

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年9月2日(02.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/097997 A1

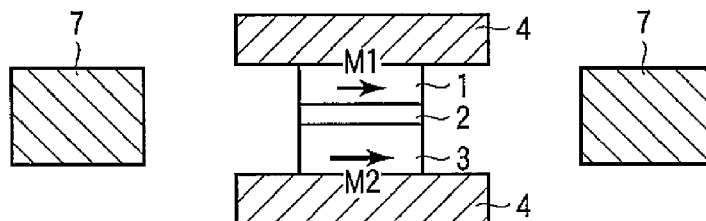
- (51) 国際特許分類:
H01L 29/82 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01) H03B 15/00 (2006.01)
H01L 27/105 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/070045
- (22) 国際出願日: 2009年11月27日(27.11.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-041100 2009年2月24日(24.02.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 工藤 究 (KUDO, Kiwamu) [JP/JP]. 水島 公一 (MIZUSHIMA, Koichi) [JP/JP]. 永澤 鶴美 (NAGASAWA, Tazumi) [JP/JP]. 佐藤 利江 (SATO, Rie) [JP/JP].
- (74) 代理人: 鈴江 武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目12番9号 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC OSCILLATION ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁性発振素子

[図2]



(57) Abstract: Disclosed is a magnetic oscillation element equipped with: a magnetic free layer (1) with a variable magnetization direction; a magnetic pinned layer (3) with a constant magnetization direction; a spacer layer (2) arranged therebetween; and a magnetic field generation unit (7) that imparts an external magnetic field to the magnetic free layer (1). The magnetic free layer (1) has uniaxial magnetic anisotropy, and magnetic oscillation occurs when a current larger than an oscillation threshold current flows therein. The magnetic field generation unit (7) controls the magnitude and direction of the external magnetic field in the direction such that the amount of shift of an oscillation frequency caused by a demagnetizing field due to magnetic oscillation and the amount of shift of the oscillation frequency caused by the magnetic field due to the uniaxial magnetic anisotropy of the magnetic free layer (1) are offset. The angle (θ) formed by the central direction of the magnetic oscillation of the magnetic free layer (1) and the magnetic direction of the magnetic pinned layer (3) is in the range of $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ and $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

(57) 要約: 本発明の磁性発振素子は、磁化方向が可変の磁気フリー層(1)と、磁化方向が不変の磁気ピンド層(3)と、両者間に配置されるスペーサー層(2)と、磁気フリー層(1)に外部磁場を与える磁場発生部(7)とを備える。磁気フリー層(1)は、一軸磁気異方性を有し、それに発振閾値電流よりも大きな電流が流れることにより磁化振動を行う。磁場発生部(7)は、磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層(1)の一軸磁気異方性による磁場起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に外部磁場の大きさ及び方向を制御する。磁気フリー層(1)の磁化振動の中心となる方向と磁気ピンド層(3)の磁化方向とのなす角度 θ は、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内にある。

WO 2010/097997 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称 : 磁性発振素子

技術分野

[0001] 本発明は、マイクロ波発振器に関する。

背景技術

[0002] GMR素子やTMR素子といった磁気抵抗効果素子(MR素子)に、ある閾値電流 I_0 よりも大きな直流電流 I を通電することにより、MR素子内のフリー層磁化にスピントルクが作用し、数～数十GHzの定常な磁化振動が励起されることが知られている(例えば、非特許文献1, 2を参照)。

[0003] この磁化振動は、MR効果により、高周波電力に変換される。この現象が見られる典型的な素子サイズは100nm×100nm程度である。

[0004] この素子は、マイクロ波の起源が磁氣的な発振に由来していることから、磁性発振素子と呼ばれる。あるいは、磁化振動の起源がスピントルクであることから、スピントルク発振器(Spin-Torque Oscillator)とも呼ばれる。

[0005] 磁性発振素子の用途として、微小サイズの発振器であることを活かした用途が考案されている。その一つは、磁性発振素子を携帯用電子機器におけるリファレンスクロックとして用いるというものである。

[0006] 従来の水晶発振器を磁性発振素子に置き換えれば、リファレンスクロックのスペースを小さくできるだけでなく、単一の送受信回路チップ内にリファレンスクロックを集積することが可能になる。また、RFスペクトラム解析が単一チップで行なえるようにヘテロダイン検波器内の局部発振器としての用途もある。

[0007] 磁性発振素子は、磁化振動に由来する振動磁場発生器でもあるため、その振動磁場を活かす用途も考案されている。その一つは、無線通信に関するもので、磁性発振素子をコンピューター内の個々のコンポーネント間のデータ転送を担う無線通信用送信機として応用するという用途である。

[0008] 磁気記録再生装置に関するものとして、例えば、特許文献1に開示されて

いるように、アシスト記録用振動磁場発生器としての用途もある。

[0009] 磁性発振素子における磁化振動は、外部からの磁場に応答するという特性を有することを活かした用途も考案されている。無線通信に関するものでは、無線通信用受信機として応用するという用途である。

[0010] さらに、磁気記録再生装置に関するものとして、例えば、特許文献2、3に開示されているように、磁気記録再生装置の再生ヘッドとしての用途が考案されている。

[0011] 上記のさまざまな用途に向けた磁性発振素子に要求される主な特性として、素子から高周波出力が効率よく取り出されること、 μW オーダーの高出力であること、発振周波数が安定であること、といった3要素が挙げられる。

[0012] 発振周波数が安定であることが望ましいというのは、局部発振器としての用途や無線通信用送受信機としての用途を考慮してみれば、明らかなことである。周波数がふらついていては、リファレンスとしての役割は無理であるし、無線通信情報を周波数にのせようにも情報が乱されてしまう。

[0013] 磁性発振素子から効率よく高周波が取り出されるためには、素子抵抗が $100\ \Omega$ 程度であることが望まれる。これは、多くの高周波デバイスの特性インピーダンスが $50\ \Omega$ 程度で設計され、規格化されているため、高周波デバイスとしての磁性発振素子もまたそうした規格に合わせる必要があるからである。

[0014] 磁性発振素子において、磁化振動が励起される典型的な素子サイズは $100\text{nm} \times 100\text{nm}$ 程度であるから、磁性発振素子のRA（素子抵抗と接合面積との積）として、 $1\ \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ 以下であることが要求される。

[0015] RAが $1\ \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ 以下という要求は、通常GMR素子では、容易に満足される。TMR素子では、従来は不可能であったが、近年では、スペーサー層を2～3原子分程度の膜厚で成膜する技術が進展し、RAを $1\ \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ 以下にすることが可能である。

[0016] 一方、磁性発振素子から、 μW オーダーの高出力を得るためには、高周波出力の起源であるMR効果を高める、すなわち、その指標であるMR比を高めることが必須である。

- [0017] MR比の高い素子として、近年、MgOバリアを有する磁気トンネル接合膜が注目されている。いわゆる、MgO-MTJである。MgO-MTJは、数百%程度ものMR比を有し、実際、MgO-MTJにおける磁化振動から、数百 nW程度の出力が取り出されることが良く知られている。
- [0018] しかしながら、MgOは、絶縁体であるため、素子の絶縁破壊の問題がある。素子が絶縁破壊をほとんど起こすことなく高寿命であるためには、素子へ印加される電圧が、約0.1V以下であることが望まれる。
- [0019] 上記2つの要求から、素子に通電する電流の電流密度Jは、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2 (= 0.1 \text{ V} \div 1 \Omega \cdot \mu\text{m}^2)$ よりも小さくしなければならない。即ち、 $J < 1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ が満たされれば、素子から高周波出力が効率よく取り出されることが、 μW オーダーの高出力であること、という2要素は、従来技術を活かして解決することができる。
- [0020] しかしながら、発振周波数が安定であること、という最後の一つの要素を満たすような磁性発振素子は未だ開示されていない。すなわち、上述の3要素のすべてを満たす磁性発振素子、具体的には、 $J < 1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ であり、かつ、発振周波数が安定である磁性発振素子の開発が求められている。

