



分野:自然科学系

キーワード: スピン流、らせん磁性体、スピン位相、非局所スピバルブ、スピントロニクス、SDGs

＼電気で“スピン位相”を読み取る！／ **スピン流でらせん磁性体のスピン位相を検出** —ナノスケール磁性の新しい読み出し手法を提案—

【研究成果のポイント】

- ◆ スピン流^{*1}を用いて、らせん磁性体のスピン位相^{*2}を電氣的に検出できることを発見
- ◆ これまでらせん磁性体のスピン位相の検出には超高真空や放射光施設が必要であったが、表面敏感なスピン流を利用することで実験室において電氣的に位相を検出することが可能に
- ◆ 強磁性体の磁化の代わりにらせん磁性体の位相自由度を用いた低消費電力デバイスへの発展に期待

❖ 概要

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻の蔣男助教、新見康洋教授らの研究グループは、東邦大学理学部物理学科の大江純一郎教授、大阪公立大学大学院工学研究科電子物理系専攻の戸川欣彦教授と共同で、スピン流を用いた非局所スピバルブ^{*3}測定により、らせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ のスピン位相と磁気ゆらぎを電氣的に検出することに世界で初めて成功しました。

らせん磁性体は、磁気モーメントがらせん状に配列する特性を持つ新しいタイプの材料で、従来の強磁性体にはない非磁化という特徴から、高集積化が可能で、次世代の情報媒体として期待されます。 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ は、らせん型の磁気構造を有しており、このらせん磁性体の表面にスピン流を注入すると、主に表面の磁気状態とスピン流が相互作用します。この表面敏感な特性を活かし、らせん磁性体のスピン位相(らせん磁気構造の位相)を電氣的に検出しました(図1)。さらに実験結果は、数値シミュレーション(マイクロマグネティックシミュレーション^{*4})でも再現されました。

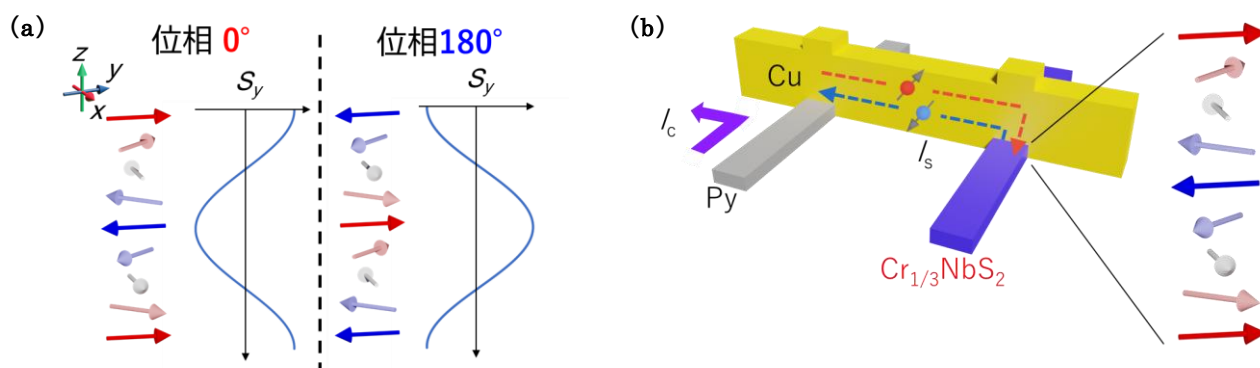


図1:(a)スピン位相の模式図。(b)らせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ を組み込んだ非局所スピバルブ素子の模式図。

これまで試料表面の磁気モーメントの向きであるらせん磁性体のスピン位相の検出には、表面敏感なX線磁気円二色性やスピン偏極走査型トンネル顕微鏡などの特殊環境を要する手法が必要であると考えられており、デバイス応用可能な電氣的検出方法については解明されていませんでした。

今回、研究グループは、ファンデルワールス層状らせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ を非局所スピバルブ素子に組み込むことにより、スピンの流によるらせん磁性体のスピン位相の電気的検出に成功し、大型装置を用いずにスピン位相を読み取れることが示されました。

これにより電気的にナノスケール磁性の「位相」を扱えることが示され、将来的には強磁性体の磁化の代わりにらせん磁性体のスピン位相を情報自由度として活用する低消費電力デバイスへの発展や高集積化につながると期待されます。

本研究成果は、米国科学誌「Physical Review B」に Letter として、さらに Editors' Suggestion として、11月6日(木)(日本時間)に公開されました。また、APS Physics Magazine に Synopsis として掲載されました。

【助教のコメント】

一口に磁性体といっても様々な磁性体があり、それぞれの特徴を生かした機能性を発現させることが重要です。今回はスピン流をプローブとして用いることで、らせん磁性体の特徴を引き出すことができました。今後らせん磁性体のさらなる機能性の開拓につながると期待しています。

❖ 研究の背景

これまで、スピントロニクスでは強磁性体の磁化の向きを情報媒体として利用してきましたが、強磁性体自身が出す漏れ磁場の影響で高集積化の障壁となっていました。らせん磁性体は磁気モーメントがらせん状に配列する磁性体で、全体として磁化を持たず高集積化に適しているため、強磁性体になる材料として注目を集めています。

そのようならせん磁性体にはヘリシティ(らせんの巻き方)とスピン位相(らせん磁気構造の位相:図1(a)参照)の2つの内部自由度があり、これらをうまく扱えば新しい情報媒体として活用できる可能性があります。特に、試料表面の磁気モーメントの向きに対応するスピン位相の検出については、表面敏感な X 線磁気円二色性やスピン偏極走査型トンネル顕微鏡などの特殊環境を要する手法が必要であると考えられており、デバイス応用可能な電気的検出方法については解明されていませんでした。通常のホール効果の測定では平均の磁化を見てしまうため、スピン位相の直接検出には他の手法を考える必要がありました。

