

3次元無線実装を実現する超小型・省電力信号伝送系の研究開発 (131102001)

Research and development of ultra compact and power saving signal transmission system for 3D-wireless integration

研究代表者

塩川陽平 東北大学工学研究科電子工学専攻

Yohei Shiokawa Department of Electric Engineering, Tohoku University

研究分担者

AL-MAHDAWI MUFTAH K.O.[†]

[†]東北大学工学研究科電子工学専攻

[†]Department of Electric Engineering, Tohoku University

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

概要

ナノメータサイズの磁性体が示すスピントルク自励発振と受信機能を用いた超小型で省電力な無線信号伝送の要素技術開発を行う。高集積 IC 内蔵基板である多層ワイヤレス SESUB(Silicon Embedded SUBstrate)を実現するため、要を成す強磁性ナノ接点磁気抵抗素子の高性能化と発振および受信素子構造の最適化を図り、超小型スピントルク発振器/受信器の開発と、超小型アンテナを含めた伝送系基礎技術の構築を行ない、3次元無線実装への実験検証を目指す。この3次元ワイヤレス SESUB 技術は、あらゆる業種に大きな技術的波及効果をもたらす基盤技術となることが期待される。

1. まえがき

スマートフォン、タブレットなどのモバイルコンピューティングの進展は、異種機能を有する IC チップの 3次元実装を加速し、小型化・省電力化・低コスト化の観点から、そのワイヤレス化が求められている。本研究開発では、省電力で多機能なモバイルコンピューティング対応多層ワイヤレス SESUB(Silicon Embedded SUBstrate)を実現するための要素技術と伝送系の基礎技術を構築する。

2. 研究開発内容及び成果

本研究課題では、ナノメータサイズの磁性体が示すスピントルク自励発振と受信機能を用いた超小型で省電力な無線信号伝送の要素技術開発に関し、要を成す強磁性ナノ接点磁気抵抗素子の高性能化を図り、多層ワイヤレス SESUB を実現するための超小型スピントルク発振器/受信器の開発と伝送系基礎技術の構築を行ない、3次元無線実装の実現に向けた実験検証を目指す。そのために、『スピントルク送受信器の開発と高性能化』と『空間無線伝送部を介したワイヤレス送受信系の実験検証とワイヤレス SESUB 基本設計の構築』の二大開発項目を設け、本研究開発の達成を目指した。

以下に、各開発項目での成果を示す。

開発項目 1: スピントルク送受信器の開発と高性能化

SESUB 内部にスピントルク送受信機の設計を考えた場合、大きな外部磁場をスピントルク素子に印加することは非常に困難と予想される。それは、微小コイルや微小永久磁石などを SESUB 内部に配置するとした場合、そのような微小な磁界発生源では大きな外部磁場が期待できないことに加え、磁界発生源からの電磁界ノイズが他の IC チップへ影響を与えるという点においても予想されるからである。そこで、本研究では数 100 Oe の外部磁場で駆動する 30GHz 以上の周波数を有する高周波数発振器・受信器の開発を目標とした。しかし、これまで報告されている類似の研究では磁気共鳴周波数(FMR)を用いているため、高周波数を有するスピントルク発振器に、数 kOe という非常に大きな外部磁場を印加する必要がある。そこで

本研究では、FMR を用いない新たな発振構造として Trilayer 構造を提案した。Trilayer 構造とは、強磁性層(発振層)/非磁性層/強磁性層(発振層)からなる 3層構造となっており、非磁性層を介して強磁性層がダイポール結合により連動した動きをすることで、低磁場において高周波数が期待されるスピントルク発振器である。本研究では、これまで峡線幅を実現してきたナノ接点磁気抵抗素子を Trilayer 構造にすることで低磁場領域での高周波数、峡線幅高 Q 値を満たす素子の開発を試みた。

