



超伝導体はスピン流に対して絶縁体となることが明らかに

概要

九州大学大学院理学研究院／量子ナノスピン物性研究センターの大西紘平助教、木村崇主幹教授、及び理学府の小野雄馬氏（修士1年）らの研究グループは、発熱を最小限に抑えたスピン流生成法を開発し、同技術を超伝導体（※1）へのスピン注入実験に適用することで、電流にとっては完全導体である超伝導体が、スピン流にとっては絶縁体となることを実験的に明らかにしました。これらの結果は、今後、超伝導体を用いた新たなスピデバイスの開発へつながると期待されます。

本研究成果は 2014年9月2日（火）午前10時（英国時間）、Nature 姉妹誌のオンラインジャーナル『*Scientific Reports*』に掲載される予定です。

背景

エレクトロニクスデバイスの更なる高性能化・高機能化の観点から、スピン角運動量（※2）の流れであるスピン流を用いたデバイスが注目されています。スピン流を用いることで、情報の担い手を電荷からスピンに替え、不揮発性による消費電力の大幅な低減が期待できるとともに、スピンの方向自由度を用いた多彩な特性をデバイスに付加させることができます。このような一連の研究の中で、スピン流が超伝導体中でどのように振る舞うかが注目されていました。しかし、従来の素子構造では、スピン流を生成する際に、大きな熱が発生してしまうとともに、スピン流に電流が重畳されてしまうため、超伝導特性が変化し、詳細な知見を得ることができませんでした。

内容

研究グループは、図1.に示すように、超伝導特性を示すニオブ薄膜上を熱伝導率の高い銅で覆い、さらに、その上に、スピン流を生成するための微小な強磁性体を作製しました。これにより、発熱を大幅に抑えながら、電流の重畳していないスピン流が生成可能になります。このスピン流が銅・ニオブの二層膜中をどのように流れるかについて調べました。測定の結果、図2.のように、ニオブが常伝導状態（※3）のときはスピン流がニオブ側に強く吸収されますが（抵抗変化小）、超伝導状態のときは、スピン流はニオブ側には吸収されず、銅・ニオブ界面で反射される（抵抗変化大）ことがわかりました。この結果は、電流にとっては抵抗がゼロである超伝導状態が、スピン流にとっては絶縁体となることを示しています。

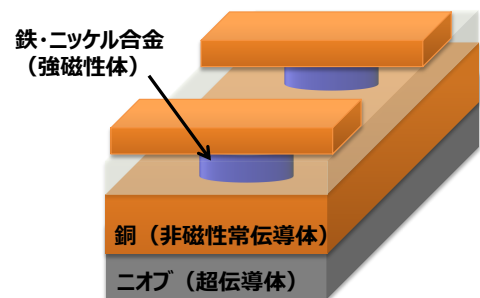


図1. 作製した素子の模式図。2つの鉄・ニッケル合金によりスピン流の生成と検出を行う。銅層を流れるスピン流は、ニオブの超伝導転移に伴い、影響を受ける。

効果・今後の展開

本研究成果により、超伝導体がスピン流に対して絶縁性を持つことが明らかになりました。このことは、超伝導転移に伴いスピン流の伝導特性が劇的に変化することを示しており、スピン流に対するスイッチや増幅素子（※4）などへの展開が期待できます。更には、極薄超伝導体を介したスピン流のトンネル効果（※5）の観測など、新しい量子現象の観測なども期待され、今回の成果は、超伝導とスピンを融合した新たなエレクトロニクス分野の開拓に大きな知見をもたらすと考えられます。

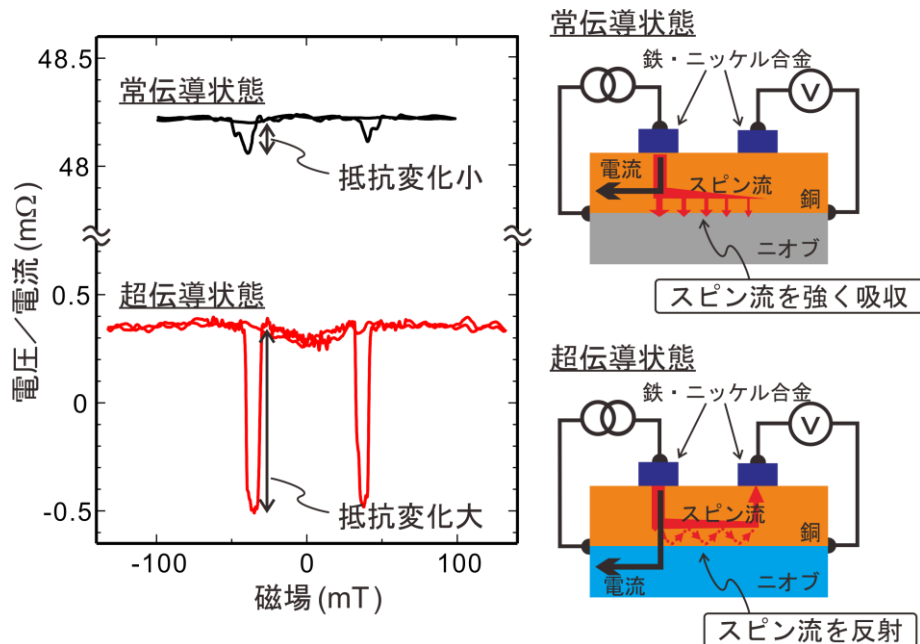


図 2. 測定された非局所抵抗の磁場依存性とそれぞれの電子の流れを模式的に示した図。±40 mT 付近の抵抗変化が小さいほど、銅-ニオブ界面においてスピン流が吸収されていることを示している。

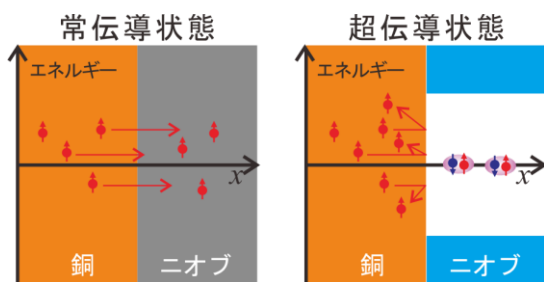


図 3. ニオブが常伝導状態（左）と超伝導状態（右）にあるときの界面におけるスピン流の様子。常伝導状態ではスピン流が流れる一方、超伝導状態では異なるスピンの対となる必要があるため、反射される。

【用語解説】

(※1) 超伝導体

低温において電気抵抗がゼロ（完全導体）となる物質。

(※2) スピン角運動量

電子が持つ角運動量の1つ。上向きと下向きの2つの状態が存在し、角運動量の起源が電子の自転運動として説明できるため、スピンと呼ばれる。

(※3) 常伝導状態

超伝導体を持つ通常の物質として振る舞う状態。

(※4) スイッチや増幅素子

スピン流に対して、オン/オフ動作を行うことにより流れを制御できる素子や、本来、流れるにしたがい減衰するスピン流を増大させる素子。

(※5) トンネル効果

絶縁体として振る舞うものに対して、量子効果によって、電子などの粒子が透過する現象。

【お問い合わせ】

大学院理学研究院 物理学部門 / 量子ナノスピン物性研究センター

助教 大西 紘平 (おおにし こうへい)

TEL/FAX : 092-642-3919

Mail : kohnishi@phys.kyushu-u.ac.jp

主幹教授 木村 崇 (きむら たかし)

TEL/FAX : 092-642-3915

Mail : t-kimu@phys.kyushu-u.ac.jp