

NEWS LETTER



CIR
Colossal Interface Response

文部科学省 科学研究費補助金 学術変革領域研究 (B) 令和 5 年 - 8 年度
超軌道分裂による新奇巨大界面応答
Colossal Interface Response: CIR

Vol.01 2024.03



2024/1/4 領域会議と研究会の合同開催の様子

本領域研究では、様々な界面を用いて、外場（電場・磁場など）による物性応答（磁化・スピン・構造変化など）を詳細に調べることで、『高効率デバイス』の実現に結びつく新たな機能性を生み出す『界面学理』の構築を目指します。本現象を原子スケールで観測し、第一原理計算を用いて理論的に理解し、その結果を実験にフィードバックする循環型研究体制により、新たな現象や材料系を開拓していきます。

[研究期間 2023 年度～2025 年度 領域番号：23H03801（総括班）、23H03802～5（計画班）]

会議レポート

スピントロニクス新機能の実現と原理説明

大矢 忍
東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻



わずか 15~200mV の電圧で磁化が 90° 回転

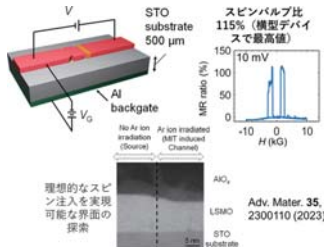


界面での軌道の特異分裂により、軌道が t_{2g} と e_g の間で変化し磁化が回転

次世代の不揮発性メモリとして期待されている磁気ランダムアクセスメモリなどで利用されている従来の磁化反転方式と比べると、8桁小さな電流密度で磁化を 90° 回転させることに成功しました。本現象は、界面への電圧印加により分裂した軌道間を電子が遷移するという、従来の磁化の電界制御の研究では使われてこなかった新たな現象により誘起されていると考えられます。

■ 酸化物スピントランジスタにおける巨大スピナルブ効果の実現 / 高スピン注入効率の起源の解明にむけて

強磁性金属酸化物 $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ 単結晶薄膜の 40 nm 程度の幅の領域を半導体に相転移させて横型 2 端子素子を作製し、従来の研究で得られていた磁気抵抗比を 10 倍以上上回る 140% の値を実現することに成功しました。また、本構造を用いた 3 端子のスピントランジスタ素子を作製し、電流をゲート電圧で変調することにも成功しました。高効率スピン注入を可能とした高品質界面の電子軌道状態について今後探求を進める予定です。



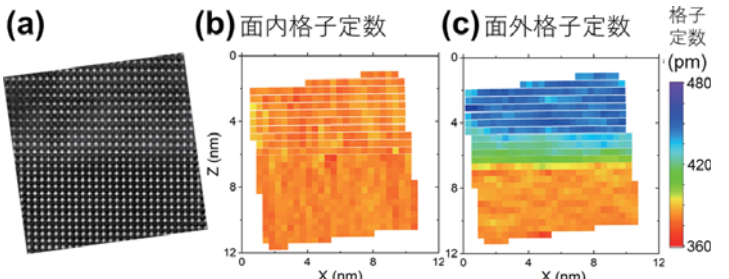
高精度原子分解能 STEM 法による界面構造解析

佐藤 幸生
熊本大学 半導体・デジタル研究教育機構



近年我々が報告している高精度原子分解能走査透過型電子顕微鏡 (STEM) 法では、原子配列を直接視認できる STEM 像から結晶の格子定数を 0.1% オーダーの誤差内で決定することができます。

この手法を LaAlO_3 基板と BiFeO_3 膜の界面に適用した例を上図に示します。(a) に示す STEM 像から算出された面内 (b) および面外 (c) の格子定数マップから、BFO 膜は面内の格子定数を LAO 基板にほぼ合わせているのに対して、面外の格子定数は界面から 2~3 原子層の緩和層を介して、Tetragonal-like BFO に特徴的な 460 pm 程度の格子定数となっていることが明らかとなりつつあります。

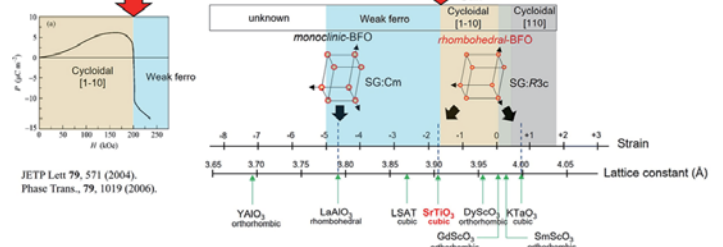


超高感度磁気センサーの創製

永沼 博 (博士 工学)
名古屋大学国際高等研究機構/東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター



(下図) マルチフェロイックス BiFeO_3 は磁場を印加したときに分極が変化します。しかし、磁場は 200kOe とかなり大きいです。弱磁場で分極制御ができることと巨大電気抵抗 (Tunnel Electroresistance: TER) 効果を通じて、超高感度の磁気センサーを創製することができます。(右図) BiFeO_3 はエピタキシャル応力により磁気構造を変化させることができます。 SrTiO_3 基板をもちいると Cycloidal と Weak Ferro の磁気変化の境界となり、磁気構造が不安定化することが期待されます。 SrTiO_3 上の BiFeO_3 は、双方向の電気磁気効果を評価することにより Cycloidal と Weak Ferro の両方の磁気構造が混在していることを報告しました。

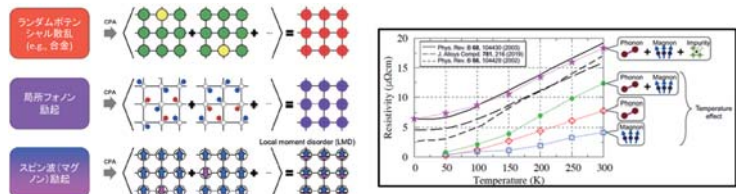


スピントロニクス材料を対象とした有限温度伝導特性の第二原理計算の開発

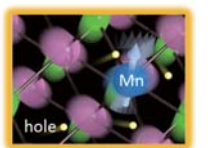
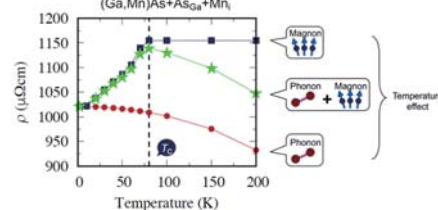
福島 鉄也
産業技術総合研究所 材料・化学領域 研究チーム長



■ KKR-CPA によるフォノン・マグノン散乱の取り込み



■ 強磁性半導体が示す特異な抵抗率の温度依存性の起源を解明



フォノンとマグノンの両方を考慮することで、強磁性/常時性転移における抵抗率の異常な振る舞いを再現しました。

- ◆ 従来の第一原理計算では困難であった「有限温度における電気伝導特性」を予測可能な新手法を開発しました。
- ◆ 30年もの間未解明であった強磁性半導体 (Ga,Mn)As の電気伝導特性が特異な温度依存性を示す原因を解明しました。
- ◆ 今回開発した新手法は強磁性半導体以外の材料系にも適用可能。あらゆる分野において材料開発の時間短縮や低コスト化に貢献すると期待されます。

論文発表

- S. Ohya, S. Tsuruoka, M. Kaneda, H. Shinya, T. Fukushima, T. Takeda, Y. Tadano, T. Endo, L. D. Anh, A. Masago, H. Katayama-Yoshida, and M. Tanaka, 'Colossal magnetoresistive switching (CMRS) induced by d0 ferromagnetism of MgO in a semiconductor nanochannel device with ferromagnetic Fe/MgO electrodes' Adv. Mater. **36**, 2307389 (2024).
- T. Arai, S. Kaneta-Takada, L. D. Anh, M. Kobayashi, M. Seki, H. Tabata, M. Tanaka, and S. Ohya, 'Reduced dead layers and magnetic anisotropy change in $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ membranes released from an SrTiO_3 substrate' Appl. Phys. Lett., **124**, 62403 (2024).
- T. Endo, S. Tsuruoka, Y. Tadano, S. Kaneta-Takada, Y. Seki, M. Kobayashi, L. D. Anh, M. Seki, H. Tabata, M. Tanaka, and S. Ohya 'Giant spin-valve effect in planar spin devices using an artificial implemented nanolength Mott-insulator region' Adv. Mater., **35**, 2300110 (2023).
- H. Naganuma, M. Uemoto, H. Adachi, H. Shinya, I. Mochizuki, M. Kobayashi, A. Hirata, B. Dlubak, T. Ono, P. Seneor, J. Robertson, and K. Amemiya 'Twist pz orbital and spin moment of wavy-graphene/L10-FePd moiré interface', The Journal of Physical Chemistry C, **127**, 11481 (2023).
- H. Shinya, T. Fukushima, K. Sato, S. Ohya, and H. Katayama-Yoshida 'Theoretical Study on the Origin of Anomalous Temperature-dependent Electric Resistivity of Ferromagnetic Semiconductor', APL Materials, **11**, 111114 (2023).
- T. Ichinose, H. Naganuma 'Insight into the mechanism of bidirectional magnetoelectric effects unveil cycloidal/uncompensated hybrid antiferromagnetic multiferroics', Phys. Rev. Mat., **7**, 14405 (2023).
- Y. Sato and H. Naganuma, 'The coexistence of 2×2 superstructure and monoclinic phases in bismuth ferrite thin film studied via distortion-corrected scanning transmission electron microscopy' under review

