

博士論文要旨

論文タイトル

Unconventional transport phenomena coupled with magnetism and lattice polarization in layered topological materials

(層状トポロジカル物質における磁性・極性と結合した非従来型輸送現象)

近年、電子状態のトポロジーという観点から、トポロジカル絶縁体等の新しい電子状態が見出された。トポロジカル絶縁体の表面では、スピンの偏極したディラック電子状態が実現しており、スピンホール効果や整流効果（非相反伝導）等の興味深い輸送現象が発現する。しかしながら、表面状態へのアクセスには厳密なフェルミ準位調整が求められ、これまでは限られた薄膜試料での研究が主流であった。これらの輸送現象をさらに多彩に開拓するには、容易にアクセス可能で、かつ元素置換等で調整可能な程度に単純な電子構造を持った、バルクのスピン偏極ディラック電子状態の開発が急務であった。

そこで本研究は、系の対称性の破れを用いて、そのようなバルク物質の開発を試みた。まず着目したのが、多層ディラック電子系 $AMnX_2$ (A: アルカリ土類金属、X: Bi, Sb) である。これは絶縁層と擬2次元ディラック電子状態を形成する X 正方格子層が交互に積層した構造である。BaMnSb₂ では、Sb 層がわずかに歪みジグザグ鎖を形成し、面内で空間反転対称性が破れた極性構造となる。ゼーマン型のスピン軌道相互作用により、ディラック電子バレーのスピンの完全偏極し、スピン・バレー結合状態が実現する。これは遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)単層薄膜で見られ、非相反伝導等の要因となる。しかし、TMDCではバレーがブリルアンゾーンの高対称点に固定されていた。本研究では、Sb から Bi への元素置換に伴う極性変化の結果、全く異なるスピン・バレー結合状態が実現することを実証した。また、微細加工デバイスを用いた実験では、両物質で全く異なる温度依存性を示す非相反伝導を観測し、スピン・バレー結合状態の変化による輸送現象への影響を明らかにした。

更に、本研究では3次元ワイル電子状態への拡張も試みた。特にワイル磁性体では、ワイル点のベリー曲率を反映した巨大異常ホール効果が発現するが、これまでのワイル磁性体は複雑で大きなフェルミ面を持つものが多く、化学置換等による系統的な電子状態の変化は困難であった。そうした研究を可能にする電子状態を持つ候補物質として、磁性半導体 $EuMg_2Bi_2$ に着目した。本物質は過去に光電子分光で小さなフェルミ面が観測されているが、その詳細は明らかでない。本研究では、放射光実験や輸送測定等の様々な物性測定と第一原理計算を組み合わせ、 $EuMg_2Bi_2$ の電子状態の解明を試みた。その結果、Eu の磁気状態に依存してバンドがスピン分裂し、ワイル点が形成されることが明らかになった。さらに強制強磁性状態ではワイル点がフェルミ準位のごく近傍に接近することがパルス強磁場下での量子振動測定により判明し、ワイル強磁性体に匹敵する巨大な異常ホール効果を生じさせることも実証した。

本研究で、 $BaMnX_2$, $EuMg_2Bi_2$ がそれぞれシンプルな2次元及び3次元スピン偏極ディラック電子系であることを実証した。前者では、極性との結合から外部応力制御の可能性が示

博士論文要旨

唆され、また後者では、理論的に磁性トポロジカル絶縁体の実現が予想されているため、今後さらに多彩な輸送現象の開拓が期待される。