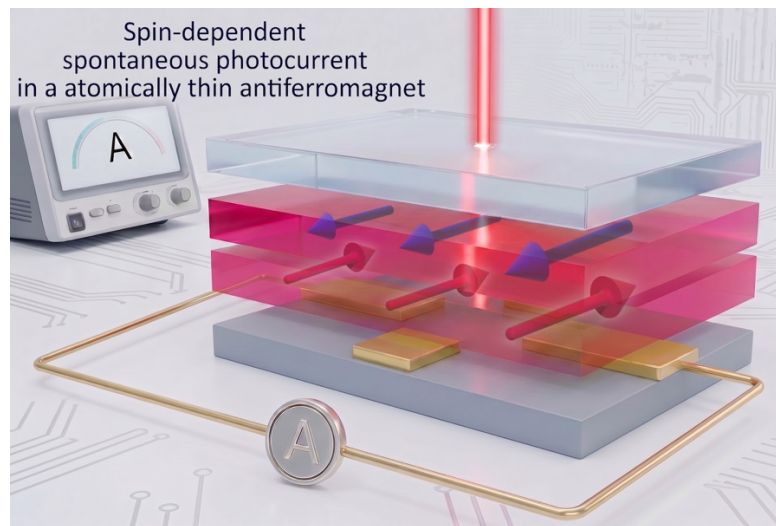


原子レベルに薄い磁性体で磁気状態を反映した光電流を観測

——反強磁性体における符号反転する新しい光電流を発見——

発表のポイント

- ◆原子レベルに薄い磁性体に光を当てると、磁気状態によって逆向きの電流が流れることを発見しました。
- ◆光電流は各層それぞれに局所的に流れていて、デバイス構造を工夫することで層ごとに取り出せることを見いだしました。
- ◆原子層磁性体を用いた新しい光・スピンデバイスや次世代エレクトロニクスへの応用が期待されます。



原子層反強磁性体における磁気状態を反映した新しい光電流

概要

東京大学物性研究所の Yu Dong 学振特別研究員（研究当時、現：理化学研究所創発物性科学研究センター 特別研究員）と井手上敏也准教授、理化学研究所創発物性科学研究センターの岩佐義宏グループディレクターらの研究グループは、東京大学大学院工学系研究科の森本高裕准教授、理化学研究所創発物性科学研究センターの小川直毅グループディレクターらのグループ、コロンビア大学のグループ、物質・材料研究機構のグループらと共同で、原子レベルに薄い反強磁性体（注1）において磁気状態を反映した光電流（注2）が生じることを発見しました。

原子数層まで薄くした原子層物質では、元の結晶とは異なる新しい物性が現れることが多く、次世代エレクトロニクスの有力な材料として近年大きな注目を集めています。特に、磁性を持つ原子層物質では、通常の磁石とは異なる特徴的な磁気状態が実現できるため、新しいスピン機能の発見が期待されます。

本研究では、2層から成る原子層反強磁性体の光電流特性を調べました。本物質は、各層内ではスピンの向きがそろい、上下の層ではスピンの向きが互いに逆向きになる特徴を持つため、2種

類の反強磁性状態が存在します (図 1 (a))。この原子層磁性体に光を照射して電流を測定したところ、反強磁性秩序がない状態では電流は流れず、反強磁性状態では外部電圧無しでも電流が発生し、さらに2つの反強磁性状態では電流の向きが逆になることを発見しました。また、光電流の振る舞いが、電子の波動関数の量子幾何学的性質で説明できることも分かりました。加えて、光電流は結晶全体ではなく、2つの原子層それぞれに局所的に流れており、電極の構造を工夫することで、各層の電流を個別に取り出せることも実証しました。

今回の成果は、マクロな磁化を持たない反強磁性体でも磁気状態を反映した光電流が生じることを示すとともに、光電流が原子層ごとに局所的に流れることを明らかにした点に意義があります。これは、各層の局所構造やデバイス設計が物性を決定する重要な要素であることを示しています。今後、このような原子層磁性体を用いて光とスピンを活用した超低消費電力デバイスや量子エレクトロニクスにつながる可能性があります。

