





(74) 代理人: 星宮 勝美, 外(HOSHIMIYA Katsumi et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿七丁目 4 番 4 号 武蔵ビル 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

free layer 23. The energy-imparting unit 4 imparts to the magnetoresistive effect element 2 energy for vibrating the magnetization of the magnetization free layer 23. The angle formed by the second direction with respect to the first direction is in the range of 90-150°.

(57) 要約: 共振器 1 は、磁気抵抗効果素子 2 と、外部磁界印加部 3 と、エネルギー付与部 4 を備えている。磁気抵抗効果素子 2 は、第 1 の方向の磁化を有する磁化固定層 2 1 と、方向が変化する磁化を有する磁化自由層 2 3 と、磁化固定層 2 1 と磁化自由層 2 3 の間に配置されたスペーサ層 2 2 を含んでいる。外部磁界印加部 3 は、磁化自由層 2 3 に対して、第 2 の方向の外部磁界を印加する。エネルギー付与部 4 は、磁化自由層 2 3 の磁化を振動させるためのエネルギーを磁気抵抗効果素子 2 に付与する。第 2 の方向が第 1 の方向に対してなす角度は、90° ~ 150° の範囲内である。

## 明 細 書

発明の名称：共振器

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子を用いた共振器に関する。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話機等の移動体通信機器の高機能化に伴い、無線通信の高速化が進められている。通信速度は使用する周波数帯域の帯域幅に比例するため、通信に必要な周波数帯域の数は増加し、それに伴い、移動体通信機器に搭載されるバンドパスフィルタ等の高周波フィルタの数も増加している。共振器は、バンドパスフィルタ等に広く利用されている。

[0003] 一方、近年、高周波フィルタ等の高周波デバイスへ応用できる可能性のある技術として、スピントロニクスが注目されている。スピントロニクスの中で特に注目されている技術の1つに、強磁性共鳴を利用した技術がある。磁界中に置かれた強磁性体の磁化は、磁化の方向が変化するような振動を行い得る。この磁化の振動は、例えば歳差運動である。強磁性共鳴は、特定の周波数で変動するエネルギーの付与によって、その特定の周波数で磁化が振動し、且つ磁化の振動の振幅が最大になる現象である。以下、磁化の振動の振幅が最大になるときの磁化の振動の周波数を強磁性共鳴周波数と言う。強磁性共鳴を発生させるエネルギーとしては、高周波磁界や高周波電流等がある。

[0004] 以下、スピントロニクスを利用する素子をスピントロニクス素子と言う。代表的なスピントロニクス素子としては、磁化固定層と、磁化の方向が変化する磁化自由層と、磁化固定層と磁化自由層の間に配置されたスペーサ層とを含む磁気抵抗効果素子が知られている。

[0005] 特許文献1には、磁気抵抗効果素子からなる周波数変換素子と、周波数変換素子に磁界を印加するための機構と、周波数変換素子に局部発振信号を印加するための局部発振器と、周波数変換素子と電氣的に接続され、且つ外部入力信号を入力するための入力端子とを備えた周波数変換装置が記載されて

いる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第2010／119569号

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0007] 磁気抵抗効果素子の磁化自由層は強磁性共鳴を生じ得ることから、磁気抵抗効果素子を用いた共振器を実現できる可能性がある。磁気抵抗効果素子を用いた共振器を実現する場合、磁化自由層の磁化の方向が変化するような磁化自由層の磁化の振動に伴って磁気抵抗効果素子の抵抗値が変化する現象を利用することが考えられる。

[0008] 磁気抵抗効果素子を用いた実用的な共振器を実現するためには、強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子の抵抗値の変化量が十分に大きくなるような工夫が必要である。しかし、従来は、そのような工夫について、十分に検討されていなかった。

[0009] 本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、磁気抵抗効果素子を用いた実用的な共振器を提供することにある。

## 課題を解決するための手段

[0010] 本発明の共振器は、磁気抵抗効果素子と、外部磁界印加部と、エネルギー付与部とを備えている。磁気抵抗効果素子は、少なくとも第1の磁性層からなる磁化固定層と、方向が変化する磁化を有する磁化自由層と、磁化固定層と磁化自由層の間に配置され且つ第1の磁性層に接するスペーサ層とを含んでいる。第1の磁性層は、第1の方向の磁化を有している。外部磁界印加部は、磁気抵抗効果素子の磁化自由層に対して、第2の方向の静磁界である外部磁界を印加する。エネルギー付与部は、磁化自由層の磁化を振動させるためのエネルギーを磁気抵抗効果素子に付与する。第2の方向が第1の方向に対してなす角度は、 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$  の範囲内である。

- [0011] 本発明の共振器において、エネルギー付与部は、高周波電流を、前記エネルギーとして磁気抵抗効果素子に付与してもよい。あるいは、エネルギー付与部は、高周波磁界を、前記エネルギーとして磁気抵抗効果素子に付与してもよい。
- [0012] また、本発明の共振器において、第2の方向が第1の方向に対してなす角度は、 $105^{\circ} \sim 135^{\circ}$ の範囲内であってもよい。
- [0013] また、本発明の共振器において、第1の方向と第2の方向の少なくとも一方は、磁化自由層とスペーサ層の界面と交差する方向であってもよい。
- [0014] また、本発明の共振器において、第2の方向は、磁化自由層とスペーサ層の界面に垂直な方向であってもよい。あるいは、第2の方向は、磁化自由層とスペーサ層の界面に平行な方向であってもよい。
- [0015] また、本発明の共振器において、第1の方向は、磁化固定層とスペーサ層の界面に垂直な方向であってもよい。あるいは、第1の方向は、磁化固定層とスペーサ層の界面に平行な方向であってもよい。
- [0016] また、本発明の共振器において、外部磁界印加部は、外部磁界の大きさを変化可能であってもよい。また、外部磁界印加部は、第2の方向を変化可能であってもよい。
- [0017] また、本発明の共振器は、更に、磁化自由層の磁化の振動に起因する高周波出力信号が現れる出力ポートを備えていてもよい。

