

木村 崇

九州大学大学院理学研究院物理学部門
教授

電荷レス・スピン流の三次元注入技術を用いた超高速スピndeバイスの開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 木村グループ (九州大学)

① 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	木村 崇	九州大学	教授	H21.10～
	家形 諭	九州大学	特任助教	H22. 4～
	大西 紘平	九州大学	助教	H25. 9～

② 研究項目

- ・ 多端子スピン生成技術による三次元巨大スピン流の生成
- ・ 三次元巨大スピン流注入による厚膜磁性体の磁化反転の実証

(2) 能崎グループ (慶応義塾大学)

① 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	能崎 幸雄	慶応義塾大学	准教授	H21.10～

② 研究項目

- ・ 合成スピン流方向の高速変調技術の確立
- ・ スピントルクの最適化による低電力・高速磁化反転技術の開発

(3) 宮尾グループ (九州大学)

① 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	宮尾 正信	九州大学	特任教授	H21.10～
	浜屋 宏平	九州大学	准教授	H21.10～

② 研究項目

- ・ 高品質強磁性フルホイスラー合金の MBE 成長技術の確立
- ・ プレーナー素子構造用サブミクロン微細加工技術の確立

(4)伊藤グループ(関西大学)

①研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	伊藤 博介	関西大学	准教授	H21.10～

②研究項目

- ・ スピン注入磁化反転の計算機シミュレーション
- ・ ホイスラー合金等ハーフメタルの電子状態の計算機シミュレーション

§ 2. 研究実施の概要

本研究課題の最終目標である三次元電荷レス・スピン注入技術を用いた高性能極微細スピンデバイスの実現のためには、①多端子スピン流生成による三次元巨大スピン流注入技術、②スピン流高速方向制御による高性能磁化反転技術、③高スピン偏極材料による高効率スピン生成技術の3つの基盤技術を確立することが必要である。

これまでに、①に関しては、スピン生成源の4端子化を行い、消費電力の大幅低減と巨大純スピン流の生成を実証すると共に、反転層を厚膜化した際も、側面から効率的にスピン流が吸収されることを実験的に確認している。②に関しては、異方性磁気抵抗効果を用いた超高感度磁化ダイナミクス検出法による高感度な磁化ダイナミクス変調過程の検出に成功している。③に関しては、ホイスラー合金薄膜の高品質化に成功し、更に、純スピン流生成源として、それらをデバイス化し、純スピン流の生成効率の一桁向上を達成している。

本年度は、①と③を融合して、ホイスラー合金スピン生成源の多端子化を行い、4つの生成端子を有する純スピン流素子を試作した(図1)。ホイスラー合金生成源においても、従来のパーマロイ電極と同じ、駆動電力の低減効果、生成スピン流の巨大化を確認することができた。更に、前年度に開発したナノプラー構造を基本にした横型スピンバルブ素子においても、生成源を高スピン偏極材料で構成し、純スピン流生成効率の巨大化を実現した。

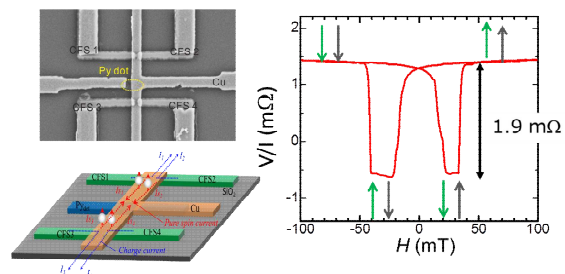


図1. 4端子の Co_2FeSi 生成源を有する横型スピンバルブ素子とスピン信号の測定結果

②に関しては、前年度に開発したスピン流注入下のナノ磁性体ダイナミクスの検出技術を用いて、純スピン流注入により強磁性体ナノドットのダンピング定数がどの程度変調されるかを定量的に調べた。その結果、ダンピング定数の変調に伴うスペクトルの変化が観測され、純スピン流注入により発生したスピントルクを定量的に算出することに成功した。