本研究成果は、2026年5月18日(英国夏時間)に英国科学雑誌「Nature Materials」オンライン版に掲載されました。

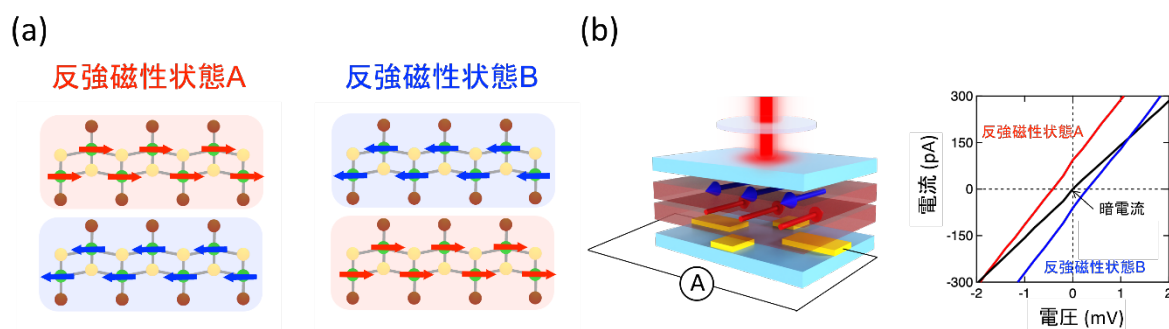


図 1. (a) 2層原子層反強磁性体の2つの異なる磁気状態。(b) 2層原子層反強磁性体の2つの異なる磁気状態を反映した光電流。状態Aでは正のゼロバイアス光電流が、状態Bでは負のゼロバイアス光電流が観測されている。

発表内容

① 背景

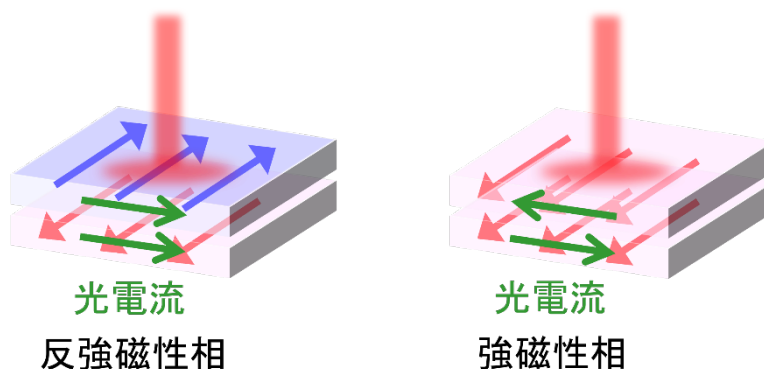
層間がファンデルワールス力によって結合した層状物質は、粘着テープを用いて剥がして原子数層の原子層物質を得ることができます。そのようにして得られた原子層物質は元の結晶とは異なる特徴的物性を示すことが知られており、特に近年、磁性を示す原子層物質の特徴的物性が盛んに報告されるようになってきています。しかしながら、マクロな磁化を持たない原子層反強磁性体における磁気状態を反映した物性の報告はこれまで限られていました。

② 研究内容

本研究では、層内のスピンの向きがそろい、上下の層のスピンの向きが互いに逆向きになるような2層から成る原子層反強磁性体に着目して、特徴的磁気状態を反映した光電流特性を調べました。このような2層の原子層反強磁性体では、上下層のスピンの向きに応じて2つの異なる反強磁性状態が考えられます (図 1 (a))。実験では、このような2層原子層反強磁性体試料に電極を付けたデバイスを作製して、電極から離れた試料の中心位置に光を照射したときのゼロバイアス光電流や電流・電圧特性を測定しました。その結果、反強磁性秩序がない状態では電流は流れませんが、反強磁性状態になると外部電圧をかけなくても光を照射するだけで電流が流れることや2つの異なる反強磁性状態では電流の向きが逆になることが分かりました (図 1 (b))。また、理論モデルを構築することにより、観測された光電流の照射光エネルギー依存性等の振

る舞いが電子の波動関数が持つ量子幾何学的性質によって説明できることを明らかにしました。さらに、反強磁性状態と強磁性状態（磁場をかけて上下層のスピンをそろえた状態）における光電流の振る舞いを、2つの異なるデバイス（電極が下の層に接触しているデバイスおよび上の層に接触しているデバイス）で比較したところ、光電流が各層を局所的に流れている（図2）デバイス構造を変えることで各層ごとの光電流を取り出せることを見いだしました。