先行技術文献

特許文献

- [0021] 特許文献1：特開2005-25831号公報
特許文献2：特開2006-286855号公報
特許文献3：特許第4098786号明細書

非特許文献

- [0022] 非特許文献1：S. I. Kiselev et al., Nature 425, 380 (2003)
非特許文献2：W. H. Rippard et al., Physical Review Letters 92, 027201 (2004)
非特許文献3：NONLINEAR PHENOMENA AND CHAOS IN MAGNETIC MATERIALS (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1994), ISBN 981-02-1005-1

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0023] 本発明は、高出力及び長寿命であり、発振周波数が安定な磁性発振素子を提案する。

課題を解決するための手段

- [0024] 本発明の例に係わる磁性発振素子は、磁化方向が可変の磁気フリー層と、磁化方向が不変の磁気ピンド層と、前記磁気フリー層及び前記磁気ピンド層間に配置されるスペーサー層と、前記磁気フリー層に外部磁場を与える磁場発生部とを備える。前記磁気フリー層及び前記磁気ピンド層は、磁化方向がそれらと前記スペーサー層との接合面に対して平行である。前記磁気フリー層は、一軸磁気異方性を有し、それに発振閾値電流よりも大きな電流が流れることにより磁化振動を行う。前記磁場発生部は、前記磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と前記一軸磁気異方性による磁場に起因する前記発振周波数のシフト量とを相殺する方向に前記外部磁場の大きさ及び方向を制御する。前記磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向と前記磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ は、 $0^{\circ} \leq \theta \leq 70^{\circ}$ 及び $110^{\circ} \leq \theta \leq 180^{\circ}$ の範囲内にある。

発明の効果

- [0025] 本発明によれば、高出力及び長寿命であり、発振周波数が安定な磁性発振素子を実現できる。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1] 第一実施形態の磁性発振素子を示す図である。
[図2] 第一実施形態の磁性発振素子を示す図である。
[図3] 磁化方向の関係を示す図である。
[図4] 発振周波数のシフト効果について示す図である。
[図5] 外部磁場と磁化方向との関係を示す図である。
[図6] 外部磁場と磁化方向との関係を示す図である。

[図7]発振閾値電流密度について示す図である。

[図8]発振閾値電流密度について示す図である。

[図9]第二実施形態の磁性発振素子を示す図である。

[図10]第二実施形態の磁性発振素子を示す図である。

[図11]第三実施形態の磁性発振素子を示す図である。

[図12]磁化方向の相対角度と素子抵抗との関係を示す図である。

[図13]システム例について示す図である。

[図14]製造方法について示す図である。

[図15]磁気ランダムアクセスメモリへの適用例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、図面を参照しながら、本発明の例を実施するための最良の形態について詳細に説明する。

[0028] 1. 基本構成

まず、磁性発振素子は、磁気抵抗効果素子から構成されるものとし、かつ、磁気抵抗効果素子の磁気フリー層及び磁気ピンド層は、それぞれ面内磁化(in-plane magnetization)を有するものとする。

[0029] 磁気フリー層に関して、面内磁化とは、磁化方向が磁気フリー層とスペーサー層との接合面に対して平行であることを意味し、磁気ピンド層に関して、面内磁化とは、磁化方向が磁気ピンド層とスペーサー層との接合面に対して平行であることを意味する。

[0030] そして、本発明の例に係わる磁性発振素子は、磁気抵抗効果素子にある電流を流したときに磁化振動が発生する現象を利用する。この磁化振動の周波数は、磁性発振素子の発振周波数となる。ある電流とは、発振閾値電流密度よりも大きな電流密度を有する電流のことである。

[0031] 本発明の例では、まず、発振時に、磁気フリー層の磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に作用する外部磁場を、磁性発振素子に与える。

[0032] これにより、発振周波数の安定性を向上させることができる。具体的には、発振周波数の安定性の指標であるスペクトル発振線幅 Δf を非常に狭くすることができる。

[0033] また、本発明の例では、磁気フリー層の磁化振動の中心となる磁化方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内に設定する。

[0034] $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ の範囲での発振は、磁気フリー層と磁気ピンド層の磁化方向が平行となる発振（平行発振）であり、 $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲での発振は、磁気フリー層と磁気ピンド層の磁化方向が反平行となる発振（反平行発振）である。

[0035] 磁化方向が平行とは、磁気フリー層の発振中心磁化方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ が $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲にあることを意味し、磁化方向が反平行とは、磁気フリー層の発振中心磁化方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ が $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲にあることを意味する。

[0036] これにより、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さい電流密度で磁気フリー層の磁化振動を励起することが可能になるため、高出力及び長寿命の磁性発振素子とすることができる。

[0037] また、スペーサー層を MgO から構成すれば、さらに高出力の高周波出力が得られる。

[0038] 2. 実施形態

(1) 第一実施形態

図1及び図2は、第一実施形態に係る磁性発振素子を示している。

図1のAは、鳥瞰図、図1のBは、断面図、図1のCは、投射図を表している。図2は、磁性発振素子と磁場発生部との位置関係の例を表している。

[0039] 磁性発振素子は、磁気フリー層1と、スペーサー層2と、磁気ピンド層3と、一对の電極4とから構成される。磁気フリー層1は、強磁性体から構成され、スペーサー層2は、非磁性層（例えば、 MgO ）から構成される。

- [0040] 磁気フリー層 1 は、面内磁化、かつ、一軸磁気異方性を有する。磁気フリー層 1 の一軸磁気異方性の方向 5 は、図 1 の A 及び C に図示している。
- [0041] 一軸磁気異方性は、結晶磁気異方性の高い材料を一樣磁場内で成膜することにより、又は、成膜後に一樣磁場内でアニールすることにより発生させることができる。これを結晶磁気異方性と呼ぶ。また、一軸磁気異方性は、強磁性体の形状を長方形又は楕円形にすることにより発生させることもできる。これを形状磁気異方性と呼ぶ。
- [0042] 磁気フリー層 1 の平面形状は、例えば、磁気フリー層 1 の一軸磁気異方性の方向 5 を長軸とする楕円形である。磁気ピン層 3 の平面形状は、磁気フリー層 1 の平面形状と同じであっても、異なってもよい。
- [0043] ここで、磁気フリー層 1 の平面形状とは、磁気フリー層 1 とスペーサー層 2 との接合面に平行な平面内での磁気フリー層 1 の形状のことを意味する。また、磁気ピン層 3 の平面形状とは、磁気ピン層 3 とスペーサー層 2 との接合面に平行な平面内での磁気ピン層 3 の形状のことを意味する。
- [0044] この磁性発振素子においては、一对の電極 4 間に、発振閾値電流（発振閾値電流密度を持つ電流） I_c よりも大きな電流（発振閾値電流密度よりも大きな電流密度を持つ電流） I を流すことにより、磁気フリー層 1 の磁化振動が発生する。
- [0045] また、この時、磁場発生部 7 から磁性発振素子に、磁気フリー層 1 の磁化振動における反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層 1 の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に作用する外部磁場を与える。
- [0046] その結果、スペクトル発振線幅 Δf が非常に狭くなり、発振周波数の値を安定させることができる。
- [0047] また、磁気フリー層 1 の磁化方向（可変） M_1 に関し、磁気フリー層 1 の磁化振動の中心となる磁化方向 6 と磁気ピン層 3 の磁化方向（不変） M_2 とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内に設定する。

[0048] これにより、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さい電流密度で磁気フリー層の磁化振動を励起することが可能になるため、高出力及び長寿命の磁性発振素子とすることができる。

[0049] ここで、発振周波数の安定性について説明する。

[0050] 発振周波数の安定性の指標であるスペクトル発振線幅 Δf は、レーザー、電気回路発振器などの従来型の発振器と同様に次式で表すことができる。

[数1]

$$\Delta f = \Delta f_{res} \times \frac{k_B T}{E_{osci}} \times \frac{1}{2} (1 + \delta^2) \quad \dots (1)$$

[0051] 但し、 Δf_{res} は、共振器線幅、 $k_B T$ は、熱エネルギー、 E_{osci} は、磁化振動エネルギーである。また、 δ は、周波数シフト効果の大きさ、及び、シフトの正負を表す因子である。 δ の正負の定義に依るが、例えば、 $\delta > 0$ であれば、周波数減少（レッドシフト）、 $\delta < 0$ であれば、周波数増大（ブルーシフト）を意味する。

