

スピン注入トルクを用いた超高速非線形素子の開発 (051407005)

“Research on the ultra-high speed non-linear devices using spin-injection torque”

研究代表者

鈴木義茂 大阪大学大学院基礎工学研究科

Yoshishige SUZUKI, Osaka University, Graduate school of Engineering Science

研究分担者

中谷亮一[†], 前原大樹^{††}

Ryoichi NAKATANI[†], Hiroki MAEHARA^{††}

[†]大阪大学大学院工学研究科 ^{††}キヤノンアネルバ

[†]Osaka University, Graduate school of Engineering, ^{††}Canon ANELVA Coop.

研究期間 平成 17 年度～平成 21 年度

概要

強磁性体ナノ接合にスピン流を注入し、局在スピンの非線形運動を誘起する。このことを利用して、マイクロ波の発生、整流、逡倍、検波、変調、増幅、スイッチングを行う素子を研究・開発する。これらの素子は、金属から形成されるため 200nm 以下と小型に出来ること、強磁性体を用いるため機能を不揮発にプログラムできる点などに特徴がある。この研究により、待機電力を要しない超高集積度フィールドプログラマブル・モノシリックマイクロ波 IC (FP-MMIC) 技術の基礎が形成される。

Abstract

By injecting spin-current into the ferromagnetic nano-junctions, we try to excite non-linear dynamic motion of the localized spins. Using the dynamic properly, the functional devices such as micro-wave frequency oscillator, rectifier, frequency synthesizer, mixer, amplifier, high-speed switch will be investigated and developed. Those devices will be very small (below 200nm), non-volatile, and programmable, since it uses ferromagnetic metals. By this investigation, a bases of the field programmable monolithic micro-wave IC's will be developed.

1. まえがき

トンネル磁気抵抗素子技術に代表されるスピントロニクス技術を高周波技術に応用することにより 200nm 以下と非常に小型で、種々の下地上に安価に形成でき、不揮発にプログラム可能な高周波素子を実現することを目的として研究を行った。

2. 研究内容及び成果

図 1 および図 2 に本研究で開発した代表的な素子の模式図などを示した。本研究では、CoFeB/MgO/CoFeB トンネル磁気抵抗膜を 100nm 程度の大きさのピラー状に加工することにより、トンネル磁気抵抗素子を得た。そして、この素子に、電流を注入することにより、磁化の歳差運動を誘起する。この磁化の歳差運動と大きなトンネル磁気抵抗効果を組み合わせることにより、原理的に、マイクロ波の発

生、整流、逡倍、検波、変調、増幅、スイッチングなどの機能を得ることが出来ることを実証した。

次に、非常に低抵抗であり、かつ、バイアス電圧下でのトンネル磁気抵抗比が大きな CoFeB/MgO/CoFeB 強磁性トンネル接合膜の作製プロセスの研究を行った。その結果、Si テクノロジーに適合したプロセスによって、上記の特性を持ち、さらに、高耐電圧であり素子とマイクロ波の伝送路とのインピーダンス整合を可能にする接合膜の作製

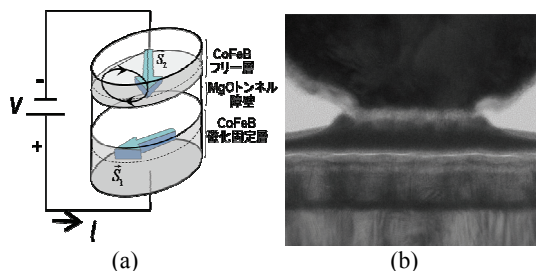
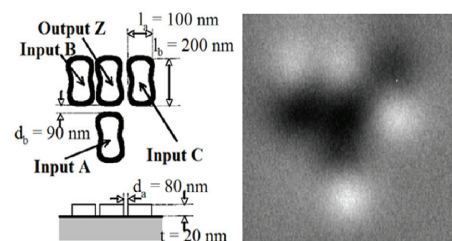


図 1. 高周波用 CoFeB / MgO / CoFeB トンネル接合ナノピラーの (a) 模式図と (b) 断面 TEM 像。直径は 100nm 程度。



演算素子の設計

演算素子のMFM像

図 2. 微小磁性パッド演算素子の構造。

プロセスを得た。そして、このプロセスを用いることにより、先に実証した機能について、その性能を飛躍的に向上させることに成功した(表 1 参照)。

また、これと並行して微小な磁性パッドを用いた超小型不揮発性演算素子の研究開発を行った(図 2)。この素子に対して、本プロジェクトで開発した磁場スイープ磁気力顕微鏡を用いることにより、情報の読み書きを行い、この素子が全ての基本論理演算機能を持つことを実証した。この素子は集積可能なスピントロニクス不揮発論理素子の初

めての例となる。

3. むすび

以上、本プロジェクトで開発したマイクロ波素子および不揮発論理素子を集積化した模式図を図3に示した。これらの素子は、集積回路の配線レーヤー上にも容易に作成することが可能である。さらに、有機トランジスタなどの熱に弱い素子上にも集積化が可能であると考えられる。さらに、強磁性体からできているために不揮発である。

以上、本プロジェクトではスピン注入型の素子を用いて高集積度フィールドプログラマブル・モノシリックマイクロ波 IC (FP-MMIC)を実現するための素子機能の実証と大幅な改善さらに、これらの素子を種々の下地上に安価に生産する基本プロセスの開発に成功した。

