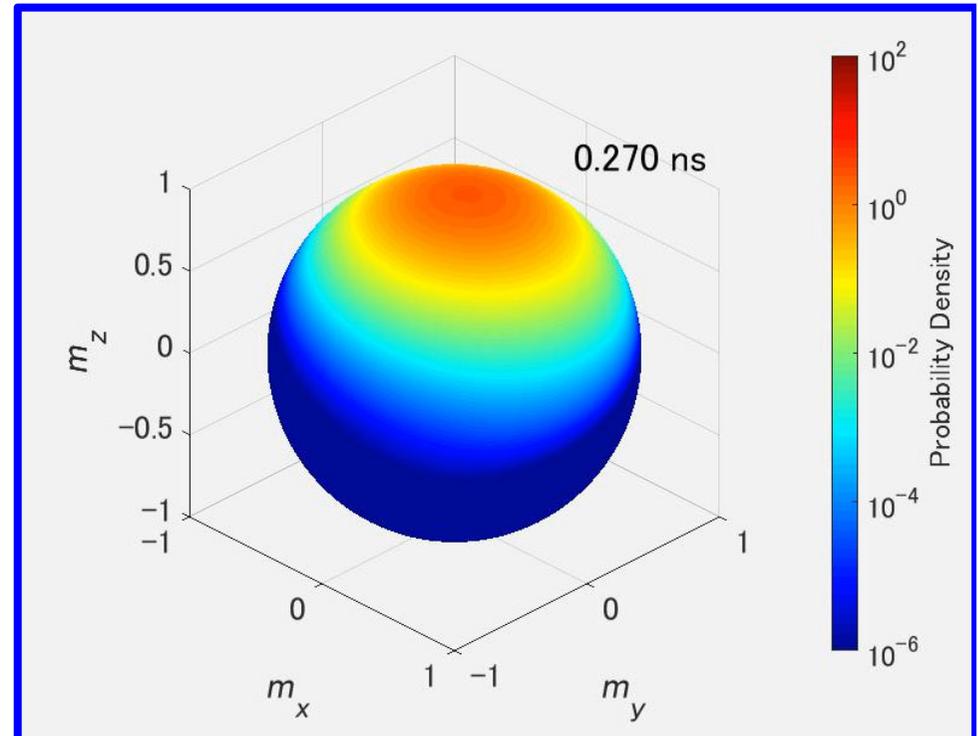


研究プロジェクト名: 電界による磁性制御のナノスピン素子応用

概要: 固体中の集合的スピン状態を電氣的に制御し、そのダイナミクスを調べる。例えば、多数回の試行に対する電氣的磁化反転の挙動(エラーレート/スピンエコー)を実験的に明らかにし、統計的シミュレーション手法の構築により解釈する。

コアメンバー: 金井駿(東北大)、松倉文礼(東北大)、深見俊輔(東北大)、David Awschalom(シカゴ大)、F. Joseph Heremans(アルゴンヌ研究所)、豊木研太郎(大阪大)、白井グループ(東北大)、水藤グループ(東北大)

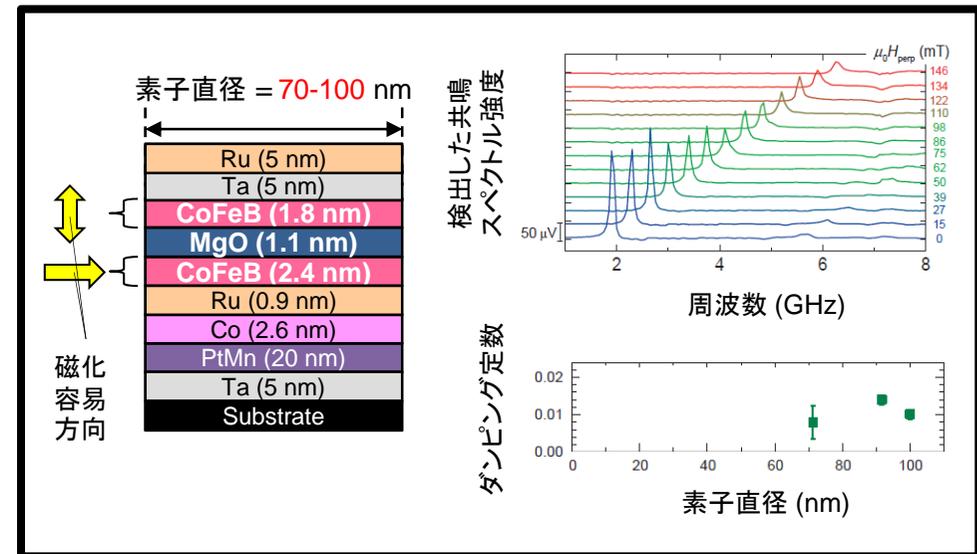
期待される研究成果: 磁化反転エラーレートを現実的時間で測定する実験的手法の構築が期待される。加えて、スピン軌道トルク/電界誘起磁化反転における磁化反転エラーレートを現実的な時間で計算する統計的手法の開発が期待される。母体材料中の核スピンの影響を加味した、色中心スピンの量子スピンコヒーレンスの時間発展を計算し、それに基づいた新たな量子スピン物理を実証するプラットフォームの提案が行われることが期待される。



