

スピントルク発振素子と記録媒体の共鳴的相互作用： 磁気共鳴を用いた読み出し方法

金尾太郎、首藤浩文、工藤究、永澤鶴美、山岸道長、水島公一、佐藤利江
(東芝研究開発センター)

Resonant interaction between spin-torque oscillator and recording media:

Micromagnetic study of readout method using magnetic resonance

T. Kanao, H. Suto, K. Kudo, T. Nagasawa, M. Yamagishi, K. Mizushima, and R. Sato

(Corporate Research & Development Center, Toshiba Corporation)

はじめに

多層の記録層をもつ三次元磁気記録^{1,2)}のための読み出し方法として、スピントルク発振素子(spin-torque oscillator, STO)と記録層の共鳴を利用した共鳴読み出しが提案されている³⁾。共鳴読み出しでは、STO から発生した高周波磁場が記録層に加えられる。この高周波磁場の周波数が記録層の共鳴周波数に近いとき記録層に磁化振動が励起される。その影響を受け STO の発振が変化することを利用して記録層の磁化方向を読み出す。本研究ではマイクロマグネティックシミュレーションを用いて共鳴読み出しのための STO と記録層の構成を検討した。

共鳴読み出し用 STO と記録層

Figure 1 に今回シミュレーションをおこなった STO と記録層(recording layer, RL)の形状と磁化および磁場の配置を示す。STO は垂直自由層・面内固定層からなるとした。この型の STO では面外発振により振幅の大きな高周波磁場が発生する。また、この型の STO では大きな電氣的信号出力が得られるため⁴⁾、再生に有利になる。STO には面直方向に電流 I と外部磁場 H_x が加えられている。記録層は垂直磁気異方性をもち、反強磁性的に結合したソフト層とハード層からなるとした。この構造により漏れ磁場を小さく抑えることができる。ソフト層は STO の発振周波数と近い共鳴周波数を持ち、STO と相互作用する。ハード層は十分高い共鳴周波数を持ち、熱安定性を保つ。記録層のとり 2 つの磁化配置“down”, “up” (Fig. 1 右図)の共鳴周波数が異なるように z 方向に磁場 $H_z = 0.2$ kOeを加えている。 H_z は STO にも加わるとした。

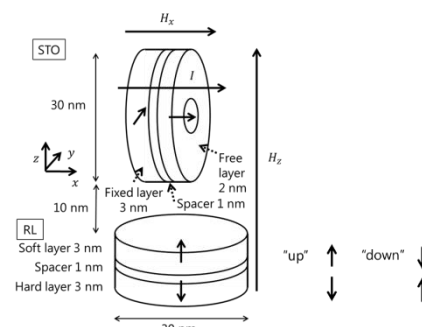


Fig. 1. STO and recording layer (RL).

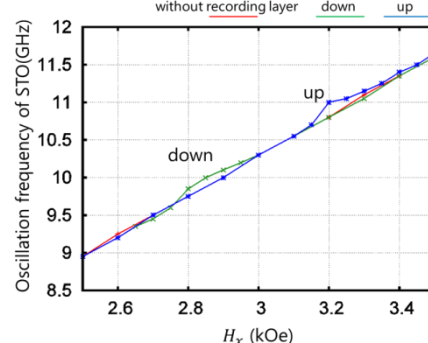


Fig. 2. Oscillation frequency of STO plotted against H_x .

結果

Figure 2 に STO の発振周波数の外部磁場 H_x 依存性を、記録層なしの場合、および down または up の磁化配置の記録層がある場合について示す。記録層のないとき STO の発振周波数は H_x を大きくするに従って単調に増加する。down または up の磁化配置の記録層がある場合には、それぞれ異なる H_x で、記録層なしの場合から発振周波数がシフトする。これは STO と記録層がそれぞれの磁化配置に対して選択的に共鳴したことを示している³⁾。以上からこの構成により記録層の磁化方向が共鳴読み出しによって判別できることを確認した。講演では磁化振動波形やその過渡応答についても報告する。

参考文献

- 1) S. Okamoto et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **48**, 353001 (2015).
 - 2) H. Suto et al., Phys. Rev. Appl. **5**, 014003 (2016).
 - 3) H. Suto et al., Nanotechnology **25**, 245501 (2014).
 - 4) H. Kubota et al., Appl. Phys. Express **6**, 103003 (2013).
- 本研究は科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)」の支援によっておこなわれた。

マイクロ波磁界中における垂直磁化 ECC ナノドットの磁化振動励起と磁化反転：ダイオード効果を用いた解析

首藤 浩文, 永澤 鶴美, 工藤 究, 金尾 太郎, 水島 公一, 佐藤 利江
(東芝研究開発センター)

Magnetization Excitation and Switching of a Perpendicularly Magnetized ECC Nanodot in a Microwave Magnetic Field: Analysis Using Diode Effect

H. Suto, T. Nagasawa, K. Kudo, T. Kanao, K. Mizushima, and R. Sato
(Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp.)

