グラフェンナノリボンと量子スピンホール相

Graphene Nanoribbons and Quantum Spin Hall Phase

北海道大学電子科学研究所[1]　○(B)伊藤　蓮[1]，近藤　憲治[1]

Hokkaido Univ. Research Institution for Electronic Science, ○Ren Ito and Kenji Kondo

E-mail: irteon_kooh_rikedan@eis.hokudai.ac.jp

2004 年に Kane と Mele によって、グラフェンナノリボンにおいて量子スピンホール(QSH)効果が生じ得るということが提唱された[1]。しかし、彼らの研究においては Rashba 項を含んでいるため、up spin と down spin とを区別することができない。そこで Rashba 項を除き、電子の二つのスピン状態を区別できるようにしてバンド構造を描いて、実際にナノリボンの edge において純スピン流が流れていることを確認する。グラフェンナノリボンはその edge の形状に応じて、Zigzag 型と Armchair 型と呼ばれる二つの型が存在する。Rashba 項の無い Kane-Mele ハミルトニアンは次のように書くことができる。<i, j>は i サイトと j サイト間の

$$H = -t \sum_{<i,j>} \sum_{\sigma} c_{i,\sigma}^{\dagger} c_{j,\sigma} + i\lambda_{SO} \sum_{\ll i,j \gg} \sum_{\sigma} \nu_{ij}\, c_{i,\sigma}^{\dagger}\, s_z c_{j,\sigma} + \lambda_{\nu} \sum_{i} \sum_{\sigma} \xi_i c_{i,\sigma}^{\dagger} c_{i,\sigma}$$

最近接について和をとり、<<i, j>>は第二近接で和をとることを意味している。$c_{i,\sigma}^{\dagger}$と$c_{i,\sigma}$はそれぞれ、i サイトにおけるスピンσの電子の生成・消滅演算子である。第一項はホッピングエネルギーが t である最近接ホッピングを表す。第二項はスピン軌道相互作用による項を示しており、ν_{ij}は第二近接までのホッピングを考える際の経路によって+1 と-1 の二通りの値をとり、λ_{SO} はスピン軌道相互作用定数である。第三項は異なる二つの副格子においてエネルギー差をつけたもので、ξ_iは副格子 A, B においてそれぞれ+1 と-1 の値をとる。Zigzag 型における QSH 相のバンド構造を計算すると、up spin と down spin が横ずれしているのがわかる。

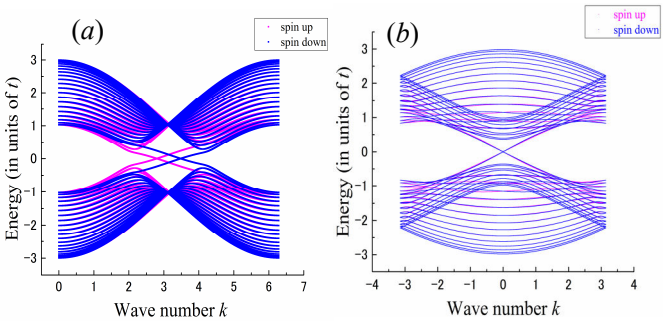


Fig.1：Energy dispersion of QSH phase in (*a*) zigzag-type with $\lambda_v = 0.12$ and (*b*) armchair-type with $\lambda_v = 0.01$. In both cases, λ_{SO} =0.06.

これは、ハミルトニアンが、時間反転対称性があり、空間反転対称性が破れているからである。また、edge において、up spin と down spin が逆向きに流れており、純スピン流が生成されていることが確認できる。Armchair 型における QSH 相のバンド構造は、Zigzag 型の場合と比較すると、up spin と down spin との分裂が非常に小さい。また、gapless となっている部分の波動関数を計算してみると Zigzag 型に比べて異なるグラフが得られた。Zigzag 型と Armchair 型との QSH 相の違いについて更なる考察の必要性が見えてきており、Armchair 型では相図が異なる可能性もある。詳細は発表時に議論する。

References

[1] C. L. Kane and E. J. Mele, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 146802 (2005).

© 2017年 応用物理学会