❖ 研究の内容

研究グループでは、非局所スピバルブ素子にらせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ を組み込むことで(図1(b)参照)、スピンの流によるらせん磁性体のスピン位相の検出に成功しました。

まず非局所スピバルブ素子を用いた実験により、らせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ のスピン拡散長(スピン流が流れる距離)は約 5nm であることが分かりました。これはらせん1周期の長さ(約 48nm)の 1/10 程度なので、スピン流は主に試料表面の磁気情報を拾うことが分かりました。そこでらせん磁性体におけるスピン流の電気信号を測定したところ、試料表面の磁化の向き、すなわちスピン位相に対応した磁場依存性が得られました(図2)。

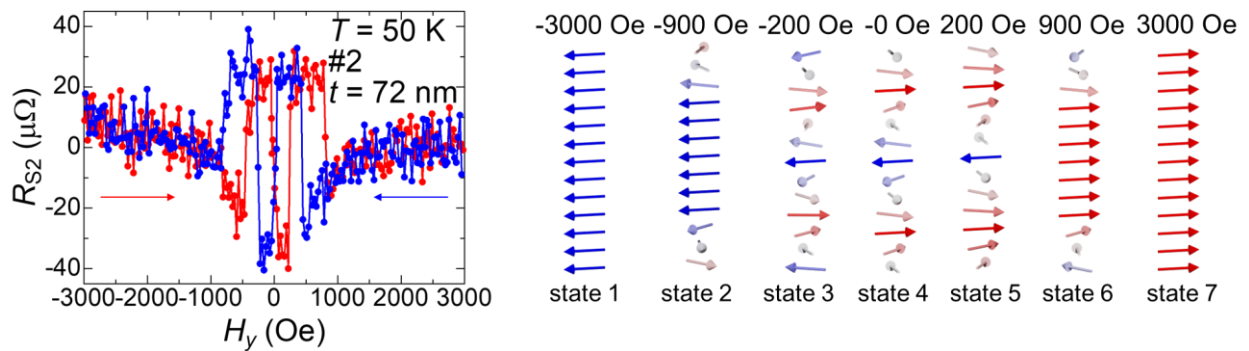


図2:らせん磁性体 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ を用いて得られた非局所スピンプルブ信号と、各磁場におけるらせん磁性体の磁気構造。試料表面(上面)の磁化の向きに対応したスピン信号となっている。

このスピン位相の磁場依存性はマイクロマグネティックシミュレーションでも再現でき、スピン流によるスピン位相の電氣的検出を裏付けることができました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究成果により、大型装置に頼らずにらせん磁性体のスピン位相の電氣的検出が可能となりました。スピン位相は強磁性体の磁化の代わりになりうる新しい情報媒体であり、らせん磁性体のスピン位相を用いた高集積化可能な低消費電力デバイスへの発展が期待されます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2025年11月6日(木)(日本時間)に米国科学誌「Physical Review B」(オンライン)に Letter として、さらに Editors' Suggestion として掲載されました。また、APS Physics Magazine に Synopsis として掲載されました。

タイトル: "Spin phase detection by spin current in a chiral helimagnet"

著者名: Nan Jiang, Shota Suzuki, Issei Sasaki, Kazuki Yamada, Ryoma Kawahara, Shintaro Takada, Yusuke Shimamoto, Hiroki Shoji, Yusuke Kousaka, Jun-ichiro Ohe, Yoshihiko Togawa, and Yasuhiro Niimi

DOI: <https://doi.org/10.1103/mfrs-6whs>

なお、本研究は、科学研究費(JP22H04481, JP23H00257, JP23K13062, JP23H00091, JP23H01870)、JST 創発的研究支援事業(JPMJFR2134)からの支援の下、行われました。

❖ 用語説明

※1 スピン流

電子は電荷に加えスピン角運動量も持っており、そのスピン角運動量の流れ。典型的な減衰スケール(スピン拡散長)は数 nm~数百 nm であり、本研究ではらせん磁性体の表面の磁気状態を電氣的に読み出すプローブとして用いている。

※2 スピン位相

らせん磁気構造の位相で、有限サイズの試料では「試料表面の磁気モーメントの向き」に対応する(図1(a))。

※3 非局所スピンバルブ

電流を流す回路と電圧を検出する回路を分け、スピン流の生成・伝搬・検出を行う手法。従来は2本の強磁性細線を非磁性体(銅など)で架橋した構造をとっているが、本研究では片方の強磁性体をらせん磁性体に置き換えることで(図1(b))、らせん磁性体のスピン位相の検出を行っている。

※4 マイクロマグネティックシミュレーション

磁性体のスピン配列や磁化の時間発展を数値的に解く手法。らせん磁性体に磁場を印加した際にどのようなスピン配列になっているか、表面の磁気モーメントの向きがどの方向を向いているかなどを計算することができる。

❖ SDGs目標



❖ 参考 URL

蔣男助教 研究者総覧 URL <https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/b4eb940ac8be8d8c.html>

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関するお問い合わせ>

大阪大学 大学院理学研究科 助教 蔣 男(じゃん なん)

TEL: 06-6850-5370

E-mail: nan.jiang@phys.sci.osaka-u.ac.jp

<広報に関するお問い合わせ>

大阪大学 理学研究科 庶務係

TEL:06-6850-5280 FAX:06-6850-5288

E-mail: ri-syomu@office.osaka-u.ac.jp

プレスリリース時には、関連する機関の問い合わせ先も記載しておりますが、ホームページ掲載時には、本学理学研究科関係者のみ掲載としております。

❖ 発信先 報道機関

大阪大学から 大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会