

研究プロジェクト名: スピン3重項トポロジカル超伝導体を用いた超伝導量子ビットの理論的研究

概要: スピン3重項トポロジカル超伝導体では, 磁束芯やナノワイヤーの端などにマヨラナ準粒子と呼ばれる特異な統計性を持った状態が形成される. この統計性を活用することにより, ノイズ耐性の高い量子演算素子の開発が期待されている. 本申請課題においては, 複数のトポロジカル超伝導ナノワイヤーからなる素子(図1(a))を考え, その素子間のジョセフソン接合において現れる異常なジョセフソン電流特性(図1 (b)-(e))を中心としたデバイス特性を理論的に研究することにより, 超伝導スピントロニクスを基にした磁束型の超伝導量子計算素子(図2)等の提案を目的とする.

コアメンバー: 土浦宏紀(東北大), 吉岡匠哉(東工大), Manfred Sigrist(ETH-Zurich)

期待される研究成果:
1次元トポロジカル超伝導体からなるジョセフソン接合素子において, 3種類のジョセフソン電流特性(0接合, π 接合, トポロジカル)を外的に制御しうる超伝導素子の理論的提案を行い, それを用いた, 外的に特性を制御可能な多機能型量子計算素子への可能性を開く.

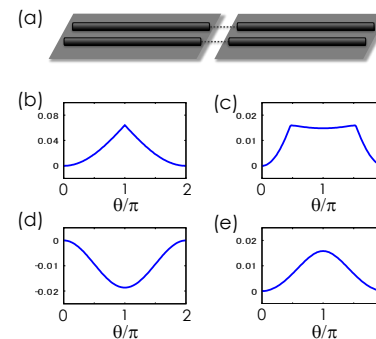


図1 (a) 2本のトポロジカル超伝導ワイヤーからなるユニット間のジョセフソン接合素子. (b)-(e) この素子において実現されうる多様なジョセフソン電流特性.

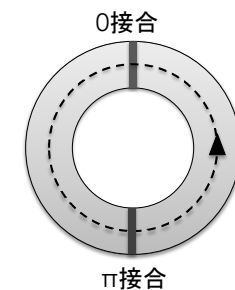


図2 π 接合を伴う磁束型量子ビットの概念図.

研究プロジェクト名: スピン3重項トポロジカル超伝導体を用いた超伝導量子ビットの理論的研究

概要: スピン3重項トポロジカル超伝導体では, 磁束芯やナノワイヤーの端などにマヨラナ準粒子と呼ばれる特異な統計性を持った状態が形成される. この統計性を活用することにより, ノイズ耐性の高い量子演算素子の開発が期待されている. 本申請課題においては, 複数のトポロジカル超伝導ナノワイヤーからなる素子を考え, その素子間のジョセフソン接合において現れる異常なジョセフソン電流特性を中心としたデバイス特性を理論的に研究することにより, 超伝導スピントロニクスを基にした新規量子計算素子の提案を目的とする.

研究成果(実施状況):

1次元のトポロジカル超伝導ワイヤーを平行に配置したユニットを2つ用意し, そのユニット間のジョセフソン接合を考える(図1 (a)). ユニット内のワイヤー間に相互作用がないときは, ジョセフソン電流特性は通常の倍周期になる(図1 (b)). しかし, 一定の相互作用が生じ, かつ平行ワイヤー間に位相差が存在する時には, π 接合(図1 (d))あるいは通常0接合(図1 (e))が実現されることを見出した.

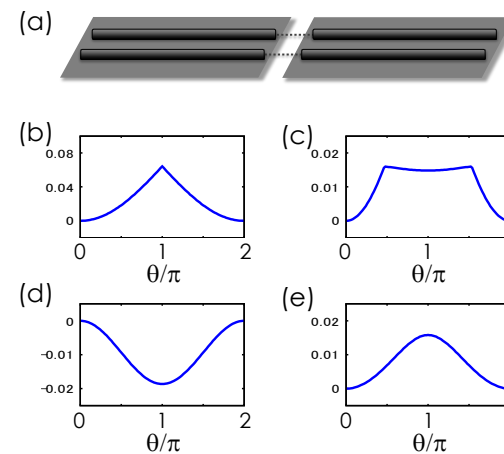


図1 (a) 2本のトポロジカル超伝導ワイヤーからなるユニット間のジョセフソン接合素子. (b)-(e) この素子において実現される多様なジョセフソン電流特性.

主要発表論文等: [1] T. Yoshioka *et al.*, Phys. Rev. B 102, 184410 (2020). [2] J. Inoue *et al.*, Phys. Rev. Mater. 4, 114404 (2020). [3] S. Yamashita *et al.*, Phys. Rev. B 102, 214439 (2020).

研究プロジェクト名: スピン3重項トポロジカル超伝導体を用いた超伝導量子ビットの理論的研究

概要: スピン3重項トポロジカル超伝導体では, 磁束芯やナノワイヤーの端などにマヨラナ準粒子と呼ばれる特異な統計性を持った状態が形成される. この統計性を活用することにより, ノイズ耐性の高い量子演算素子の開発が期待されている. 本申請課題においては, 複数のトポロジカル超伝導ナノワイヤーからなる素子(図1(a))を考え, その素子間のジョセフソン接合において現れる異常なジョセフソン電流特性(図1(b)-(e))を中心としたデバイス特性を理論的に研究することにより, 超伝導スピントロニクスを基にした磁束型の超伝導量子計算素子(図2)等の提案を目的とする.

研究成果(実施状況):

1次元のp波トポロジカル超伝導ワイヤーを平行に配置したラダー型ユニットを2つ用意し, そのユニット間のS/N/S接合を考える(図1). この系におけるジョセフソン電流を, recursive Green関数法を用いて解析した. 同一ユニット内のワイヤー間の相互作用 t 及び位相差 ϕ を制御することにより, S/N/S接合におけるジョセフソン電流は, 特異かつ多様な位相-電流特性をもつことが分かった. その一例を図2に示す. また, N層に形成されるアンドレーエフ束縛状態のエネルギー準位を調べ(図3), 特異なジョセフソン電流が生じる理由を明らかにした.

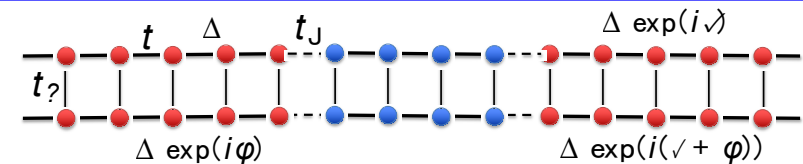


図1 p波超伝導ラダーからなるS/N/S接合系

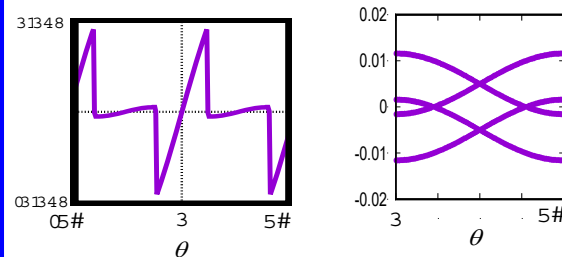


図2 位相-電流特性の例

図3 N層における
アンドレーエフ束縛状態
のエネルギー準位と
位相差 θ の関係の例.

主要発表論文等: