

NCMR trilayer 素子を用いたゼロ磁場での高周波発振

戸田裕介、塩川陽平、坂本圭弥、Al-Mahdawi Muftah、佐橋政司
(東北大学大学院 工学研究科)

High frequency oscillation with NCMR trilayer device at zero field
Y. Toda, Y. Shiokawa, K. Sakamoto, M. Al-Mahdawi and M. Sahashi
(Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan)

はじめに

スピン偏極を用いた磁気多層膜におけるマイクロ波発振素子が近年注目されている。この発振は、小型化・低消費電力等の利点があり、チップ間の無線通信など各種応用が期待されている。最近の報告では、実用化にはゼロ磁場または低磁場での高周波発振が必要であることから、CPP-GMR の trilayer における低磁場での高周波発振が報告されている¹⁾。我々は、 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{-AlO}_x$ NOL 中に強磁性メタルナノコンタクトを有す Nano-contacts Magnetoresistance (NCMR)を用い、MR が 13 %とあまり大きくないにも関わらず、Vortex モード発振において低半値幅 3.8MHz で高出力 0.3 μW の発振が得られたのは、強磁性ナノコンタクトによる効果だと考えている²⁾。本研究では、NCMR-Trilayer から成る発振素子を作製し、低磁場及びゼロ磁場での 10 GHz 以上の高周波発振を観測することができたので、その結果について報告する。

実験方法

測定試料の膜構成は under-layer/ $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$ (5nm)/ AlO_x -NOL/ $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$ (5nm)/capping-layer、素子サイズは $120 \times 240 \text{ nm}^2$ の楕円ピラーで、under-layer までミリングしたピラー形状となっている。マイクロ波測定は測定範囲 0.1~26.5 GHz のスペクトラムアナライザを用いて直流電流 12 mA、磁場を-1000~1000 Oe の範囲で 20 Oe 刻みで印加させて測定した。

実験結果

0 Oe では周波数 13.3 GHz、半値幅 128.2 MHz、積分出力 0.26 nW の発振、220 Oe で周波数 15.7 GHz、半値幅 10.2 MHz、積分出力 0.10 nW の発振を観測した(Fig.1)。Fig.2 に長軸方向+220 Oe の外部磁界を印加した際の電流依存性を示す(Fig.2)。10.8 mA で周波数 14.8 GHz 半値幅 27.4 MHz、約 1.0 nW の積分出力の発振が観測された。この発振はダイポール磁場に加え、強磁性ナノコンタクトによる層間結合磁界の影響を受けているものと考えられる。

謝辞 本研究の一部は総務省 SCOPE(000212629)の助成を受けたものである。

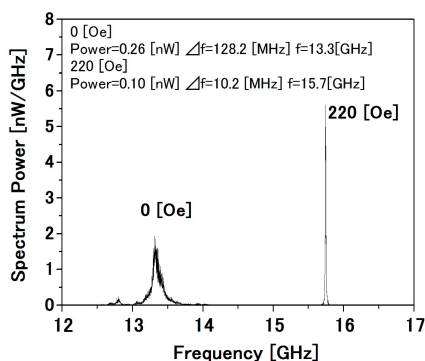


Fig.1: Spectrum output with 0 Oe and 220 Oe

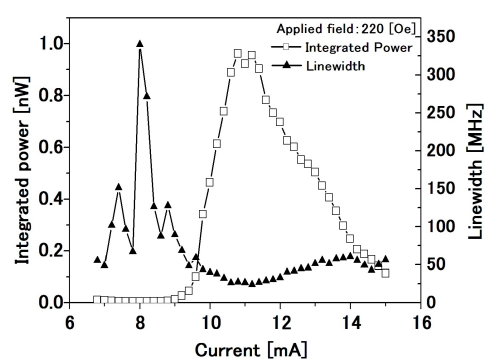


Fig.2: Current dependence of integrated power (square line) and linewidth(triangle line) at 220 Oe

