



平成28年5月27日

新型の超伝導体「トポロジカル超伝導体」を実験的に証明 —量子コンピューターへの応用が期待—

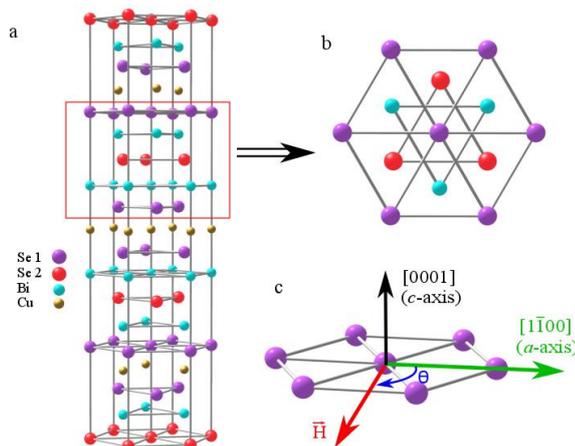
岡山大学大学院自然科学研究科（理）の鄭 国慶（テイ コクケイ）教授、俣野 和明（マタノ カズアキ）助教らの共同研究グループは、六角形構造を有する物質 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ^[1]の超伝導状態を核磁気共鳴法^[2]を用いて測定。 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ がトポロジカル超伝導体という“新型の超伝導体”であることを世界で初めて実験的に証明しました。本研究成果は5月30日、英国の科学雑誌「*Nature Physics*」の Article として電子版に掲載されました。また、本研究成果についての解説記事も掲載されました。

トポロジカル超伝導は従来の超伝導とは違い、表面と内部で異なる超伝導物性を持っています。この特殊な表面状態は次世代のコンピューターとされる量子コンピューターへの応用が期待されています。これまで、トポロジカル超伝導体は理論的に存在が期待されていましたが、実験的に証明することはできていませんでした。

本研究成果はトポロジカル超伝導だけでなく、超伝導研究全般にも重要な知見を与えるものと期待されます。

<本研究のポイント>

- トポロジカル超伝導体の存在が理論的に期待されていたが、これまで実験的に証明することはできていなかった。
- 六角形構造を有する物質 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ において、トポロジカル超伝導状態を発見。“新型の超伝導体”を世界で初めて実験的に証明することに成功した。
- 表面の特殊な超伝導状態を利用することで、量子コンピューターなどの次世代デバイスへの応用が期待される。



左図：トポロジカル超伝導体 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の結晶構造



PRESS RELEASE

<業績>

岡山大学の鄭教授、俣野助教らの共同研究グループは、六角形構造を有する物質 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の超伝導状態について、物質内のミクロな状態を測定できる核磁気共鳴法を用いて研究しました。本物質は Se または Bi 原子が六角形の構造をしており、Se または Bi 原子が作る面内では三回対称性を持っています。

今回、本研究グループは、核磁気共鳴法を用いて $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の物理量を測定。超伝導転移温度以下では三回対称性が破れ、スピン磁化率^[3]が二回対称性を示すことを発見しました。

具体的には、 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の面内においてある方向に沿ってのみスピン磁化率が減少しますが、その他の方向では減少しません。（この物理現象を「スピン回転対称性が破れた」といいます。）さらに、研究グループは面に垂直する方向に沿ってもスピン磁化率が減少しないことを見いだしました。これらの結果は、超伝導を担う二つの電子がスピンを平行にして対を作ることを意味しています。（このような超伝導を「スピン三重項超伝導」といいます。）これまで、スピン三重項超伝導体で、スピン回転対称性の破れが理論的に期待されていましたが、実際に観測されたのは今回が初めてです。

スピン三重項超伝導であるという結果により $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ はトポロジカル超伝導体という“新型の超伝導体”であることが証明されました。

<背景>

近年、トポロジー^[4]という数学的概念を用いて物理現象を理解する新しい試みが注目を集めています。従来の導電体では表面と内部のトポロジーが同じで、表面も内部も同様に電気を流すと考えられていました。しかし、トポロジカル絶縁体と呼ばれる物質では表面は電気が流れるが内部は電気が流れないという性質を持っています。トポロジカル絶縁体の表面に流れる電流は従来の導電体に比べてエネルギーロスが少ないなどの特性があり産業への応用面でも注目を集めています。一方、トポロジカル超伝導体は、その表面状態が量子コンピューターなどの次世代デバイスへ応用できると期待されています。

<見込まれる成果>

トポロジカル絶縁体・超伝導は物理学の新しいアプローチとして注目されており、次世代の材料・デバイスとして期待されています。本研究成果はトポロジカル絶縁体・超伝導研究を大きく前進させるとともに、超伝導研究全体にも重要な知見を与えることとなります。



PRESS RELEASE

<論文情報>

論文名： Spin-Rotation Symmetry Breaking in the Superconducting State of $Cu_xBi_2Se_3$
「 $Cu_xBi_2Se_3$ の超伝導状態におけるスピン回転対称性の破れ」
掲載誌： *Nature Physics* DOI: 10.1038/NPHYS3781
掲載日： 平成 28 年 5 月 31 日（火）午前 0 時（ロンドン時間 5 月 30 日午後 4 時）
著者： 俣野和明, Markus Kriener, 瀬川耕司, 安藤陽一, 鄭国慶

発表論文はこちらからご確認いただけます。

<http://www.nature.com/nphys/index.html>

<補足・用語説明>

[1] $Cu_xBi_2Se_3$

トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 の層間に銅原子を挿入することで超伝導を発現させることに成功した物質。

[2]核磁気共鳴法

磁場中に置かれた原子核に特定の周波数を持つ電磁場を与えると共鳴吸収が起きることを利用した測定手法。原子核周辺のミクロな構造に関する知見を得ることができる。同様の原理を用いた医療機器に MRI などがある。

[3]スピン磁化率

電子がコマのように自転する特性をスピンという。スピンには上向きと下向きの二つの量子状態をもつ。磁場を印加すると、スピンの磁場の方向への揃い安さをスピン磁化率という。

[4]トポロジー（位相幾何学）

数学の分野の一つであり、形を議論する。例えばトポロジーの考えではドーナツとコーヒーカップは同一と考えられるが、ボールは違うものとされる。これはドーナツとコーヒーカップは穴が 1 つ空いており連続的に変形することが可能であるが、ボールとドーナツは穴を開ける動作が必要になるため異なるとされる。

<お問い合わせ>

岡山大学大学院自然科学研究科（理）

教授 鄭 国慶

助教 俣野 和明

（電話番号）086-251-7821

（FAX番号）086-251-7830