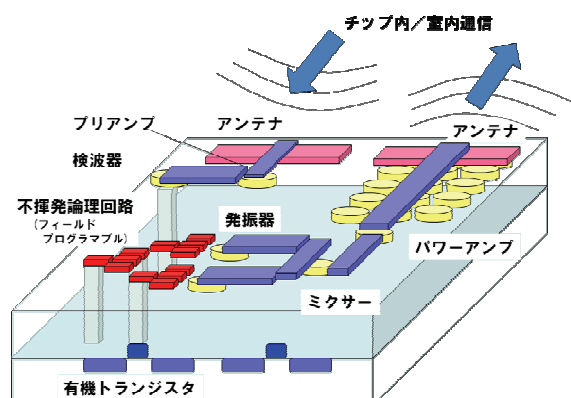


図 3. スピン注入型高集積度フィールドプログラマブル・モノシリックマイクロ波 IC (FP-MMIC)の概念図

【誌上発表リスト】

- [1] Y. Endo, H. Fujimoto, Y. Kawamura, R. Nakatani and M. Yamamoto, “Nanosized magnetization measurement of an isolated Co-Fe circular dot by using MFM tip”, J. Magn. & Magn. Mater., 310, pp.2436-2438 (2007) .
- [2] A. M. Deac, A. Fukushima, H. Kubota, H. Maehara, Y. Suzuki, S. Yuasa, Y. Nagamine, K. Tsunekawa, D. D. Djayaprawira and N. Watanabe, “Bias-driven

high-power microwave emission from MgO-based tunnel magnetoresistance devices”, Nature Physics Vol 4, No 8, 803-809 (2008).

- [3] T. Wada, T. Yamane, T. Seki, T. Nozaki, Y. Suzuki, H. Kubota, A. Fukushima, S. Yuasa, H. Maehara, Y. Nagamine, K. Tsunekawa, D. D. Djayaprawira, and N. Watanabe, “Spin-transfer-torque-induced rf oscillations in CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions under a perpendicular magnetic field”, Physical Review B Vol.81 No.1 pp104410-1-7(2010).

【申請特許リスト】

- [1] 中谷亮一、鈴木義茂、白石誠司、水口将輝、磁界センサおよびそれを用いた磁気記録再生装置、日本、平成 18 年 6 月 1 日、特願 2006-153765
- [2] 野村 光、中谷亮一、磁性演算素子、日本、平成 21 年 7 月 21 日、特願 2009-170616
- [3] 前原大樹、鈴木義茂、升方康智、関剛斎他、マイクロ波素子、日本、2010 年 3 月 2 日、特願 2010-45573

【受賞リスト】

- [1] 富田博之、日本磁気学会優秀講演賞, “コプレーナ型ウェーブガイドを用いた強磁性共鳴非線形効果”, 2007 年 11 月
- [2] 白土優、三浦純幸、中谷亮一、An Excellent Poster Award of The 2nd International Symposium of Atomic Technology, “Magnetic properties of *Pyrococcus furiosus* virus-like particles (Pfv)s reacted with Ni ions”, 2007 年 10 月 1 日
- [3] 鈴木義茂、久保田均、福島章雄、第 42 回市村学術賞貢献賞、“トンネル磁気抵抗素子におけるスピンドYNAMIKSの解明と制御”、2010 年 4 月 28 日

【報道発表リスト】

- [1] “高性能強磁性トンネル接合作製 阪大、高周波発振に成功”、日刊工業新聞、2008 年 8 月 29 日
- [2] “阪大と産総研など 高周波発振素子を開発「スピン」特性を利用”、日経産業新聞、2008 年 8 月 29 日
- [3] “高性能強磁性トンネル接合によるマイクロ波 IC の基礎技術を確認—配線層中に作りこめる安価でフレキシブルな高周波回路—”、2010 年 5 月 27 日発表予定

表 1 本プロジェクトの成果のまとめ

	ダイオード感度	発振出力	発振のエネルギー効率	発振周波数純度	高周波の増幅	論理演算	素子抵抗と量産プロセス
プロジェクト当初の値	10mV/mW @1~10 GHz	10~数 10 pW (GMR)	~10 ⁻⁷ (GMR)	Q=8 (MTJ)	実施例なし	集積化可能なものの実施例なし	300~500 Ω (MTJ)
プロジェクトの目標	改善する	10,000 倍にする	10,000 倍にする	改善する	Gain>1	論理動作の実証	50Ω 半導体量産プロセスコンパチブル
本プロジェクト実証値	170 mV/mW @3.3 GHz	約 0.5 μW	1~2 × 10 ⁻³	Q=800	Gain~9 @100 MHz (実験+LLG)	全ての基本論理演算を実証	達成
本プロジェクトによる向上	約 17 倍	約 10,000 倍	約 10,000 倍	約 100 倍	初めてその可能性を明らかにした	初めての实証	達成
今後達成可能であろうと考えられる値・課題、	半導体ダイオード(~500 mV/mW)を超える可能性あり..	単一素子で 10 μW 程度. アレイにより大出力可能.	バイアス下での MR を 100%とできれば 0.1	モードジャンプを抑えることができれば Q~20,000	Gain~10 程度@10 GHz 程度.	スピン注入などによる情報の書き込み技術が必要.	達成済み