

慶應義塾大学スピントロニクス研究開発センタープロジェクト一覧

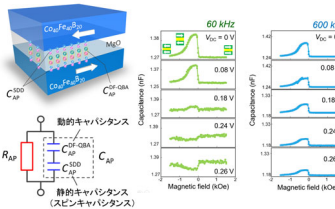
研究プロジェクト名: 電圧誘起トンネル磁気キャパシタンス効果

アウトライン: 近年、磁場によりキャパシタンス(=電気容量)が変化する磁気キャパシタンス効果は、マルチフェロイック材料、スピントロニクスデバイス、磁気スーパーキャパシタ、有機ヘテロ接合など、様々な物質・材料・デバイスにおいて発見され、国内外で大きな注目を集めている。これまで我々はスピントロニクスデバイスにおける磁気トンネル接合に注目し、巨大トンネル磁気キャパシタンス(TMC)効果(APL, 2015)、逆TMC効果(Sci. Rep., 2017)、電圧誘起TMC効果(Sci. Rep., 2018)の観測に成功してきた。本研究では、周波数変調と電圧誘起TMC効果を利用することにより、TMC効果の符号反転現象を見出すことに成功した。右下図に示すように、ある特定の周波数において電圧を印加すると、TMCの符号が負から正に反転することがわかる。これはCoFeB強磁性層とMgO絶縁層界面におけるスピンキャパシタンスの出現に由来するものと考えられる。

コメンター: 海住英生(慶應義塾大)、Gang Xiao(ブラウン大学)

他分野・社会に対するインパクト:

磁気キャパシタンス効果は高感度磁気センサ、省エネメモリー、大容量蓄電材料への応用が期待されている一方で、時間反転対称性と空間反転対称性が同時に破れている系で観測されることから、基礎物理学的にも興味深い。その中で本発見は周波数と電圧印加によりTMC効果の符号を自在に変調できる新たな学術的知見を与えるものであり、今後スピントロニクスを含む様々な系への学術的・工学的展開が期待できる。



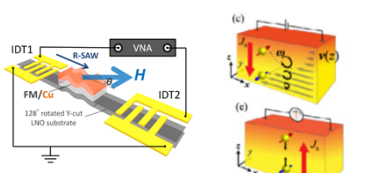
研究プロジェクト名: 回転運動による新原理スピン流生成

アウトライン: 回転運動と磁気の変換は、アインシュタインやドハース、バーネットが100年前に発見されたが効果が小さく実用化が難しかった。しかし、物質中の局所回転運動が非磁性金属の電子スピンを揺るSpin-Vorticity Coupling理論(SVC理論)が松尾らによって発表され、全く新しい磁気生成のメカニズムとして脚光を浴びている。回転運動の周波数の4乗に比例する電子スピンの流れ(スピン流)を生み出せるため、高周波化が実用上重要となる。本研究は、GHzオーダーの局所回転を生成可能な表面弾性波フィルタデバイスを利用することにより、プラチナに匹敵するスピン流の生成に成功した。さらに、電気伝導度をナノメートル幅で変調した金属膜の中に生じる電流の渦を用いたスピン流生成にも成功しており、スピントロニクス材料革命を目指す。[右下の図はPhys. Rev. Lett. 119, 077202 (2017)、およびPhys. Rev. Lett. 122, 217701 (2019)から引用]

コメンター: 能崎幸雄(慶應義塾大)、松尾衛(カブリ理論科学研究所(中国))、前川禎通(理化学研究所)

他分野・社会に対するインパクト:

表面弾性波は、携帯電話などの無線通信機器内の高性能フィルタとして広く実用化されている。本PJにより、表面弾性波のスピントロニクス応用が実証されれば、電気・磁気・力学の融合による全く新しい原理に基づく物性制御が出来るだけでなく、スピントロニクスデバイスの材料設計自由度が飛躍的に増加する。



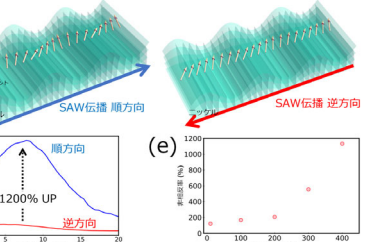
研究プロジェクト名: 巨大な非相反性を持つスピン波ダイオードの開発

アウトライン: 磁石と半導体を組み合わせた複合材料において、音波の注入方向と磁気の向きにより、磁気の波「スピン波」の振幅を大きく変調できることを発見した。従来の方法では、磁石をナノメートルスケールの厚さにすると同方向と逆方向に伝播するスピン波の振幅が同等になり、スピン波の整流動作を実現することが困難だった。本研究グループは、膜厚が20ナノメートルの薄層ニッケル磁石と400ナノメートルの半導体シリコンを組み合わせたニッケル/シリコン複合材料(複合材料)を製作し、逆方向のスピン波振幅を順方向の12分の1以下に低減できることを明らかにした。[右下の図は、Phys. Rev. Applied 13, 034074 (2020)から引用]