[0052] 以下、 δ の正負に関しては、この定義に従うことにする。

[0053] 式(1)は、周波数シフト効果 $|\delta|$ が大きいと、発振線幅 Δf が大きくなることを示している。即ち、周波数シフト効果 $|\delta|$ が大きいと、周波数安定性が悪くなることを意味している。従って、周波数が安定となるための最も理想的な状況は、 $\delta = 0$ である。

[0054] 周波数シフト効果の大きさ δ は、上述のように発振線幅 Δf を増大させることから、特に半導体レーザーや量子ドットレーザーなどのようなレーザー技術分野においては、線幅増大因子 (linewidth enhancement factor) と呼ばれている。

[0055] さて、面内磁化フリー層（面内磁化を有する磁気フリー層）のような薄膜強磁性体において、磁化がほぼ面内にある場合、その磁化に対する反磁場による発振周波数のシフト効果は、発振周波数を減少させるレッドシフト効果であることが従来から知られている（例えば、非特許文献3を参照）。

- [0056] 一方、本発明者らの研究によれば、磁気フリー層に一軸磁気異方性を持たせた場合、磁化に対する一軸磁気異方性による発振周波数のシフト効果が現れる。
- [0057] 特に、図3に示すように、磁気フリー層の磁化M1の磁化振動の中心となる方向6が磁気フリー層1の有する一軸磁気異方性の方向5に対して 45° よりも大きいときは、一軸磁気異方性による発振周波数のシフト効果が周波数を増大させるブルーシフト効果になるということが、本発明者らの研究によって明らかになっている。
- [0058] 従って、このような場合には、反磁場に起因するレッドシフト効果($\delta > 0$)と、一軸磁気異方性による磁場に起因するブルーシフト効果($\delta < 0$)が共存することになる。
- [0059] そこで、レッドシフト効果とブルーシフト効果とが互いに相殺するように面内磁化フリー層の磁化M1の磁化振動の中心となる方向6を外部磁場によって制御することで、 $\delta = 0$ が実現され、発振線幅 Δf が狭くなり、安定な周波数（磁化振動）を得ることができる。
- [0060] 図4は、磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量（レッドシフト効果）と一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量（ブルーシフト効果）とが相殺する（ $\delta = 0$ ）外部磁場の大きさをシミュレーションした結果を示している。
- [0061] 図5及び図6は、図4のシミュレーション結果を得るための条件を示している。
- [0062] 図5の場合、磁気フリー層1の磁化M1の磁化振動の中心となる方向6は、磁気フリー層1の有する一軸磁気異方性の方向5に対して垂直（ 90° ）であり、一軸磁気異方性の方向5に対して 45° よりも大きい。外部磁場Hex tの方向は、磁気フリー層1の磁化M1の磁化振動の中心となる方向6に平行である。
- [0063] これに対し、図6の場合、磁気フリー層1の磁化M1の磁化振動の中心となる方向6は、磁気フリー層1の有する一軸磁気異方性の方向5に対して平

行 (0°) であり、一軸磁気異方性の方向 5 に対して 45° よりも小さい。
外部磁場 H_{ext} の方向は、磁気フリー層 1 の磁化 M_1 の磁化振動の中心となる
方向 6 に平行である。

[0064] このシミュレーションは、磁気デバイス研究においてしばしば用いられる
ランダウ・リフシッツ・ギルバート (Landau-Lifshitz-Gilbert) 方程式をベー
スにしている。

[0065] シミュレーションでは、反磁場 $4\pi MS$ の大きさとして、典型値である 100
00 [Oe]、一軸磁気異方性の磁場の大きさとして、典型値である 100 [Oe] を用
いている。また、ギルバートダンピング α は、0.02 とした。

[0066] 図 4 において、曲線 10 は、図 5 の条件でのシミュレーション結果であり
、外部磁場 $H_{\text{ext}} = 380$ [Oe] で、 $\delta = 0$ となり、磁化振動による反磁場に起因
する発振周波数のシフト量 (レッドシフト効果) と一軸磁気異方性による磁
場に起因する発振周波数のシフト量 (ブルーシフト効果) とが相殺すること
になる。

[0067] しかしながら、図 4 において、図 6 の条件で得られる曲線 11 は、外部磁
場 H_{ext} に対して、常に、 $\delta > 0$ である。

[0068] これらの振る舞いの相違は、磁気フリー層 1 の磁化 M_1 の磁化振動の中心
となる方向 6 が、磁気フリー層 1 の有する一軸磁気異方性の方向 5 に対して
 45° よりも大きいのか、又は、小さいのか、に依存する。この 45° という角
度が境界値となる理由は、磁気フリー層 1 の磁化 M_1 に対する一軸磁気異方
性に起因する磁場の向きの正負が、その角度において反転するためである。

[0069] 以上をまとめると、まず、発振周波数の安定性については、磁気フリー層
1 の磁化振動における反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー
層 1 の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺
する方向に外部磁場 H_{ext} を発生させることにより実現される。

[0070] 特に、磁気フリー層 1 の磁化 M_1 の磁化振動の中心となる方向 6 を、磁気
フリー層 1 の有する一軸磁気異方性の方向 5 に対して 45° よりも大きくす
れば、 $\delta = 0$ とすることができ、発振周波数の安定性を向上できる。

[0071] 次に、低電流密度による高出力及び長寿命について説明する。

[0072] これらの効果は、磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内にし、磁性発振素子に通電する電流の電流密度 J を $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さくすることにより実現される。

[0073] 図7及び図8は、発振閾値電流密度と、磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ との関係を示している。

[0074] この関係は、ランダウ・リフシッツ・ギルバート・スロンチエスキー (Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczewski) 方程式によるシミュレーション結果である。磁気フリー層の厚さ（磁気フリー層とスペーサー層の接合面に垂直な方向における磁気フリー層の幅） d は、2nm、飽和磁化 MS は、 600 emu/cm^3 、スピン偏極率 P は、0.3、外部磁場の大きさ H_{ext} は、 $0.08 \times 4\pi MS$ 、一軸磁気異方性による磁場の大きさ H_k は、 $0.02 \times 4\pi MS$ とした。

[0075] 図7のシミュレーションは、磁気フリー層と磁気ピンド層の磁化方向が平行となる発振（平行発振）に関する。その結果によれば、 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲内では、 θ が大きいほど、発振閾値電流密度が増大する。本発明の目的の一つは、磁性発振素子に通電する電流の電流密度、即ち、発振閾値電流密度 J を $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さくすることにある。従って、そのためには、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ とすればよいことがわかる。

[0076] また、図8のシミュレーションは、磁気フリー層と磁気ピンド層の磁化方向が反平行となる発振（反平行発振）に関する。その結果によれば、 $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内では、 θ が小さいほど、発振閾値電流密度が増大する。また、 θ を θ' （ $=180-\theta$ ）に置き換えると、 $0^\circ \leq \theta' \leq 90^\circ$ の範囲内では、図7と同様に、 θ' が大きいほど、発振閾値電流密度が増大する。従って、 $0^\circ \leq \theta' \leq 70^\circ$ とすれば、発振閾値電流密度 J を $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さくすることができる。 $0^\circ \leq \theta' \leq 70^\circ$ は、 $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ と等価である。

[0077] $\theta = 90^\circ$ において、発振閾値電流密度が非常に大きくなるという物理的

な理由は、磁気フリー層の磁化 M_1 の磁化振動を励起する原因がスピントルクにある、という点にある。磁化 M_1 に作用するスピントルクは、次式で表される。

$$a_J \cdot M_1 \times (M_1 \times M_2) \cdots (2)$$

但し、 $\times$ は、ベクトル積であり、 a_J は、磁気フリー層に通電する電流に比例する実数である。(2)式は、面内磁化フリー層の磁化 M_1 、面内磁化ピンド層の磁化 M_2 に対し $\cos \theta$ に比例するため、 $\theta \doteq 90^\circ$ のときに極々小さくなるような量である。そのため、 $\theta \doteq 90^\circ$ の場合には、 a_J 、即ち、磁気フリー層に通電する電流の電流密度を非常に大きくしないと、磁気フリー層の磁化 M_1 の磁化振動を励起するようなスピントルクを発生させることができない。

