

有機物質によるトポロジカル絶縁体の発見とその特異な物性の観測

物性研究所・附属国際超科学研究施設 野本 哲也 今城 周作 小濱 芳允

[研究背景]

トポロジカル絶縁体は、絶縁体のバルクと金属的な表面/エッジ状態を有する特殊な物質です。トポロジカル絶縁体の持つ表面金属状態は時間反転対称性の保護により不純物などに対して堅牢であることに加え、散逸の無いスピン流といった物性が現れることから、新しいエレクトロニクス・スピントロニクス材料としての期待が持たれています。一般に、トポロジカル絶縁体状態は元素の持つ強いスピン軌道相互作用(SOC)によってバンド反転が起こる際に生じるため、これまでに報告されているトポロジカル絶縁体はその多くがSOCの強い重元素を含んでいます。逆に、SOCの弱い有機物質ではトポロジカル絶縁体状態の発見は非常に困難であるとされてきました。理論上の候補物質としては、共有結合性有機構造体(COF)[1]や有機金属構造体(MOF)[2]、有機電荷移動錯体[3]などが有機物質ベースのトポロジカル絶縁体として提案されていますが、実験的な報告例はこれまでありませんでした。

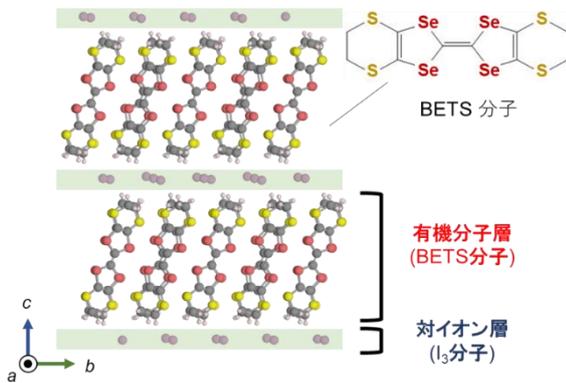


図1 α -(BETS)₂I₃の結晶構造

本研究では、有機トポロジカル絶縁体候補物質の一つである有機電荷移動錯体 α -(BETS)₂I₃(図1)を対象とした物性研究を行いました。本物質は室温では金属であり、低温では絶縁体に変化することが以前から知られていましたが[4]、この絶縁化の起源は未解明の問題でした。近年の理論研究では、この物質の低温相は電子の多体効果(強相関性)に由来する新しいタイプのトポロジカル絶縁体状態ではないかという提案がなされており[5]、実験による検証が求められてきました。一般的なトポロジカル絶縁体の研究では、

角度分解光電子分光法(ARPES)や走査トンネル顕微鏡(STM)などを利用してトポロジカル表面状態の検出・議論を行います。有機物質は劈開性の悪さや試料劣化などの問題により通常測定が困難です。そこで、輸送特性や強磁場下の磁場応答性の観察により本物質の電子状態について考察しました。

[研究内容]

まず本物質の電気抵抗の温度依存性と端子配置による違いなどを調べました。図2(a)に抵抗測定の概略図を示します。表面状態を調べるため、外部から電流を加えてその間の電圧を読みとる通常の抵抗測定(図2①)に加えて、表面伝導の効果が強く表れる結晶の裏面(図2②)や電流端子の外側(図2③)に配置された端子による抵抗測定も併せて行いました。通常の絶縁体の場合、電気抵抗は温度の低下と共に指数関数的に上昇しますが、この物質では10-40Kの領域で凹状の異常が観測され、極低温では抵抗上昇が緩やかになっていきます(図2(b))。また、端子配置②および③の測定では10K以下で抵抗が一定値に飽和するような温度依存性が観測されました。電気抵抗が低温で飽和する挙動は表面に金属伝導が存在する物質に見られる特徴であり[6]、本物質の低温電子状態がトポロジカル絶縁体であることを示唆しています。

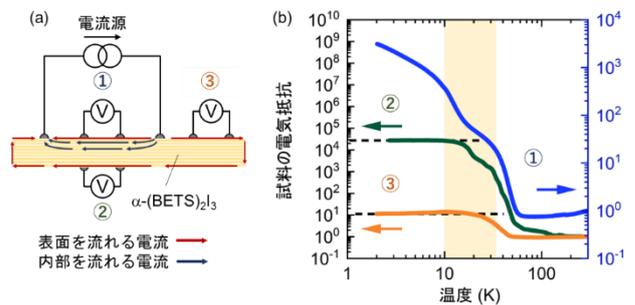


図2 電気抵抗測定の概略図と抵抗値の温度依存性 (a)抵抗測定における端子配置。①: 通常の抵抗測定。試料に電流を流して電流端子間の電圧を測定する。トポロジカル絶縁体の場合、伝導的な表面の抵抗と絶縁体である内部の抵抗の合成抵抗が得られる。②および③: 表面伝導が存在する場合、結晶表面を回り込むように電流が流れる。この経路に沿って抵抗を測定すると表面伝導の寄与が強く観測される。(b)三つの端子配置で観測した電気抵抗の温度依存性。図中の抵抗値は室温での値で規格化したもの。

