

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2011～2015

課題番号：23226001

研究課題名(和文)高周波スピントロニクスの研究

研究課題名(英文)Research on the high frequency spintronics

研究代表者

鈴木 義茂 (SUZUKI, Yoshishige)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：50344437

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 165,700,000円

研究成果の概要(和文)：スピントロニクスの新原理に基づく高周波用の新素子を研究・開発した。その結果、100nm程度というナノサイズの磁石に通電することにより100 GHzに至る高周波発振出力や多数の素子の同期現象による100  $\mu$ Wにいたる高出力が得られることを明らかにした。さらに、位相同期帰還回路(PLL)に本素子を組み込むことにより発振の線幅を測定限界以下とすることに成功した。また、この発振素子が高感度磁場センサーや磁気共鳴センサーとなること、高周波の検波素子として用いると半導体の約3倍の検出感度を得られることを示した。今後、本素子の高周波応用が進むものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Based on new concepts in “Spintronics,” new magnetic devices for RF applications have been developed. As a result, it is clarified that a current injection to an about 100 nm size magnet results in an RF auto-oscillation up to 100 GHz, and electric connection among them causes synchronization and a high RF output like 100 micro-watt. In addition, we successfully applied an STO for a phase-locked-loop (PLL) and obtained an undetectably narrow linewidth of auto-oscillation. It has been also shown that the device can be a highly sensitive magnetic field and magnetic resonance sensor. The device also shows RF rectification functions with three times better sensitivity as compared to semiconductor diode detectors. The devices are expected to find practical applications in high frequency electronics.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピントロニクス 磁気共鳴 ダイオード スピントルク 磁気異方性

## 様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「スピントロニクス」という新しい科学技術分野に興味が集まっている。一つの理由は、電子が持つスピンの自由度を利用することにより C-MOS 技術が直面している困難を解決できるとの期待からである。もうひとつの理由は、科学の種々の分野で電子スピンの物理が重要な研究課題となっているからである。

さて、スピントロニクスの分野における中心的な素子は巨大磁気抵抗素子、および、トンネル磁気抵抗素子である。これらの素子は磁気ハードディスクの読み出しセンサーや固体磁気 RAM(M-RAM)の磁気セルとして既に実用化されている。しかし、総じてその応用範囲はスピンの関わる科学全体からみれば狭い範囲に限られていた。

### 2. 研究の目的

磁化が磁場や交換相互作用のもとで示す GHz から THz にいたる歳差運動をスピン流の注入によって励起することを原理とする「高周波スピントロニクス」の学理を確立する。このことにより、高性能トンネル磁気抵抗素子をベースとして高出力、high-Q あるいは超 100 GHz の発振器、半導体を凌駕する感度をもつ検波器、50 nm というナノサイズで 10 nT という磁場感度を室温で示し単一の超常磁性微粒子が作るダイポール磁場を検出できる磁気センサーを実現する。さらには、シングルスピンの作るダイポール磁場の検出(1 nT)をも目指す。この研究の成果は、磁気記録の限界を打破するのみでなく化学、生物物理、医療、創薬などの他分野に波及するものと期待される。

### 3. 研究の方法

本研究は大きく 3 つのテーマに分かれる。1 つめは高性能スピントルク発振器(STO)の研究であり、2 つめはスピントルク発振器をベースとした超高感度磁場センサーの研究である。そして、最後のテーマは、超高感度スピントルクダイオードの研究である。これらの研究では低抵抗で高磁気抵抗比を示す磁気抵抗膜、高精度微細加工技術の開発、さらに異方性の制御された高品質薄膜の作製が共通の基盤技術となる。発振の高純度化、センサーの高感度化のために発振波形の実時間測定による位相ゆらぎの原因の特定と制御を行う。ダイオードに関してはノイズの発生機構の特定とその制御を行う。さらに、微小コンタクトダイオードの作製を行い少数または単一の磁性微粒子やラジカル分子のスピン流による磁気共鳴測定とそのコヒーレントな制御を試みる。

### 4. 研究成果

#### (1)高性能スピントルク発振器(STO)の研究

4 つのボルテックス型 STO 素子の相互位相同期発振と出力の増大を世界で初めて実証し、電気的接続により目標値である 100 マイクロワットを超える出力を実現できる技術を得た。ソンプレロ型という新しい構造の STO を提案し、単一素子では最も高い発振出力(3  $\mu$ W)と高い Q 値(4,000)を兼ね備えた素子を実現した。

外部 PLL 回路を用いた位相同期を実現し線幅を測定限界以下に抑え、ジッターを 9ps にまで低減することに成功した。

ソンプレロ型 STO において所有している測定器の限界である 66 GHz までの発振高調波を実測した。シミュレーションとの比較から、実験で見られた素子では目標値である 100 GHz を超える 130 GHz の 10 次高調波が測定

可能な強度で発生していることを確認した。

面直磁化自由層・面内磁化参照層を持つ STO について理論計算を行い、自由層が 2 次の磁気異方性を持つ場合にはゼロ磁界でのスピントルク発振が可能であることを示した。

#### (2) 超高感度磁場センサーの研究

STO を磁場センサーとして用いる実験を行った。その結果、100 nm  $\times$  150 nm の素子において位相検出を行うことにより 185 nT/ Hz という感度を得た。感度は素子体積の平方根に反比例することから、これは、1 mm の素子に換算すると約 20 pT/ Hz に対応する超高感度である。磁気抵抗検出型、STO 発振強度検出型、STO 位相変化検出型の比較により、STO の位相変化検出型が最も高感度であるという理論と一致した実験結果を得た。さらに、STO を用いた強磁性-常磁性二重共鳴の計算機シミュレーションによる研究を行い、常磁性スピンの検出には STO を用いた二重共鳴検出が有力であることを見出した。

(3) 超高感度スピントルクダイオードの研究：磁気異方性の制御された FeB を用いてトンネル接合素子を作製することにより、超高感度スピントルクダイオードを実現した。その検波感度は 12,000 V/W であり、半導体の約 3 倍である。詳細なノイズの解析から、スピントルクダイオードでは熱による磁化の揺らぎによるノイズが、素子において非線形に絡み合っている生じるノイズ(非線形マグノイズと命名)が支配的であることを見出した。このノイズを考慮した結果、スピントルクダイオードは信号雑音比においても半導体ダイオードを凌駕することを見出した。

超常磁性微粒子のスピントルクダイオード効果を測定し、粒子が小さくなるほど信号が大きくなることを見出した。Fe ナノ粒子の磁気共鳴検出をホール素子構造で行った結果、異常ホール効果を用いたスピントルクダイオード効果は、異方性磁気抵抗効果および積層構造のスピントルクダイオード効果よりも高感度にナノ粒子の磁気共鳴を検出できることを見出した。

分子系においてはモデル材料であるグラフェンに強磁性共鳴を用いてスピン流を注入した。その結果、イオンゲートと組み合わせることでグラフェンのフェルミ準位と、スピンホール角の関係を明らかにした。

### 5. 主な発表論文等

[学術論文](計 4 2 件) 全て査読有り

1. Hiroko Arai, Rie Matsumoto, Shinji Yuasa, and Hiroshi Imamura, "Spin-torque-induced oscillation at zero bias field in a magnetoresistive nanopillar with a free layer with first- and second-order uniaxial anisotropy", *Applied Physics Express*, 8, 083005-1, -4, (2016) 10.7567/APEX.8.083005
2. Shingo Tamaru, Hitoshi Kubota, Kay Yakushiji, Akio Fukushima, and Shinji Yuasa, "Analysis of phase noise in a spin torque oscillator stabilized by h phase locked loop", *Applied Physics Express*, 9, 053005 (2016), <http://dx.doi.org/10.7567/APEX.9.053005>
3. K. Nawaoka, S. Miwa, Y. Shiota, N. Mizuochi, Y. Suzuki, "Voltage induction of interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in Au/Fe/MgO

- artificial multilayer", *Appl. Phys. Express*, 8, 063004 (2015) 10.1063/1.4929682
4. S. Hatanaka, S. Miwa, K. Matsuda, K. Nawaoka, K. Tanaka, H. Morishita, M. Goto, N. Mizuochi, T. Shinjo, Y. Suzuki, "Tunnel anisotropic magnetoresistance in CoFeB/MgO/Ta junctions", *Appl. Phys. Lett.*, 107, 082407 (2015) 10.1063/1.4929682
  5. Shingo Tamaru, Hitoshi Kubota, Kay Yakushiji, Shinji Yuasa, and Akio Fukushima, "Extremely Coherent Microwave Emission from Spin Torque Oscillator Stabilized by Phase Locked Loop", *Scientific Reports*, 5, 18134-1, -6 (2015) 10.1038/srep18134
  6. Hiroko Arai and Hiroshi Imamura, "Analytical expression for critical frequency of microwave assisted magnetization switching", *Japanese Journal of Applied Physics*, 55, 028002-1, -3 (2015) 10.7567/JJAP.55.028002
  7. Hiroko Arai, Rie Matsumoto, Shinji Yuasa, and Hiroshi Imamura, "Critical damping constant of a spin torque oscillator with a perpendicularly magnetized free layer and an in-plane magnetized reference layer", *Physical Review B*, 92, 220403-1, -4, (2015) 10.1103/PhysRevB.92.220403
  8. T. Taniguchi, Sumito Tsunegi, Hitoshi Kubota and Hiroshi Imamura, "Large amplitude oscillation of magnetization in spin-torque oscillator stabilized by field-like torque", *J. Appl. Phys.* 7C504 (2015). 10.1063/1.4907696
  9. S. Miwa, S. Ishibashi, H. Tomita, T. Nozaki, E. Tamura, K. Ando, N. Mizuochi, T. Saruya, H. Kubota, K. Yakushiji, T. Taniguchi, H. Imamura, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki\*, "Highly sensitive nanoscale spin-torque diode", *Nature Materials*, 13,50-56 (2014), 10.1038/NMAT3778
  10. H. Maehara, H. Kubota, *et al.*, "High Q factor over 3000 due to out-of-plane precession in nano-contact spin-torque oscillator based on magnetic tunnel junctions", *Appl. Phys. Exp.*, 7,023003 (2014), 10.7567/APEX.7.023003
  11. K. Nawaoka, Y. Shiota, S. Miwa, E. Tamura, N. Mizuochi, T. Shinjo, Y. Suzuki, "Voltage modulation of propagating spin waves in Fe", *J. Appl. Phys.*, 117, 17A905(2015), 10.1063/1.4914060
  12. R. Ohshima, A. Sakai, Y. Ando, T. Shinjo, K. Kawahara, H. Ago and M. Shiraishi, "Observation of spin-charge conversion in CVD grown single-layer graphene", *Appl. Phys. Lett.* 105, 162410 (2014). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4893574>
  13. S. Tsunegi, T. Taniguchi, H. Kubota, H. Imamura, S. Tamaru, M. Konoto, K. Yakushiji, A. Fukushima, and S. Yuasa, "Discontinuous frequency drop in spin torque oscillator with a perpendicularly magnetized FeB free layer", *Japanese Journal of Applied Physics* 53, 060307 (2014), <http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.53.060307>
  14. S. Tsunegi, H. Kubota, K. Yakushiji, M. Konoto, S. Tamaru, A. Fukushima, H. Arai, H. Imamura, E. Grimaldi, R. Lebrun, J. Grollier, V. Cros, and S. Yuasa, "High emission power and Q factor in spin torque vortex oscillator consisting of FeB free layer", *Applied Physics Express* 7, 063009 (2014), <http://dx.doi.org/10.7567/APEX.7.063009>
  15. T. Taniguchi, S. Tsunegi, H. Kubota, and H. Imamura, "Self-oscillation in spin torque oscillator stabilized by field-like torque", *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 104, 152411-1, -5, (2014), <http://dx.doi.org/10.1063/1.4871699>
  16. H. Tsukahara and H. Imamura, "Rotational motion of a magnetic vortex in a circular disk induced by injection of an electric current", *PHYSICAL REVIEW B*, 90, 214437-1, -5 (2014), <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.214437>
  17. H. Arai, H. Imamura, and T. Nozaki, "Macrospin simulation of high-frequency voltage-assisted magnetization reversal in a perpendicularly", *Applied Physics Express*, 7, 93005-1, 093005-4 (2014), <http://dx.doi.org/10.7567/APEX.7.093005>
  18. A. S. Jenkins, E. Grimaldi, P. Bortolotti, R. Lebrun, H. Kubota, K. Yakushiji, A. Fukushima, G. de Loubens, O. Klein, S. Yuasa, and V. Cros, "Controlling the chirality and polarity of vortices in magnetic tunnel junctions", *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 105, 172403-1, -5 (2014), <http://dx.doi.org/10.1063/1.4900743>
  19. A. Dussaux, E. Grimaldi, B. Rache Salles, A. S. Jenkins, A. V. Khvalkovskiy, P. Bortolotti, J. Grollier, H. Kubota, A. Fukushima, K. Yakushiji, S. Yuasa, V. Cros, A. Fert, "Large amplitude spin torque vortex oscillations at zero external field using a perpendicular spin polarizer", *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 105, 022404-1, -4 (2014), <http://dx.doi.org/10.1063/1.4885537>
  20. H. Maehara, H. Kubota, *et al.*, "Large Emission Power over 2  $\mu$ W with High Q Factor Obtained from Nanocontact Magnetic-Tunnel-Junction-Based Spin Torque Oscillator", *Appl. Phys. Exp.*, 6, 113005 (2013). 10.7567/APEX.6.113005
  21. S. Miwa, Y. Fujii, H. Kubota, Y. Suzuki, *et al.*, "Nonlinear thermal effect on sub-gigahertz ferromagnetic resonance in magnetic tunnel junction", *Appl. Phys. Lett.* 103, 042404 (2013)
  22. Z. Tang, M. Shiraishi, *et al.*, "Dynamically-generated pure spin current in graphene", *Phys. Rev. B* 87, 140401(R) (2013) [Editor's Suggestion]. 10.1063/1.4816357
  23. E. Shikoh, M. Shiraishi\*, *et al.*, "Spin-pumping-induced spin transport in p-type Si at room temperature", *Phys. Rev. Lett.* 110, 127201 (2013) [Editor's Suggestion & Spotlighting Exceptional Research]. 10.1103/PhysRevLett.110.127201
  24. S. Miwa, Y. Suzuki, *et al.*, "Enhancement of Spin Diode Signals from Fe Nanoparticles in MgO-Based

Magnetic Tunnel Junctions”, Appl. Phys. Express 5, 123001 (2012), 10.1143/APEX.5.123001  
25. H. Arai, H. Imamura, *et al.*, “Spin-wave excitations induced by spin current through a magnetic point contact with a confined domain wall” Applied Physics Letters 101, 092405 (2012). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4745777>

他

〔学会発表〕(計 90 件)うち招待講演 19 件

#### 招待講演

1. S. Miwa, S. Ishibashi, H. Tomita, T. Nozaki, E. Tamura, N. Mizuochi, T. Saruya, H. Kubota, K. Yakushiji, T. Taniguchi, H. Imamura, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “High diode sensitivity due to nonlinear spin dynamics in magnetic tunnel junction”, IUMRS-ICA 2013, Indian Institute of Science Bangalore, India, 2013/12/17
2. S. Miwa, S. Ishibashi, H. Tomita, T. Nozaki, E. Tamura, N. Mizuochi, T. Saruya, H. Kubota, K. Yakushiji, T. Taniguchi, H. Imamura, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “High RF detection sensitivity in MgO-based spin torque diode”, The 18th Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-18), Osaka University, Japan, 2013/12/10
3. 三輪真嗣, 石橋翔太, 富田博之, 野崎隆行, 田村英一, 猿谷武史, 久保田均, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, 鈴木義茂, “スピントロニクスデバイスの高性能化・多機能化への道”, 第 74 回応用物理学学会学術講演会, 同志社大学, 京都府・京田辺市, 2013/9/18
4. 久保田均, 前原大樹, 薬師寺啓, 甲野藤真, 田丸慎吾, 松本利映, 野崎隆行, 三輪真嗣, 谷口知大, 荒井礼子, 今村裕志, 福島章雄, 湯浅新治, 鈴木義茂, “MgO-MTJ をベースとするスピントルク発振素子の開発”, 応用物理学学会 2013 年春季講演会, 神奈川県工科大学, 神奈川県・厚木市, 2013/3/29
5. H. Kubota, H. Maehara, S. Ishibashi, S. Miwa, T. Nozaki, T. Saruya, T. Seki, K. Yakushiji, A. Fukushima, T. Taniguchi, H. Arai, H. Imamura, K. Ando, S. Yuasa, Y. Suzuki, “Microwave signal generation and detection using MgO-based magnetic tunnel junctions”, UMRS-ICA2012, BEXCO, Busan (South Korea), 2012/8/29
6. 三輪真嗣, 富田博之, 石橋翔太, 田村英一, 野崎隆行, 水落憲和, 猿谷武史, 久保田均, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, 鈴木義茂, “高感度スピントルクダイオード”, 電気学会マグネティックス研究会オンチップRF調査専門委員会 第7回委員会, 日本交通協会, 東京都・千代田区, 2012/7/17
7. H. Maehara, H. Kubota, K. Nishimura, H. Tomita, Y. Nagamine, K. Tsunekawa, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “Spin torque oscillators using high quality MgO-based magnetic tunnel junctions”, The 7th Taiwan International Conference on