はじめに

マイクロ波磁界を印加し磁化振動を励起することにより磁化反転をアシストするマイクロ波アシスト磁化反転が、次世代の高密度磁気記録における書き込み技術として注目されている[1-3]. 本研究では, MR 素子にマイクロ波信号を印加することによって直流電圧が現れるダイオード効果[4]を利用して, マイクロ波磁界中の垂直磁化ナノドットの磁化振動の解析を行った. マイクロ波磁界の周波数 (f_{rf}) と FMR 周波数が一致する条件において, 磁化振動のコーン角にピークが現れた. マイクロ波磁界強度を上げるにつれ, このピークは大きくなるとともに, 非線形性によりピーク位置がシフトした. また, 磁化振動が励起され磁化反転に至るアシスト磁化反転の挙動を観察した.

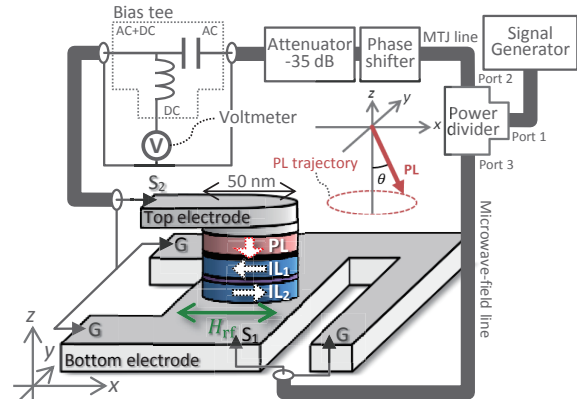


Fig. 1. Sample configuration and experimental setup.

ダイオード測定の手法と結果

Fig. 1 に, 素子構造と実験セットアップを示す. 解析対象の垂直磁化膜 (図中 PL) の磁化振動は, 面内磁化膜 (図中 IL₁, IL₂) との MgO トンネルバリアを介した MR 効果を通して, 素子抵抗を変化させる. 信号発生器からのマイクロ波信号は 2 つに分岐され, 一方は電流磁界によるマイクロ波磁界を発生させるために用いられ, もう一方は素子に印加される. 磁化振動励起による素子抵抗の変化と印加マイクロ波信号とが同期することにより, ダイオード電圧が発生する. PL は, 垂直磁化膜である Co/Pt 多層膜と, 面内磁化膜である CoFeB とを積層し, 磁氣的に結合させた exchange-coupled composite (ECC) 構造になっており, PL 全体としては垂直磁化膜になっている. Fig. 2(a)に, $f_{rf} = 12.95$ GHz における, ダイオード効果から見積もった PL 磁化振動のコーン角 (図中 θ) の垂直方向磁界 (H_z) 依存性を示す. $H_z = +500$ Oe 付近において FMR ピークが現れた. コーン角は, 励起マイクロ波磁界の強度を上げるにつれ, 大きくなると共に, そのピーク位置が $+H_z$ 方向にシフトした. このシフトは, 垂直磁気異方性を持つシングルスピンモデルから予想される向きとは逆であり, PL の ECC 構造を反映したモデルを用いたシミュレーションによって, 再現された[Fig. 2(b)]. この解析結果は, マイクロ波磁界印加によって PL 内の磁化がねじれ, 面内磁化膜部分の磁化振動が優先的に励起されることを示唆しており, 面内磁化膜部分の磁化振動が優先的に励起される結果, 面内磁化膜に特有の挙動 (FMR ピークの $+H_z$ 方向へのシフト) が現れる. $f_{rf} = 8.95$ GHz における測定では, コーン角が広がり磁化反転に至る様子が観察された[Fig. 2(c)].

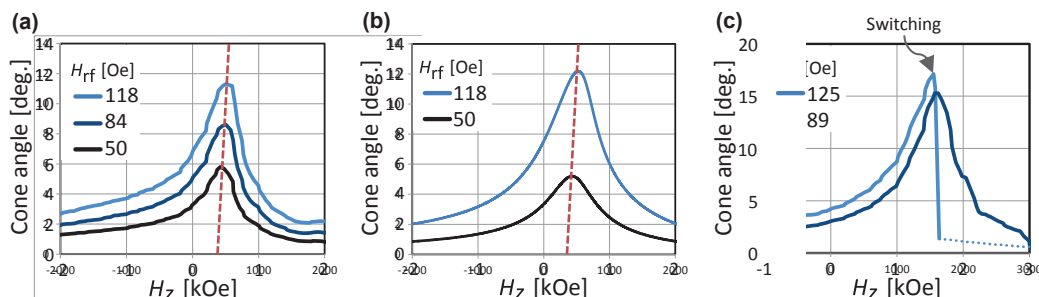


Fig. 2. (a) Experimental results showing the cone angle [deg.] vs. H_z [kOe] for $f_{rf} = 12.95$ GHz. (b) Corresponding simulation results. Broken lines are eye-guides showing the shift of the peak positions. (c) H_z dependence of the PL cone angle for $f_{rf} = 8.95$ GHz. The abrupt decrease at $H_z = 1600$ Oe reflects magnetization switching of PL.

