



2023年6月29日

磁気相転移で制御が可能な垂直磁性の発見 ～高密度スピndeバスの省電力制御の可能性～

【本研究のポイント】

- ・磁気相転移^{注1)}物質の鉄ロジウム(FeRh)^{注2)}と強磁性体^{注3)}の界面で発現する強い垂直磁気異方性^{注4)}の発見
- ・磁気相転移による垂直磁気異方性の制御を実証
- ・不揮発メモリを含むスピndeバスの高密度化^{注5)}に必要な垂直磁化の省電力制御につながる新現象

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院理学研究科の大村 浩貴 博士 前期課程学生(研究当時)、小森 祥央 助教、井村 敬一郎 講師、谷山 智康 教授らの研究グループは、名古屋大学超高压電子顕微鏡施設の荒井 重勇 特任准教授、依田 香保留 技術支援員と共同で、FeRh と強磁性体の界面において磁気相転移によって制御可能な巨大な垂直磁気異方性が発現することを発見しました。

不揮発磁気メモリ^{注6)}をはじめとするスピndeバスの高密度化には、漏れ磁場の少ない面直方向の磁化を実現するための、強い垂直磁気異方性を有する強磁性薄膜が求められています。近年、強磁性体/反強磁性体^{注7)}界面における磁気交換結合^{注8)}に基づく垂直磁化の発現が報告され、報告例は少ないものの、従来の複雑な多層構造や強いスピン軌道相互作用^{注9)}を必要としない新たな構造として着目されています。

本研究では、Fe(強磁性)/FeRh(反強磁性)界面において、磁気交換結合に基づく強い垂直磁気異方性の発現を見出しました。また、FeRh の室温付近での反強磁性-強磁性相転移によって、この垂直磁気異方性を制御できることを実証しました。

FeRh の磁気相転移は強誘電体^{注10)}と組み合わせることで、電界での制御が可能となるため、スピndeバスの高密度化に必要な垂直磁化の省電力制御につながる新現象として期待されます。

本研究成果は、2023年6月29日(日本時間)付国際学術雑誌「Physical Review Applied」に掲載されました。

【研究背景と内容】

強磁性薄膜の磁化の向きで情報を制御するスピントロニクス素子の集積化には、磁化の向きを垂直に立てて、横に並ぶ素子への漏れ磁場の影響を少なくすることが必要になります。強磁性体の薄膜は、一般的には面内方向の磁化が安定となるため、垂直磁化を実現するためには、強磁性体/非磁性体界面における強いスピン軌道相互作用を利用して磁化が安定する向きを垂直方向に変える必要があります。しかしながら、近年、Fe/Mn(マンガン)をはじめとする強磁性体/反強磁性体界面においても、垂直磁化を実現できる強い垂直磁気異方性が発現することが報告されています。報告されている物質の組み合わせは限られていますが、界面での磁気交換結合という新しいメカニズムによって、シンプルな構造で垂直磁化を実現することが可能です。

本研究では、強磁性共鳴^{注11)}という手法を用いて Fe(強磁性)/FeRh(反強磁性)の界面における強い垂直磁気異方性の発現を実証しました。FeRh は室温付近で反強磁性-強磁性相転移を示す物質です。垂直磁気異方性の発現に必要な FeRh の反強磁性秩序を磁気相転移によって制御することで、垂直磁気異方性の大きさが制御可能であることも本研究によって明らかになりました。

図 1 本研究で酸化マグネシウム(MgO)基板上に作製した Fe(6 nm)/FeRh(32 nm)の界面の電子顕微鏡像を示します。分子線エピタキシー法^{注12)}で作製した本試料の界面は原子層レベルで平坦で、この界面での磁気交換結合によって垂直磁気異方性が発現します。図 2(a)のように FeRh が強磁性を示す 390 K の温度では、Fe と FeRh の面内磁化がカップリングした一本の共鳴線を示します[図 2(b)]。しかし、図 2(c)のように FeRh が反強磁性となる 340 K の温度では、Fe の面内磁化の共鳴に加えて強い垂直磁気異方性を有する(高磁場側で起こる)共鳴が観測されます[図 2(d)]。非磁性体の Rh を Fe と FeRh の間に挿入するなどのさまざまな比較実験から、この強い垂直磁気異方性は界面近傍での磁気交換結合に由来するものであることが明らかになりました。