コメンター: 能崎幸雄(慶應義塾大)

他分野・社会に対するインパクト:

本研究でスピン波の巨大な一方通行性が実証された新しい複合材料によって、スピン波の伝搬と干渉を理論演算に利用するスピン波デバイスの実現に不可欠なスピン波ダイオード開発が大きく前進することが期待される。



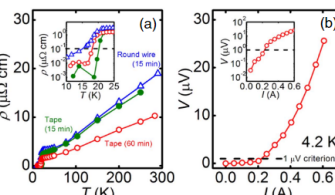
研究プロジェクト名: ex-situ PITによる超伝導線材の開発

アウトライン: 鉄系高温超伝導体の内、ペロブスカイト関連複合アニオン層状化合物(P-MALC)であるSr₂VFeAsO_{8-x}のテープ状線材を製作し、その臨界電流密度(J_c)が4.2 Kで285 Acm⁻²を示すことを明らかにした。この数値は、同じ材料を用いた丸型の線材に比べ7倍程度大きい。鉄系高温超伝導体は、銅酸化物に次ぐ、高い超伝導転移温度を常圧下で示す材料である。鉄系高温超伝導体は、強磁場下においても、高い臨界電流密度を示すことが知られている。この特長から、鉄系超伝導体は、近未来に実現が期待される水素循環社会において液体水素を冷媒とした強磁場発生用超伝導コイルの超伝導線材材料として有力な素材である。われわれは、2017年にSr₂VFeAsO_{8-x}を用いた丸型線材を製作し、P-MALCを超伝導コアとした世界初の超伝導線材の開発に成功した。本PJではさらなる性能向上を実現した。[右下の図はAPEX (2019)に掲載予定]

コメンター: 神原陽一(慶應義塾大)、高野義彦(NIMS)

他分野・社会に対するインパクト:

JR型パルス超伝導磁気浮上型リニアモーターカー、重粒子線照射による悪性腫瘍治療用粒子加速器、及び国際熱核融合実験炉(ITER)の性能向上、には、高磁場下で安定に動作する長尺の超伝導線材の開発が必須である。本PJは、長尺化の容易な線材製作プロセスであるex-situ PIT法を用いて、新規なペロブスカイト関連複合アニオン酸化物による超伝導線材の性能の飛躍的な向上を実現した。

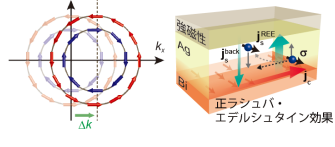


研究プロジェクト名: スピンオービトロニクス

アウトライン: 近年、固体中のスピン軌道相互作用に由来する効果を積極的に利用することで物質中の新機能創出を目指す「スピンオービトロニクス」と呼ばれる研究領域が注目されている。特にスピン軌道相互作用に由来するスピン軌道トルクは、外部磁場を用いない次世代の磁化制御技術として期待されている。この研究領域では、金属および酸化物の「界面」が舞台の一つとなっており、界面スピン軌道相互作用が本質的な役割を果たす。右下の図のように界面スピン軌道相互作用下で電流がスピン流が誘起される現象は「ラシュバ・エデルシュタイン効果」と呼ばれ、新しい電流-スピン流変換の手法として注目されている。当研究グループではこのラシュバ・エデルシュタイン効果を介した新しい磁気抵抗効果「ラシュバ・エデルシュタイン磁気抵抗効果」を発見した。さらに、金属酸化物を基盤とするスピントロニクス素子が界面スピン機能発現の極めて有望な舞台であることを明らかにし、スピン軌道相互作用を中心としたスピントロニクス技術の新たな扉を開いた。[右下の図はPhysical Review Letters 117, 116601 (2016)より引用]

コメンター: 安藤和也(慶應義塾大)

他分野・社会に対するインパクト: 近年、スピン流によるナノ強磁性体薄膜の磁化反転が実現した。このような磁化反転手法は省エネルギーな磁気メモリーへの書き込み技術として応用できる可能性があり、慶應義塾の本グループの研究成果は高効率なスピン流変換(高効率な磁気メモリーへの書き込み)材料の探索に利用することができる。このため、界面スピン機能デバイス研究開発を加速させることが期待される。