図2. 反強磁性状態と強磁性状態において各層ごとに流れる光電流の模式図。



③ 今後の展望

本研究では、マクロな磁化を持たない原子層磁性体において、異なる反強磁性状態を反映して符号が反転するような光電流が流れることを報告しました。また、光電流は各層ごとに流れており、異なるデバイス構造を利用してそれらを選択的に観測できることを発見しました。この研究を契機に、さまざまな原子層磁性体における光とスピンに関連する新しい現象の探索が進むと期待されます。加えて、本研究で示した各層の局所構造やデバイス設計の重要性は、今後原子層物質におけるさまざまな物性や機能を開拓・考察していく上での重要な知見と指針を与えるものと考えられます。

○関連情報：

「プレスリリース：電気的な偏りのない層状結晶に歪みを加えて面内に電荷の偏りと光起電力効果を実現 —歪みによる二次元物質の機能開拓へ新しい可能性—」（2022/11/25）

<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2022-11-25-001>

発表者・研究者等情報

東京大学

物性研究所 量子ナノ物性研究センター

井手上 敏也 准教授

田中 未羽子 助教

Yu Dong 学振特別研究員（研究当時、現：理化学研究所 創発物性科学研究センター 特別研究員）

大学院工学系研究科物理工学専攻

森本 高裕 准教授（研究当時、現：京都大学 理学研究科 教授）

北村 想太 助教（研究当時、現：京都大学 理学研究科 特定講師）

理化学研究所

創発物性科学研究センター

創発デバイス研究グループ

岩佐 義宏 グループディレクター

創発光物性研究グループ

小川 直毅 グループディレクター

豊田 新悟 研究員

板橋 勇輝 基礎科学特別研究員

物質・材料研究機構

ナノアーキテクトニクス材料研究センター

谷口 尚 センター長

電子・光機能材料研究センター

渡邊 賢司 特命研究員

コロロンビア大学化学科

Xavier Roy 教授

Daniel G. Chica 博士研究員

論文情報

雑誌名 : Nature Materials

題名 : Layer Photovoltaic Effect in a Two-dimensional Antiferromagnet with Parity-time Symmetry

著者名 : Yu Dong, Sota Kitamura, Yuki M. Itahashi, Daniel G. Chica, Shingo Toyoda, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Miuko Tanaka, Xavier Roy, Naoki Ogawa, Takahiro Morimoto, Yoshihiro Iwasa*, Toshiya Ideue*

DOI : 10.1038/s41563-026-02593-8

URL : <https://www.nature.com/articles/s41563-026-02593-8>

研究助成

本研究は、科学技術振興機構（JST）「創発的研究支援事業（課題番号：JPMJFR213A）」、「戦略的創造研究推進事業 CREST（課題番号：JPMJCR24A5、JPMJCR25A3）」、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業「基盤研究 A（課題番号：JP23H00088、JP25H00839）」、「基盤研究 B（課題番号：JP23K25816、JP23H02052）」、「挑戦的研究（萌芽）（課題番号：JP23K17665）」、「学術変革領域研究 A（課題番号：JP21H05233、JP24H01176、JP24H02231、JP25H02117）」、「若手研究（課題番号：JP24K17008）」、「特別研究員奨励費（課題番号：JP22J22007）」日本学術振興会世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）、理化学研究所基礎科学特別研究員制度、統合物質科学国際卓越大学院（MERIT-WINGS）の支援により実施されました。

用語解説

（注 1）反強磁性体：

ある方向を向いたスピンとそれと反対方向を向いたスピンが同数存在して全体として磁化を持たないような磁性体。

(注2) 光電流：

物質に光を照射すると電流が流れる現象のこと。

問合せ先

<研究に関すること>

東京大学 物性研究所 量子ナノ物性研究センター

准教授 井手上 敏也 (いでうえ としや)

TEL：04-7136-3225 E-mail：ideue@issp.u-tokyo.ac.jp

<報道に関すること>

東京大学 物性研究所 広報室

TEL：04-7136-3207 E-mail：press@issp.u-tokyo.ac.jp

理化学研究所 広報部 報道担当

TEL：050-3495-0247 E-mail：ex-press@ml.riken.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL：03-5214-8404 E-mail：jstkoho@jst.go.jp

<JST 事業に関すること>

科学技術振興機構 創発的研究推進部

加藤 豪 (かとう ごう)

TEL：03-5214-7276 E-mail：souhatsu-inquiry@jst.go.jp