

遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるトポロジカルな電子構造の解明

Topological electronic structures in transition-metal dichalcogenides

東京大学 石坂香子

私達の身の回りの物質は古くからその電氣的性質により金属、半導体、絶縁体、超伝導体などに分類されてきた。ところが近年トポロジーという数学的概念を電子状態に対して考慮することにより、真空と異なるトポロジカルな性質をもつ「トポロジカル物質」というそれまでにない分類が出現し、物理学、数学だけでなく化学、工学の広い分野にわたり注目を集めている。トポロジカル物質のもつ本質的な特徴として、固体内部とは異なる特殊な電子が表面に存在し、それらが新しい電氣的・磁氣的機能の担い手となる可能性がある。たとえば、固体内部が絶縁体であるトポロジカル絶縁体においては、表面のみにスピン偏極した金属状態が存在し、これを用いた電気磁気効果が報告され始めている。その後の理論・実験研究が進むにつれ、トポロジカルな半金属や超伝導体へと関心は広がり、現在ではトポロジカル新物質の探索やトポロジカル相制御に向けた物性解明など、その研究は多岐にわたる。このような背景のもと、我々は分子間力で積層し極めて2次元的な結晶構造を持つ遷移金属ダイカルコゲナイド MX_2 に着目した物性開拓を行っている。 MX_2 は遷移金属 M とカルコゲン X の組み合わせにより超伝導や電荷密度波などの多様な物性を示す物質群であり、さらにファンデルワールスヘテロ接合や電気二重層トランジスタなどのデバイス構造による機能開拓に適している。本研究では、遷移金属 d 軌道と $\text{Te } 5p$ 軌道の混成により多彩な半金属相や構造相転移を示す 1T 型 MTe_2 に着目し、新しいトポロジカル相の発見とその電子構造の解明を目的とした研究を行った。

我々が主に用いた実験手法は、スピン分解角度分解光電子分光である。これは物質中の電子構造をエネルギー・運動量・スピンで分解して測定できるほぼ唯一の手法である。これを用いて、特徴的な極性-非極性構造相転移（広義の強誘電転移）を示す半金属 MoTe_2 および、電荷密度波相転移を示す VTe_2 を対象とし、その電子構造やスピン分極の直接観測を行った。 MoTe_2 においては、低温極性相において試料の表側と裏側で異なる形状を持つ表面状態の分離観測に成功するとともに、世界に先駆けてそのスピン成分を明らかにした。これにより、 MoTe_2 が新しい型（type II）のトポロジカルワイル半金属状態であり、それに伴う特異な表面状態（フェルミアーク）が出現していることを提示した。 VTe_2 においては、高温相において3個の表面ディラック状態を観測し、この物質がトポロジカルな性質を持つことを初めて発見した。さらに、電荷密度波の形成とともに3個のうち2個の表面ディラック状態が消失するというトポロジカル相転移が起こる様子を明らかにした。これらの結果は MTe_2 が多様なトポロジカルな性質を有し、さらには制御の可能性を探るうえで有力な物質群であることを示している。