.kimura-lab.com/>

＜広報＞

大阪大学大学院生命機能研究科 庶務係
TEL: 06-6879-4692
FAX: 06-6879-4420
E-mail: seimei-syomu@office.osaka-u.ac.jp

【リリース発信元】 大学プレスセンター <http://www.u-presscenter.jp/>

2016年9月2日 Digital PR Platform 提供 データ提供 

ニュース		コンテンツ		ツール	サービス	読売新聞への投稿
新着	カルチャー	大手小町	ライフ	サイト内検索	読売プレミアム	気流
政治	科学・IT	発言小町	深読みチャンネル	天気	ヨミドクター	USO放送
選挙	地域	教育	デジタルストーリー	交通情報	携帯サービス	時事川柳
経済	環境	中高生新聞	Yes No	買い物	本よみうり堂デジタル	人生案内
社会	社説	KODOMO	写真	ソーシャル	ヨミダス歴史館	ぷらざ
国際	おくやみ	エンタメ	動画		ヨミダス文書館	読者センター
スポーツ	特集		シティライフ	Twitter	よみうり報知写真館	写真・動画
五輪	まとめ読み			Facebook	スクールヨミダス	
					読売タブレット	

