

InAs/GaSb 量子井戸における層厚制御によるバンド反転とその定量評価

Controlling the band inversion in InAs/GaSb quantum wells by heterostructure design

秋保貴史, 入江宏, F. Couëdo, 鈴木恭一, 小野満恒二, 村木康二

T. Akiho, H. Irie, F. Couëdo, K. Suzuki, K. Onomitsu, and K. Muraki

NTT 物性科学基礎研究所,

NTT Basic Research Laboratories, NTT Corporation

E-mail: akiho.takafumi@lab.ntt.co.jp

2次元トポロジカル絶縁体はその特徴としてエッジにヘリカルなスピンの流れを有することから、物理的な興味だけでなくスピントロニクス応用の観点からも興味を集めている。実験的にはHgTe/CdTe および InAs/GaSb^{1,2} 量子井戸が井戸幅によって価電子帯と伝導帯が反転し、2次元トポロジカル絶縁体となることが示されている。

我々はこれまでにエッジ長が2~4ミクロンのInAs/GaSb 試料において非局所抵抗測定によってエッジ伝導を検出し^{3,4}、ほぼ量子化したエッジ伝導を観測している⁵。しかし、これらの試料では短チャネルゆえにバンド反転の大きさを正確に見積もることは困難であった。そこで本研究では、InAs 層厚の異なる InAs/GaSb 量子井戸について、通常のホールバー試料における磁気伝導測定によってバンド反転の大きさを定量的に調べた。

試料はチャンネルとなる InAs/GaSb を AlSb 障壁層で挟んだ構造である。GaSb 層厚を 5.8 nm で一定とし、InAs 層厚が $d_{\text{InAs}} = 9.1, 10.0, 10.9, 11.8$ nm と異なる試料を作製した。測定は Al_2O_3 を絶縁膜としたフロントゲートを有するホールバー型試料(幅 50 μm , 電圧端子間隔 180 μm)を用いて温度 2 K で行った。

図 1 に各試料の縦抵抗率(ρ_{xx})のゲート電圧(V_{FG})依存性を示す。すべての試料において抵抗にピークが観測された。これは、低 V_{FG} 側の p 型領域から高 V_{FG} 側の n 型領域に遷移する際にフェルミ準位がエネルギーギャップ領域を横切り、その近傍でキャリア密度が減少することを反映している。1 nm 以下の InAs 層厚のわずかな変化に対し、 ρ_{xx} のピーク値が大きく変化することが分かる。

InAs 層厚が 9.1, 10.0 nm の試料についてはエネルギーギャップに近づくにつれて ρ_{xx} が発散する通常の半導体的な振る舞いが見られ、反転のない trivial なバンド構造(挿入図右)となっていることがわかる。一方、InAs 層厚が 11.8 nm の試料では抵抗ピークが低く、磁気抵抗測定から、電子とホ

ールが共存するバンド反転領域にあることが分かった(挿入図左)。バンド反転の大きさを、電子とホールの密度が等しくなるゲート電圧における密度 n_{cross} で定量化すると、 $2.2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であった。この値は 8 バンドの $\mathbf{k} \cdot \mathbf{p}$ 計算の結果とほぼ一致した。InAs 層厚が 10.9 nm の試料は、 n_{cross} が $0.9 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 以下と見積もられ、topological と trivial の境界近くに位置していると考えられる。

本研究は JSPS 科研費 (15H05854, 26287068) の助成を受けて行われた。

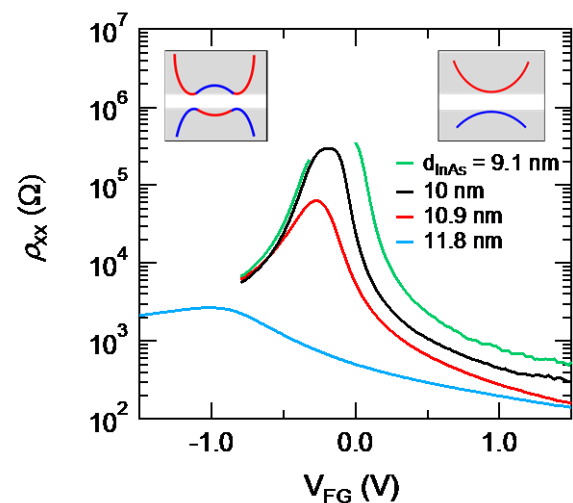


Fig. 1. Front-gate-voltage dependence of ρ_{xx} for different InAs thickness.

References

- [1] C. Liu *et al.*, PRL **100**, 236601 (2008).
- [2] I. Knez *et al.*, PRL **107**, 136603 (2011).
- [3] K. Suzuki *et al.*, PRB **87**, 235311 (2013).
- [4] K. Suzuki *et al.*, PRB **91**, 245309 (2015).
- [5] F. Couëdo *et al.*, arXiv:1601.08055 (PRB, in press).