研究プロジェクト名: 電界による磁性制御の新規ナノスピンスピン素子応用

概要: 高性能・超低消費電力不揮発性スピントロニクス素子の実現とその高性能化へ電界による磁性制御を応用する。既存のスピントロニクス技術と電界による磁性制御を融合した磁性制御手法のナノスピンスピン素子における応用の設計指針の検討・実証と、電界による磁性制御を用いた新規素子特性評価技術の実証を行う。

研究成果(実施状況): 電界による磁性制御を手段として用い、ナノスピンスピン素子におけるスピントロニクス挙動を解明した。例として、面内磁化容易を持つ参照層を有し、垂直磁化容易軸を持つ自由層を有する磁気トンネル接合を作製し、その動作特性を決定するダンピング定数を電界誘起強磁性共鳴法を用いて正確に測定する為の素子構造を提案・実証した。

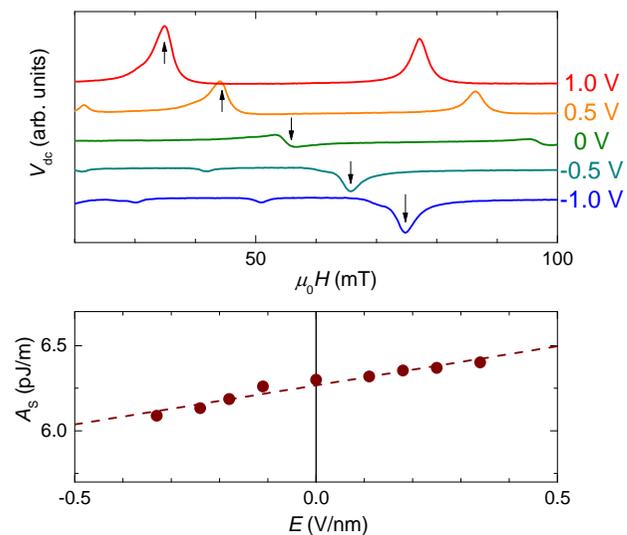


- 主要発表論文等:** [1] T. Dohi, S. Kanai, A. Okada, F. Matsukura, and H. Ohno, AIP Adv. **6**, 075017 (2016).
 [2] M. Shinozaki, E. Hirayama, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, Appl. Phys. Express **10**, 013001 (2016).
 [3] S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, AIP Adv. **7**, 055919 (2017).
 [4] A. Okada, S. He, B. Gu, S. Kanai, A. Soumyanarayanan, S. T. Lim, M. Tran, M. Mori, S. Maekawa, F. Matsukura, H. Ohno, and C. Panagopoulos, Proc. Natl. Acad. Sci. **114**, 3815-3820 (2017).
 [5] S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 0802A3 (2017).

