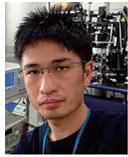


表面・界面を利用してスピン流を作る



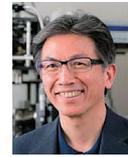
近藤 浩太

理化学研究所創発物性科学研究センター
kkondou@riken.jp



軽部 修太郎

東京大学物性研究所
shu-karube@issp.u-tokyo.ac.jp



大谷 義近

東京大学物性研究所
yotani@issp.u-tokyo.ac.jp

角運動量の流れであるスピン流は、スピントルクによる磁化の効率的制御に利用できるため、不揮発性磁気メモリやマグノンを用いた演算回路など超低消費電力スピントロニクス素子の駆動源として期待されている。現在までにスピン流の生成手法として、強磁性体を用いる手法（面内スピンバルブ構造による非局所スピン注入法・スピンポンピング法）と強磁性体を用いず非磁性体のスピン軌道相互作用を利用した手法（スピンホール効果）が知られている。2010年代に入ってから、後者のスピンホール効果を用いたスピントロニクス素子の動作実証がなされ注目を集めている。これらの素子では、磁化の良好な制御性を得るために、一般に膜厚数 nm の強磁性体と非磁性体の積層構造が用いられている。このため、スピンホール効果本来の効果以外にも、ラシュバスピン分裂やジャロシンスキー・守谷相互作用などの表面や界面由来の効果が重畳し、薄い強磁性層に少なからず影響を与えることが最近になってわかってきた。例えば上述の界面効果により、スキルミオンなどの新しいスピン構造が誘起されることが見いだされ、スピントロニクスの研究分野にさらに活気を与えている。以上のような背景から、界面の磁気および電子物性の理解は、スピントロニクス素子の設計や新たな機能性の発現には必要不可欠である。

表面・界面における電子物性は、物質のバンド構造を決定することができる角度分解光電子分光（Angle-Resolved PhotoEmission Spectroscopy: ARPES）を用いて、勢力

的に研究されている。1996年にはAu表面におけるラシュバ効果由来の表面電子バンドの分裂、2008年にはBi₂Se₃を用いたトポロジカル絶縁体の表面状態の観測結果が報告された。その後も装置の検出感度を上げることで、より詳細な表面準位の観測がなされている。さらに、これらの界面や表面において、スピン分解光電子分光測定を行うことで、分裂した表面バンドのスピン偏極方向の同定がなされ、ラシュバ界面やトポロジカル絶縁体表面では、運動量に依存してスピンの偏極方向が決定するスピン運動量ロッキングの存在が明確に示されている。

近年、このような特殊な界面物性をスピン流生成やスピン流検出に用いる研究が注目を集めている。特にトポロジカル絶縁体の表面状態を用いることで、従来の遷移金属のスピンホール効果よりも効率的にスピン流生成が可能であることや、ラシュバ効果の発現する界面において、スピン流を効率よく電気信号に変換できることが実験的に示されている。

このような研究成果が契機となり、これまで光電子分光を中心に研究されてきた表面・界面の電子スピン物性がスピン流の生成や検出に積極的に利用されはじめている。今後、既存のスピントロニクス素子の多機能化へ向けた、より一層の発展が期待される。また、界面における電荷・スピン変換現象は、界面スピン物性の特性に強く依存することから、電気伝導測定が界面スピン物性を調べる有力な測定手段となることも期待される。

—Keywords—

スピン流：

スピンとは、電子の磁石としての性質で、電子の電荷の流れである電流に対して、スピンの流れをスピン流と呼ぶ。

スピン軌道相互作用、スピンホール効果：

スピン軌道相互作用は、物質中で、電子の運動と電子のスピン運動を結びつける相互作用で、スピンの情報を緩和させる原因になる。一方、スピン軌道相互作用の強い遷移金属中では、電荷-スピンの相互変換を引き起こすことができる。この変換現象は、加えた電流と直交方向にスピン流が生成されることから、スピンホール効果と呼ばれる。

トポロジカル絶縁体：

近年発見された物質で、物質内部が絶縁体である一方、物質表面だけは金属であるという性質を持つ。

ラシュバ効果：

半導体接合界面などの2次元電子系で発現する効果で、運動量依存のスピン分裂した特徴的なバンド構造をとる。

スピン運動量ロッキング：

トポロジカル絶縁体の表面やラシュバ効果が発現する界面では、電子の運動方向に依存して、電子スピンの方向が決まる（電流とスピンが直交する）。この現象をスピン運動量ロッキングと呼ぶ。