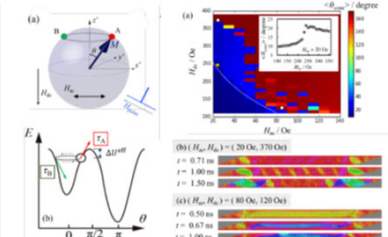
研究プロジェクト名: 非線形ダイナミクスを用いた次世代磁気記録

アウトライン: マイクロ波磁場による強励起を利用して磁気情報を記録するマイクロ波アシスト磁気記録(MAMR)は、超高磁気異方性媒体にナノメートルスケールの磁気ビットを書き込む新しい方法として注目されている。MAMRは、非線形ダイナミクス特有のQモードと呼ばれる歳差運動の出現により、磁化スイッチング条件が複雑化する。さらに、実用化するための媒体の場合、結晶粒間の動的双極子相互作用がMAMR特性に大きく影響を及ぼすため、非線形多体問題となり、解析的なアプローチが不可能である。本PJでは、ベクトルネットワークアナライザを用いた強磁性共鳴(FMR)スペクトルの測定により、実験的にMAMRの磁化反転相図を決定することに成功した。[右下の図はPhysical Review B, 97, 014435 (2018)から引用]

コメンター: 能崎幸雄(慶應義塾大)、田中輝光(九州大)、萬西伸哉(NIMS)

他分野・社会に対するインパクト:

カオスやフラクタル現象などを発見する非線形ダイナミクスは、微分方程式の数学的な形によってその振舞いが決まるため、同一方程式によって記述されるすべての現象で共通の問題である。そのため、物理学のみならず、化学、生物学、光学、経済学、社会学などの幅広い学術分野の理解に応用されている。本研究は、多体系の非線形ダイナミクスの実験的解明に挑戦するものであり、様々な分野への貢献が期待される。



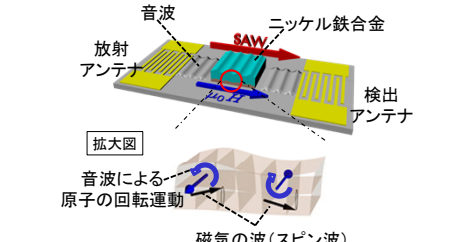
研究プロジェクト名: 物質中の音波を用いた新しい磁気生成法

アウトライン: 磁気回転効果は、物質の磁気の源が電子の回転運動であることを示す普遍的な物理現象であり、全く新しい磁気制御方法として期待されていた。しかし、その効果の大きさは、最新の心分離器で回転させても磁気より弱く、物質の磁気制御に使えなかった。研究グループは、1秒間に10億回以上の速さで原子が局所的に回転する音波がニッケル鉄合金磁石に巨大な磁気回転効果(地磁気の10倍以上)を発生することを世界で初めて発見した。[右下の図は、Phys. Rev. Lett. 124, 217205 (2020)から引用]

コメンター: 能崎幸雄(慶應義塾大)、松尾衛(カブリ理論科学研究所(中国))

他分野・社会に対するインパクト:

この発見は、音波を注入した磁石に現れる普遍的な効果であり、すべての最先端磁気デバイスに適用可能である。さらに、電流に比べて発熱の少ない音波を用いた磁気制御に大きく道を拓くものであり、磁気を用いた大容量記憶(スピン固体メモリー)や高速情報処理(スピン波論理演算回路)の大幅な省電力化が期待される。



研究プロジェクト名: 層状化合物のマテリアルズ・インフォマティクス

アウトライン: 密度汎関数理論(DFT)を用いて、2010年代より多くの研究者に着目されている複合アニオン層状化合物(Mixed Anion Layered Compounds, MALCs)の化学的安定性とアニオン欠陥による機能性発現機構を明らかにする。MALCsは、非常に多くの化学組成を含む。実験によるMALCsの網羅的な研究は、多大な時間と労力を要する。そのため、効率的な試料合成実験と、機能性発現機構解明を目的としてDFTによるアニオン欠陥サイトのスクリーニングと最安定磁性相のシミュレーションを行っている。右下には、研究対象となったMALCsの1つであるペロブスカイト関連化合物 Sr₂VFeAsO_{8-x}の結晶構造と、単位胞、及び拡張単位胞を示す。最安定な酸素欠損は拡張単位胞における「O10」と示したサイトであることが、DFTにより明らかになった。[右下の図は材料の科学と工学 56, 195 (2019), より引用]

コメンター: 神原陽一(慶應義塾大)

他分野・社会に対するインパクト:

MALCsの内、ペロブスカイト関連化合物は、アニオン欠損と磁性イオンの複合的な制御により、電子相・磁性相・電気化学触媒性能が大きく制御可能であることを明らかにした。一方、DFTを用いた非経験的な電子状態シミュレーション技術の発達により、複雑な結晶構造を示す物質であっても、現実的な計算時間で、その機能性を予測可能であることを示した。この技術は、物理・物質科学の新しい地平の開拓の一翼を担う。

