

無磁場量子抵抗標準を目指した 量子異常ホール効果の精密抵抗測定

- 超伝導電磁石を用いない簡便・高精度な量子抵抗標準を実現
- 磁性トポロジカル絶縁体における量子異常効果を利用
- 校正装置の小型簡便化による測定時間短縮・高精度化に期待

研究のねらい

現在の量子抵抗標準は2次元電子系に10テスラ程度の磁場を印加することで観測される整数量子ホール効果を基準にしています。しかし、高磁場の印可には高価で大型の超伝導電磁石が必要なため、測定系の簡便化・高精度化を律速する要因になっています。近年磁性トポロジカル絶縁体の薄膜において、ゼロ磁場近傍で量子化抵抗値が観測される量子異常ホール効果が発見されたことで、それを基準にした新しい抵抗標準が提案されています。超伝導電磁石が不要な抵抗標準が実現できれば、校正装置の小型簡便化、それによる高精度化などといったブレイクスルーが期待されます。

研究内容

磁性トポロジカル絶縁体においては、磁性不純物と伝導電子の相互作用によって量子異常ホール抵抗が観測されます（上図）。この現象は、従来の外部磁場による量子ホール効果と異なる起源であるため、どの程度の精度で量子化しているか十分な知見が得られていません。本研究では、NMIJの精密抵抗測定技術を用いて精度評価を行うことで、抵抗標準への応用可能性を検討しました。

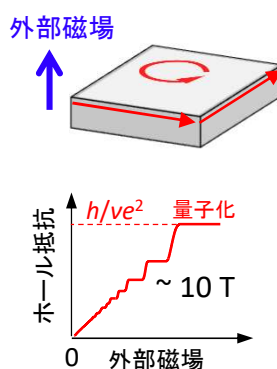
測定に用いた磁性トポロジカル絶縁体は共同研究を行っている理化学研究所において成長した $\text{Cr}_x(\text{Bi,Sb})_{2-x}\text{Te}_3$ 薄膜からなります。素子は超伝導電磁石を用いずに永久磁石を用い磁化し量子異常ホール効果を発現させます（下図）。量子異常ホール効果を整数量子ホール抵抗標準と直接比較する精密抵抗ブリッジを用い測定し、8桁精度で量子異常ホール効果の普遍性を検証できました。

今後は測定電流の増大や動作温度の向上といった動作条件の改善を行い、量子抵抗標準としての実用化を目指します。

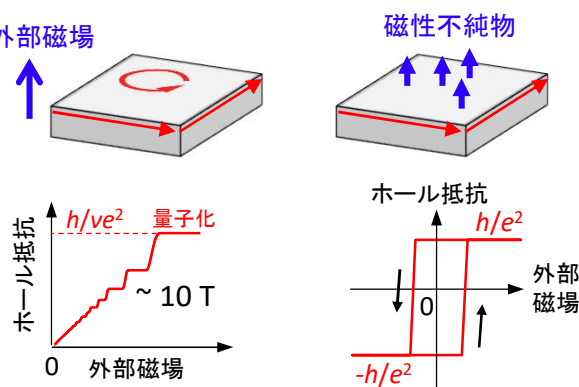
今後の展開

- ・ 量子ホール抵抗値に基づく抵抗校正装置の開発
- ・ 精密抵抗測定に基づく新奇材料評価・膜質評価
- ・ 高抵抗材料開発、精密抵抗器開発など

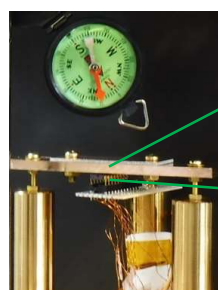
整数量子ホール効果



量子異常ホール効果



整数量子ホール効果と量子異常ホール効果



ネオジウム磁石

磁性トポロジカル絶縁体薄膜のホールバー素子 (ICソケットにマウント)

永久磁石を利用した量子抵抗標準素子