

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5036585号
(P5036585)

(45) 発行日 平成24年9月26日(2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月13日(2012.7.13)

(51) Int.Cl. F I
HO 1 L 43/08 (2006.01) HO 1 L 43/08 U
G 1 1 B 5/35 (2006.01) G 1 1 B 5/35
HO 3 B 15/00 (2006.01) HO 3 B 15/00

請求項の数 8 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-31789 (P2008-31789)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成20年2月13日(2008.2.13)	(74) 代理人	100075812 弁理士 吉武 賢次
(65) 公開番号	特開2009-194070 (P2009-194070A)	(74) 代理人	100082991 弁理士 佐藤 泰和
(43) 公開日	平成21年8月27日(2009.8.27)	(74) 代理人	100096921 弁理士 吉元 弘
審査請求日	平成22年10月19日(2010.10.19)	(74) 代理人	100103263 弁理士 川崎 康
		(72) 発明者	工 藤 究 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁性発振素子、この磁性発振素子を有する磁気ヘッド、および磁気記録再生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振動磁場を発生する振動磁場発生部と、

磁化の向きが固定された第1磁化ピンド層、前記振動磁場によって磁化の向きが振動する第1磁化フリー層、および前記第1磁化ピンド層と前記第1磁化フリー層との間に設けられた第1スペーサ層を有する磁気抵抗効果膜を含む磁気抵抗素子と、

前記振動磁場発生部に電流を供給することにより前記振動磁場を発生させる第1電源と

、
前記磁気抵抗素子の前記磁気抵抗効果膜に電流を供給する前記第1電源と異なる第2電源と、

前記磁気抵抗素子の前記磁気抵抗効果膜から出力されるマイクロ波を取り出すマイクロ波取り出し回路と、

を備えていることを特徴とする磁性発振素子。

【請求項 2】

前記磁気抵抗効果膜の第1スペーサ層は、トンネルバリアであることを特徴とする請求項1記載の磁性発振素子。

【請求項 3】

前記振動磁場発生部は、磁化の向きが固定された第2磁化ピンド層、磁化の向きが振動する第2磁化フリー層、および前記第2磁化ピンド層と前記第2磁化フリー層との間に設けられた非磁性金属からなる第2スペーサ層を有する CPP - GMR 素子であることを特

徴とする請求項 1 または 2 記載の磁性発振素子。

【請求項 4】

前記 CPP - GMR 素子の前記第 2 磁化フリー層の体積は、前記磁気抵抗効果膜の前記第 1 磁化フリー層の体積よりも大きいことを特徴とする請求項 3 記載の磁性発振素子。

【請求項 5】

前記第 1 磁化フリー層の近傍に設けられ、前記マイクロ波の周波数を変化させるための静磁場を発生させる静磁場発生部を更に備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の磁性発振素子。

【請求項 6】

前記振動磁場発生部および前記磁気抵抗素子は同一の基板上に設けられるとともに、電氣的に絶縁されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の磁性発振素子。

10

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の磁性発振素子を、再生素子として備えていることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 8】

請求項 7 記載の磁気ヘッドが搭載されたこと特徴とする磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、磁性発振素子、この磁性発振素子を有する磁気ヘッド、および磁気記録再生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ナノメートルスケールの、複数の磁性層をその間にスペーサ層を挟んで積層した磁性多層膜で起こるスピントランスポール効果を利用して、直流電流に応答する定常状態のマイクロ波シグナルを発生できることが知られている(例えば、非特許文献 1 参照)。そのマイクロ波シグナルの起源は磁性多層膜内の磁化振動部の磁化振動であり、実験的に、CPP (Current Perpendicular to Plane) - GMR (Giant Magneto-Resistance effect) 膜や磁性トンネル接合 (Magnetic Tunnel Junction; MTJ) 膜において、電流密度が $\sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ のオーダーを超えると、高周波 (GHz) の定常磁化振動が検出されている。

30

【0003】

磁性多層膜でスピントランスポール効果を利用したマイクロ波発生器はスピントランスポールオシレータ (磁性発振素子、スピントランスポール発生器) と呼ばれている。著しく進歩した微細加工技術により、CPP - GMR 膜や磁性トンネル接合膜を $100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$ 程度のサブミクロンサイズで加工することが可能であり、磁性発振素子は微小なマイクロ波源や共鳴器などへの応用が期待され、スピントロニクス分野の一研究として現在活発な研究対象になっている。磁性発振素子から発生されるマイクロ波シグナルの周波数は電流、および磁性多層膜内の磁化振動部の磁化に作用する磁場に依存する。特に、磁場によって磁化振動の周波数が変化するという磁場依存性を活かして、磁性発振素子を GMR ヘッド、TMR ヘッドに変わる HDD (Hard Disk Drive) 用磁気センサーとして応用することも考案されている(例えば、特許文献 1 参照)。そこでは、磁場による周波数変化を検知することで HDD 媒体の磁場を検出するのである。

40

【0004】

従来の磁性発振素子は、強磁性多層膜を有する磁気抵抗素子部内に含まれる磁化の振動を起源とするマイクロ波シグナルが取り出される構造になっている。磁気抵抗素子部は基本構造として、磁化フリー層 / スペーサ層 / 磁化ピン層の 3 層構造を有する。電源により磁気抵抗素子部の強磁性多層膜に直流電流 I が通電されると、磁化フリー層と磁化ピン層の間のスピントランスポール効果により磁化フリー層内の磁化 M が振動し、磁化フリー

50

層の磁化と磁化ピンド層の磁化のなす角 θ が時々刻々変化する。このとき、角 θ の変化に伴い、主にスピナルブ磁気抵抗効果により素子抵抗が時々刻々変化し、電圧の交流成分が現れる。その交流成分をバイアスティで取り出すことにより、マイクロ波シグナルPが得られる。

【0005】

上記電源による直流電流値 I は任意の値で良いわけではなく、強磁性多層膜を有する磁気抵抗素子部の構造やその周辺の磁場環境に依存した閾値電流値 I_c よりも大きな電流値でなければならない。 $I > I_c$ の場合のみスピントランスファ効果により磁化フリー層内に磁化振動が励起される。閾値電流 I_c の値は磁気抵抗素子部の断面積と閾値電流密度値で定まる。閾値電流密度値は $\sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ の程度である。

10

【0006】

ところで、発振器の性質を表す量としてQ値(Quality factor)というものがある。Q値の例として、水晶振動子を共振器として利用した発振回路を挙げる。水晶振動子は 10^6 オーダーの高いQ値を有することが知られており、水晶振動子を共振器として利用した発振回路では $10^3 \sim 10^4$ のオーダーのQ値が達成され、安定した発振が得られる。Q値は

【数1】

$$Q = \frac{1 \text{ 周期の間に蓄えられるエネルギー}}{1 \text{ 周期で消費される電力損(散逸エネルギー)}}$$

20

で定義される無次元量で、この値が大きいほど振動が安定であることを意味する。発振状態はその周波数スペクトルにより理解されることが多く、その場合Q値は $Q = f_0 / \Delta f$ で定義される。 f_0 は発振周波数、 Δf は周波数スペクトルの発振ピークの半値幅である。なお、磁性発振素子の発振状態の検出実験は、多くの場合、主にスペクトラムアナライザでその周波数スペクトルを測定することによってなされる。

【0007】

磁気抵抗素子部のスペーサ層としてCuなどの非磁性金属層を用いた場合がCPP-GMR膜による磁性発振素子(以下、GMR発振素子ともいう)である。GMR発振素子では $Q \sim 10 \text{ GHz} / 1 \text{ MHz} \sim 10^4$ 程度の発振を得られることが実験的に知られている(例えば、非特許文献2参照)。すなわち、GMR発振素子はQ値に関して、水晶振動子を共振器として利用した発振回路と同程度かそれ以上の性能を有する。高Q値を達せられる理由は、すべて金属材料で構成されている金属人工格子であるGMR発振素子では、大きな電流密度を有する電流を通電できるという点にある。周波数スペクトルのピーク半値幅 Δf は、おおよそ電流 I の2乗に反比例であることが知られている。このため、大電流密度を通電することで Δf は極々小さなものになり、従って、高Q値を達せられる。