本研究では、FeRh 薄膜の磁気相転移を温度で制御しましたが、FeRh を強誘電体上に成膜した場合は、電圧印加による歪み輸送などの手法でも磁気相転移の制御が可能であることが知られているため、本研究により垂直磁気異方性の電圧制御につながる新現象が見出されたと言えます。

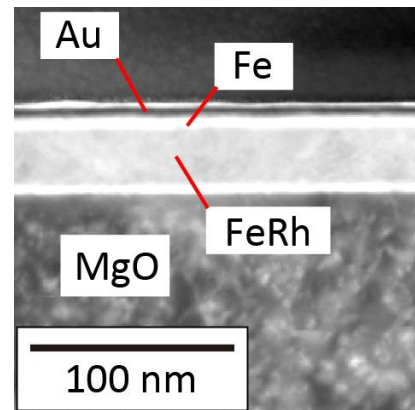


図 1 MgO 基板上に成膜した FeRh と Fe の積層構造

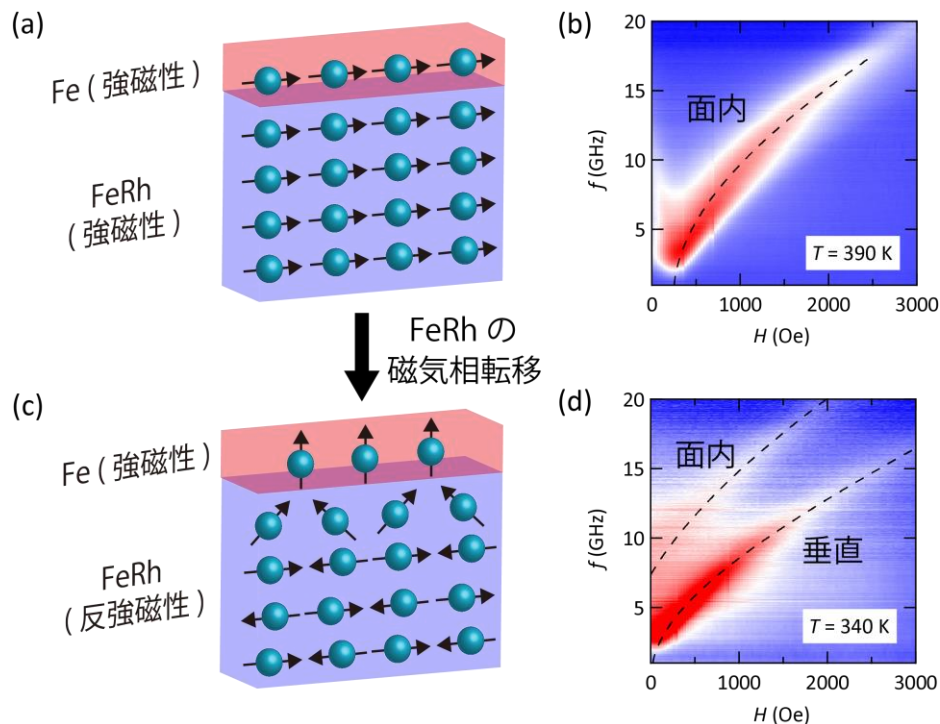


図 2 (a)Fe/FeRh(強磁性)界面における(b)面内磁化を示す強磁性共鳴スペクトルと(c)Fe/FeRh(反強磁性)界面における(d)垂直磁気異方性を示す強磁性共鳴スペクトル

【成果の意義】

強磁性体/反強磁性体界面で発現する垂直磁気異方性は、限られた反強磁性体を用いた報告しかありませんでしたが、今回、磁気相転移物質である FeRh の反強磁性状態を用いた強い垂直磁気異方性の発現を見出すことができました。さらに、磁気相転移を用いて垂直磁気異方性を制御することが可能であることが実証され、垂直磁化を要する高密度なスピン素子の省電力制御につながると期待されます。

