

Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合と Bi₂Te₃ トポロジカル絶縁体薄膜中のキャリア分布

Nb/Bi₂Te₃/Nb Josephson Junctions and Charge Distribution in Bi₂Te₃ Thin Film

○明連 広昭¹, M.P. Stehno^{2,3}, P. Ngabonziza^{2,4}, A. Brinkman² (1. 埼玉大院、2. Univ. Twente、
3. Univ. Würzburg、4. Max Planck Institute for Solid State Research)

○H. Myoren¹, M.P. Stehno^{2,3}, P. Ngabonziza^{2,4}, A. Brinkman² (1. Saitama Univ., 2. Univ. Twente,
3. Univ. Würzburg, 4. Max Planck Institute for Solid State Research)

E-mail: myoren@super.ees.saitama-u.ac.jp

【はじめに】近年、トポロジカル絶縁体と s 波超伝導体を組み合わせたトポロジカル絶縁体-超伝導ジョセフソンデバイス(TIJD)の研究が盛んに行われている。特に、環境雑音に強い量子ビットの担体となる Majorana 準粒子の存在を証明しようとする研究が盛んに行われており、最初の実験的証拠が HgTe 弱接合を用いた TIJD において報告された[1]。

本研究では、SrTiO₃(111)基板(STO 基板)上に MBE 法によりエピタキシャル成長した 3 次元トポロジカル絶縁体(3DTI) Bi₂Te₃ 薄膜[2]を用いて Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合を作製し、基板をゲート絶縁体として用いる(図 1)ことにより Bi₂Te₃ 薄膜中のキャリア密度分布を操作して接合の電流-電圧特性等を測定した。実験結果は、自己無撞着なシュレーディンガー・ポアソン方程式の解を基にしたモデルによるキャリア分布を用いてよく説明できることがわかったので報告する。

【実験および結果】STO 基板上に MBE 法でエピタキシャル成長した 6-15 nm 厚の Bi₂Te₃ 薄膜を用いて、電子ビーム描画による微細加工法により Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合を作製した。同一基板上には、Hall 測定用の素子も同時に作製した。作製した素子は、到達温度 15 mK の希釈冷凍機を用いて冷却し、電流-電圧特性、臨界電流の磁場特性、マイクロ波誘起ステップのマイクロ波パワー依存性など、バックゲート電圧 V_{bg} を変化させながら測定を行った。本実験では、Majorana 準粒子存在による接合の 4π 周期性に関する結果は得られなかった。

同じ基板上に設けた Hall 素子により見積もられる電子密度も同様の振る舞いを示した。バックゲート電圧により単純に Bi₂Te₃ の表面および基板界面のフェルミ準位の移動に伴う電子状態の変化ではなく、タイトバインドモデルによる Bi₂Te₃ 薄膜中のキャリア分布の変化が

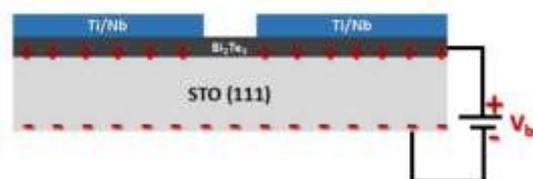


図 1. Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合に対するのバックゲート電圧 V_{bg} 印加回路

振る舞いを決定していると考えた。

導出された理論モデルは以下の通りである。Bi₂Te₃ 薄膜中には薄膜上部表面のトポロジカル表面状態 (TSS)、薄膜中央部のバルク量子井戸状態 (QWS) と薄膜下部 (基板側) の TSS を考える。負のゲートバイアスでは、広い井戸が空乏層とともに形成し、下部 TSS は他の QWS と分離される。一方、正のゲートバイアスでは井戸が傾き三角形となり、薄膜表面のキャリアは良い大きな電界を感じ、その結果、その波動関数の中心は薄膜中心方向に移動する。正のゲートバイアスが 70 V を越えるとバルクキャリアの波動関数は二つのグループに分かれる。結果的にポテンシャル井戸が形成し、キャリア密度は増大し、空乏層は形成されない。

Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合の臨界電流は、バンド構造モデルから予測される値によく一致する。

【まとめ】Nb/Bi₂Te₃/Nb 接合を作製し、ジョセフソン接合の基礎的な特性のバックゲート電圧依存性が自己無撞着なシュレーディンガー・ポアソン方程式の解を基にしたモデルを用いてよく説明できることがわかった。

【文献】

- 1) J. Wiedenmann et al., Nat. Commun. 7, 10303 (2016).
- 2) P. Ngabonziza et al., Physical Review B 92, 035405 (2015).