

2種類の原子を加えた Honeycomb ナノリボンにおける 2次元量子スピンホール相の研究

A Study of Two-dimensional Quantum Spin Hall Phase in the Honeycomb Nanoribbons

Including Two Different Atoms

北大電子研, °(M2)伊藤 蓮, 近藤 憲治

Hokkaido Univ. Research Institute for Electronic Science, °Ren Ito, Kenji Kondo

E-mail: kkondo@es.hokudai.ac.jp

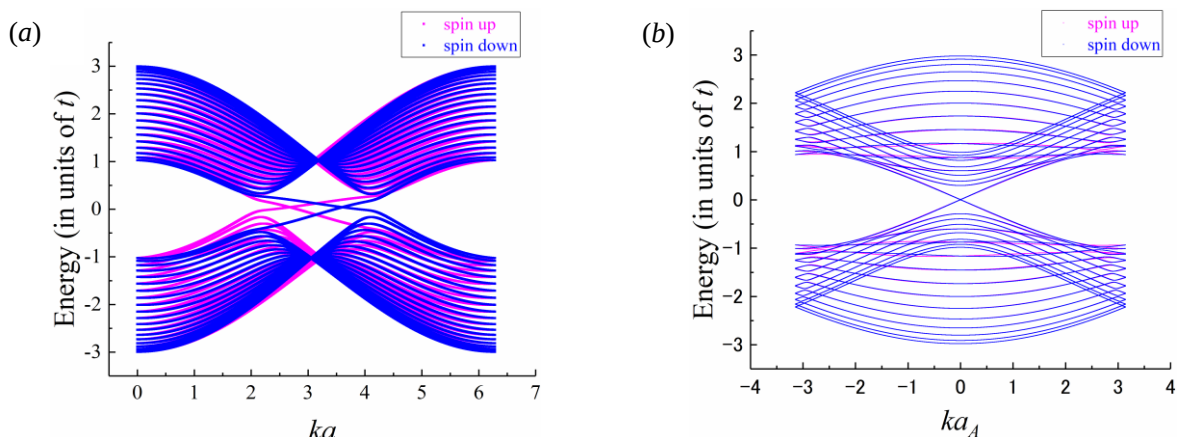
近年注目を浴びている量子スピンホール相は、2005 年に Kane と Mele によってグラフェンにスピン軌道相互作用を加えたモデルとして世界で初めて提唱された。この Kane-Mele モデルは、量子スピンホール絶縁体がトポロジカルに保護された edge 状態を示すことを理論的に提唱した画期的な論文であったが、エネルギーバンド構造などの結果は Zigzag 型のグラフェンナノリボンにおいてのみ与えられており、Armchair 型については言及されていなかった。現在までの研究においても、両者における量子スピンホール相について考察している論文は少なく、両者の違いを考察することは価値のあるものであると考えられる。また、BN などの 2 種類の原子が加わった場合の Honeycomb ナノリボンを考えることで Kane-Mele モデルを拡張することができ、こちらも研究があまり進んでいない。そこで本研究では拡張した Kane-Mele モデルを用いて Zigzag 型と Armchair 型の Honeycomb ナノリボンにおいて量子スピンホール相を考え、その結果について比較する。

原子 A と B を加えた Honeycomb ナノリボンにおける拡張したハミルトニアンは次のように書くことができる。

$$H = -t \sum_{\sigma} \sum_{\langle i,j \rangle} \hat{c}_{\sigma,i}^{\dagger} \hat{c}_{\sigma,j} + i\lambda_{SO}^A \sum_{\sigma} \sum_{\langle\langle i,j \rangle\rangle} v_{ij} \hat{b}_{\sigma,i}^{\dagger} s_z \hat{b}_{\sigma,j} + i\lambda_{SO}^B \sum_{\sigma} \sum_{\langle\langle i,j \rangle\rangle} v_{ij} \hat{a}_{\sigma,i}^{\dagger} s_z \hat{a}_{\sigma,j} \\ + \lambda_v \sum_{\sigma} \sum_i \xi_i \hat{c}_{\sigma,i}^{\dagger} \hat{c}_{\sigma,i}$$

初項は第 1 次近接のホッピングを考えており、第 2 項と第 3 項はそれぞれ原子 A と B から由来するスピン軌道相互作用を表したものである。第 4 項は Staggered ポテンシャルと呼ばれる項であり、原子 A では $+\lambda_v$ 、B では $-\lambda_v$ のポテンシャルを持つことを示している。

Zigzag 型と Armchair 型とでエネルギーバンド構造を計算した結果は次の図のようになった。実際の講演では、両者における電子分布の違いや QSH 相図についても言及する予定である。



The electronic band structures of (a)zigzag-type in the case of $\lambda_v = 0.12$ and (b)armchair-type of nanoribbons in the case of $\lambda_v = 0.01$. In both cases, $\lambda_{SO}^A = 0.06$ and $\lambda_{SO}^B = 0.03$.

参考文献：

- [1] C. L. Kane and E. J. Mele, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 146802 (2005).
- [2] “グラフェンナノリボンと量子スピンホール相”, 伊藤 蓮、近藤 憲治, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 14p-P10-19, 2017/03/14-17.