



研究課題名 回転スピンの再構成可能な超伝導量子デバイスの創成

九州大学・大学院理学研究院・教授

きむら たかし
木村 崇

研究課題番号： 21H05021

研究者番号： 80360535

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 137,400千円

キーワード： スピン流、スピントリプレット状態、ジョセフソン接合、多端子スピン注入

【研究の背景・目的】

超伝導と強磁性は、どちらも代表的な量子力学的現象で、様々な魅力的物性を生み出すのみならず、無損失送電や超伝導磁石、磁気記録や永久磁石等、様々な重要技術に応用されている。これら2つの特性を融合させることができれば、更に魅力的な物性が発現するのは疑いようがない。しかし、双方を接続すると、強磁性体による強い内部磁場の影響で超伝導特性が破壊されるため、両特性を維持することが困難になる。このような本質的制約から、両現象は互いに相性が悪いものとして理解されていたが、この問題を解決する手法として、本研究では、両物性現象と相性の良い銅などの常磁性常伝導金属を用いた構造に着目する。

代表者は、これまでに、高効率なスピン流生成技術、及び各種機能性物質への効果的なスピン注入技術などを数多く開発し、その有効性を確認している。本系におけるスピン注入においても、スピン注入時に発生する発熱を最小限に抑えることで、超伝導体がスピン流を完全反射するスピン絶縁体であること、巨大スピン流を注入することで超伝導ギャップの抑制が可能であること、近接効果により超伝導状態となった物質中の準粒子もスピン偏極が可能であることなどを報告してきた。ここでは、これらの技術を高度化して、超伝導状態にスピン情報を組み込んだ量子演算素子を実現し、超伝導量子デバイスに革新をもたらす技術の創成を目指す。

【研究の方法】

まず、申請者が開発した強磁性体/常磁性常伝導体/超伝導体を用いて、トリプレット・スピン流の実現を目指す。超伝導ジョセフソン素子における常伝導端子に、磁化容易軸が直交した2つの強磁性体ドットを近接させて作製する。このような2つの強磁性端子から非局所スピン注入法によりスピン流を形成するが、両端子の電流比を調整することで、蓄積スピンの量子化軸の回転が可能となる。このようなスピン蓄積により形成される有効磁場を近接効果により形成されたスピン一重項クーパー対に作用させることで、三重項クーパー対を形成する。(図1)。

このようにして得られた超伝導体中のスピン・トリプレット状態における重ねあい状態を反映した重金属を用いて効果的に検出し、スピン量子ビットの実現を目指す。

また、多端子スピン注入端子を有する同構造をジョセフソンπ接合へと高度化し、スピン流の強度を調整することで、同じ接合においても、0接合からπ接合へと自在に変化させる技術を確立する。さらに、同接合を複数組み合わせさせた超伝導リングデバイスを作製

し、再構成可能な量子演算回路を実現する。

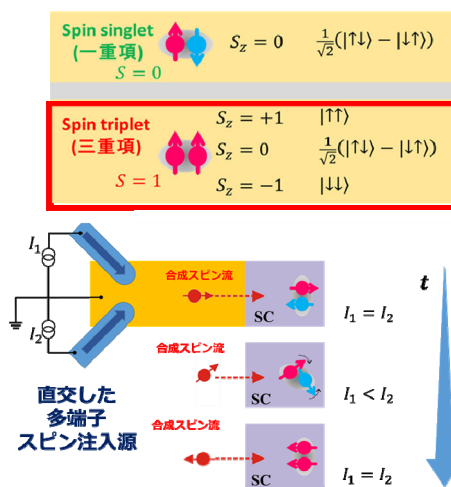


図1. 回転スピン流によるスピントリプレット・クーパー対の形成

【期待される成果と意義】

巨視的量子現象の代表である超伝導は、ゼロ抵抗や永久電流など他に類を見ない物性を活用し、低消費電力・高速動作、更には量子ビットなど、超伝導物質でしか実現できない魅力的な物性応用が実証されている。また、スピントロニクス応用においては、電流のスピン版となるスピン流が極めて重要で、如何に効率よく、巨大スピン流を生成するかが低消費電力化のカギとなっており、超伝導電流をスピン偏極させた超スピン流なるものが実現できれば、スピンデバイスの動作時消費電力は激減するとともに、減衰しない永久スピン流やスピン量子重ね合わせ状態の実現など、これまでのスピン流の概念を覆す様々な特性を持たせることが可能になる。このように、双方の特徴を活用した数多くの魅力的デバイス応用の実現が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ S. Hu, X. Cui, T. Nomura, T. Min, and T. Kimura, Nonreciprocity of electrically excited thermal spin signals in CoFeAl-Cu-Py lateral spin valves, Phys. Rev. B 95, 100403(R) (2018)
- ・ K. Ohnishi, Y. Ono, and T. Kimura, "Significant change of spin transport property in Cu/Nb bilayer due to superconducting transition." Sci. Rep. 4, 6260 (2014).

【ホームページ等】

<http://ssp.phys.kyushu-u.ac.jp/>