30

【0008】

この高Q値という点がGMR発振素子の利点であるが、不利な点はその発振出力パワーPである。単一GMR発振素子からの出力はナノワットのオーダーという微弱な電力であり、実用的なマイクロワット級の電力レベルから遠く、応用上望ましくない。GMR発振素子による出力がナノワットのオーダーという微弱な電力である理由は、GMR素子は高々数%という小さな磁気抵抗比(MR比)を有しているためである。なお、GMR発振素子をアレイ状に配列することで出力を上げる構造も考案されている(例えば、非特許文献3参照)。しかし、GMR発振素子をアレイ状に配列する場合、出力をマイクロワットのレベルにするには、単一のGMR発振素子を少なくとも数十個程度アレイ化し、さらにそれらをすべて同期させる必要があり、素子作製上の困難が予想される。

40

【0009】

一方、磁気抵抗素子部のスペーサ層としてトンネルバリアを用いた場合が磁気トンネル接合膜による磁性発振素子(以下TMR発振素子)である。近年、スピン注入型磁気ランダムアクセスメモリ(Spin-RAM)への応用が期待される、低抵抗高MR比を有する良質な磁性トンネル接合膜が開発されている。特に、MgO(酸化マグネシウム)のト

50

ンネルバリアを有する TMR (MgO - TMR) 膜での MR 比は数百%以上にも達することが実験的に知られている。TMR 発振素子ではその高 MR 比ゆえに大きな発振出力パワーを得ることができる。実際、MgO - TMR 膜による磁性発振素子による発振出力パワーは実用的なマイクロワット級の電力レベルに近づきつつあり、現在のところ報告されている最大電力は 0.16 マイクロワットである。しかしながら、MgO - TMR 膜等の磁性トンネル接合膜を有する磁性発振素子では、トンネルバリアが絶縁破壊されるという問題のため GMR 発振素子のように大電流密度を通電することができず、従って、高 Q 値を実現することができない。現在までのところ実験的に確認されている TMR 発振素子の f は室温で狭くとも 100 MHz 程度であるため、Q 値は 10^2 程度となり、磁性トンネル接合膜による磁性発振素子の発振は非常に安定性が悪い。

10

【0010】

なお、TMR 発振素子は、そもそも磁化振動を励起することができないということが多々ある。これもまたトンネルバリアの絶縁破壊に由来する。 $I > I_c$ の場合のみスピン移行効果により磁化フリー層 8 内に磁化振動が励起されるということを上で述べたが、閾値電流より小さな電流 I ($I < I_c$) で絶縁破壊を起こしてしまう場合が多くあるからである。

【非特許文献 1】S. I. Kiselev et al. "Microwave oscillations of a nanomagnet driven by a spin-polarized current" Nature 425, 380 (2003).

【特許文献 1】特開2006-286855公報

【非特許文献 2】W. H. Rippard et al. "Current-driven microwave dynamics in magnetic point contacts as a function of applied field angle" Physical Review B 70, 100406(R) (2004).

20

【非特許文献 3】S. Kaka et al. "Mutual phase-locking of microwave spin torque nano-oscillators" Nature 437, 389 (2005).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

以上述べたように、GMR 発振素子、TMR 発振素子には、それぞれメリット、デメリットがある。GMR 発振素子のメリットは高 Q 値であること、デメリットは小さな発振出力パワーであることであり、TMR 発振素子のメリットは大きな発振出力パワーであること、デメリットは低 Q 値であることである。

30

【0012】

微小なマイクロ波源、共鳴器、磁気センサー等への応用上望まれる磁性発振素子は、上記した GMR 発振素子、TMR 発振素子それぞれの利点を有するような磁性発振素子であり、安定すなわち高 Q 値で、高出力すなわち大きな発振出力パワーを有する磁性発振素子である。

【0013】

本発明は、上記事情を考慮してなされたものであって、高 Q 値かつ高出力の磁性発振素子、この磁性発振素子を有する磁気ヘッド、および磁気記録再生装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第 1 の態様による磁性発振素子は、振動磁場を発生する振動磁場発生部と、磁化の向きが固定された第 1 磁化ピンド層、前記振動磁場によって磁化の向きが振動する第 1 磁化フリー層、および前記第 1 磁化ピンド層と前記第 1 磁化フリー層との間に設けられた第 1 スペース層を有する磁気抵抗効果膜を含む磁気抵抗素子と、を備えていることを特徴とする。

【0015】

また、本発明の第 2 の態様による磁性発振素子は、磁化の向きが固定された第 1 磁化ピンド層、直流電流が通電されることにより磁化の向きが振動する第 1 磁化フリー層、およ

50

び前記第1磁化ピンド層と前記第1磁化フリー層との間に設けられた第1スペーサ層を有する第1磁気抵抗効果膜を含む第1磁気抵抗素子と、磁化の向きが固定された第2磁化ピンド層、直流電流が通電されることにより磁化の向きが振動する第2磁化フリー層、および前記第2磁化ピンド層と前記第2磁化フリー層との間に設けられた第2スペーサ層を有する第2磁気抵抗効果膜を含む第2磁気抵抗効果素子と、前記第1磁化フリー層と前記第2磁化フリー層との間に設けられ、前記第2磁気抵抗効果素子から前記第1磁気抵抗効果素子へのスピン流を断ち切るスピンプリップ散乱層と、前記第1磁化ピンド層と電氣的に接続する第1電極と、前記第2磁化ピンド層と電氣的に接続する第2電極と、前記第1および第2電極を介して前記第1磁気抵抗効果素子、スピンプリップ散乱層、および第2磁気抵抗効果素子を通る直流電流を供給する電源と、を備えていることを特徴とする。

10

【0016】

また、本発明の第3の態様による磁気ヘッドは、第1の態様または第2の態様の磁性発振素子を、再生素子として備えていることを特徴とする。

【0017】

また、本発明の第4の態様による磁気記録再生装置は、第3の態様の磁気ヘッドが搭載されたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、高Q値かつ高出力の磁性発振素子、この磁性発振素子を有する磁気ヘッド、および磁気記録再生装置を得ることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、説明の際、共通の構成に同一の符号を付しており、重複する説明は省略する。また、各図は模式図であり、その形状や寸法、比などは実際の装置と異なる箇所も含んでいるが、実際に素子等を製造する際には、以下の説明と公知の技術の参酌により適宜変更することができる。

【0020】

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態による磁性発振素子を図1に示す。第1実施形態による複合型磁性発振素子は、振動磁場発生部1と、強磁性多層膜を有する磁気抵抗素子部2と、を備え、振動磁場発生部1と、磁気抵抗素子部2とが静磁結合している。振動磁場発生部1は複数備えられていても良い。振動磁場発生部1は、交流電源を備えたコイルや従来の磁性発振素子など、振動磁場を発生する素子であれば、どのようなものであっても良い。

30

【0021】

磁気抵抗素子部2は基本構造として磁化フリー層8/スペーサ層9/磁化ピンド層10の3層構造を有する。磁化フリー層8は磁化の向きが外部磁場によって変化し、この磁化フリー層8には、Co、Ni、Feあるいはそれらを含む合金を用いることができる。また、磁化ピンド層10は磁化の向きが固定され、この磁化ピンド層10には、Co、Ni、Feあるいはそれらを含む合金と、IrMnやPtMnなどの反強磁性体と、を接合させ、上記合金と反強磁性体とが強磁性交換結合または反強磁性交換結合している膜を用いることができる。また、CoFeB/Ru/CoFeのような人工フェリ膜を用いることができる。磁化フリー層8、スペーサ層9、磁化ピンド層10はそれぞれ単層である必要はなく、それらの層を複数備えた構造であっても良い。すなわち、GMR素子、TMR素子として知られるあらゆる磁気抵抗効果膜を磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜として用いることが可能である。