参考文献 [1] J.-G. Zhu, et al., IEEE Trans. Magn. **44**, 125 (2008). [2] S. Okamoto, et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 237209 (2012). [3] H. Suto, et al., Phys. Rev. Applied **5**, 014003 (2016). [4] A. A. Tulpurkar, et al., Nature **438**, 339 (2005).

本研究は科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)」の支援によっておこなわれた.

Magnetization switching of a ferrimagnetic amorphous Gd-Fe-Co single dot under an assistance of rf field

Y. M. Lu, S. Okamoto, N. Kikuchi, B. Lao, Y. Kusanagi, and O. Kitakami

Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

Microwave assisted magnetic recording (MAMR) [1], which consists of microwave assisted magnetization switching (MAS) and an rf field generator of spin torque oscillator (STO), is one of the prospective ultra-high density recording technologies. Based on MAMR technology, a multilevel recording scheme and an antiferromagnetically coupled (AFC) media has been proposed to further enhance the recording density [2-4]. For these technologies, it is very important to control the dipole interaction between adjacent bits and the interlayer antiferromagnetic coupling. A ferrimagnetic alloy such as amorphous Gd-Fe-Co is a possible candidate material due to its very low saturation magnetization and very good controllability of magnetic properties by changing the composition of Gd and (Fe-Co). Moreover, AFC media is easily obtained by simply stacking Gd-rich and (Fe-Co)-rich layers. But so far, there has been no report on MAS experiment using a ferrimagnetic material. In this work, we have examined the MAS behaviors of a Gd-Fe-Co single dot with the diameter down to sub-micro scale. The sample structure is MgO sub./Pt(25 nm)/Ta(1 nm)/Gd-Fe-Co(10 nm)/Ta(3 nm). The Pt/Ta underlayer is used as an electrode for anomalous Hall effect (AHE) measurement. Gd-Fe-Co layer is patterned into a dot, and Au stripline is fabricated just above the dot with an insertion of an insulating layer.

Figure 1 shows representative AHE curves of the Gd-Fe-Co dot with the diameter of 1 μm . The AHE curve exhibits that the switching field H_{sw} in the absence of the rf field is around 310 Oe, which is much smaller than the effective anisotropy field of 1 kOe. Under the assistance of rf fields with the amplitude of 130 Oe, H_{sw} significantly decreases without changing the shape of AHE curve. Figure 2 shows the frequency dependence of H_{sw} . H_{sw} monotonically decreases with the rf frequency f and takes a minimum of 110 Oe at $f = 3.5$ GHz, indicating 61% of switching field reduction.

Reference

[1] J-G. Zhu *et al.*, *IEEE Trans. Magn.* **44**, 125 (2008). [2] S. Okamoto *et al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **48**, 353001 (2015). [3] T. Yang *et al.*, *J. Appl. Phys.* **114**, 213901 (2013). [4] H. Suto *et al.*, *Phys. Rev. Appl.* **5**, 014003 (2016).

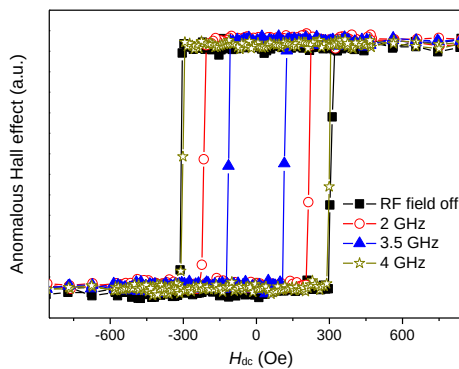


FIG. 1. Normalized AHE curves with and without the rf field application for a perpendicularly magnetized Gd-Fe-Co single dot.

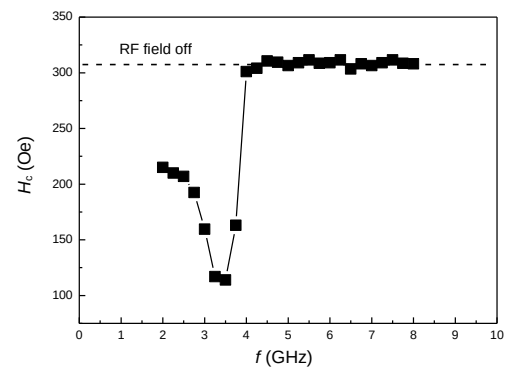


FIG. 2. The switching field of Gd-Fe-Co dot as a function of rf frequency.