参考文献

- 1) P. M. Braganca, K. Pi, R. Zakai, J. R. Childress, and B. A. Gurney, Appl. Phys. Lett., 103, 232407 (2013).
- 2) Y. Toda, Y. Shiokawa, M. Sahashi et al, IEEE INTERMAG Conference, Dresden, Germany May 6, 2014

NCMR-STO 素子における発振特性のフリー層膜厚依存性

坂本圭弥、塩川陽平、戸田裕介、春日聡志、Muftah Al-Mahdawi、佐橋政司
東北大学

Free layer thickness dependence of microwave features in NCMR-STO
K.Sakamoto, Y.shiokawa, Y.Toda, S.Kasuga, M.Al-Mahdawi, M.Sahashi
Tohoku University

はじめに

スピントランスファートルクを用いて磁化が歳差運動し GHz 帯のマイクロ波発振を誘起させるスピントルクオシレータ(STO)は次世代の高周波発振素子としてセンサや通信モジュールへの応用が期待されている。主にこのマイクロ波発振には、uniform モードと Vortex モードの二つの発振モードが存在し、一般的には前者は面内中心軸で高周波かつ低出力、後者は低周波かつ高出力という特性がある。一方で Gaslienko らによると、単磁区と Vortex 磁区は磁性ドットの膜厚と半径によって制御できるという報告がある [1]。本研究では、ナノ接点磁気抵抗(NCMR)素子を用いた STO のフリー層膜厚を変化させ、膜厚ごとの発振特性を評価した。

実験方法

膜構成は SiO_x 基板/Ta/Ru₂/FeCo t/Al_{1.3}/IAO/Al_{0.3}/FeCo_{2.4}/IrMn₇/Cap(nm)[t=2.4,5,10,15]とした。ナノ接点作製手法は Ion-Assisted-Oxidation(IAO)法を用い、成膜後に磁界中で熱処理を行った。VSM にて面内容易軸である事を確認している。素子形状は半径 80~300nm の円形ピラーに電子線リソグラフィとイオンリング法を用いて加工した。素子抵抗の評価には直流 4 端子を用い、MR, RA は膜厚に対してほぼ変化せず MR が 10~13%、RA が 0.4~0.6 Ω μm² となった。直流電流印加によるマイクロ波発振にはスペクトルアナライザで計測した。外部磁場はピン方向に対して水平に印加し、フリー層がピン層と反平行となる方向を正の向きとした。

実験結果

フリー層膜厚 2.4,10,15nm における発振出力および発振周波数の結果を Fig.1(a)(b)に示す。

フリー層膜厚 2.4nm では 6GHz 付近 0.03nW 程度で高周波かつ低出力な uniform-mode-like な発振が、10,15nm では低周波かつ高出力な Vortex-mode-like な発振が得られ最大出力のものでは 0.4GHz 付近で 297nW の発振が得られ、膜厚によって発振モードのコントロールが出来た事を示唆する結果となった。講演ではそれぞれの膜厚での発振モード、出力、発振周波数、線幅の変化を議論する。

謝辞 本研究の一部は総務省 SCOPE(000212629)の助成を受けています。

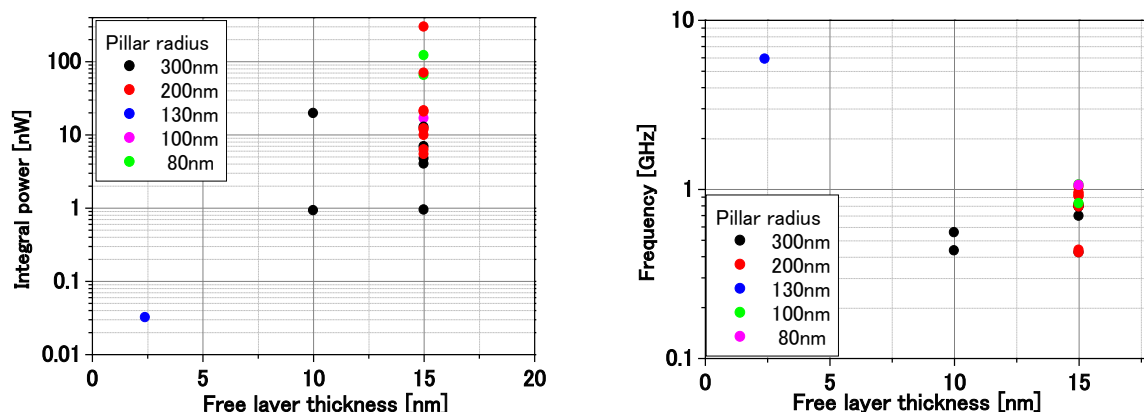


Fig.1 The (a) integrated power (left) and (b) frequency (right) dependence on free layer thickness

参考文献

- 1) K.Yu.Guslienko, J.Nanosci.Nanotechnol. 8,2745-2760(2008)

NCMR マイクロ波発振による無線伝送

春日聡志、塩川陽平、坂本圭弥、戸田裕介、Muftah Al-Mahdawi、鈴木健司*、鈴木英治*、佐橋政司
 東北大学大学院 工学研究科 *TDK(株)

Wireless transmission by oscillation of NCMR-STO

S. Kasuga, Y. Shiokawa, K. Sakamoto, Y. Toda, M. Al-Mahdawi, T. Suzuki*, E. Suzuki*, M. Sahashi
 Electronic Engineering Department, Tohoku Univ., *TDK Corp.

はじめに

近年、磁気抵抗素子に直流電流を印加した際に生じるマイクロ波発振や、高周波電流を印加した際に生じる整流効果が注目を集めており、チップ間無線通信など各種応用が期待されている。我々は、FeCo-AlO_xNOL中に強磁性メタルナノコンタクトを有する Nano-Contacts-Magnetoresistance (NCMR) を用いた高周波無線伝送の実現を目指している[1]。本研究では NCMR によるマイクロ波発振器と電磁界共鳴アンテナを用いた無線伝送について報告する。

実験方法

NCMR マイクロ波発振器の膜構成は、熱酸化 Si 基板(Si(100)/SiO₂ 200nm)/Ta 5/Cu 200/Ta 40/Ru 2/FeCo 15/Al 1.3/IAO 20sec/Al 0.3/Fe_{0.5}Co_{0.5} 2.4/IrMn 7/Cu 10/Ru 10 (nm)である。直流電流印加によるマイクロ波発振をスペクトラムアナライザで測定し、電磁界共鳴アンテナの特性をネットワークアナライザで測定した。さらに、直流電流により励起されたマイクロ波発振を電磁界アンテナに導入し、スペクトラムアナライザで伝送特性を評価した。電磁界共鳴アンテナは共鳴周波数を 1GHz にもつ直径 9mm φ の λ/4 共振アンテナを作製した。

実験結果

Fig.1 に、本実験で用いたアンテナの伝送特性を示す。1GHz 近傍で帯域 0.31GHz、最大伝送効率-0.91dB(81%)の特性が得られている。Fig.2 にアンテナで無線伝送した場合の発振スペクトルを示す。無線伝送前は出力 41.9nW、線幅 5.6MHz、Q 値 188 の発振が、無線伝送後、出力 5.18nW と伝送前の 12%に低下しており、アンテナの伝送効率より低下している。ネットワークアナライザの理想的なスペクトルと比べてマイクロ波発振の Q 値が低いことが影響しているものと考えられる。

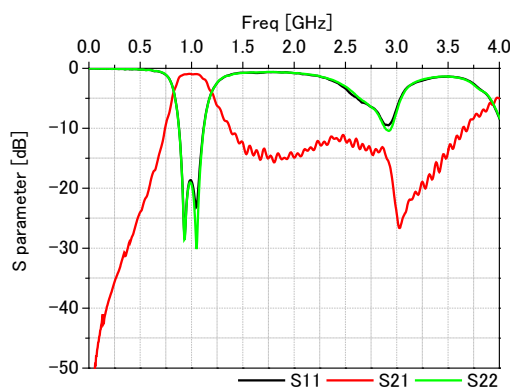


Fig.1 Transmission characteristics of antenna

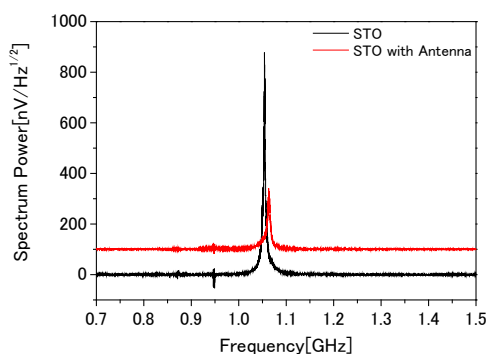


Fig.2 Spectrum output through antenna

謝辞

本研究の一部は総務省 SCOPE(00212629)の助成を受けています。

参考文献

- 1) IEEE International Magnetism Conference, Dresden, Germany May 6, 2014

Beating field 方式高周波 MFM による コプレーナ伝送線路の GHz 帯近傍磁界分布評価

遠藤 恭, 荒井 薫, 大西真輝, 柳 邦雄, 島田 寛, 山口正洋 (東北大工)

Estimation of GHz range magnetic near field distribution on a CPW using beating field type HF-MFM

Y. Endo, K. Arai, M. Onishi, K. Yanagi, Y. Shimada, M. Yamaguchi (Tohoku Univ.)

はじめに 携帯情報端末内部の RFIC チップ上ではデジタル回路規模の増大にともない、デジタル回路で発生した電磁ノイズがアナログ回路に混入して電磁干渉問題が深刻化する恐れがある。この問題の対策として、チップ内で発生した電磁ノイズの発生源、伝搬経路、混入先の特が重要であり、微細な信号線等を通る電流が作り出す近傍磁界を検出する高空間分解能を有する新たな計測法の開発が望まれている。

我々は、検出センサとして磁気力顕微鏡 (MFM) 探針に着目し、場のうなり (Beating field) 方式高周波 MFM の開発を行ってきた^{1), 2)}。これまでに、周波数帯がわずかに異なる 2 つの正弦波信号を CPW に同時に入力し、その線路上で擬似的に Beating field を発生させて、MFM 探針で高周波近傍磁界計測が可能であることを明確にした。本研究では、提案した Beating field 方式高周波 MFM を用いて CPW 上で発生する GHz 帯近傍磁界分布を評価した結果について報告する。

実験方法 Beating field 方式高周波 MFM では、2 台の信号発生器を用いて搬送波信号を CPW へ、また搬送波信号の周波数とわずかにずらした周波数の参照信号を MFM 探針直上に設置した励磁コイルへそれぞれ入力し、CPW と励磁コイルとの間で Beating field を発生させた。この CPW 上に MFM 探針を置くと、探針は Beating field の勾配に応答して振動し、参照信号の周波数をわずかに掃引して搬送波信号の周波数との差分が探針の機械的共振周波数とほぼ一致すると、探針の振動振幅が最大となった (図 1)。このときの振幅値を計測した。

本計測に用いた MFM 探針は、軟磁気特性を有する Ni-Fe 膜 (50 or 100 nm 厚) を DC マグネトロンスパッタでコートした Si 探針 (Ni-Fe コート探針) である。CPW は一端を終端させた 1 ポート型形状である。その寸法に関しては、信号線、グラウンド線、両線間のギャップ幅、線路長は 5, 50, 6, 8000 μm である。CPW の特性インピーダンスは 189 Ω である。また、MFM 探針直上に設置した励磁コイルは直径 100 μm の半ターンコイルである。

結果 CPW に 1.6 GHz の搬送波信号を、また励磁コイルに 1.600025 GHz の参照信号をそれぞれ入力し、Ni-Fe コート探針を基板表面から 0.50 μm の高さに固定ながら CPW の幅方向に走査させて、共振時における探針の振動振幅値を計測した。その結果を図 2 に示す。その振動振幅値は CPW の幅方向のすべての範囲で観測でき、 $x=0\sim 2.5\ \mu\text{m}$ で極大、 $x=-6.5\sim -2.8\ \mu\text{m}$ および $4.5\sim 7.5\ \mu\text{m}$ で極小となった。この振動振幅値の極大および極小領域は、それぞれ CPW の信号線中央およびギャップ中央の位置と対応している。この結果は、振幅変調型高周波 MFM で観測された結果とは異なり、主に CPW 上で発生する高周波近傍磁界の平行成分を反映したものであり、Beating field 方式高周波 MFM を用いると CPW 上で発生する GHz 帯近傍磁界分布の検出が可能であることを表わしている。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (No. 26630119)、総務省電波利用料制度による電波資源拡大のための研究開発「高速・高品質な無線通信実現のための IC チップレベルの低ノイズ化技術の研究開発」および科学技術振興調整費 (先端融合領域イノベーション創出拠点の形成「マイクロシステム融合研究開発拠点」) の支援を受けて行われた。

参考文献 1) 遠藤恭, 福嶋正昭, 荒井薫, 島田寛, 山口正洋, 電気学会マグネティック研究会資料, MAG-13-162, 41 (2013). 2) Y. Endo, M. Fukushima, K. Arai, Y. Shimada, and M. Yamaguchi, J. Appl. Phys. **115**, 17D120 (2014)他。

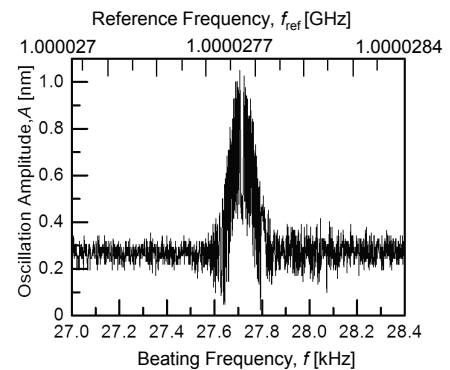


Fig. 1. Oscillation amplitude of MFM tip measured at 0.4 μm above the CPW surface on the center-line of the gap between the signal and ground lines as a function of the reference frequency (or beating frequency) for the signal frequency of 1.0 GHz.

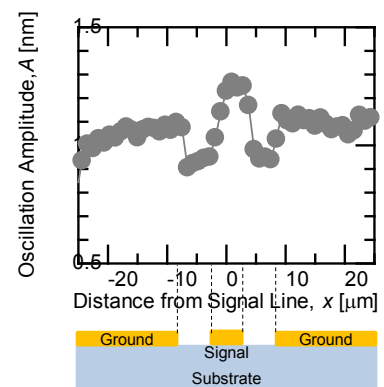


Fig. 2. Dependence of oscillation amplitude of MFM tip on the center of the signal line in the CPW for the signal frequency of 1.6 GHz.

マイクロストリップ型プローブによる極薄膜透磁率計測

楠 洸介, 藪上 信*, 小澤哲也*, 植竹宏明*, 山田 洋, 宮澤 安範**, 島田 寛***

(仙台高等専門学校, *東北学院大学, **東栄科学産業, ***東北大学)

Permeability measurement of magnetic thin film by microstrip probe

K. Kusunoki, S. Yabukami*, T. Ozawa*, H. Uetake*, H. Yamada, Y. Miyazawa**, Y. Shimada***

(Sendai National Collage of Technology, *Tohoku Gakuin University, **Toei Scientific Industrial co., ltd, ***Tohoku University)

1 はじめに 磁性薄膜を用いたセンサデバイスには一層あたり数 nm 程度のスパッタがなされる。ここではインピーダンス整合を考慮したマイクロストリップ型プローブを磁性薄膜に近接させることで非破壊に極薄膜透磁率評価を試みた。

2 透磁率計測方法 Fig. 1は計測システム構成及び評価する磁性薄膜を模式的に示した図である。プローブは2本のセミリジッドケーブルとマイクロストリップ線路で構成されている。マイクロストリップ導体を磁性薄膜に近接配置することで透磁率を評価する。マイクロストリップ線路に流れる高周波電流は幅方向に高周波磁界を励磁することになるため、困難軸方向の透磁率が高周波インピーダンスに対応する。プローブは同軸ケーブルを介してネットワークアナライザ(アジレントテクノロジー製 8722ES)に接続し、薄膜の容易軸方向へ約1000 Oeの直流磁界を加えて飽和させた状態でネットワークアナライザをキャリブレーションする。その後強磁界を解除して透過係数(S_{21})を測定し、(1)式よりインピーダンスを算出する。膜厚方向へ電流が表皮効果で偏ることでインピーダンス Z_s が決定されることを仮定し、(2), (3)式を用いてNewton - Raphson法により、複素透磁率を最適化する¹⁾。

$$Z_s = 50(1 - S_{21})/S_{21} \quad (1)$$

$$Z_s = \frac{k_s \rho l}{2w} \coth\left(\frac{k_s t}{2}\right) \quad (2)$$

$$k_s = \frac{(1+j)}{\sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_r \mu_0}}} \quad (3)$$

ただし、 ρ は抵抗率、 l は試料長さ、 w は試料幅、 t は膜厚、 f は周波数、 μ_r は複素比透磁率である。

3 計測結果 Fig. 2にアモルファスCoNbZr薄膜(25 mm × 25 mm, 厚み3 nm)における透磁率計測結果を示す。CoNbZr薄膜はRFスパッタ法により成膜した。磁化容易軸へ約120 Oeの直流磁界を印加して、強磁性共鳴周波数を3 GHz付近にしている。BW

は100 Hz、平均化回数は16回とした。●○は最適化法により求めた測定値であり、実線および破線はLLG方程式と渦電流を考慮した理論値²⁾である。低周波では膜厚が薄いためSN比が悪化しているものの、3 GHz付近の強磁性共鳴を含めて、大まかな評価が出来ていることが了解される。

謝辞 本研究の一部はJST復興促進プログラムの成果である。

参考文献 1) T. Kimura, S. Yabukami, T. Ozawa, Y. Miyazawa, H. Kenju, and Y. Shimada, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **38**, 87 (2014). 2) Y. Shimada, J. Numazawa, Y. Yoneda and A. Hosono, *J. Magn. Soc. Jpn.* **15**, 327 (1991).

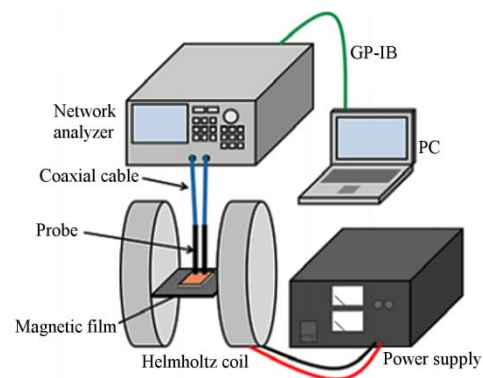


Fig.1 Structure of measurement system.

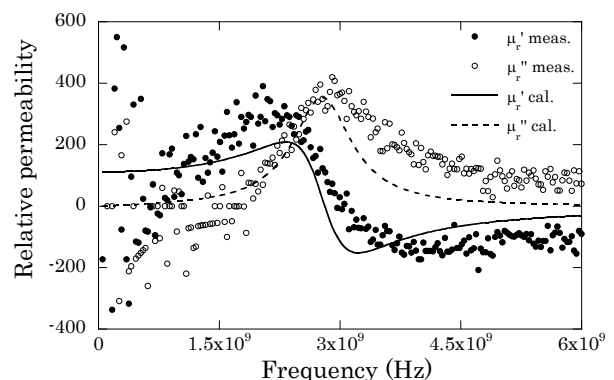


Fig.2 Measured permeability of CoZrNb film(3nm thick).