40

【0022】

電源11により磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜に直流電流Iが通電されるとともに振動磁場発生部1から発生される振動磁場3が磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜に印加されると、振動磁場3による磁化フリー層8の磁化M2に磁気共鳴が励起され、これにより、磁化フリー層8の磁化M2と磁化ピンド層10の磁化との間の相対角度が時々刻々変化

50

する。そうして、磁化の相対角度に依存したスピバルブ磁気抵抗効果により、強磁性多層膜を有する磁気抵抗素子部2の素子抵抗が時々刻々変化する。このとき、相対角度の変化に伴い、主にスピバルブ磁気抵抗効果により素子抵抗が時々刻々変化し、電源11による直流電流には、磁気抵抗素子部2の素子抵抗変化による交流成分が現れる。その交流成分を、コンデンサおよびインダクタからなるバイアスティフで取り出すことにより、マイクロ波出力Pが得られる。

【0023】

一般に、閾値電流値 I_c よりも大きな電流値 I ($I > I_c$)を磁気抵抗効果膜に流した場合、すなわち高バイアス電圧を磁気抵抗効果膜に印加した場合のMR比は、低バイアス電圧を印加した場合におけるMR比に比べて小さくなることが知られている。このため、従来の磁性発振素子においては、磁気抵抗効果膜のMR比を劣化させた状態でマイクロ波出力Pを取りだしていた。

【0024】

これに対して、上述したように、本実施形態の複合型磁性発振素子においては、振動磁場発生部1から発生する振動磁場3によって、磁化フリー層8の磁化M2を共鳴励起させているので、電源11によって磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜に印加する電圧は、 $I > I_c$ を満たすような高バイアス電圧よりも低くすることができる。このため、磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜が持つMR比を劣化させることなく、磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜からマイクロ波出力Pを取り出すことが可能である。

【0025】

上記のように振動磁場発生部1からの振動磁場3によって、磁気抵抗素子部2の磁化フリー層8内の磁化が効率よく共鳴振動するためには、振動磁場発生部1からの振動磁場3の振動数の大きさは、磁化フリー層8内の磁化M2が有する固有の磁気共鳴振動数に近い大きさである必要がある。また、振動磁場3の振幅は、磁化フリー層8内の磁化M2に作用するランダムな熱的磁場 $H_{thermal}$ よりも大きいことが望まれる。熱的磁場 $H_{thermal}$ は次式で見積もることができる。

【数2】

$$H_{thermal} = \frac{k_B T}{M_S V_{free}}$$

【0026】

ここで、 M_S は磁化フリー層8内の飽和磁化、 V_{free} は磁化フリー層8の体積、 T は絶対温度(Kelvin)、 k_B はボルツマン定数($k_B = 1.3807 \times 10^{-16}$ erg/K)である。典型的な値として、例えば、 $M_S = 600$ emu/cm³、 $V_{free} = 1.0 \times 10^5$ nm³を用いると、 $H_{thermal}$ は室温($T = 300$ K)で、 $H_{thermal} = 0.690$ eと見積もられる。すなわち、室温($T = 300$ K)では、振動磁場発生部1からの振動磁場3の振幅は0.690 eよりも大きいことが必要となる。

【0027】

以上説明したように、本実施形態によれば、振動磁場発生部1から発生される振動磁場によって、磁化フリー層8の磁化M2を共鳴励起させているので、高Q値を得ることができる。また、このとき、電源11から磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜に加えられる電流は、閾値電流値 I_c よりも小さな電流値で済むので、スペーサ層9として、例えばMgOからなるトンネルバリアを用いれば、絶縁破壊を起こすことがなく、高出力を得ることができる。なお、スペーサ層9として、MgOからなるトンネルバリアばかりでなく、高出力を得ることが可能であれば、非磁性金属を用いてもよい。

【0028】

(第2実施形態)

本発明の第2実施形態による磁性発振素子を図2に示す。本実施形態による磁性発振素子は、図1に示す第1実施形態の磁性発振素子の振動磁場発生部1として、磁化フリー層14/スペーサ層15/磁化ピンド層16の3層積層構造を有するCPP-GMR素子を

10

20

30

40

50

用いた構成となっている。電源 13 による電流 I は磁化フリー層 14 内の磁化 M1 をスピントランスファ効果によって振動するのに十分な大きさである。したがって、振動磁場発生部 1 は従来の GMR 発振素子に類似の構造になっている。振動磁場発生部 1 による振動磁場 3 は、磁化フリー層 14 の磁化 M1 の振動に由来する振動双極子磁場である。この磁化 M1 による振動双極子磁場によって、磁気抵抗素子部 2 における磁化フリー層 8 の磁化 M2 の磁気共鳴が引き起こされる。

【0029】

本実施形態においては、GMR 発振素子からなる振動磁場発生部 1 からは高 Q 値を有する磁化振動を得られるので、GMR 発振素子で構成される振動磁場発生部 1 からは、高 Q 値の安定した振動双極子磁場を得られるという利点がある。さらに、GMR 発振素子はサブミクロンサイズで作製可能であるため、振動磁場発生部 1 をサブミクロンサイズで作製できることになり、この結果、本実施形態の磁性発振素子を微小なサイズとすることが可能になる。振動磁場発生部 1 による振動磁場 3 に関して、その振動双極子磁場 H_{dip} の大きさは、下記の式 (1) で見積もることができる。

【数 3】

$$H_{dip} = \frac{4\pi M_s V_{free}}{r^3} \quad (1)$$

【0030】

ここで、 M_s は磁化フリー層 14 の飽和磁化、 V_{free} は磁化フリー層 14 の体積、 r は振動磁場発生部 1 と、磁気抵抗素子部 2 の強磁性多層膜との間の距離である。GMR 発振素子の典型的な値である $M_s = 10^3 \text{ emu/cm}^3$ 、 $V_{free} = 10^5 \text{ nm}^3$ を用い、距離 r を $r = 300 \text{ nm}$ とした場合には、振動双極子磁場 H_{dip} は、 $H_{dip} = 500 \text{ e}$ と見積もられる。この振動双極子磁場 H_{dip} の大きさは、磁気抵抗素子部 2 における強磁性多層膜の磁化 M2 に磁気共鳴を引き起こすのに十分な大きさであるが、磁気共鳴による磁化 M2 の大きな磁化振動を得るためには、さらに大きな振動双極子磁場 H_{dip} であることが望ましい。式 (1) で示されているように、距離 r が小さいほど振動双極子磁場 H_{dip} は大きくなるため、磁気共鳴による磁化 M2 の大きな磁化振動を得るには、距離 $r (> 0)$ は小さいことが望ましい。

【0031】

また、磁気抵抗素子部 2 における強磁性多層膜の磁化フリー層 8 内の磁化が効率よく共鳴振動するためには、振動磁場発生部 1 からの振動磁場 3 の振動数の大きさは、磁化フリー層 8 内の磁化が有する固有の磁気共鳴振動数に近い大きさであることが望ましい。

【0032】

以上説明したように、本実施形態も、第 1 実施形態と同様に、高 Q 値および高出力を得ることができる。

【0033】

(第 3 実施形態)

本発明の第 3 実施形態による磁性発振素子を、図 2 を参照しながら説明する。本実施形態による磁性発振素子は、第 2 実施形態における磁気抵抗素子部 2 として磁性トンネル接合 (MTJ) 素子を用いた構成となっている。

【0034】

従来の TMR 発振素子では、絶縁破壊の問題のために、大電流を通電することができず、従って、磁化フリー層 8 の磁化 M2 の振動として安定性の悪い (低 Q 値) 振動しか得られないという問題があった。

【0035】

しかし、本実施形態の磁性発振素子においては、磁化フリー層 8 における磁化 M2 の振動の原動力は振動磁場発生部 1 からの振動磁場であるため、高 Q 値を得るのに大電流を要さない。高 Q 値の発振を得るには、安定な振動磁場を用いればよい。大電流を要さないというのは、直流電源 11 により MTJ 素子からなる磁気抵抗素子部 2 の強磁性多層膜に印