MAMR 用 SIL-FGL-SIL 3 層構造 STO のマイクロマグ解析

金井靖、板垣諒、吉田和悦¹、Simon J. Greaves²、村岡裕明²
(新潟工科大、¹工学院大、²東北大)

Micromagnetic analysis of tri-layered STO comprising SIL-FGL-SIL for MAMR

Y. Kanai, R. Itagaki, K. Yoshida¹, S. J. Greaves², H. Muraoka²
(Niigata Inst. of Tech.,¹Kogakuin Univ.,²Tohoku Univ.)

はじめに

高周波アシスト磁気記録(MAMR)方式は、高周波発振素子(STO)から発生する高周波磁界を主磁極からの記録磁界に重畳し、高異方性媒体への記録を容易にする¹⁾。STOはMAMRにおいて最も重要な構成要素であり、安定した発振と強い発振磁界のほかに、発振を誘起する最適な注入電流密度(J_{opt})が低いことも求められる。ここでは、 J_{opt} の低減を目的として高周波発振層 (FGL)の両側をスピン注入層 (SIL)ではさんだ3層構造²⁾のSTOのマイクロマグネティック解析を行ったので報告する。

計算モデルと計算条件

Fig.1に示すようにFGLの両側をSILではさんだ3層構造STOを考える。SIL1は反射のスピントルクを、SIL2は透過のスピントルクをFGLに加える。Table 1にSTOの諸元を示す。マイクロマグネティック解析には富士通製 EXAMAG v. 2.1 を用いた。

計算結果

外部磁界(H_{apl})を1 GHz、20 kOe_{pp}としたとき、3層構造STOの発振の様子をFig.2に示す。発振が持続する最低の注入電流密度(J_{sus})は 1.0×10^8 A/cm²、FGLが膜面内で回転する最適な電流(J_{opt})は 2.5×10^8 A/cm²であった。SIL1は H_k が高くて発振したが、SIL2は H_k が高いと発振しなかった。また、SIL1、SIL2ともに高い飽和磁化($4\pi M_s$)の材料は好ましくなかった。従来の2層構造STOは高い H_k のSIL1による反射のスピントルクのみを利用しており、 $H_k = 20$ kOeのとき $J_{sus} = 1.0 \times 10^8$ A/cm²、 $J_{opt} = 3.0 \times 10^8$ A/cm²であった。2層構造STOのSIL1が軟磁性材料³⁾のとき $J_{sus} = 1.0 \times 10^8$ A/cm²であったが、FGLは膜面内で安定に回転しなかった。一方、透過のスピントルクのみを利用する2層構造STOでは $J_{sus} = 1.0 \times 10^8$ A/cm²、 $J_{opt} = 3.0 \times 10^8$ A/cm²であった。

謝辞 本研究の一部は科学技術振興会科学研究費補助金(基盤研究(c)課題番号16K06321)および情報ストレージ研究推進機構(ASRC, Japan)の補助金によった。

参考文献

- 1) J.-G. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang: *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 1, pp. 125- 131 (2008).
- 2) J.-G. Zhu: *MMM-Intermag Joint Conf.*, AB-11(2016).
- 3) J.-G. Zhu: *MMM Conf.*, AC-13(2014).

Fig. 2 Oscillation state of tri-layered STO. (Top) FGL, (middle) SIL1, and (bottom) SIL2. $J = 1.0 \times 10^8$ A/cm².

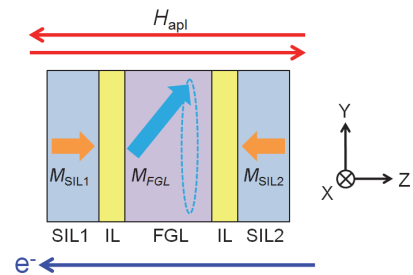


Fig.1 Arrangement of tri-layered STO.

Table1 Calculation specifications of FGL and SILs.

	FGL	SIL1	SIL2
$4\pi M_s$	20 kG	8 kG	8kG
H_k	31.4 Oe	31.4 Oe	31.4 Oe
α	0.02	0.02	0.02
Exchange, A	2.5×10^{-6} erg/cm	1.0×10^{-6} erg/cm	1.0×10^{-6} erg/cm
Thickness	10 nm	2 nm	2 nm
$P_o = 0.5$, Width $\times$ height = 30 nm $\times$ 30 nm, Inter layer thickness = 2 nm each			