Spintronics, Lakeside Resort, Puli, Taiwan, 2011/12/3

8. H. Arai, H. Tsukahara, H. Imamura\*, “Milliwave oscillation induced by spin current through a magnetic point contact with a confined domain wall” The 16th Joint Interlaboratory Workshop on Nano-Magnetics(JIWON), Jeju, Korea (2012/9/19)
9. H. Tomita, H. Kubota, S. Miwa, A. Fukushima, S. Tsunegi, S. Tamaru, S. Yuasa, Y. Suzuki, “Spin-torque oscillator and magnetic field sensor”, ICAUMS 2014, 4. Microwave Materials and Devices, Haikou, CHINA, 2014/10/29
10. Y. Suzuki, “Control of magnetization using current and voltage”, INEC2014, Hokkaido Univ., Japan, 2014/7/30
11. Y. Suzuki, “ナノサイズ強磁性体の電流と電圧による磁化制御 Current and Voltage Control of a magnetization in nano magnets”, ナノ学会, 京都大学宇治キャンパス, (京都府・宇治市), 2014/5/22
12. S. Miwa, S. Ishibashi, H. Tomita, T. Nozaki, Y. Shiota, E. Tamura, N. Mizuochi, T. Saruya, H. Kubota, K. Yakushiji, T. Taniguchi, H. Imamura, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “Highly sensitive nanoscale spin-torque diode”, INTERMAG Europe 2014, Dresden, Germany, 2014/5/6
13. Y. Shiokawa, Yusuke Toda, Keiya Sakamoto, Muftah Al-Mahadawi, Masashi Sahashi, “High Emission Power vortex oscillation with Nano-Contact Magneto-resistive Nano-Pillar Device”, 2014 IEEE ICMM, Tohoku Univ. JAPAN, 2014/06/30
14. 久保田均, “スピントルク高周波発振素子”, 応用電子物性分科会/スピントロニクス研究会 共催研究会, 首都大学東京, 東京都・千代田区, 2014/11/25
15. H. Kubota, K. Yakushiji, *et al.*, “High-Power Spin torque oscillators”, ICAUMS 2014, Haikou, China, 2014/10/30
16. H. Kubota, K. Yakushiji, *et al.*, “Nanoscale microwave generator using a magnetic tunnel junction”, 6th International Nanoelectronics Conference 2014(INEC), Hokkaido Univ., Japan, 2014/7/30
17. Y. Suzuki, “Towards voltage driven MRAM-- Targets and hurdles --”, The 1st ImPACT International Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage, Plaza Heisei, Tokyo, JAPAN, 2015/6/21

他

#### 国際会議

1. T. Taniguchi, H. Arai, H. Kubota, H. Imamura, “Theoretical study of spin-torque oscillator with perpendicularly magnetized free layer” International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA 2013), Taichung, Taiwan (2013/07/23)

2. S. Miwa, S.-Y. Park, S.-I. Kim, Y. Jo, Y. Shiota, K. Nawaoka, N. Mizuochi, T. Shinjo, Y. Suzuki "Enhancement of spin diode signals from Fe nanoparticles in Fe/MgO/Fe magnetic tunnel junctions", The 8th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2013), Kyoto Japan, 2013/5/23
3. S. Miwa, "RF detection sensitivity and signal-to-noise ratio in MgO-based spin-torque diode", the 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Fudan University, Shanghai, China, 2012/9/24
4. H. Imamura, H. Arai, J. Sato, "Theoretical study of current induced microwave oscillation in a nano-contact spin-valve" IEEE International Magnetism Conference (Intermag 2011), Taipei, Taiwan, 2011/4/28
5. H. Tomita, H. Kubota, S. Miwa, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, "Highly sensitive magnetic field sensor using spin-torque oscillators.", 59th Annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2014), Honolulu, USA, 2014/11/5
6. Sumito Tsunegi, H. Kubota, K. Yakushiji, et al., "High emission power and narrow linewidth vortex oscillation in a MgO capped FeB free layer with the help of injection locking" IEEE International Magnetism Conference, INTERMAG Europe 2014, which will be held in Dresden, Germany, 2014/5/6
7. T. Taniguchi, S. Tsunegi, H. Kubota, H. Imamura, "Large amplitude oscillation of magnetization in spin-torque oscillator stabilized by field-like torque.", 59th Annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2014), Honolulu, USA, 2014/11/4
8. Y. Suzuki, A. Tulapurkar, H. Tomita, E. Tamura, H. Kubota, S. Miwa, A. Fukushima, S. Yuasa, "Theoretical Sensitivity in Magnetic Field Sensors using a Spin-torque Oscillator", SSDM2015 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sapporo Convention Center, Japan, 2015/9/29
9. R. Arai, "zero-field spin-torque-induced oscillation of a perpendicularly magnetized free layer having first- and second- order uniaxial anisotropy", 2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA, 2016/1/11
10. S. Tamaru, H. Kubota, K. Yakushiji, A. Fukushima, S. Yuasa, "Generation of highly stable microwave from a spin torque oscillator by phase locked loop", Solid State Devices and Materials (SSDM) 2015, Sapporo Convention Center, Japan, 2015/9/29