10

20

30

40

50

加されるバイアス電圧が低電圧でよいということになる。

【0036】

一般に、MTJ素子のMR比はバイアス電圧依存性があり、バイアス電圧が大きいほどMR比が小さくなってしまふということが知られている。発振出力パワーPはMR比の2乗に比例するため、なるべくMR比を劣化させないようなバイアス電圧でパワーPを取り出すことが望まれる。本実施形態の磁性発振素子においては、従来のTMR発振素子のように閾値バイアス電圧値は存在せず、発振パワーPを取り出すのに電源11によるバイアス電圧値は任意の大きさでよく、従って、なるべくMR比を劣化させないようなバイアス電圧でパワーPを取り出すことができる。なお、本実施形態においては、パワーの大きなマイクロ波を得るうえで、磁気抵抗素子部2のMTJ素子のスペーサ層9として、MgO (酸化マグネシウム) からなるトンネルバリアを用いることが望ましい。

10

【0037】

ところで、従来のTMR発振素子において、磁化フリー層から磁化ピンド層の向きに電流が流れるようにバイアス電圧を印加する場合のほうが、その逆の場合よりも磁化フリー層に作用するスピントランスファトルクが大きいことが知られている(スピントランスファトルクのバイアス電圧非対称性)。従来のMTJ発振素子にとってスピントランスファトルクは発振の原動力である。しかし、本実施形態の磁性発振素子におい、直流電源11によるスピントランスファトルクはノイズ(スピントランスファノイズ)の起源になり得る。そのため、直流電源11による電流の向きは磁化ピンド層10から磁化フリー層8の向きであることが、スピントランスファノイズを抑制し発振の安定性を劣化させないために望ましい電流の向きである。

20

【0038】

以上説明したように、本実施形態も第2実施形態と同様に、高Q値および高出力を得ることができる。

【0039】

(第4実施形態)

本発明の第4実施形態による磁性発振素子を、図2を参照して説明する。本実施形態による磁性発振素子は、第2乃至第3実施形態において、振動磁場発生部1の第1磁化振動部の体積が、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2の第2磁化振動部の体積よりも大きくなるように構成されている。図2ではこれらの体積差は明示していない。第1磁化振動部は磁化フリー層14内で磁化振動する部分に対応し、第2磁化振動部は磁化フリー層8内で磁化振動する部分に対応する。

30

【0040】

本実施形態の磁性発振素子における発振機構は、第1磁化振動部による振動磁場が、第2磁化振動部内の磁化M2に作用して磁化M2を励起する。そして、本実施形態の磁性発振素子においては、第1磁化振動部の体積が第2磁化振動部の体積よりも大きいために、第1磁化振動部による振動磁場が第2磁化振動部内の磁化M2に有効に作用して磁化M2を大振幅で振動させることが可能となり、大きな発振出力パワーPを得ることができる。

【0041】

振動磁場が第2磁化振動部内の磁化M2に作用するというのは、第1磁化振動部からの磁束 Φ_1 が第2の磁化振動部に流れ込むということである。ここで、 $\Phi_1 = B_1 S_1$ であり、 B_1 はM1による振動磁場、 S_1 は第1磁化振動部を囲む表面積である。また、第2磁化振動部に流れ込んできた磁束 Φ_2 は $\Phi_2 = B_2 S_2$ であり、 B_2 は磁化M2に作用する振動磁場、 S_2 は第2の磁化振動部を囲む表面積である。第1磁化振動部の体積が第2磁化振動部の体積よりも大きい場合、 $S_1 > S_2$ となり、従って、 $B_1 < B_2$ となる。すなわち、本実施形態の磁性発振素子においては、第1磁化振動部の体積が第2磁化振動部の体積よりも大きいために、第2磁化振動部内の磁化M2に作用する振動磁場が大きくなり、磁化M2を大振幅で振動させることができる。

40

【0042】

本実施形態も第2乃至第3実施形態と同様に、高Q値および高出力を得ることができる

50

【0043】

なお、第2乃至第4実施形態による磁性発振素子においては、振動磁場発生部1を動作させるための電源13と、磁気抵抗素子部2を動作させるための電源11とが別々に、設けられているので、振動磁場発生部1および磁気抵抗素子部2にとって適切な電圧値を設定することができる。特に、磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜を動作させる電源11はマイクロ波出力値と関わっており、微小なマイクロ波源、共鳴器、磁気センサー等に第2乃至第4実施形態の磁性発振素子を応用する際に、応用上適切な電圧値、すなわち、マイクロ波出力値を設定することができる。

【0044】

(第5実施形態)

本発明の第5実施形態による磁性発振素子を図3に示す。本実施形態の磁性発振素子は、振動磁場発生部1と、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2と、バイアスティブと、直流電源12と、ランダムスピントランスポジション層20と、それらに通電するための一対の電極21a、21bと、を備えている。振動磁場発生部1は、磁化フリー層14と、スペーサ層15と、磁化ピンド層16とを有している。そして、磁化フリー層14がランダムスピントランスポジション層20と電気的に接続し、磁化ピンド層16が電極21aと電気的に接続している。また、磁気抵抗素子部2は、磁化フリー層8と、スペーサ層9と、磁化ピンド層10とを有している。そして、磁化フリー層8がランダムスピントランスポジション層20と電気的に接続し、磁化ピンド層10が電極21bと電気的に接続している。直流電源12は、電極21a、21bを介して本実施形態の磁性発振素子に直流電流を流す。

【0045】

ランダムスピントランスポジション層20は、振動磁場発生部1と強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2とを電気的に結合するという役割と、振動磁場発生部1と強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2との間のスピントランスポジションの受け渡しを断ち切るという役割をしている。ランダムスピントランスポジション層20によって、振動磁場発生部1と強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2との間のスピントランスポジションの受け渡しが断ち切られているため、振動磁場発生部1と強磁性多層膜磁気抵抗素子部2との間にスピントランスポジション効果はなく、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2におけるスピントランスポジションノイズを抑制することができる。スピントランスポジション層20は、伝導性物質(例えば、Cu)であればどのような材料でもよい。ただし、この場合、スピントランスポジション層20の層厚はスピントランスポジション拡散長 l_{sf} よりも大きくする必要がある。スピントランスポジション拡散長 l_{sf} は、伝導電子のスピントランスポジション緩和して向きを変える距離であり、大抵の材料で数nm~数百nmの範囲にあることが知られている。もともとスピントランスポジション率がP(例えば、ハーフメタルのような完全偏極材料では $P=1$ 、FeではPは約0.4である)であったスピントランスポジション電子が、スピントランスポジション拡散長 l_{sf} 程度の距離を伝導すると、スピントランスポジション率がP0となる。スピントランスポジション効果はPに比例するため、スピントランスポジション層20の層厚がスピントランスポジション拡散長 l_{sf} よりも大きければ、振動磁場発生部1と強磁性多層膜磁気抵抗素子部2との間の伝導電子のスピントランスポジション率は小さくなり、振動磁場発生部1と強磁性多層膜磁気抵抗素子部2との間のスピントランスポジション効果が消滅する。成膜の都合上、スピントランスポジション拡散長 l_{sf} が短いほうが望ましいのであるが、この場合には、伝導性物質にスピントランスポジション層をランダムに埋め込めばよい。スピントランスポジション層としては、磁性不純物(例えば、Mn)を用いることができる。

【0046】

次に、本実施形態の磁性発振素子の発振機構について説明する。直流電源12により一対の電極21a、21bを介して本実施形態の磁性発振素子に電流Iを通電する。この電流Iにより、磁化ピンド層16と磁化フリー層14との間にスピントランスポジション効果が生じ、磁化フリー層14内の磁化M1が振動する。ただし、電流Iの値は磁化M1の振動を励起するのに十分な大きさである($I > I_c$)。磁化M1の振動により、振動双極子磁場が生じ、その磁場は、磁化フリー層8の磁化M2に作用し、磁気共鳴効果によって振動する。発振パワーPは、振動磁場発生部1における磁化ピンド層16と磁化フリー層14と