学会発表(代表的なものを抜粋)

- [招待講演] Shinobu Ohya 'Giant spin-charge conversion using two-dimensional electrons gas systems of single-crystalline oxide Rashba heterostructures', The 25th International Conference on the Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-25) and 21st International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-21), France 2023年7月10日
- [招待講演] H. Shinya, T. Fukushima, A. Masago, K. Sato, S. Ohya, H. Katayama-Yoshida, and H. Akai 'First-principles Calculations of Temperature-dependent Electrical Transport Properties', 24th Asian Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations, 中国 2023年10月30日
- [招待講演] H. Naganuma, 'Structure and magnetic properties of new interfacial multiferroics' セラミックス協会 基礎討論会, 上智大学, 2024年1月7日
- [招待講演] Y. Sato 'Electrical property and grain-boundary structure in zinc oxide bicrystals' Thermec '2023 - International Conference on Processing & Manufacturing of advanced Materials, Austria 2023年7月6日
- [招待講演] Y. Sato, 'Observation of nanoscale polar structure in ferroelectrics' International Conference on Functional Materials 2024, インド, 2024年1月11日
- [招待講演] T. Fukushima, 'Design of Magnetic Materials' EU-Japan Workshop on Spintronics and Quantum Transformation (Spin-QX 2023), ドイツ, 2023年8月7日
- [招待講演] T. Fukushima, 'First-principles calculations of finite temperature electronic structure and transport properties' The 34th Joint Inter-laboratory Workshop on Nano-magnetics, online, 2024年2月22日

プレスリリース

- 2023/5/31** A01班 スピントランジスタの実現に向けて酸化物素子で巨大磁気抵抗と電流変調の実現に成功
- 2023/11/3** A03班 A01班合同 強磁性半導体の電気伝導特性、東大などが特異な振る舞
- 2024/3/13** A01班 A03班合同 磁場をかけるだけで電気抵抗が25,000%も変化する「巨大磁気抵抗スイッチ効果」を実現 一機能性デバイス実現に向けて新たな原理を開発—

これまでの活動

- 2023/4/1** 領域研究発足
- 2023/6/7** 第1回領域会議(オンライン)
- 2023/9/23-24** キックオフシンポジウム(第1回研究成果報告会)(@福岡)
- 2024/1/4** 第2回研究成果報告会(ハイブリッド、東京&オンライン)
- 2024/3/1** 第2回領域会議 (@熊本)

今後の予定・イベント等

- 2024/3/1** 第2回領域会議 開催 [2024年3月1日(金) 14:30~19:00 熊本大学]
- 2024/3/14-16** セラミックス協会in熊本大学 招待講演 (佐藤幸)
- 2024/8/4-7** A01班 ISAMMA国際会議 招待講演ベトナム(A01班 大矢忍, 永沼博) <https://isamma2024.vn/>
- 2024/9/20,21** 第3回領域会議 開催 [2024年9月20日(金) あいぼーと佐渡]
- 2024/6/24-29** 国際会議 superstrips2024, Ischia-Naples, Italy (A01班大矢忍)

受賞

- A01班 第27回半導体におけるスピン工学の基礎と応用 (PASPS27) 研究会 ベストポスター賞 受賞者: 新居拓真 (A01班大矢グループ)
- A02班 昨年10月に米国セラミックス協会から フルラス賞 受賞 佐藤幸生 <https://ceramics.org/awards/richard-m-fulrath-awards/>
- A01班 東京大学 大学院工学系研究科 研究科長賞 受賞者: 高田真悟 (A01班大矢グループ)
- A01班 令和5 (2023) 年度 日本学術振興会 育志賞を受賞 受賞者: 高田真悟 (A01班大矢グループ)
- A01班 東京大学 総長賞 受賞者: 高田真悟 (A01班大矢グループ)

本プロジェクトに関わる問い合わせ
cir_core-group@g.ecc.u-tokyo.ac.jp