他

#### 学会等

1. 三輪真嗣, 石橋翔太, 富田博之, 安東健, 水落憲和, 猿谷武史, 関貴之, 野崎隆行, 久保田均, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, 鈴木義茂, "FeB フリー層を

- 有する磁気トンネル接合素子の巨大な RF 検出感度" 日本物理学会第 67 回年次大会, 関西学院大学, 兵庫県・西宮市, 2012/3/27
2. 富田博之, 久保田均, 三輪真嗣, 福島章雄, 湯浅新治, 鈴木義茂, "Detection of paramagnetic particle using spin-torque oscillator", 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道・札幌市, 2014/9/17
  3. 三輪真嗣, 松田健彰, 縄岡孝平, 水落憲和, 新庄輝也, 鈴木義茂, "Spin-torque-induced magnetic resonance in Fe nanoparticles", 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道・札幌市, 2014/9/17
  4. 久保田均, 田丸慎吾, 福島章雄, "ナノ磁石によるマイクロ波発振器", Nanotech 2015, 東京ビッグサイト, 東京都・江東区, 2015/1/28-30
  5. 常木澄人, 久保田均, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, "Electrically mutual synchronization in vortex-type spin torque oscillators", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 東京都・目黒区, 2016/3/21
  6. 荒井 礼子, "面直自由層を持つスピントルク発振器における 二次の異方性の効果", 日本物理学会 2015 秋季大会, 関西大学, 大阪府・吹田市, 2015/9/18

他

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願 (計 1 件)

名称: 高周波位相同期発振回路

発明者: 福島 章雄、田丸 慎吾、久保田 均、湯浅 新治

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2015-093384

出願年月日: 平成 27 年 4 月 30 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

受賞等

1. 日本磁気学会 2014 業績賞, 鈴木義茂,
2. 応用物理学会第 7 回 (2013 年度) フェロー表彰, 鈴木義茂,
3. 平成 25 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門), 鈴木義茂,
4. 日本磁気学会 2011 優秀研究賞, 鈴木義茂,
5. 2014 マツダ研究助成選考委員奨励賞, 三輪真嗣
6. 第 3 1 回井上研究奨励賞, 三輪真嗣
7. 2015 船井研究奨励賞, 三輪真嗣

ホームページ等

<http://www.suzukiylab.>

[mp.es.osaka-u.ac.jp/kiban\\_s/index.html](http://mp.es.osaka-u.ac.jp/kiban_s/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木義茂 (SUZUKI, Yoshishige)  
大阪大学・基礎工学研究科・教授  
研究者番号：50344437

(2)研究分担者

白石誠司 (SHIRAISHI, Masashi)  
京都大学・工学研究科・教授  
研究者番号：30397682

久保田均 (KUBOTA, Hitoshi)  
独立行政法人産業技術総合研究所・ナノスピントロニクス研究センター・研究チーム長  
研究者番号：30261605

今村裕志 (IMAMURA, Hiroshi)  
独立行政法人産業技術総合研究所・ナノスピントロニクス研究センター・研究チーム長  
研究者番号：30323091

水落憲和 (MIZUOCHI, Norikazu)  
京都大学・化学研究所・教授  
研究者番号：00323311

三輪真嗣 (MIWA, Shinji)  
大阪大学・基礎工学研究科・准教授  
研究者番号：20609698

(3)連携研究者

福島章雄 (FUKUSHIMA, Akio)  
独立行政法人産業技術総合研究所・ナノスピントロニクス研究センター・副研究センター長  
研究者番号：60357887

薬師寺啓 (YAKUSHIJI, Kei)  
独立行政法人産業技術総合研究所・ナノスピントロニクス研究センター・主任研究員  
研究者番号：10361172

前原大樹 (MAEHARA, Hiroki)  
独立行政法人産業技術総合研究所・ナノスピントロニクス研究センター・研究員  
研究者番号：30530828