

強誘電的構造相転移を有するトポロジカル半金属における超伝導の発見

基礎工学研究科 物質創成専攻

講師 高橋 英史

Researchmap <https://researchmap.jp/-taka>



研究の概要

超伝導体は、医療機器として知られる磁気共鳴イメージング (MRI) や超伝導リニアなどの最先端の産業技術を支える材料の一つです。新しい超伝導体の開発は、このような産業応用だけでなく基礎研究の観点からも重要であり、標準理論であるBCS理論を超える特殊な超伝導状態の探索も進められています。

我々の研究グループは、極性-非極性相転移を持つSrAuBiという化合物が超伝導を示すことを発見しました。従来、空間反転対称性を破る極性構造相転移とは相性が悪いと考えられていましたが、極低温の物性測定や理論計算により、極性構造とトポロジカルなバンド構造に由来した表面状態の存在から、標準理論では説明のつかない特殊な超伝導が実現している可能性が示唆されました。

研究の背景と結果

BCS理論で記述される従来型のs波超伝導では、フォノンを媒介として超伝導電子対(クーパーペア)が形成されており、この電子対は空間反転対称性を持ちます。このため、これらの対称性を破る極性は、一般にs波超伝導と相容れない関係にあります。一方で、空間反転対称性が破れた物質で実現する超伝導は非従来型となることが期待されます。特に空間反転対称性が破れた系では、シングレットとトリプレットが混成した超伝導電子対の存在が提案されています。また近年では、バンド構造に非自明な幾何学的性質を有するトポロジカル物質において、その特異な表面状態に起因した表面超伝導の可能性も指摘され、トポロジカル物質における超伝導探索が精力的に行われています。

我々の研究グループは、ストロンチウム (Sr) と金 (Au) とビスマス (Bi) からなる半金属SrAuBiの単結晶合成に成功し、214Kでの極性-非極性構造相転移と2.4Kでの超伝導転移を観測しました。そのため、SrAuBiは極性構造を有しながらも超伝導を示す非常に珍しい系だと言えます。この物質の超伝導特性を詳細に調べるべく、外部磁場を面内と面間方向に印加した場合での超伝導転移温度の変化を、0.2K付近の極低温まで測定しました。その結果、面間磁場において従来型超伝導体で期待されるパウリ極限を超える5Tの超伝導臨界磁場が実現することを明らかにしました。さらに第一原理計算から、Biのp軌道由来の強いスピン軌道相互作用と極性構造を反映し、フェルミ準位近傍のバンド構造においてラシュバ型のスピン分裂が実現し、複数のディラック点が存在することを明らかにしました。そのため、トポロジカル表面状態での超伝導の可能性や、強いスピン軌道相互作用に起因したラシュバ型のバンド構造を反映したものである可能性があり、SrAuBiは新しい非従来型超伝導を示す系であることが期待されます。

研究の意義と将来展望

本研究成果は、極性構造相転移が生じるトポロジカル半金属SrAuBiの、超伝導とその特異性を初めて明らかにしました。この系における超伝導は、大きなスピン軌道相互作用を持つビスマスや金の電子状態に起因しており、新しい磁場応答を示す超伝導スピントロニクスとしての可能性を秘めています。さらに極性構造に由来したトポロジカル超伝導の実現と量子コンピュータ素子としての可能性が期待されます。

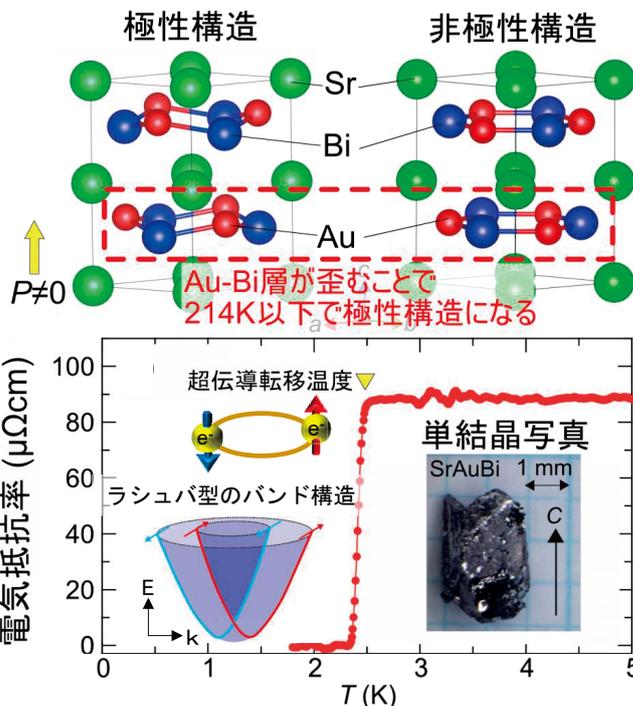


図1 SrAuBiの構造(上)と超伝導転移及び単結晶写真(下)。

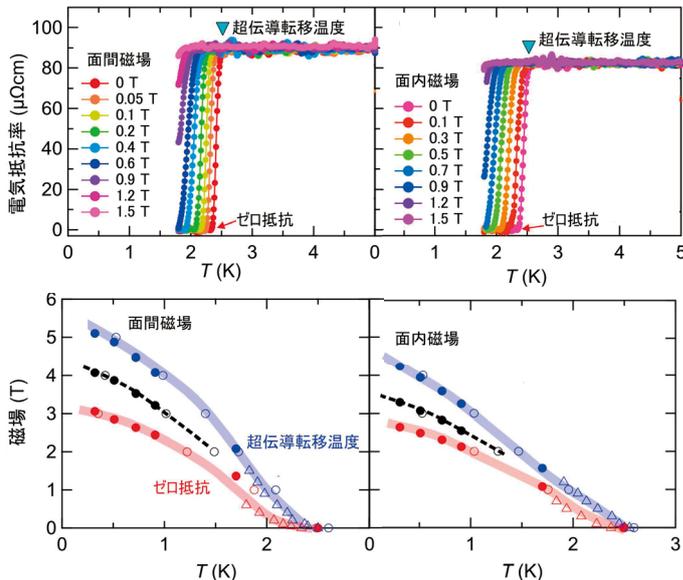


図2 超伝導転移温度の磁場による変化(上)と超伝導転移温度の磁気相図(下)。

特許

論文

Takahashi, Hidefumi; Sasaki, Tomohiro et al. Superconductivity in a ferroelectric-like topological semimetal SrAuBi. npj Quantum Materials. 2023, 8, 77. doi: 10.1038/s41535-023-00612-4

参考URL

<https://qm.mp.es.osaka-u.ac.jp/>

キーワード

トポロジカル半金属、超伝導、スピントロニクス