図 1 に示したスペクトルが本研究で得られた最大の周波数、最大 Q 値を示すスペクトルである。わずか 185 Oe という低磁場において、周波数 23.24 GHz、線幅 2.27 MHz、Q 値 10,000 が得られた。Q 値 10,000 はこの低磁場領域においては世界最大の値であり、現在使用されている CMOS リングオシレータを超え、水晶振動子に匹敵する値である。フィルタ等を通さずとも、この Q 値が得られていることから本研究のコンセプトである周辺回路を減らすことのできる自励発振器となりうることを示していると考えられる。

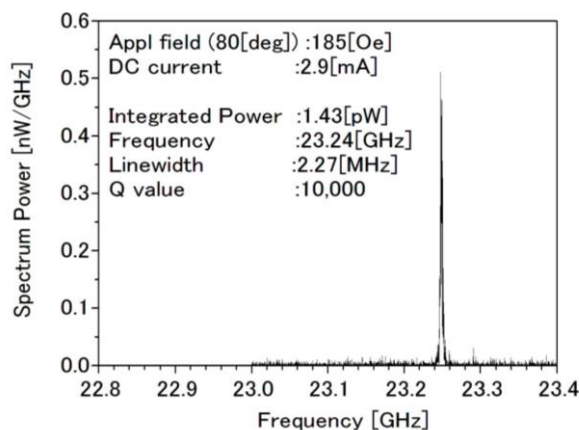


図 1 低磁場(185Oe)における高 Q 値・峡線幅を有する Trilayer スピントルク発振

この峽線幅、高 Q 値は、本研究独自のナノ接点磁気抵抗素子に起因するものと考えられる。そこで本研究では、ナノ接点を含めたスピントルク素子の磁化の動きを解析するために、マイクロマグネティクスシミュレーションを行った。図 2 に電流を流し始めてから 0.017ns 後と 15.622ns 後の磁化の状態を示す。このシミュレーション結果によると、ナノ接点部で電流流路が絞られ、ナノ接点部で局所的に電流密度が増加することでスピントルクが生じ、ナノ接点からスピン波が伝わることでフリー層を振動させていることがわかった。通常、スピントルク発振器は高出力、安定発振のために大電流を注入するが、それが熱揺らぎを引き起こし線幅が太くなってしまふ。しかし、本研究で用いるナノ接点構造は、その狭窄構造により熱揺らぎ成分を小さく抑えることに成功したと考えられる。本研究で得られた高周波数・高 Q 値発振の出力は pW オーダーと小さくなっている。これは、現在の磁気抵抗比が 11% と小さく、また発振角度が 3° と小さくなっているためである。しかし、電気回路モデルから予想される出力を計算すると、応用検討委員会委員である東芝の装置を用いて磁気抵抗比 37% を実現し、かつ垂直のスピン偏極電流を使うことによって、発振角度 27° を実現することで出力 $1\mu\text{W}$ を達成できると予想される。

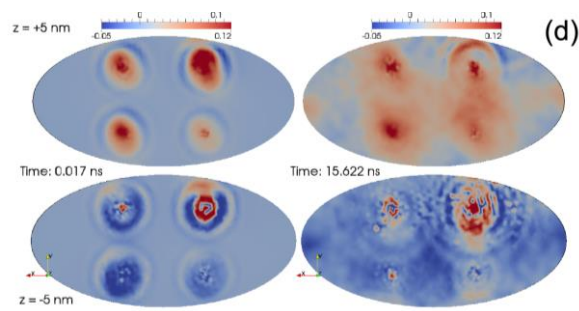


図 2 Trilayer 型スピントルク発振の磁化の挙動

開発項目 2: 空間無線伝送部を介したワイヤレス送受信系の実験検証とワイヤレス SESUB 基本設計の構築

本研究成果として、世界で初めてスピントルク発振器／電磁共鳴アンテナ／スピントルク受信器を用いた送受信系の実証実験を成功させた。用いたスピントルク発振器・受信器は、十分な出力強度を得るために、駆動周波数 1GHz の低周波数発振器を用いた。それに伴い、 $\lambda/4$ (四分の一波長共振) 電磁共鳴アンテナも、波長に合わせた $18\text{mm}\phi$ で設計・作製を行った。これら発振器／アンテナ／受信器を用いて 10Mbps 、 100Mbps の伝送実証実験を行ったところ、ノイズを多く含んだものの、矩形波の受信に成功した。発振器／アンテナ／受信器の空間無線の実証は世界で初めてであり、非常に大きな成果だと考える。

アンテナの仕様としては、ボンディングパッド、TSV(Si 貫通ビア)の置き換えとして目標サイズを $100\mu\text{m}\phi$ 、伝送効率を 80% とした。本研究では、当初から提案していた $\lambda/4$ 電磁共鳴アンテナを用いて 30GHz 高周波アンテナを設計したが、最小でも $480\mu\text{m}\phi$ のアンテナとなった。そこで、本研究では新たな近接場アンテナとしてスパイラルアンテナを提案した。最も小さい物で $200\mu\text{m}\phi$ のアンテナの設計を完了した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

現在、世界中で半導体集積回路の三次元集積化が研究開

発されている。しかし、TSV などの有線技術を用いているため、寄生インピーダンスによる通信速度の遅れ、発熱、ノイズなどの問題も明確になってきている。ワイヤレス SESUB が実現し、3次元無線実装技術がひろく普及すると、異なるメーカーの異なる機能の IC チップの多数積層を、従来の有線技術に比較して容易に実施することができ、モジュールの小型／多機能化は、各種モバイル機器の高性能化を牽引、情報通信端末の多種多様な可能性を拓くことが期待される。本研究は、有線実装の研究開発を行っている企業にも応用検討委員会に所属していることから、本研究を用いた企業による無線実装の研究開発が進むことが予想される。

更に本研究成果であるスピントルク発振器は、その構造を変えると外部磁場に対し線形的に変化する。これは磁場センサへの応用が考えられ、その小さな素子から in-vivo による生体磁気センサとしても有効な技術であると考えられる。

4. むすび

本研究では、ナノ接点磁気抵抗素子という独自の技術を用いたスピントルク発振器／受信器の開発を行い、既存の技術の延長にないいくつかの技術の提案を行ったことで、3次元無線実装を実現するための仕様、またそれを満たす成果を示すことに成功した。超小型・省電力信号伝送システムの実用化への道程を明らかにした。

【誌上発表リスト】

- [1] Yohei Shiokawa, JinWon Jung, Takahiko Otsuka, and Masashi Sahashi, “Dependence of Nano-contact Magnetoresistance on the Bulk Scattering Spin Asymmetry in CoFe alloy with Oxidation Impurities”, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.118, pp053909-1~053909-5 (2015年2月28日)
- [2] Kousaku Miyake, Yoshihito Okutomi, Hiroshi Tsukahara, Hiroshi Imamura and Masashi Sahashi, “Linear Frequency Modulation by Weak Bipolar Magnetic Fields for a Vortex-Mode Oscillation in a Nanocontact Magnetoresistive Spin-Torque-Oscillator”, Applied Physics Express, Vol.6 No.11 pp113001-1~113001-4 (2013年10月16日)
- [3] JinWon Jung, Zhenhu Jin, Yohei Shiokawa, and Masashi Sahashi, “Investigations of interface spin asymmetry and interfacial resistance in FeCo100-x/Ag interface”, Journal of Applied Physics, No.117, pp17A323-1~17A323-4 (2014年11月5日)

【登録特許リスト】

- [1] 佐橋政司、土井正晶、今村裕志、マイクロ波発振素子および検出素子、日本、2008年10月30日、2013年5月31日、特許 5278876

【受賞リスト】

- [1] 坂本圭弥、第 38 回学術講演会・学生講演賞、“NCMR-STO 素子における発振特性のフリー層膜厚依存性”、2014年9月3日
- [2] JinWon Jung, The Best Student Presentation in Non-Volatile Memory Materials Award, “Experimental Confirmation of Spin Filtering Interface-Resistance”, 2013年8月13日
- [3] JinWon Jung, ISAMMA-2013 BEST POSTER AWARD, “Fe concentration dependence on interfacial resistance and γ at Ag/FeCo1-x interface”, 2013年6月23日