

## トポロジカル絶縁体における Dirac 表面状態の Landau 準位

理研 創発物性科学研究センター 花栗哲郎

トポロジカル絶縁体表面におけるヘリカルにスピン偏極した Dirac 電子は、Majorana 粒子の発現や、非自明な電気磁気結合効果など、様々な興味深い物性発現の舞台となることが期待されている。しかし、これまでに知られている現実のトポロジカル「絶縁体」は、欠陥によってドーパされたバルクキャリアが巨視的な物性を支配してしまうため、Dirac 表面状態の性質を実験的に明らかにすることは容易では無い。

我々は、表面敏感な STM/STS を用いて、磁場中における Dirac 表面状態の研究を行っている。磁場中の電子は半古典的サイクロトロン運動によって Landau 量子化され、通常の質量を持つ電子の場合、Landau 準位のエネルギーは準位指数を  $n$ 、磁場を  $B$  として  $(n+1/2)B$  に比例する。一方、質量を持たない Dirac 電子の場合、準位エネルギーは、準位指数  $n$  と磁場  $B$  の平方根に比例し、Dirac 点に磁場に依存しない  $n=0$  の準位を持つという際立った特徴を持つことが期待される。典型的なトポロジカル絶縁体である  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  のトンネルスペクトルを測定したところ、Landau 量子化に起因するピーク構造が磁場中のスペクトルに現れ、ピークエネルギーの  $n$  依存性や  $B$  依存性は、Dirac 電子に期待されるものと一致することが分かった [1,2]。

STM/STS を用いた分光イメージングを行うことにより、等ポテンシャル線に沿ってドリフト運動する Landau 軌道の波動関数を、状態密度分布として直接可視化することができる。 $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  でこのような実験を行ったところ、ドリフト運動と垂直方向の状態密度分布は、 $n=0$  の準位では単一のピークを示し、 $n \neq 0$  の準位では2つのピークを持つことが分かった。通常の電子であれば、 $n$  番目の準位は  $n$  個の節を持つため [3]、ピークの数  $n+1$  個であることが期待されるので、 $n$  によらず2つのピークを持つ振る舞いは興味深い。ポテンシャルの効果を取込みとして取り入れたモデル計算を行ったところ、Dirac 電子系に特有の2成分波動関数のそれぞれの成分の節が打ち消しあい、状態密度分布として観測される全体の波動関数の振幅には、2つのピークのみが残ることが分かった。また、モデル計算の結果、磁場とポテンシャル分布が存在する場合、エネルギーに依存したスピンの空間分布が現れることが分かった。この現象は、電気的なポテンシャルがスピンに影響を与える非自明な電気磁気結合効果であり、スピン偏極 STM の実験によって検出できると考えられる [4]。

本研究は、付英双、川村稔(理研)、高木英典(東大、MPI)、五十嵐九四郎、笹川崇男(東工大)の各氏との共同研究である。

[1] T. Hanaguri *et al.*, Phys. Rev. B **82**, 081305(R) (2010).

[2] P. Cheng *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 076801 (2010).

[3] K. Hashimoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109**, 116805 (2012).

[4] Y. Fu, M. Kawamura *et al.*, *in preparation*.