10

20

30

40

50

の間のスピバルブ磁気抵抗効果、および強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2における磁化ピンド層10と磁化フリー層8との間のスピバルブ磁気抵抗効果のそれぞれの磁気抵抗効果の帰結として得られる。

【0047】

次に、発振パワーPを大きな発振パワーでかつ高Q値なものにすることができることを説明する。スペーサ層15を非磁性金属層にし、スペーサ層9をトンネルバリアにした場合に、最も発振パワーPを大きく、高Q値にすることが可能である。このとき、振動磁場発生部1はCPP-GMR素子構造、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2はTMR素子構造となる。振動磁場発生部1はCPP-GMR素子構造であるために、スピントランスファ効果による磁化フリー層14の磁化M1の振動は高Q値の安定した振動となり、この磁化M1の振動によって生じる振動磁場3もまた高Q値である。その高Q値の振動磁場3によって励起される磁化フリー層8の磁化M2の振動もまた高Q値である。

10

【0048】

一般に、CPP-GMR素子とTMR素子を比べた場合、それらのスピバルブ磁気抵抗効果は、TMR素子、とりわけMgOからなるトンネルバリアを有するTMR素子の場合のほうがはるかに大きい。CPP-GMR素子のMR比はせいぜい数%であるのに対して、TMR素子のMR比は数百%である。従って、発振出力パワーPの大きさはほぼ強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2におけるスピバルブ磁気抵抗効果で決定され、数百%という大きなMR比を反映して大きな発振パワーPを得ることができる。

【0049】

以上説明したように、本実施形態によれば、高Q値および高出力を得ることができる。

20

【0050】

(第6実施形態)

本発明の第6実施形態による磁性発振素子を図4に示す。本実施形態による磁性発振素子は、図3に示す第5実施形態において、一对の電極21a、21bによって通電される電流の電流密度値に関して、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2における電流密度値が、振動磁場発生部1における電流密度値よりも小さくなるように、振動磁場発生部1および強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2が形成されている。すなわち、本実施形態においては、図4に示すように、振動磁場発生部1のスペーサ層15および磁化ピンド層16のそれぞれの断面積(すなわち、層面の面積)が、スペーサ層9、磁化ピンド層10、およびランダムスピフリップ散乱層20のそれぞれの断面積(層面の面積)よりも小さくなる構造を有している。このため、磁化フリー層14に流れこむ電流密度値は、磁化フリー層8に流れこむ電流密度値よりも大きい。スピントランスファ効果は電流密度値に比例するため、磁化フリー層8と磁化ピンド層10との間のスピントランスファ効果は、磁化フリー層14と磁化ピンド層16との間のスピントランスファ効果よりも電流密度の寄与に関して小さくすることができる。なお、本実施形態においては、磁化ピンド層16に電氣的に接続する電極21aは、ピラー型となっている。

30

【0051】

従って、本実施形態の磁性発振素子では、磁化フリー層8と磁化ピンド層10との間のスピントランスファ効果が抑制され、磁化フリー層8の磁化M2の振動に対するスピントランスファノイズが抑えられ、Q値のスピントランスファノイズによる劣化を防ぐことが可能である。

40

【0052】

本実施形態も第5実施形態と同様に、高Q値および高出力を得ることができる。

【0053】

(第7実施形態)

本発明の第7実施形態による磁性発振素子を、図5を参照して説明する。本実施形態の磁性発振素子は、第2乃至第4実施形態のいずれかの磁性発振素子に静磁場印加部を新たに設けた構成となっている。

【0054】

50

第2乃至第4実施形態のいずれかの磁性発振素子のように、振動磁場発生部1としてGMR発振素子を用いた場合、振動磁場の周波数はGMR素子の磁化フリー層14の磁化が感じる磁場に依存している。強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2からのマイクロ波周波数もまた磁気抵抗素子部2における強磁性多層膜の磁化フリー層8の磁化が感じる磁場に依存している。従って、振動磁場発生部1としてのGMR発振素子の磁化フリー層14に静磁場を印加する静磁場印加部を設けることにより、振動磁場の周波数を調節することが可能になり、また磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜の磁化フリー層8に静磁場を印加する静磁場印加部を設けることにより、発振マイクロ波の周波数を調節することが可能になる。

【0055】

磁化フリー層に作用させる静磁場を発生させるには、図5に示すように、配線51を振動磁場発生部1あるいは磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜の周囲、とりわけ、それらの磁化フリー層の周辺に配置し、配線51に直流電流52を通電することで実現される。直流電流52により、振動磁場発生部1あるいは強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2に静的なアンペール磁場53が作用する。配線51は電流磁界書き込み型のMRAMにおける書き込み配線に類似の配線でよい。配線51から振動磁場発生部1あるいは磁気抵抗素子部2の強磁性多層膜までの距離を $R[\mu\text{m}]$ とし、直流電流52の電流値を $I[\text{A}]$ とすれば、アンペール磁場53の大きさ $H_{\text{amp}}[\text{Oe}]$ は、次式で評価できる。

【数4】

$$H_{\text{amp}}[\text{Oe}] = I[\text{A}] \times 10^3 \times \frac{1}{R[\mu\text{m}]}$$

【0056】

この式から明らかなように、アンペール磁場53の大きさ H_{amp} は電流値 I に応じて変化するから、適宜電流値を定めて、アンペール磁場53の大きさ H_{amp} を望みの値に設定すればよい。例えば、 $R = 0.5[\mu\text{m}]$ 、 $I = 5.0 \times 10^{-3}[\text{A}]$ とした場合、 $H_{\text{amp}} = 10[\text{Oe}]$ であり、 H_{amp} によっておよそ、 $H_{\text{amp}} / (2\pi)$ 28MHzほど、振動磁場の周波数あるいは、発振マイクロ波の周波数を調節することができる。このように、振動磁場の周波数を静磁場で磁気抵抗素子部2における磁化フリー層の磁化M2が生来的に有する磁気共鳴周波数に調節することで、磁気抵抗素子部2の磁化フリー層の磁化M2を振動磁場によって効率よく大振幅で振動させることができる。また、あるいは、静磁場で発振マイクロ波の周波数を調節することも可能であるため、用途に応じた周波数を持ったマイクロ波を本実施形態の磁性発振素子から取り出すことができる。

【0057】

本実施形態も第2乃至第4実施形態と同様に、高Q値および高出力を得ることができる。

【0058】

(第8実施形態)

次に、本発明の第8実施形態による磁性発振素子を図6に示す。本実施形態による磁性発振素子は、図6に示すように、基板43上に形成された、振動磁場発生部1と、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2と、インダクタおよびコンデンサからなるバイアスインダクタ7と、直流電源11、13と、を備えている。振動磁場発生部1と、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2とは絶縁体42により空間的に分割されていて、それぞれの磁化振動部は距離 $r = 250\text{nm}$ 離れている。この距離 r は、それぞれの磁化振動部の中心間の距離である。この距離 r はできる限り小さくしたいのであるが、本実施形態においては、素子作製の観点から十分可能な適切な値にしている。

【0059】

振動磁場発生部1は、基板43上に形成された下部電極32aと、下部電極32a上に形成されたIrMnからなる反強磁性層33aと、反強磁性層33a上に形成されたCoFeからなる磁化ピンド層36と、磁化ピンド層36上に形成されたCuからなる非磁性

10

20

30

40

50

スペーサ層 35 と、非磁性スペーサ層 35 上に形成された NiFe からなる磁化フリー層 34 と、磁化フリー層 34 上に形成されたキャップ層 31a と、キャップ層 31a 上に形成された上部電極 30a と、を備えている。下部電極 32a には、例えば Cu/Ta からなる 2 層の積層膜を用いることができる。上部電極 30a には、例えば Au を用いることができる。振動磁場発生部 1 における上部電極 30a には、絶縁層 42 によりサイズ R のポイントコンタクトが形成されている。サイズ R は 100 nm 程度の大きさにしている。このポイントコンタクトは、電源 13 によって磁化フリー層 34 / 非磁性スペーサ層 35 / 磁化ピンド層 36 からなる積層膜を通電する電流の電流密度が大きくなるように設けられている。大きな電流密度によって、磁化フリー層 34 内の磁化 M1 と磁化ピンド層 36 内の固定された磁化との間のスピントランスファ効果が高まり、磁化フリー層 34 内の磁化 M1 はスピントランスファ効果による振動をする。振動磁場発生部 1 は、公知のスピントランスファナノコンタクト発振器に類似の構造である。加えて、振動磁場発生部 1 は、スペーサ層が非磁性金属の Cu で構成されたいわゆる CPP-GMR 発振素子構造になっているから、磁化 M1 の振動の Q 値は 10^4 程度の高 Q 値となっている。

10

【0060】

強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部 2 は、基板 43 上に形成された下部電極 32b と、下部電極 32b 上に形成された IrMn からなる反強磁性層 33b と、反強磁性層 33b 上に形成された CoFe 層 41 と、CoFe 層 41 上に形成された Ru 層 40 と、Ru 層 40 上に形成された CoFeB 層 39 と、その上部に形成された、MgO からなるトンネルバリア層 38 と、その上部に形成された、CoFeB からなる磁化フリー層 37 と、CoFeB 層 39 上に形成されたキャップ層 31b と、キャップ層 31b 上に形成された上部電極 30b と、を有している。CoFe 層 41 / Ru 層 40 / CoFeB 層 39 の積層構造は 3 層で人工フェリをなしており、磁化ピンド層として機能する。CoFeB からなる磁化フリー層 37 内の磁化 M2 は、振動磁場発生部 1 内の磁化 M1 の振動磁場 3 による磁気共鳴によって振動する。強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部 2 の構造それ自身は、高 MR を有することでよく知られている MgO からなるトンネルバリアの TMR 素子構造の一例となっている。なお、CoFe 層 41 / Ru 層 40 / CoFeB 層 39 / MgO からなるトンネルバリア層 38 / CoFeB 層 37 / キャップ層 31b からなる素子の一部分は、膜面形状が、長軸 200 nm、短軸 150 nm の楕円形状に加工されている。本実施形態においては、CoFeB からなる磁化フリー層 37 の体積 V_2 は約 $7.1 \times 10^4 \text{ nm}^3$ である。

20

30

【0061】

本実施形態における、振動磁場発生部 1、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部 2 の各層の膜厚に関して説明する。まず、図 7 に示すように下部電極 32a、32b の膜厚を同一にしている。その上部の各層については、振動磁場発生部 1 では、順に、IrMn からなる反強磁性層 33 は 15 nm、CoFe からなる磁化ピンド層 36 は 12 nm、Cu からなる非磁性スペーサ層 35 は 5 nm、NiFe からなる磁化フリー層 34 は 5 nm である。また、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部 2 では、順に、IrMn からなる反強磁性層 33 は 25 nm、CoFe 層 41 は 3 nm、Ru 層 40 は 0.85 nm、CoFeB 層 39 は 3 nm、MgO からなるトンネルバリア層 38 は 1.8 nm、CoFeB からなる磁化フリー層 37 は 3 nm である。従って、振動磁場発生部 1 の NiFe からなる磁化フリー層 34 と、磁気抵抗素子部 2 の CoFeB からなる磁化フリー層 37 とがほぼ同一の高さに配置されており、NiFe からなる磁化フリー層 34 と、CoFeB からなる磁化フリー層 37 との間の距離 r をなるべく小さくし、NiFe からなる磁化フリー層 34 内の磁化 M1 による振動磁場が CoFeB からなる磁化フリー層 37 内の磁化 M2 に有効に作用するような工夫がなされている。このため、 10^4 程度の高 Q 値の磁化フリー層 34 の磁化 M1 の磁化振動に由来する振動磁場 3 によって励起される磁化フリー層 37 の磁化 M2 の振動もまた高 Q 値となる。

40

【0062】

磁気抵抗素子部 2 の MgO からなるバリア層 38 は 1.8 nm という、近年の MgO -

50

TMR素子技術においては、比較的厚い膜厚を有しており、室温であってもMR比が200%程度、実現される。またRA（面積抵抗）として、 $5 \cdot \mu\text{m}^2$ 程度になるように成膜することが可能であり、本実施形態の場合、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2の素子抵抗は約212である。

【0063】

本実施形態の磁性発振素子においては、第7実施形態で説明したように、図示しない配線が振動磁場発生部1のNiFeからなる磁化フリー層34の近傍に埋め込まれており、そこに直流電流を流すことによって、NiFeからなる磁化フリー層34内の磁化M1に作用する静的定磁場を変化させることができるようになっている。この図示しない配線により、磁化フリー層34の磁化M1の磁気共鳴周波数を、強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2のCoFeBからなる磁化フリー層37内の磁化M2の磁気共鳴周波数にほぼ一致するようにうまく調節することが可能になっている。

【0064】

振動磁場発生部1内の磁化M1の振動について説明しておく。スピントランスファナノコンタクト発振器型の磁性発振素子で生じる磁化の発振モードは、スピン波理論でよく記述できるようなモードであり、主にスピン・ウェーブ・ブレット(spin wave bullet)モードであると、現時点で世の中では考えられている。しかしながら、本発明者らが日頃の研究から得ている知見に依れば、磁化フリー層が本実施形態のようにNiFe層である場合、スピン・ウェーブ・ブレットモードが生じるのはポイントコンタクトのサイズRが約50nm以下の場合であって、 $R > 50\text{nm}$ の場合にはその限りではなく、クラムシェル(clamshell)モードやインプレーン(in-plane)モードやアウトオブプレーン(out-of-plane)モードといった振動モードが現れる。これらの振動モードは、スピン波理論によらず、一様磁化を記述する単純な単磁区磁化モデルで記述できることが知られている。そのため、これらの振動モードを総称して、一様磁化的な振動モードと呼ぶことにする。一様磁化的な振動モードのほうが、スピン・ウェーブ・ブレットモードよりも磁化M1の振動振幅が空間平均として大きく、この結果、変化の大きな振動磁場3を取り出せる。本実施形態における磁性発振素子においては、その一様磁化的な振動モードを活かして、変化の大きな振動磁場3を取り出せるように、 $R = 100\text{nm}$ としている。なお、直流電源13による電流によって振動磁場発生部1のNiFeからなる磁化フリー層34内で励起される領域はほぼ $1.5 \times R$ 、すなわち、150nm程度の領域であり、従って、磁気励起体積 V_1 は約 $8.8 \times 10^4\text{nm}^3$ である。この磁気励起体積 V_1 、すなわち振動磁場発生部1内に備えられた磁化振動部の体積は、上記の V_2 、すなわち強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2内に備えられた磁化振動部の体積よりも大きく、振動磁場3を磁化M2に有効に作用させ、振動させることができる。

【0065】

磁気抵抗素子部2の磁化フリー層37の磁化M2に作用する振動磁場の大きさ H_{osci} は、 $4 M_s V_1 / r^3$ で見積もられ、いまの場合約500eである。ここで、飽和磁化 M_s の値としてパーマロイ(NiFe)の典型的な値である 800emu/cm^3 を用いた。磁化M2に作用している静的な定磁場を厳密に見積もることは非常に難しいが、ここでは、静的な定磁場 H_0 を、典型的な値10000eと仮定する。振動 H_{osci} による磁化M2の振動角 θ は

【数5】

$$\Delta\theta \approx \arcsin\left(\frac{M_{\perp}}{M_s}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} = \arcsin\left(\frac{1}{2\alpha} \frac{H_{osci}}{\omega_0 / \gamma}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad (2)$$

で評価できる。ここで、 α はギルバート減衰因子であり $\alpha = 0.01$ とし、 γ は磁気回転比であり、 $\gamma = 1.76 \times 10^7 [1/\text{Oe} \cdot \text{sec}]$ とした。また、 ω_0 は磁化M2および振動磁場の振動数であり、

【数6】

$$\frac{\omega_0}{\gamma} = \sqrt{H_0(H_0 + 4\pi M_s)} \approx 3325[\text{Oe}]$$

である。従って、(2)式より 0.271 と見積もられる。

【0066】

強磁性多層膜からなる磁気抵抗素子部2への、直流電源12による入力電流を0.5mAとした場合、磁気抵抗素子部2内のCoFe層41/Ru層40/CoFeB層39/MgOからなるバリア層38/CoFeB層37/キャップ層31bの積層膜に流れる電流の電流密度は、約 $2.1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ ($< 10^7 \text{ A/cm}^2$)であり、MgOからなるトンネルバリア層38を介したCoFeB層39とCoFeB層37との間のスピントランスファ効果は小さく、従って、磁化M2の振動のQ値に対するスピントランスファノイズをほぼ無視できる。また、0.5mAの入力電流の場合には、MgOからなるトンネルバリア層38に印加されるバイアス電圧は、0.11V程度であり、MgOからなるバリア層38の膜厚は1.8nmであることから、そこに印加されている電場は、約0.06V/nmと見積もられる。この電場は絶縁破壊の目安となるような電場1V/nmよりも十分小さく、MgOからなるトンネルバリア層38に絶縁破壊が生じることはない。さて、0.1mAの入力電流により、入力電力 P_{in} は

$$P_{in} = 212 \times (0.5 \text{ mA})^2 = 53 \mu\text{W}$$

である。また、 $MR = (R_{AP} - R_p) / R_p = 200\%$ であるから、発振パワーPは

$$P = (MR/2)^2 \times P_{in} \times (1 - \cos^2) \times 1/2 = 3 \mu\text{W}$$

と見積もられる。この式内の因子1/2は時間平均に由来する。なお、各式の形から分かるように、入力電流を例えば2倍にすると、発振パワーを4倍にすることができる。ただし、あまり入力電流を大きくするとスピントランスファノイズの問題、あるいは絶縁破壊の問題が生じてしまうので、入力電流をいくらでも大きくできるわけではない。しかしながら、少なくとも3μWという実用的なマイクロワット級の発振出力を得ることができる。

【0067】

以上詳細に述べたように、本実施形態による磁性発振素子からは、Q値は 10^4 程度、パワーPは少なくとも3μWの高出力を取り出すことができる。すなわち、本実施形態による磁性発振素子は、従来のGMR発振素子、TMR発振素子の利点を兼ね備えており、高Q値で高出力の磁性発振素子となる。

【0068】

(変形例)

次に、本実施形態の一変形例による磁性発振素子を図7に示す。本変形例の磁性発振素子は、図6に示す第8実施形態の磁性発振素子とは、振動磁場発生部1の形状のみが異なり、構造、膜厚、材料等に違いはない。すなわち、第8実施形態に係る振動磁場発生部1においては、ポイントコンタクト型であって、上部電極30aが、キャップ層31aとポイントで接触していたが、本変形例に係る振動磁場発生部1においては、ピラー型であって、キャップ層31aが上部電極30aのピラーとなっている。

【0069】

本変形例においても、第8実施形態と同様に、スピン・ウェーブ・ブレットモードは発現することはなく、一様磁化的な振動モードが主に発現する。

【0070】

本変形例による磁性発振素子は、素子サイズを小さくできるという利点がある。これに対して、図6に示す第8実施形態の磁性発振素子は、ミリング、あるいは、リフトオフ等の加工プロセスを経て振動磁場発生部1をピラー形状にする必要がなく、加工しやすいという利点がある。

【0071】

本変形例も第8実施形態と同様に、高Q値でかつ高出力を得ることができる。

【 0 0 7 2 】

(第9実施形態)

次に、本発明の第9実施形態による磁気記録再生装置を説明する。図1乃至図7に関して説明した本発明の第1乃至第8実施形態およびその変形例による磁性発振素子は、磁気記録再生装置に搭載することができる。

【 0 0 7 3 】

図8は、このような磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。すなわち、本実施形態の磁気記録再生装置150は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、垂直記録用磁気ディスク200は、スピンドル152に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印Aの方向に回転する。磁気ディスク200に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ153は、薄膜状のサスペンション154の先端に取り付けられている。ここで、ヘッドスライダ153は、例えば、前述したいずれかの実施形態または変形例による磁性発振素子を、媒体すなわち磁気ディスク200からの磁場を感知し、再生する再生素子として備えた磁気ヘッドをその先端付近に搭載している。

10

【 0 0 7 4 】

磁気ディスク200が回転すると、ヘッドスライダ153の媒体対向面(ABS)は磁気ディスク200の表面から所定の浮上量をもって保持される。

【 0 0 7 5 】

サスペンション154は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム155の一端に接続されている。アクチュエータアーム155の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ156が設けられている。ボイスコイルモータ156は、アクチュエータアーム155のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成される。

20

【 0 0 7 6 】

アクチュエータアーム155は、固定軸157の上下2箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ156により回転摺動が自在にできるようになっている。

【 0 0 7 7 】

図9は、アクチュエータアーム155から先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。すなわち、磁気ヘッドアセンブリ160は、例えば駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム155を有し、アクチュエータアーム155の一端にはサスペンション154が接続されている。

30

【 0 0 7 8 】

サスペンション154の先端には、磁気ヘッドを具備するヘッドスライダ153が取り付けられている。サスペンション154は信号の書き込みおよび読み取り用のリード線164を有し、このリード線164とヘッドスライダ153に組み込まれた磁気ヘッドの各電極とが電氣的に接続されている。図中165は磁気ヘッドアセンブリ160の電極パッドである。ここで、ヘッドスライダ153の媒体対向面(ABS)と磁気ディスク200の表面との間には、所定の浮上量が設定されている。

40

【 0 0 7 9 】

従来の再生ヘッドの媒体磁場センス部は、GMR素子やTMR素子といったMR素子で構成されているが、本実施形態の磁気記録再生装置に用いられる再生ヘッドでは、媒体磁場センス部に、第1乃至第8実施形態またはその変形例による磁性発振素子を用いる。従来の再生ヘッドにおいては、MR素子出力の振幅変化を検出して媒体の磁気情報を読み取る。これに対して、本実施形態の磁気記録再生装置に用いられる再生ヘッドにおいては、磁性発振素子の発振周波数が媒体磁場によって変化する性質を活かし、その周波数変化を検出することによって磁気情報を読み取る。「磁性発振素子を用い周波数検出をすることによって磁気情報再生を行なう再生ヘッド」というものは公知の概念であり、その再生ヘ

50

ッドは、今後さらに微細化が進み記録密度が1テラビット/ inch^2 以上の高密度記録世代においても、熱的雑音に強く高S/Nの信号再生を実現しうる再生ヘッドの1つであると考えられる。本実施形態の磁性発振素子を用い周波数を検出することによって磁気情報再生を行なう再生ヘッドでは、第1乃至第8実施形態の磁性発振素子が従来の磁性発振素子に比べ出力が大きく、高Q値であるために、再生信号出力が現実的なマイクロワットのオーダーであり、かつ、発振状態が安定で周波数分解能が高い。

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】本発明の第1実施形態による磁性発振素子を示す図。

【図2】本発明の第2乃至第4実施形態による磁性発振素子を示す図。

10

【図3】本発明の第5実施形態による磁性発振素子を示す図。

【図4】本発明の第6実施形態による磁性発振素子を示す図。

【図5】本発明の第7実施形態による磁性発振素子を示す図。

【図6】本発明の第8実施形態による磁性発振素子を示す図。

【図7】第8実施形態の変形例による磁性発振素子を示す図。

【図8】本発明の第9実施形態による磁気記録再生装置を示す斜視図。

【図9】第9実施形態の磁気記録再生装置のアクチュエータアームから先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた斜視図。

【符号の説明】

【0081】

20

1 振動磁場発生部

2 磁気抵抗型素子

3 振動磁場

7 バイアスティ

8 磁化フリー層

9 スペーサ層

10 磁化ピンド層

11 直流電源

12 直流電源

13 直流電源

30

14 磁化フリー層

15 スペーサ層

16 磁化ピンド層

20 ランダムスピントリッパ散乱層

21 a 電極

21 b 電極

30 a、30 b 上部電極

31 a、31 b キャップ層

32 a、32 b 下部電極

33 a、33 b 反強磁性層

40

34 磁化フリー層

35 非磁性スペーサ層

36 磁化ピンド層

37 磁化フリー層

38 MgOからなるトンネルバリア

39 CoFeB層

40 Ru層

41 CoFe層

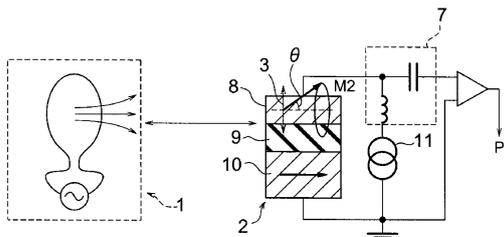
42 絶縁体

43 基板

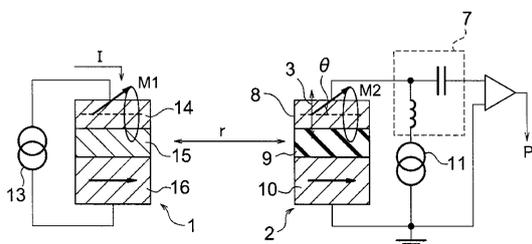
50

- 5 1 配線
- 5 2 直流電流
- 5 3 アンペール磁場
- 1 5 0 磁気記録再生装置
- 1 5 2 スピンドル
- 1 5 3 ヘッドスライダ
- 1 5 4 サスペンション
- 1 5 5 アクチュエータアーム
- 1 5 6 ボイスコイルモータ
- 1 6 0 磁気ヘッドアセンブリ
- 1 6 4 リード線
- 1 6 5 電極パッド
- 2 0 0 磁気ディスク

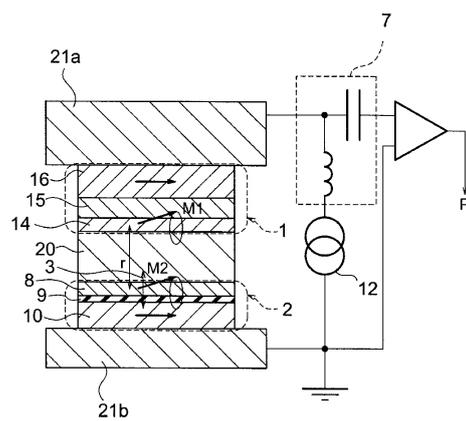
【図1】



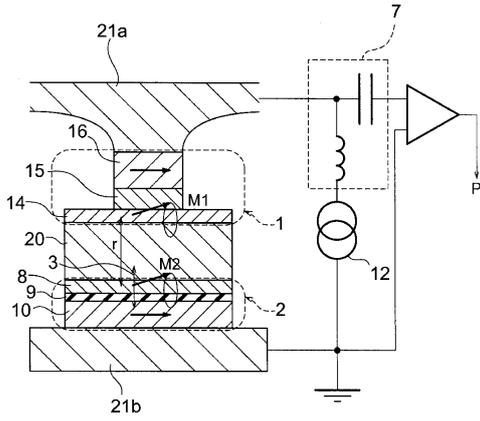
【図2】



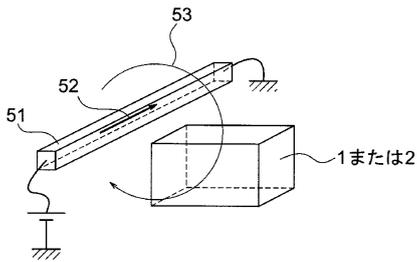
【図3】



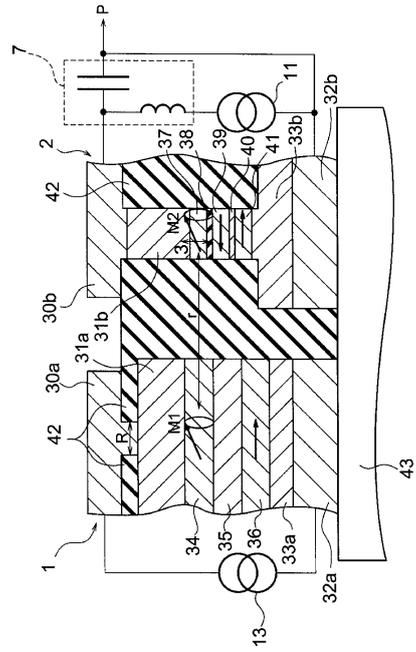
【図4】



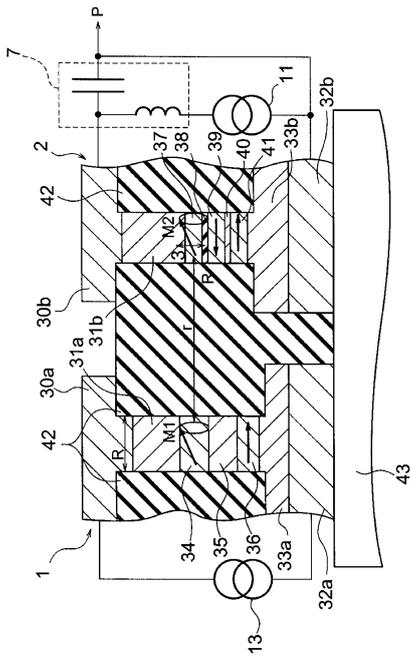
【図5】



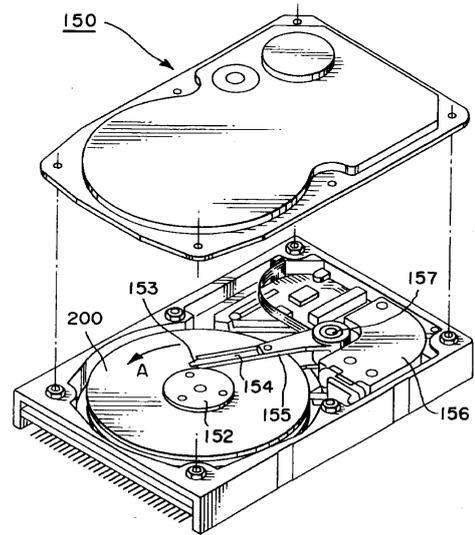
【図6】



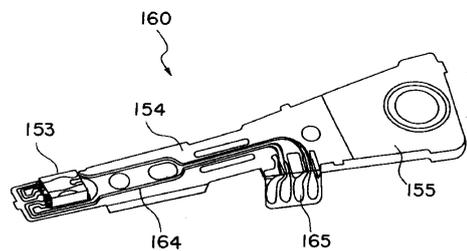
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (72)発明者 永澤 鶴美
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 水島 公一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 東芝リサーチコンサルティング株式会社内
- (72)発明者 佐藤 利江
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 瀧内 健夫

- (56)参考文献 特開2006-295908(JP,A)
国際公開第2007/052240(WO,A1)
Shehzaad Kaka ei al., Mutual phase-locking of microwave spin torque nano-oscillators,
Nature, 英国, 2005年 9月15日, Vol.437, p.389-392
X.Zhu and J.Zhu, Bias Field Free Spin Torque Driven Microwave High-Q Oscillator., Magnetics Conference, 2006. INTERMAG 2006. IEEE International, 米国, 2006年 5月, CC-06

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 29/82
H01L 43/08
IEEE Xplore