研究プロジェクト名: 電界による磁性制御の新規ナノスピンス素子応用

概要: 高性能・超低消費電力不揮発性スピントロニクス素子の実現とその高性能化へ電界による磁性制御を応用する。既存のスピントロニクス技術と電界による磁性制御を融合した磁性制御手法のナノスピンス素子における応用の設計指針の検討・実証と、電界による磁性制御を用いた新規素子特性評価技術の実証を行う。

研究成果(実施状況): パルス電圧印加により誘起した磁化ダイナミクスを単一試行について評価し、電界誘起磁化反転中の熱擾乱と磁気異方性、ダンピング定数の関係を明らかにした。[1]
微細磁気トンネル接合へ高周波電圧を印加することにより磁気異方性を変調し、誘起したナノ磁性体内のスピンス波により、交換スチフネス結合の大きさと、その電界による変調効果を明らかにした。[2]



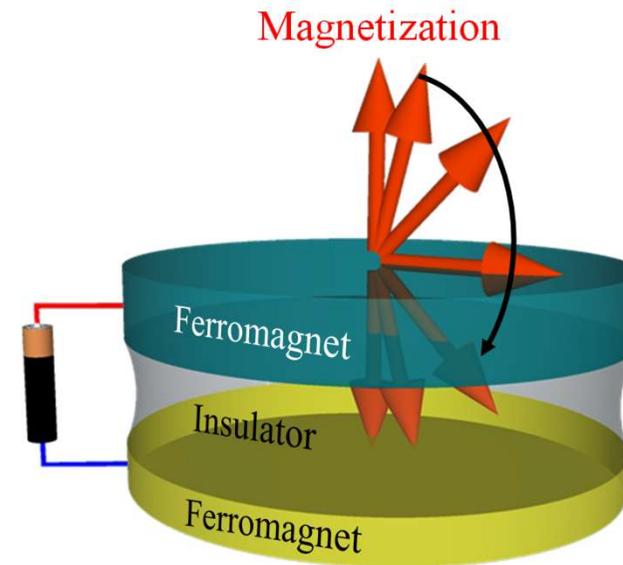
高周波電界により誘起されたスピンス波の印加直流電圧依存性(上)と、電界によるスチフネスの変調量(下)

主要発表論文等: [1] S. Kanai *et al.*, Jpn. J. of Appl. Phys., 58, 0802A3 (2017).
[2] T. Dohi *et al.*, Appl. Phys. Lett., 111, 027403 (2017).

研究プロジェクト名: 電界による磁性制御の新規ナノスピン素子応用

概要: 電界による磁性制御を低消費電力不揮発性記憶素子、量子スピン素子へ適用する。不揮発性素子の新規低消費電力制御技術の開発、高性能不揮発性素子の素子特性評価を通して応用上の設計指針の検討を行う。量子スピン素子への適用について検討し、新規量子スピン素子の制御手法を開発する。

研究成果(実施状況): 微細磁気トンネル接合に於いて、電界誘起磁化反転時の磁化ダイナミクスを透過電圧の実時間測定により明らかにし、見かけのダンピング定数を増大させる因子、及びエラーレートを決める因子を明らかにした。電界による磁性制御を用い、磁化容易方向が膜面垂直と膜面平行の中間となるcone状態を実現した[1]。極微細磁気トンネル接合中の磁性層の磁性の電界効果、電流によるスピン移行トルクの効果のアステロイド曲線(スイッチング磁場)へ与える影響を明らかにした[2]。



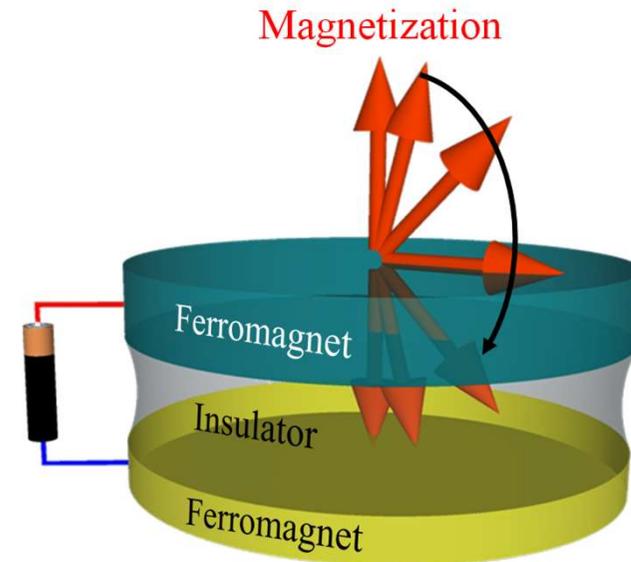
主要発表論文等: [1] A. Okada et al., Appl. Phys. Lett. 112, 172402 (2018).

[2] J. Igarashi, et al., 2019 Joint MMM-Intermag Conference, Washington, USA, 2019/01/14.

