

レーザースピ分解光電子分光によるスピン偏極表面電子状態の研究

東京大学物性研究所

矢治 光一郎

東京大学物性研究所極限コヒーレント光科学研究センターでは、レーザー光励起スピン分解光電子分光 (laser-SARPES) 装置を開発し[1], レーザー光の高輝度性や偏光特性を活用した物性研究を展開している。講演では、最近の研究成果として、強いスピン軌道相互作用を示す物質表面を対象とした偏光依存 laser-SARPES の結果を紹介する。

東大物性研のレーザースピ分解光電子分光装置

本装置は励起光源として真空紫外レーザー光を使用している。レーザー光の特徴である高強度と単色性の相乗効果により、高分解能での SARPES が可能になった。レーザー光のもう一つの特徴として偏光特性がある。本装置では、偏光角可変の直線偏光、円偏光を含む任意の楕円偏光が利用可能である。また、本装置には二台の超低速電子回折型スピン検出器が 90 度の位置関係で配置されているため、三次元的に光電子のスピン偏極度を解析することができる。光電子アナライザーの電子レンズ部分には、ディフレクター機能が装備されており、試料を動かさずに角度分解測定を可能にしている。

スピン軌道分裂表面電子状態のスピン軌道テクスチャと光電子スピン

強いスピン軌道相互作用によりスピン偏極した表面電子状態のスピンへの向きは電子の運動量にロックされているというのがスタンダードなモデルである。一方最近、表面状態のスピンは軌道成分と結合していることが指摘された[2]。本研究では、Bi 単結晶をはじめとする様々なスピン偏極表面電子状態について、 p 及び s 偏光条件で laser-SARPES を行った。その結果、鏡映面垂直方向のみにスピン偏極が観測されるが、その向きは p 偏光と s 偏光で反転することを見出した[3-5]。光学遷移選択則を考慮すると、これらの表面電子状態は、 $|\psi_{\text{even},\uparrow}\rangle$ と $|\psi_{\text{odd},\downarrow}\rangle$ の線形結合で記述できる。一方、入射直線偏光の電場ベクトルを鏡映面に対して回転させると、鏡映面上のスピン偏極電子状態であっても、光電子は鏡映面垂直方向以外にもスピン偏極成分を持つことを発見した。これは、 $|\psi_{\text{even},\uparrow}\rangle$ と $|\psi_{\text{odd},\downarrow}\rangle$ が同時励起されたことによるスピン依存した量子力学的干渉効果により説明できる[3,5]。直線偏光の電場ベクトルの角度に対して光電子スピンのように応答するかを定式化し、光スピン制御の基本概念を確立した。これまで電子を“観る”ツールであった光電子分光が、電子を“操る”ツールとして活用できることを示した。

参考文献

- [1] K. Yaji *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **87**, 053111 (2016).
- [2] 例えば, Y. Cao *et al.*, Nature Phys. **9**, 499 (2013).
- [3] K. Kuroda *et al.*, Phys. Rev. B **94**, 165162 (2016).
- [4] R. Noguchi *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 041111(R) (2017).
- [5] K. Yaji *et al.*, Nat. Commun. **8**, 14588 (2017).