[0078] 以上、説明したように、本発明の第一実施形態に係る磁性発振素子においては、まず、磁気フリー層の磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に外部磁場を発生させることにより、発振周波数の安定性を向上させることができる。

[0079] また、これに加えて、さらに、磁気フリー層の磁化の磁化振動の中心となる方向を、磁気フリー層の有する一軸磁気異方性の方向に対して 45° よりも大きくすることにより、 $\delta = 0$ とし、発振周波数の安定性をさらに向上させることができる。

[0080] さらに、磁気フリー層の磁化振動の中心となる磁化方向と磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内に設定することにより、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さい電流密度で磁気フリー層の磁化振動を励起することができ、高出力及び長寿命の磁性発振素子とすることができる。

[0081] また、スペーサー層を MgO から構成すれば、さらに高出力の高周波出力が得られる。

[0082] (2) 第二実施形態

図 9 は、第二実施形態に係わる磁性発振素子を示している。

[0083] 第二実施形態に係わる磁性発振素子の特徴は、磁気ピンド層 3 の構造にある。その他の点については、第一実施形態と同じである。

[0084] 磁性発振素子は、磁気フリー層 1 と、スペーサー層 2 と、磁気ピンド層 3 と、一对の電極 4 とから構成される。磁気フリー層 1 は、強磁性体から構成され、スペーサー層 2 は、非磁性層（例えば、MgO）から構成される。

[0085] 磁気フリー層 1 は、面内磁化、かつ、一軸磁気異方性を有する。磁気フリー層 1 の一軸磁気異方性の方向 5 は、図 10 に図示している。

[0086] 磁気ピンド層 3 は、強磁性層 8 A と反強磁性層（例えば、IrMn）8 B の積層構造から構成される。反強磁性層 8 B は、強磁性層 8 A との交換結合により、強磁性層 8 A の磁化方向、即ち、磁気ピンド層 3 の磁化方向を固定する。

[0087] ここで、図 10 に示すように、磁気ピンド層 3 の磁化 M_2 の磁化方向（着磁方向）は、磁気フリー層 1 の有する一軸磁気異方性の方向 5 に対して 20° よりも大きいことが好ましい。

[0088] なぜなら、このようにすることで、磁気フリー層 1 の磁化振動の中心となる磁化方向と磁気ピンド層 3 の磁化方向 M_2 とのなす角度を、平行発振の場合には小さく、反平行発振の場合には大きくし易くなるためである。

[0089] 第二実施形態の磁性発振素子においても、一对の電極 4 間に、発振閾値電流（発振閾値電流密度を持つ電流） I_c よりも大きな電流（発振閾値電流密度よりも大きな電流密度を持つ電流） I を流すことにより、磁気フリー層 1 の磁化振動が発生する。

[0090] また、この時、磁性発振素子に、磁気フリー層 1 の磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層 1 の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に作用する外部磁場を与える。

[0091] その結果、スペクトル発振線幅 Δf が非常に狭くなり、発振周波数の値を安定させることができる。

[0092] また、磁気フリー層 1 の磁化の磁化振動の中心となる方向を、磁気フリー層 1 の有する一軸磁気異方性の方向 5 に対して 45° よりも大きくすることにより、 $\delta = 0$ とし、発振周波数の安定性をさらに向上させることができる。

[0093] さらに、磁気フリー層 1 の磁化振動の中心となる磁化方向と磁気ピンド層 3 の磁化方向 M2 とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内に設定することにより、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さい電流密度で磁気フリー層の磁化振動を励起させ、高出力及び長寿命の磁性発振素子を実現できる。

[0094] (3) 第三実施形態

図 11 は、第三実施形態に係わる磁性発振素子を示している。

[0095] 第三実施形態に係わる磁性発振素子の特徴は、一对の電極 4 間に定電圧源 9 を接続したことにある。その他の点については、第一実施形態と同じである。

[0096] 半導体デバイスにおいては、電圧駆動が主流である。そのため、本発明の例に係わる磁性発振素子が半導体デバイスと融合して複合的なデバイスを構成する場合には、磁性発振素子を定電圧駆動することが好ましい。

[0097] 本発明の例に係わる磁性発振素子は、磁気抵抗効果素子から構成されるため、磁気フリー層 1 の磁化 M1 と磁気ピンド層 3 の磁化 M2 との相対角度 θ によって素子抵抗 R が変化する。素子抵抗 R は、典型的には、次式のような角度依存性を持つ。

$$R = R_0 + \Delta R (1 - \cos 2(\theta/2)) \quad \dots (3)$$

図 12 は、式 (3) をプロットしたものである。

[0098] θ が大きいほど、素子抵抗 R は大きくなる。また、定電圧 V で、本発明の例に係わる磁性発振素子を駆動する場合、磁性発振素子に流れる電流 I は、オームの法則 $I = V/R$ により、 θ が大きいほど小さくなる。

[0099] 既に説明したように、本発明の目的の一つは、磁性発振素子に流す電流の電流密度を小さくすることにあるため、より小さい定電圧 V で磁気フリー層

1の磁化M1の磁化振動を励起させるために、 θ は、なるべく小さいことが好ましい。

[0100] 第三実施形態の磁性発振素子においても、一对の電極4間に、発振閾値電流（発振閾値電流密度を持つ電流） I_c よりも大きな電流（発振閾値電流密度よりも大きな電流密度を持つ電流） I を流すことにより、磁気フリー層1の磁化振動が発生する。

[0101] また、この時、磁性発振素子に、磁気フリー層1の磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と磁気フリー層1の一軸磁気異方性による磁場に起因する発振周波数のシフト量とを相殺する方向に作用する外部磁場を与える。

[0102] その結果、スペクトル発振線幅 Δf が非常に狭くなり、発振周波数の値を安定させることができる。

[0103] また、磁気フリー層1の磁化の磁化振動の中心となる方向を、磁気フリー層1の有する一軸磁気異方性の方向に対して 45° よりも大きくすることにより、 $\delta = 0$ とし、発振周波数の安定性をさらに向上させることができる。

[0104] さらに、磁気フリー層1の磁化振動の中心となる磁化方向と磁気ピン層3の磁化方向M2とのなす角度 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内に設定することにより、 $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ よりも小さい電流密度で磁気フリー層の磁化振動を励起させ、高出力及び長寿命の磁性発振素子を実現できる。

[0105] 3. システム例

次に、本発明の例に係わる磁性発振素子から高周波信号を取り出すシステムの例について説明する。

[0106] 図13は、磁性発振素子を有するシステムとしての発振器を示している。

[0107] 磁性発振素子10に定電圧源9を接続し、磁性発振素子10に直流電流 I を流すことにより、磁気フリー層1の磁化振動が発生する。この磁化振動により、磁性発振素子10の素子抵抗 R が周期的に変化することによる磁性発振素子10からの高周波信号を、例えば、以下のシステムにより検出する。

[0108] まず、高周波信号は、ハイパスフィルター 11 を経由して、遅延検波回路 12 に入力される。ハイパスフィルター 11 は、高周波信号以外の雑音を除去する。

[0109] 遅延検波回路 12 において、高周波信号は、二分され、一方は、直接、ミキサー 14 に入力され、他方は、遅延回路 13 を経由してミキサー 14 に入力される。ミキサー 14 は、これら二つの高周波信号を乗積し、一定周波数の電圧を生成する。

[0110] ローパスフィルター 15 は、ミキサー 14 によって生成された一定周波数の電圧以外の雑音を除去する。

[0111] 最後に、高周波信号生成回路 16 は、一定周波数の電圧に基づいて、高周波信号（例えば、半導体デバイスを制御するクロック信号）を生成する。

[0112] このシステムによれば、磁性発振素子 10 から高速に高周波信号を取り出すことができる。但し、これ以外のシステムを用いて高周波信号を生成しても構わない。