研究プロジェクト名: 電界による磁性制御のナノスピン素子応用

概要: 電界による磁性制御を低消費電力不揮発性記憶素子、量子スピン素子へ適用する。不揮発性素子の新規低消費電力制御技術の開発、高性能不揮発性素子の素子特性評価を通して応用上の設計指針の検討を行う。量子スピン素子への適用について検討し、新規量子スピン素子の制御手法を開発する。

研究成果(実施状況): 微細磁気トンネル接合に於いて、電界誘起磁化反転時の磁化ダイナミクスを透過電圧の実時間測定により明らかにし、見かけのダンピング定数を増大させる因子を明らかにした。[1]スピン移行トルクによる磁化反転時の磁化ダイナミクスを書き込みエラーレートから明らかにし、見かけのダンピング定数を増大させる因子と、エラーレートを明らかにした[1]。

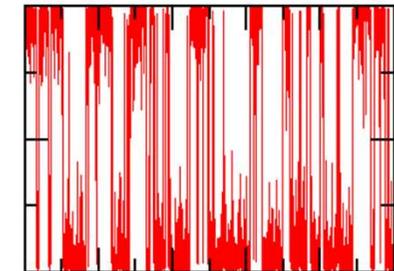
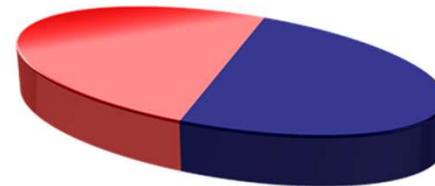
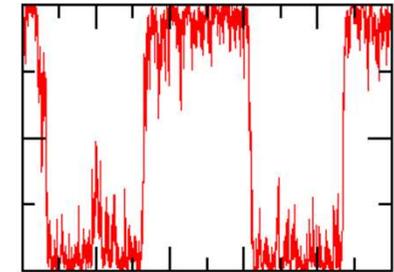
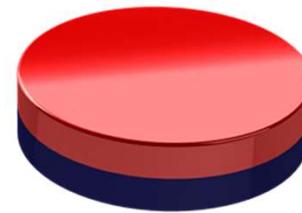


主要発表論文等: [1] S. Kanai *et al.*, SPINTECH X, Chicago, USA, 2019/06/24.
[2] T. Saino, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 142406 (2019).

研究プロジェクト名: 電界による磁性制御のナノスピン素子応用

概要: 固体中のスピン状態を電氣的に制御し、そのダイナミクスを調べる。例えば、多数回の試行に対する電氣的磁化反転の挙動(エラーレート/スピンエコー)を実験的に明らかにし、統計的シミュレーション手法の構築により解釈する。

研究成果(実施状況): 低熱安定性MTJにおいて、磁化反転の緩和時間をフォックプランク方程式に基づき、統計力学との対応付けながら計算し[1]、それに基づき世界最速の緩和時間を達成した[2]。母体材料中の核スピンの影響を加味した、色中心スピンの量子スピンコヒーレンスの時間発展を計算し[3]、期待される新たな量子スピン物理を示した[4]。SOT発振素子の発信特性をゲート電圧印加による磁気異方性変調を介して制御した[5]。加えて、SOT発振特性にゲート電圧掃引に履歴を持たせ、memorsterとして応用することに成功した[6]。



主要発表論文等:

- [1] S. Kanai, K. Hayakawa, H. Ohno, and S. Fukami, *Physical Review B* **103**, 094423 (2021).
- [2] K. Hayakawa, S. Kanai, T. Funatsu, J. Igarashi, B. Jinnai, W. A. Borders, H. Ohno, and S. Fukami, *Physical Review Letters* **126**, 117202 (2021).
- [3] S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, G. Galli, D. D. Awschalom, H. Ohno, arXiv:2102.02986 (2021).
- [4] G. Wolfowicz, F. J. Heremans, C. P. Anderson, S. Kanai, H. Seo, A. Gali, G. Galli, D. D. Awschalom, arXiv:2010.16395 (2020).
- [5] H. Fulara, M. Zahedinejad, R. Khymyn, M. Dvornik, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, and J. Akerman, *Nature Communications* **11**, 4006 (2020).
- [6] M. Zahedinejad, H. Fulara, R. Khymyn, A. Houshang, S. Fukami, S. Kanai, H. Ohno, J. Åkerman, arXiv:2009.06594 (2020).