③に関しては、高品質薄膜成長技術の更なる高度化を目指して、生成端子と検出端子が異なる単結晶ホイスラー合金で構成された横型スピンバルブ素子の作製技術を確立した。これまで同様、 $\text{Si}(111)$ テンプレート上に、 Fe_3Si と Co_2FeSi の二層膜を作製し、それらを加工することで、生成源が Co_2FeSi を用いて、検出層が Fe_3Si で構成される横型スピンバルブを試作した。その結果、これまでのホイスラー合金デバイスと同様、極めて大きなスピン信号の検出に成功した。 Fe_3Si は、磁氣的に極めてソフトな磁性薄膜であり、飽和磁化も小さく、ダンピング定数も小さい為、反転に必要なスピン流が低減することが期待できる。

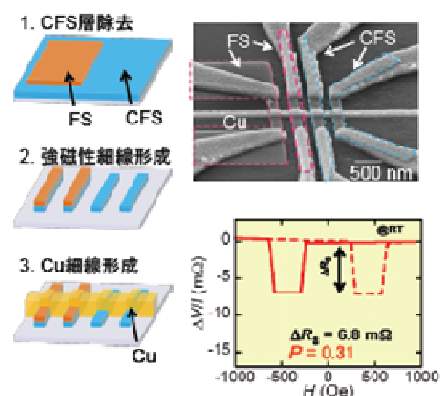


図2. Co_2FeSi と Fe_3Si 単結晶電極で構成された横型スピンバルブ素子とスピン信号の測定結果

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国内)

1 本多周太, 伊藤博介, “純スピン流注入磁化反転に対するスピン偏極方向の影響”, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 37, No. 5, pp. 338-341, 2013. (DOI: 10.3379/msjmag.1308R001)

論文詳細情報(国際)

1 S. Yakata, T. Tanaka, K. Kiseki, K. Matsuyama and T. Kimura: "Wide range tuning of resonant frequency for a vortex core in a regular triangle magnet." *Scientific Reports* 3, 3567 (2013). doi:10.1038/srep03567

2 S. R. Bakaul, S. Hu and T. Kimura: "Thermal gradient driven enhancement of pure spin current at room temperature in nonlocal spin transport devices." *Phys. Rev. B* 88, 184407 (2013). <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.88.184407>

3 C. Mu, S. Hu, J. Wang and T. Kimura: "Thermo-electric effect in a nano-sized crossed Permalloy/Cu junction under high bias current." *Appl. Phys. Lett.* 103, 132408 (2013). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4822330>

4 T. Matsunaga, K. Furukawa, Y. Kanda, M. Hara, T. Nomura and T. Kimura: "Detection of edge magnetic state by a ballistic bend resistance measurement." *Appl. Phys. Lett.* 102, 252405 (2013). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4812729>

5 S. Oki, S. Yamada, K. Tanikawa, K. Yamasaki, M. Miyao, K. Hamaya, "Lateral spin valves with two-different Heusler-alloy electrodes on the same platform", *Applied Physics Letters*, Vol.103, 212402-1-3, (Nov. 2013). DOI : <http://dx.doi.org/10.1063/1.4832480>

6 K. Tanikawa, S. Oki, S. Yamada, K. Mibu, M. Miyao, and K. Hamaya, "Effect of Co-Fe substitutions on the room-temperature spin polarization in $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ Heusler-compound films", *Physical Review B*, Vol.88, 014402-1-5, (July 2013). DOI : 10.1103/PhysRevB.88.014402

7 N. Ishida, Y. Soeno, K. Sekiguchi, and Y. Nozaki, "Frequency dependence of critical switching asteroid of CoCrPt-SiO_2 granular film under 50-ns microwave

impulse", J. Appl. Phys., vol. 114, 043915 (5 pages), 2013. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4816778>)

8 K. Hosono, J. Shibata, H. Kohno, and Y. Nozaki, "Spin torques due to diffusive spin current in magnetic texture", Phys. Rev. B, vol. 87, 094404 (8 pages), 2013. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.87.094404>)

9 T. Tanaka, Y. Otsuka , Y. Furomoto , K. Matsuyama, and Y. Nozaki, "Selective Magnetization Switching with Microwave Assistance for Three-Dimensional Magnetic Recording", J. Appl. Phys., vol. 113, 143908 (6 pages), 2013. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4801888>)

(3-2) 知財出願

- ① 平成25年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 4 件)