[0113] 4. 製造方法

磁性発振素子の製造方法と材料例について、図 14 を参照しながら説明する。

[0114] まず、CVD 法により、半導体基板 17 上に、例えば、 SiO_2 から構成される絶縁層 18 を形成する。また、スパッタリング法により、絶縁層 18 上に、例えば、 $\text{Ta}/\text{Cu}/\text{Ta}$ の積層構造から構成される下部電極 19 を形成する。

[0115] この後、下部電極 19 上に磁性発振素子 10 を形成する。

[0116] 磁性発振素子（磁気抵抗効果素子）10 は、下部電極 19 上に、強磁性層 20、非磁性層 25 及び強磁性層 26 の積層構造を形成することにより形成される。

[0117] 磁性発振素子をボトムピン型にするときは、強磁性層 20 は、磁気ピンド層になり、強磁性層 26 は、磁気フリー層になる。また、磁性発振素子をトップピン型にするときは、強磁性層 20 は、磁気フリー層になり、強磁性層

26は、磁気ピンド層になる。

[0118] ここでは、磁性発振素子をボトムピン型にする場合について説明する。

この場合、強磁性層20は、例えば、反強磁性層21／強磁性層22／非磁性層23／強磁性層24の積層構造から構成される。

[0119] 反強磁性層21は、例えば、IrMnから構成される。

[0120] 強磁性層22、非磁性層23及び強磁性層24は、例えば、二つの強磁性層が磁気交換結合するSAF (synthetic anti-ferromagnetic) 構造を有する。強磁性層22は、例えば、CoFeから構成され、非磁性層23は、例えば、Ruから構成され、強磁性層24は、例えば、CoFeBから構成される。

[0121] 非磁性層25は、トンネルバリア層となり、例えば、MgOから構成される。

[0122] そして、強磁性層20、非磁性層25及び強磁性層26の積層構造は、フォトリソグラフィーとRIEにより、パターニングされる。その結果、例えば、平面形状が楕円形の磁性発振素子10が形成される。

[0123] また、この磁性発振素子10の周囲を取り囲む絶縁層27を形成する。絶縁層27は、例えば、SiO₂から構成される。

[0124] 最後に、スパッタリング法により、磁性発振素子10上に、例えば、Au／Cuの積層構造から構成される上部電極28を形成する。

[0125] 本発明者らは、このような磁性発振素子10において、下部電極19と上部電極28との間に定電圧を印加し、直流電流を発生させたところ、磁気フリー層としての強磁性層 (CoFeB) 26の磁化に歳差運動が生じることを確認した。

[0126] 但し、磁性発振素子10の平面形状 (サイズ) は、60nm (短軸) × 120nm (長軸) の楕円形である。

[0127] また、強磁性層26の一軸磁気異方性は、形状磁気異方性により付与し、長軸方向を磁化容易軸とし、短軸方向を磁化困難軸とした。一軸磁気異方性により発生する磁場は、約250 Oeであった。

[0128] さらに、この磁性発振素子 10 の素子抵抗 R は、約 48 Ω 、MR 比は、約 6.8 % であった。

[0129] 5. 適用例

本発明の例に係わる磁性発振素子は、磁気抵抗効果素子から構成される。

[0130] 磁性発振素子を、例えば、半導体集積回路の動作タイミングを制御するクロック信号（リファレンスクロック）を生成する発振器に使用する場合には、磁性発振素子の製造プロセスと半導体集積回路の製造プロセスとの共通化を図ることが製造コストの低下には効果的である。

[0131] ここで、次世代メモリとして、磁気抵抗効果素子をメモリセルとするスピン注入磁気ランダムアクセスメモリが知られている。

[0132] スピン注入磁気ランダムアクセスメモリは、磁化反転（書き込み）をスピントルクにより行うことに特徴を有する。

[0133] そこで、例えば、図 15 に示すように、本発明の例に係わる磁性発振素子を磁気ランダムアクセスメモリに適用することは非常に有効である。

[0134] なぜなら、メモリセルアレイ 31 内のメモリセル（磁気抵抗効果素子）と同時に発振器 32 内の磁性発振素子を形成することができるためである。

[0135] この場合、磁性発振素子から構成される発振器 32 により生成したクロック信号（リファレンスクロック）は、制御回路 33、ワード線ドライバ 34、ビット線ドライバ／シンカー 35 及び読み出し回路 36 に供給される。

[0136] 6. むすび

本発明によれば、高出力及び長寿命であり、発振周波数が安定な磁性発振素子を実現できる。

[0137] 本発明の例は、上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、各構成要素を変形して具体化できる。また、上述の実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより種々の発明を構成できる。例えば、上述の実施形態に開示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよいし、異なる実施形態の構成要素を適宜組み合わせてもよい。

産業上の利用可能性

[0138] 本発明は、携帯用電子機器におけるリファレンスクロック、単一の送受信回路チップ内リファレンスクロック、単一チップRFスペクトラムアナライザ用局部発振器、無線通信用送受信器、高周波アシスト記録用素子、磁気センサーなどに対して、産業上のメリットは多大である。

符号の説明

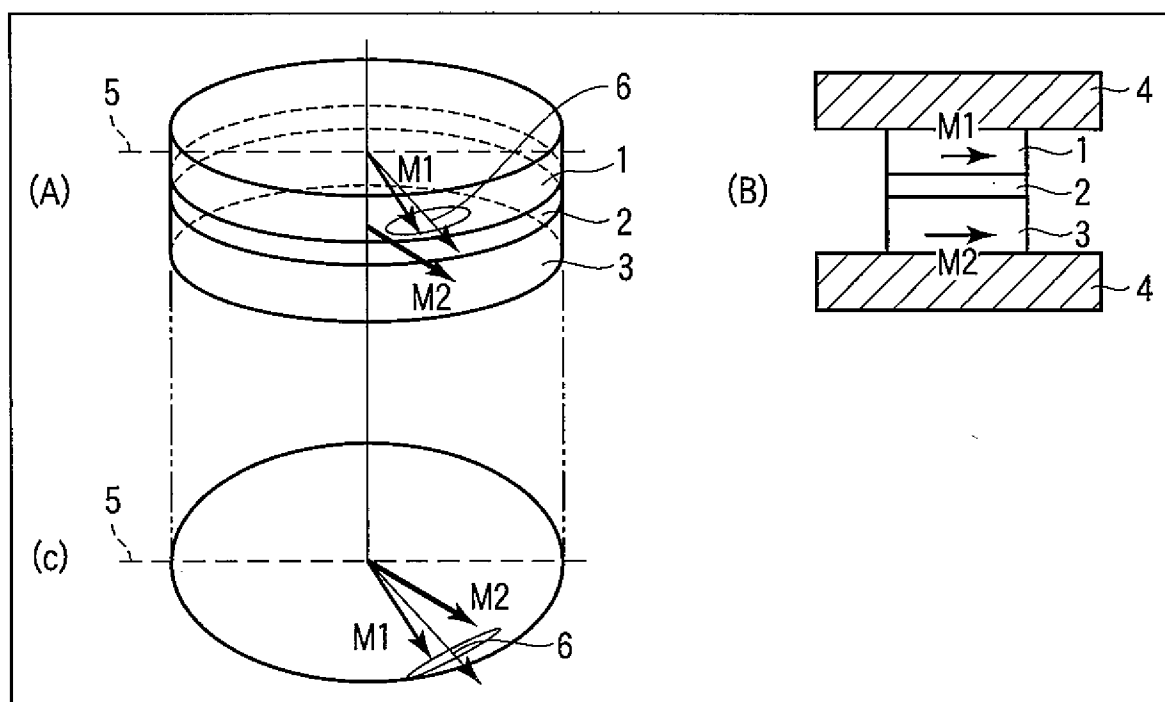
[0139] 1 : 磁気フリー層、 2 : スペーサー層、 3 : 磁気ピンド層、
4 : 電極、 5 : 一軸磁気異方性の方向、 6 : 磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向、 7 : 磁場発生部、 8 A, 20, 22, 24,
26 : 強磁性層、 8 B, 21 : 反強磁性層、 9 : 定電圧源、 10 : 磁性発振素子、 11 : ハイパスフィルター、 12 : 遅延検波回路、 13 : 遅延回路、 14 : ミキサー、 15 : ローパスフィルター、 16 : 高周波信号生成回路、 17 : 半導体基板、 18,
27 : 絶縁層、 19 : 下部電極、 23, 25 : 非磁性層、 28 : 上部電極、 31 : メモリセルアレイ、 32 : 発振器、 33 : 制御回路、 34 : ワード線ドライバ、 35 : ビット線ドライバ/シンカー、 36 : 読み出し回路。

請求の範囲

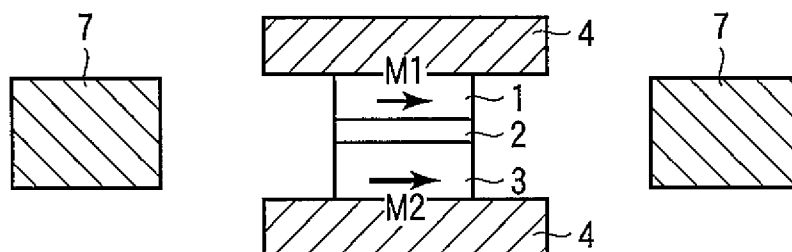
- [請求項1] 磁化方向が可変の磁気フリー層と、
磁化方向が不変の磁気ピンド層と、
前記磁気フリー層及び前記磁気ピンド層間に配置されるスペーサー層と、
前記磁気フリー層に外部磁場を与える磁場発生部とを具備し、
前記磁気フリー層及び前記磁気ピンド層は、磁化方向がそれらと前記スペーサー層との接合面に対して平行であり、
前記磁気フリー層は、一軸磁気異方性を有し、それに発振閾値電流よりも大きな電流が流れることにより磁化振動を行い、
前記磁場発生部は、前記磁化振動による反磁場に起因する発振周波数のシフト量と前記一軸磁気異方性による磁場に起因する前記発振周波数のシフト量とを相殺する方向に前記外部磁場の大きさ及び方向を制御し、
前記磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向と前記磁気ピンド層の磁化方向とのなす角度 θ は、 $0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ 及び $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲内にある
ことを特徴とする磁性発振素子。
- [請求項2] 前記磁気フリー層の磁化振動の中心となる方向は、前記一軸磁気異方性の方向に対して 45° よりも大きいことを特徴とする請求項1に記載の磁性発振素子。
- [請求項3] 前記磁気ピンド層の磁化方向は、前記一軸磁気異方性の方向に対して 20° よりも大きいことを特徴とする請求項1又は2に記載の磁性発振素子。
- [請求項4] 前記磁気フリー層の平面形状は、前記一軸磁気異方性の方向を長軸とする楕円形であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の磁性発振素子。
- [請求項5] 前記発振周波数は、半導体集積回路のリファレンスクロックの周波

数となることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の磁性発振素子。

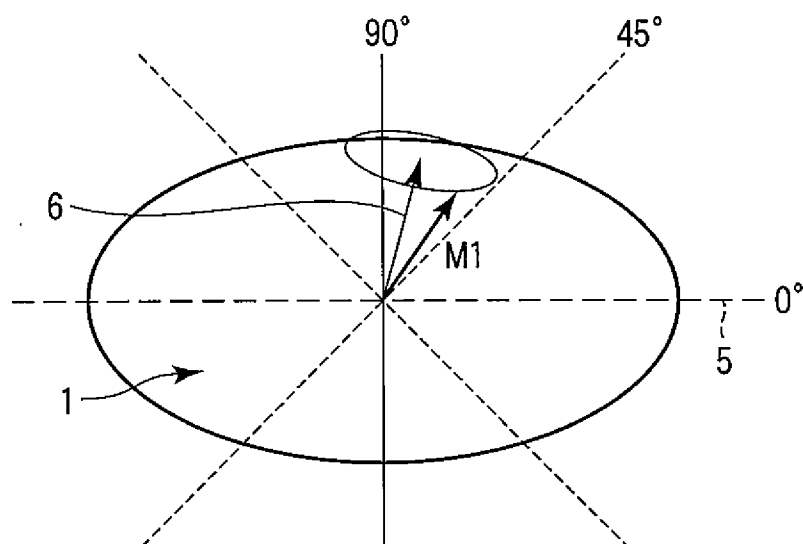
[図1]



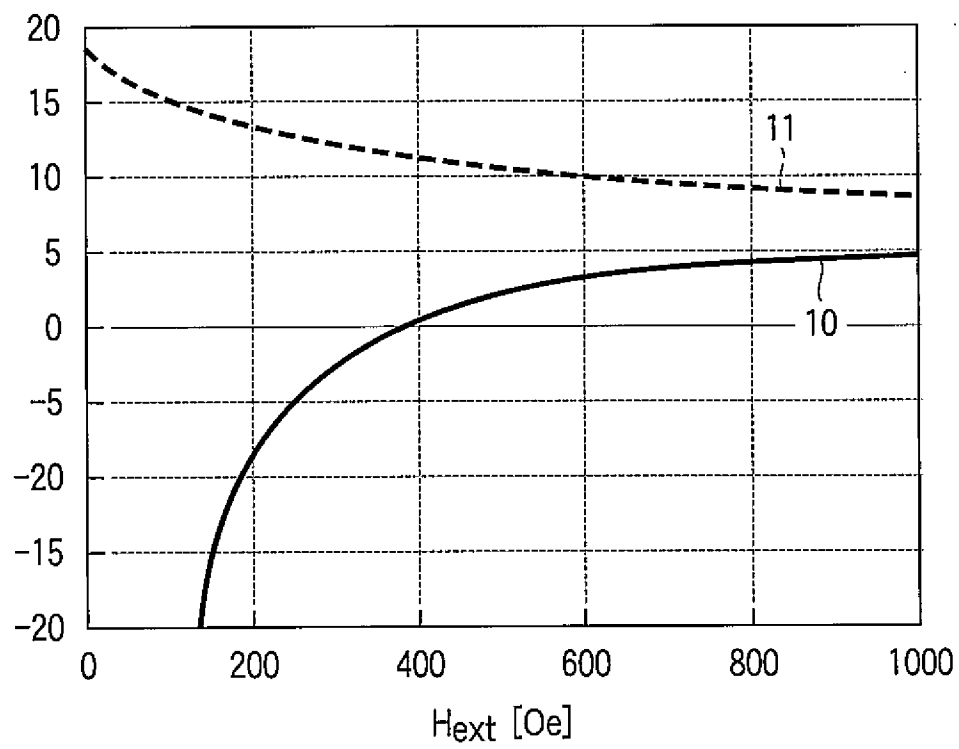
[図2]



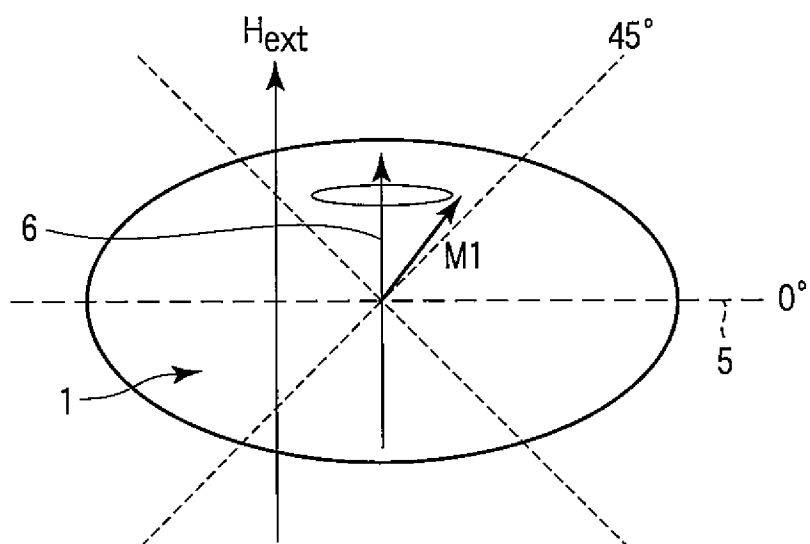
[図3]



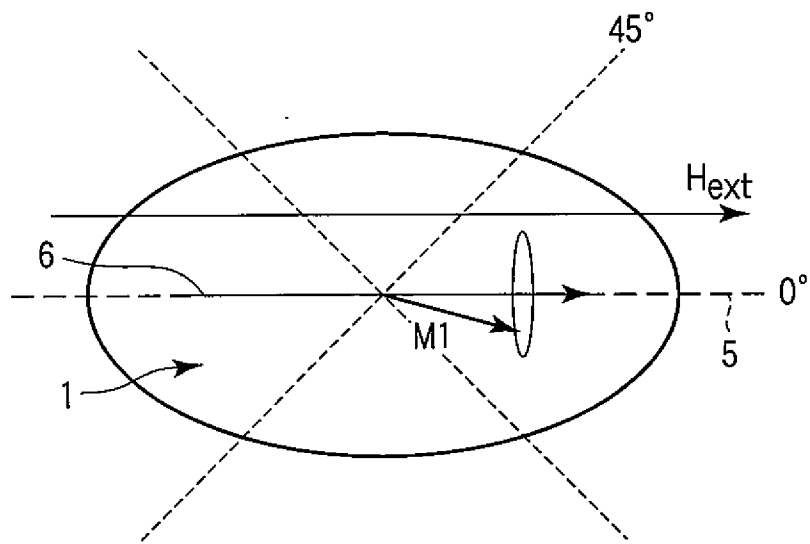
[図4]



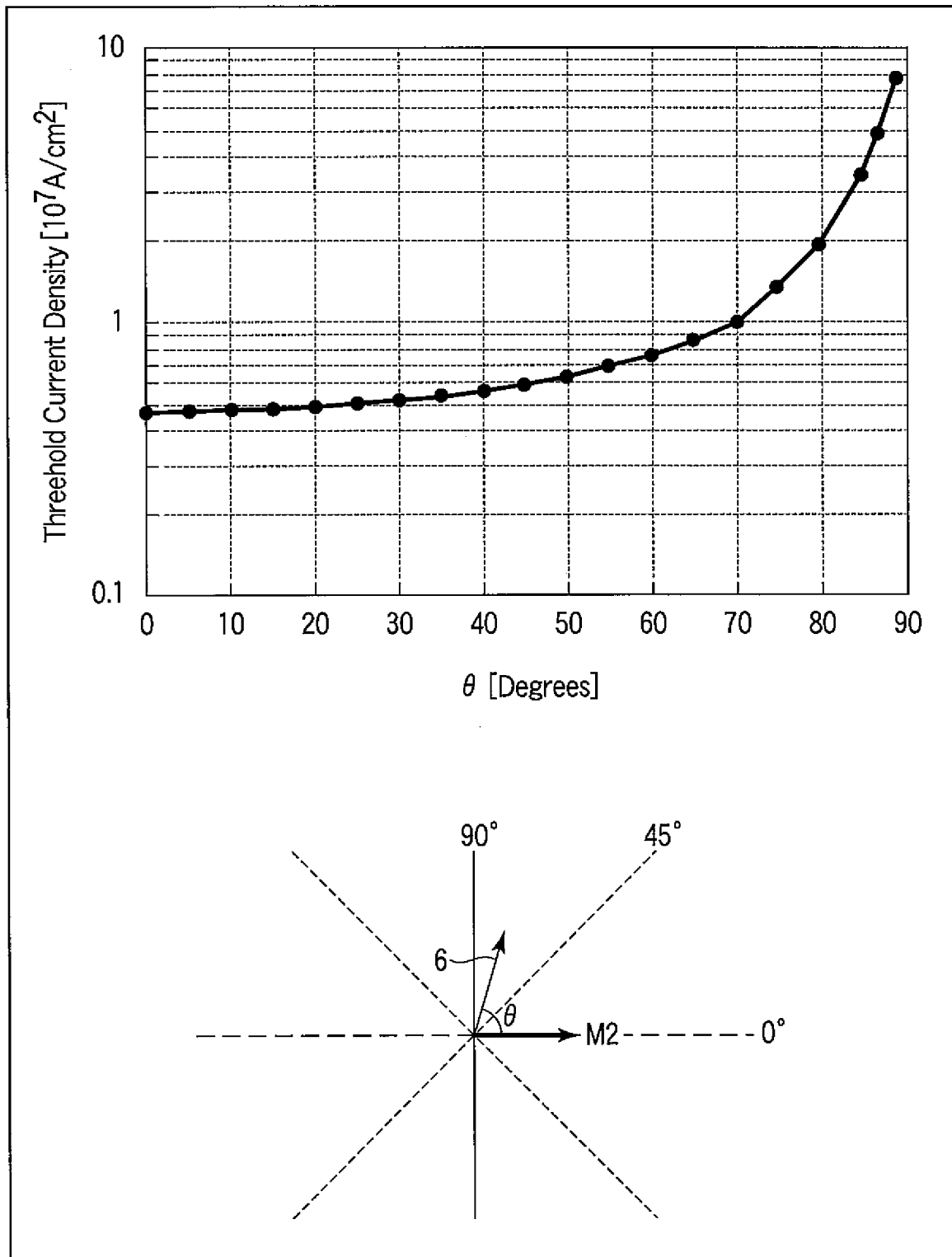
[図5]



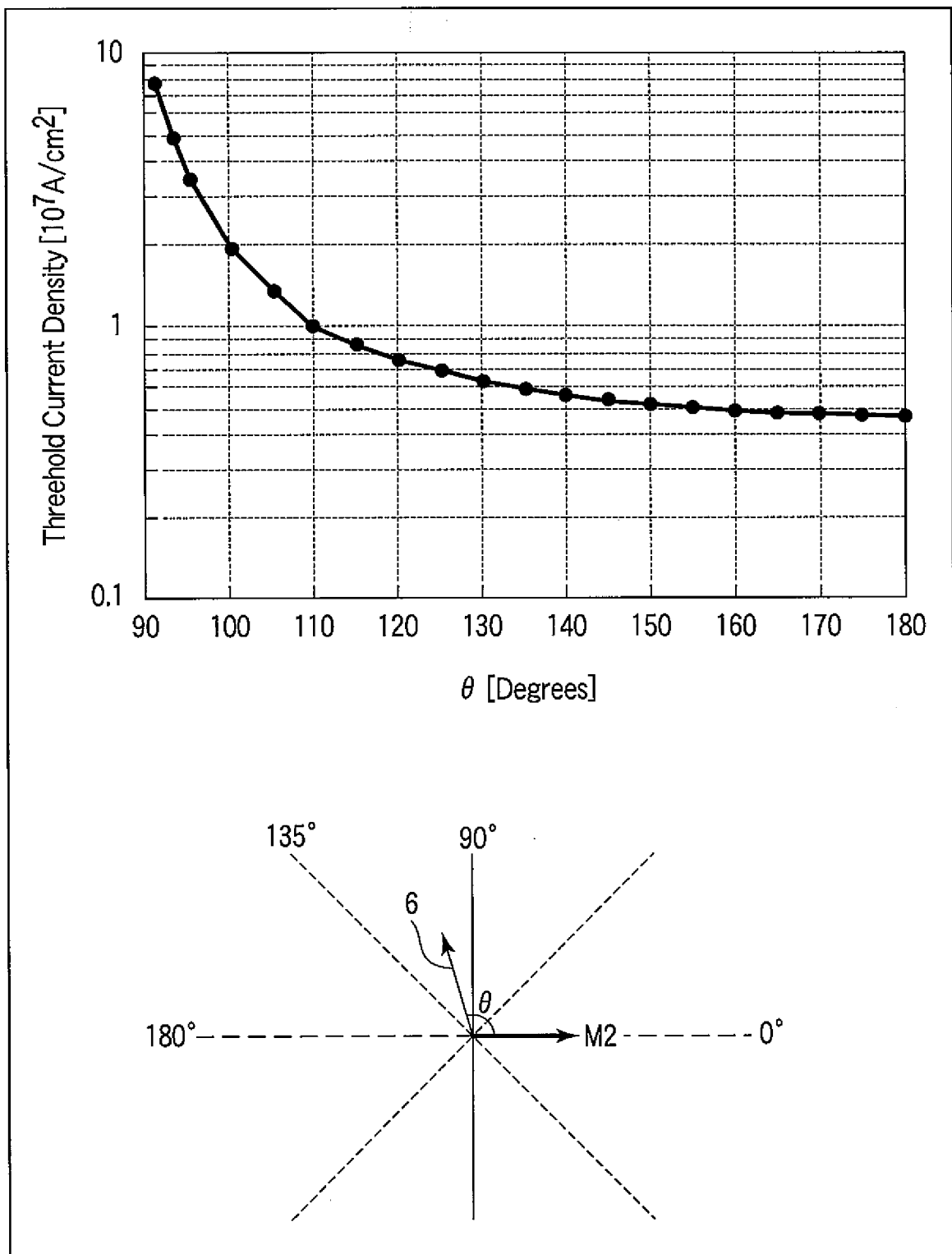
[図6]



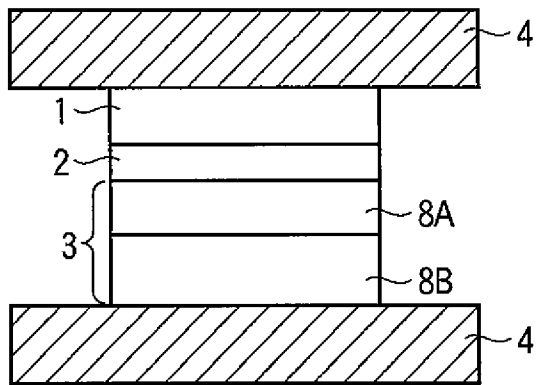
[図7]



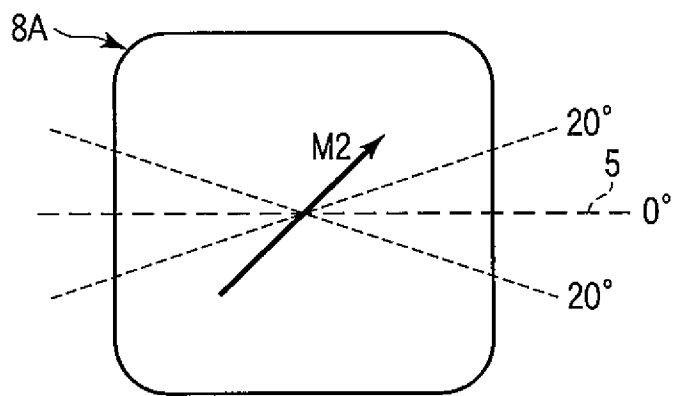
[図8]



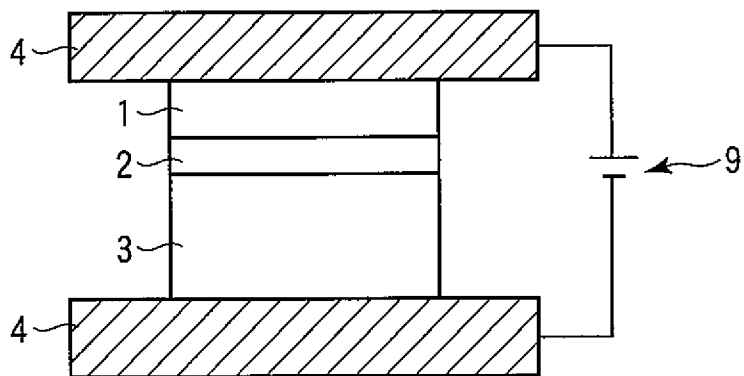
[図9]



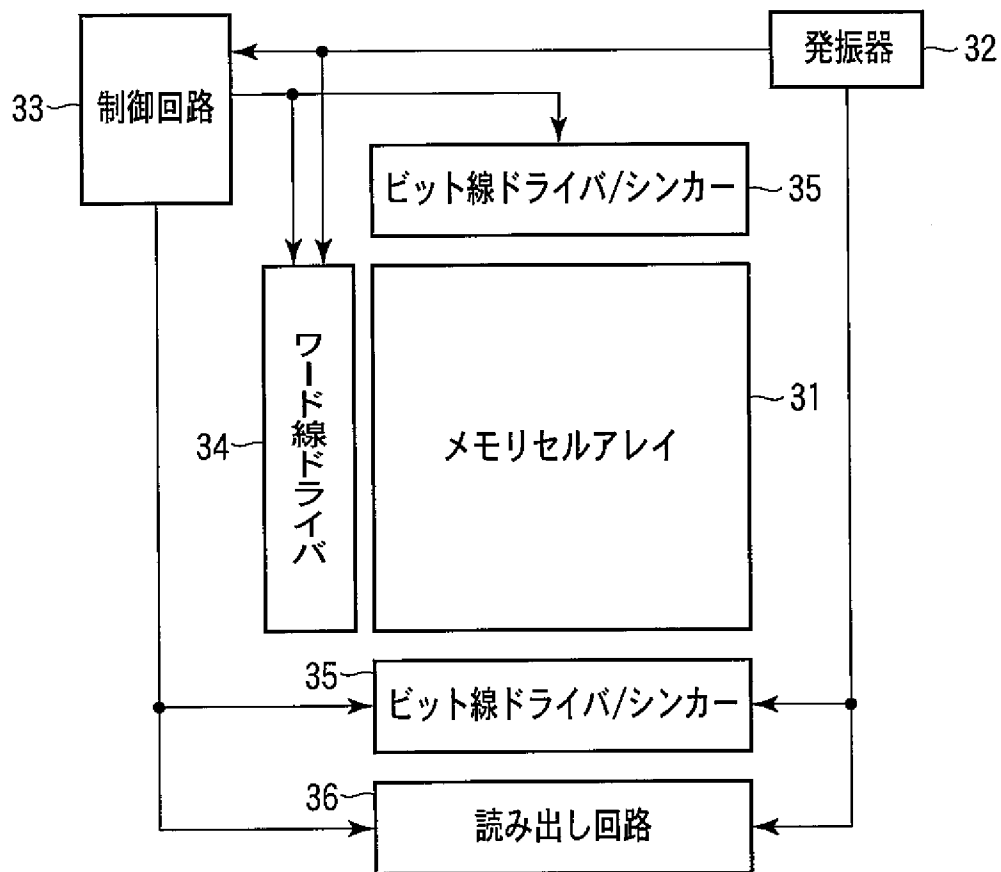
[図10]



[図11]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070045

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L29/82(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i,
H01L43/08(2006.01)i, H03B15/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L29/82, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08, H03B15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Science Citation Index Expanded(Web of Science)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	THADANI, K.V et al, Strong linewidth variation for spin-torque nano-oscillators as a function of in-plane magnetic field angle, Physical Review B, 2008.07, volume 78, issue 2, art. 024409	1-4 5
Y	JP 2008-53915 A (Sharp Corp.), 06 March 2008 (06.03.2008), paragraphs [0002] to [0004] (Family: none)	5
A	KUDO, K. et al, Amplitude-phase coupling in a spin-torque nano-oscillator, Journal of Applied Physics, 2009.02.03, volume 105, issue 7, art.07D105	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 February, 2010 (16.02.10)

Date of mailing of the international search report
23 February, 2010 (23.02.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070045

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-84879 A (Toshiba Corp.), 10 April 2008 (10.04.2008), entire text; all drawings & US 2008/0074806 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L29/82(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H03B15/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L29/82, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08, H03B15/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

Science Citation Index Expanded(Web of Science)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	THADANI, K. V et al, Strong linewidth variation for spin-torque nano-oscillators as a function of in-plane magnetic field angle, Physical Review B, 2008.07, volume 78, issue 2, art.024409	1-4
Y		5
Y	JP 2008-53915 A (シャープ株式会社) 2008.03.06, 段落【0002】 - 【0004】 (ファミリーなし)	5

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小川 将之

4 M

9 6 3 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 6 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	KUDO, K. et al, Amplitude-phase coupling in a spin-torque nano-oscillator, Journal of Applied Physics, 2009.02.03, volume 105, issue 7, art.07D105	1-5
A	JP 2008-84879 A (株式会社東芝) 2008.04.10, 全文, 全図 & US 2008/0074806 A1	1-5