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業(JPMJCR18J1)および創発的研究支援事業(JPMJFR212V)、JSPS 科学研究費助成事業(21H04614)、二国間共同研究事業(JPJSBP120197716)、マテリアル先端リサーチインフラ事業(ARIM)の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) 磁気相転移:

物質中の磁気秩序状態が外的条件によって異なる状態に移り変わること。

注 2) FeRh:

鉄とロジウムからなる B2(塩化セシウム)型規則構造の合金。反強磁性を示すが

360 K 以上に昇温することで強磁性状態への磁気相転移が起こる。温度以外にも、磁場や圧力で磁気相転移を誘起することが可能である。

注 3) 強磁性体:

磁場を印加しなくても自発的に磁化されている物質。磁場の印加によってその方向に強く磁化される。

注 4) 垂直磁気異方性:

磁化が薄膜面と垂直の方向に向きやすい性質。垂直磁気異方性が大きいほど垂直方向に強く磁化される。

注 5) スピンデバイスの高密度化:

磁化の向きで情報の処理や保存を行うスピンデバイスにおいて、上向きと下向きの垂直磁化を用いて横方向への漏れ磁場を減らすことなどによって、デバイスの密度(集積度)を高めること。

注 6) 不揮発磁気メモリ:

磁性体の磁化を用いて電力の供給無しにデータを保持するメモリ。

注 7) 反強磁性体:

隣り合う磁性原子の磁気モーメントが互いに反対方向を向いて整列している物質。単体では磁化を持たないが、強磁性体との接合では強磁性体の磁気的な性質を大きく変化させる。

注 8) 磁気交換結合:

2つの電子の軌道が重なり合うときに電子のスピンに関して生じる磁気的な結合。

注 9) スピン軌道相互作用:

電子が持つスピンと軌道の角運動量間の相互作用。例えば、強磁性体とプラチナのような重金属の界面では、強いスピン軌道相互作用による実効的な磁場によって、強い垂直磁気異方性が発現する。

注 10) 強誘電体:

電場がない状態でも自発分極を持ち、電場を印加することで分極の方向を反転させることができる物質。

注 11) 強磁性共鳴:

強磁性体にマイクロ波を印加した際に、磁化の歳差運動が継続的に起こる現象。強磁性体の飽和磁化・磁気異方性・磁気ダンピングといった磁気特性を評価できる。

Press Release

注12) 分子線エピタキシー法:

超高真空下で、成分元素または構成分子を分子線として発生させて結晶基板の上に供給し、基板の結晶系を反映した結晶構造の薄膜を成長させる手法。

【論文情報】

雑誌名:Physical Review Applied

論文タイトル:Controllable perpendicular magnetic anisotropy in Fe/Fe_{100-x}Rh_x heterostructures probed by ferromagnetic resonance

著者:H. Omura, S. Komori, S. Arai, K. Yoda, K. Imura, T. Taniyama

(全て名古屋大学関係者)

DOI:10.1103/PhysRevApplied.19.064077

URL:

<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.19.064077>

【研究者連絡先】

東海国立大学機構 名古屋大学大学院理学研究科

教授 谷山 智康(たにやま ともやす)

TEL:052-789-2886 FAX:052-789-2886

E-mail:taniyama.tomoyasu.v2[at]f.mail.nagoya-u.jp

【JST 事業に関すること】

国立研究開発法人 科学技術振興機構戦略研究推進部グリーンイノベーショングループ

安藤 裕輔(あんどう ゆうすけ)

TEL:03-3512-3531 FAX:03-3222-2066

E-mail:crest[at]jst.go.jp

【報道連絡先】

東海国立大学機構 名古屋大学広報課

TEL:052-789-3058 FAX:052-788-6272

E-mail:nu_research[at]t.mail.nagoya-u.ac.jp

国立研究開発法人 科学技術振興機構広報課

TEL:03-5214-8404 FAX:03-5214-8432

E-mail:jstkoho[at]jst.go.jp