

# 第 36 回表面科学学術講演会講演奨励賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 近藤研究室 助教 黒田 健太

この度、第 36 回表面科学学術講演会において講演奨励賞新進研究者部門を受賞いたしました。受賞タイトルは、「トポロジカル絶縁体におけるディラック表面状態の超高速ダイナミクス」で、この研究は、私が広島大学で博士課程を修了した後、2014 年 4 月から近藤研の助教として着任するまでの 1 年間に、ドイツマールブルグ大学の Ulrich Höfer 先生率いる研究室へ日本学術振興会海外特別研究員として派遣されたときに行ったものです。お世話になった、Ulrich Höfer 先生と Jens Güdde 先生に感謝いたします。以下、研究内容について簡単にご紹介いたします。

本研究では、中赤外領域(MIR)の短パルスレーザーを時間角度分解二光子光電子分光(2PPE)と組み合わせて、三次元トポロジカル絶縁体の表面で形成されるスピン偏極したディラック表面状態の「光電流制御」の直接観測を行いました。近年のスピン트로ニクス研究において、高いスピン偏極度を有した電子状態の創出と制御は重要な課題となっています。その中でも、三次元トポロジカル絶縁体の表面で形成されるスピン偏極ディラック電子が注目されています。この表面電子状態は、強いスピン軌道相互作用によってスピンの方向が運動量  $k_{\parallel}$  にロックされており、スピンヘリカルなテクスチャーを  $k$  空間で形成します。さらに、時間反転対称性によって後方散乱が抑制されるため、高移動度を示すスピン트로ニクス材料として期待されています。これまで、三次元トポロジカル絶縁体でディラックコーン型のエネルギー分散を持った表面状態及びそのスピントクスチャーが角度分解光電子分光やスピン分解光電子分光などの実験手法を用いて実証されてきました。本研究で用いた実験手法の 2PPE では、占有状態のエネルギー分散を直接決定できる従来の角度分解光電子分光に加えて、タイミングをずらした二つのレーザーパルスを利用したポンプ-プローブ法により、非占有状態へ励起された電子占有分布の変化をフェムト秒の時間スケールで追跡することが可能となります。私は、300meV 程度の波長可変 MIR レーザーパルスを用いたポンプ光として組み合わせた時間分解 2PPE 測定を行い、トポロジカル絶縁体  $Sb_2Te_3$  のディラック

ク表面状態の超高速光学励起とその緩和ダイナミクスに着目しました。

その結果、MIR 励起によって、占有状態から非占有状態へディラック点をまたぐディラック表面電子の直接光学遷移を見出しました(図 1)。また、ディラック表面状態のヘリカルスピントクスチャーを反映して、運動量空間  $\pm k_{\parallel}$  で非対称にディラック電子が励起占有する様子をフェムト秒で分解して観測しました。波数空間におけるこの非対称な電子占有は、スピン偏極したネットの表面電流に対応します[1]。さらに、MIR の偏光を波長板で変化させながら 2PPE 測定を行った結果、この直接光学遷移が MIR の偏光に依存しており、偏光可変 MIR レーザーを用いた表面電流の制御、「光電流制御」を実証しました[2]。次に、2PPE 測定のポンプ-プローブ法を用いて、MIR 励起で発生した光表面電流の波数空間における超高速表面輸送測定を行いました。この測定により、励起された伝導電子が 2.6ps の時間スケールで弾性散乱されて表面電流が緩和していることがわかりました。これは、散乱が抑制されたディラック表面電子の平均自由行程が  $0.75 \mu\text{m}$  にも達することを意味しています[3]。

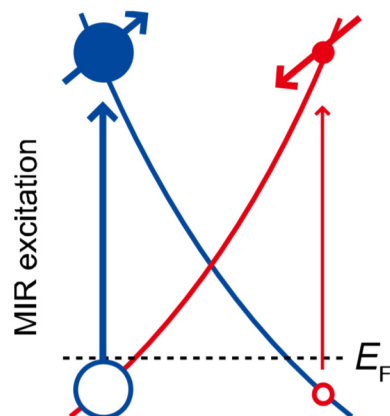


図 1：観測された MIR 励起によるスピン偏極ディラック電子の直接光学遷移。

- [1] “Generation of Transient Photocurrents in the Topological Surface State of  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  by direct optical excitation with midinfrared pulses”, K. Kuroda, J. Reimann, J. Gdde, and U. Höfer, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 076801 (2016).
- [2] “Ultrafast energy- and momentum-resolved surface Dirac photocurrents in the topological insulator  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ”, K. Kuroda, J. Reimann, K. A. Kokh, O. E. Tereschenko, A. Kimura, J. Gdde, and U. Höfer, *Phys. Rev. B* **95**, 081103(R) (2017).
- [3] “Momentum space view of the ultrafast dynamics of surface photocurrents on topological insulators”, K. Kuroda, J. Reimann, J. Gdde, and U. Höfer, *Proc. SPIE* **10102**, 101020Q-1 (2017).