### 発明の効果

- [0018] 本発明の共振器では、磁気抵抗効果素子の磁化自由層の強磁性共鳴周波数と等しい周波数で変動するエネルギーを磁気抵抗効果素子に付与することによって、磁化自由層に強磁性共鳴を生じさせることができる。また、本発明では、第2の方向が第1の方向に対してなす角度を、 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$ の範囲内の角度としている。これにより、磁化自由層に強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子の抵抗値の変化量が十分に大きくなる。その結果、本発明によれば、磁気抵抗効果素子を用いた実用的な共振器を実現することが可能になるという効果を奏する。

### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の第1の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である。

[図2]本発明の第1の実施の形態における第1ないし第3の方向を示す説明図である。

[図3]図2における第2の方向が第1の方向に対してなす角度を示す説明図である。

[図4]本発明の第1の実施の形態における磁気抵抗効果素子の抵抗変化率の特性を示す特性図である。

[図5]本発明の第1の実施の形態に係る共振器の通過特性の一例を示す特性図である。

[図6]磁化自由層の磁化の挙動を模式的に示す説明図である。

[図7]スピントランスファートルクの大きさを決めるパラメータの特性を示す特性図である。

[図8]本発明の第2の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である。

[図9]本発明の第2の実施の形態における第1ないし第3の方向の第1の例を示す説明図である。

[図10]本発明の第2の実施の形態における第1ないし第3の方向の第2の例を示す説明図である。

[図11]本発明の第3の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である。

[図12]本発明の第3の実施の形態における磁気抵抗効果素子の構成の第1の例と第1ないし第3の方向の第1の例を示す説明図である。

[図13]本発明の第3の実施の形態における磁気抵抗効果素子の構成の第2の例を示す説明図である。

[図14]本発明の第3の実施の形態における磁気抵抗効果素子の構成の第3の例と第1ないし第3の方向の第2の例を示す説明図である。

[図15]本発明の第4の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である。

[図16]本発明の第5の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である。

。

[図17]本発明の第5の実施の形態における磁気抵抗効果素子とその周辺を示す斜視図である。

[図18]本発明の第6の実施の形態に係る共振器を模式的に示す説明図である

。

[図19]本発明の第6の実施の形態における磁気抵抗効果素子とその周辺を示す斜視図である。

### 発明を実施するための形態

#### [0020] [第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図1を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る共振器の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器1は、磁気抵抗効果素子2と、外部磁界印加部3と、エネルギー付与部4とを備えている。磁気抵抗効果素子2は、少なくとも第1の磁性層からなる磁化固定層21と、方向が変化する磁化を有する磁化自由層23と、磁化固定層21と磁化自由層23の間に配置され且つ第1の磁性層に接するスペーサ層22とを含んでいる。第1の磁性層は、第1の方向の磁化を有している。

[0021] 第1の磁性層は、磁化自由層23に比べて、磁化の方向が変化しにくく、保磁力が大きい性質を有している。そのため、第1の磁性層の磁化の方向である第1の方向は、磁化自由層23の磁化の方向に比べて変化しにくい。第1の方向は、実質的にあるいは完全に固定されていてもよい。

[0022] 磁化固定層21は、第1の磁性層のみからなるものであってもよいし、第1の磁性層に加えて他の層を含むものであってもよい。本実施の形態では、磁化固定層21が第1の磁性層のみからなる場合について説明する。本実施の形態では、第1の磁性層の磁化の方向である第1の方向は、磁化固定層21の磁化の方向でもある。磁化固定層21が第1の磁性層を含む複数の層からなる例については、後で説明する第3の実施の形態で示す。

[0023] また、磁気抵抗効果素子2は、磁気抵抗効果素子2を構成する複数の層の

積層方向の両端に位置する第1の端面2aと第2の端面2bを有している。磁化固定層21、スペーサ層22および磁化自由層23は、第2の端面2b側からこの順に積層されている。

[0024] 外部磁界印加部3は、磁化自由層23に対して、第2の方向の静磁界である外部磁界を印加する。外部磁界印加部3の構成と、第1および第2の方向については、後で詳しく説明する。

[0025] 磁化自由層23の磁化に作用する有効磁界は、磁化自由層23の磁化に作用する全ての種類の磁界が合成されたものである。磁化自由層23の磁化に作用する磁界には、上記の外部磁界の他に、磁気異方性磁界、交換磁界、反磁界等がある。本実施の形態では、磁化自由層23の磁化に作用する有効磁界の方向は、外部磁界の方向である第2の方向と一致するか、ほぼ一致する。

[0026] エネルギー付与部4は、磁化自由層23の磁化を振動させるためのエネルギーを、磁気抵抗効果素子2に付与するものである。本実施の形態では、上記エネルギーとして、高周波電流を用いる。エネルギー付与部4は、高周波電流を、エネルギーとして磁気抵抗効果素子2に付与することができるように構成されている。具体的に説明すると、エネルギー付与部4は、高周波入力信号が印加される入力ポート5と、入力ポート5に印加された高周波入力信号に基づく高周波電流を磁気抵抗効果素子2に伝送する第1の信号線路6とを含んでいる。高周波入力信号は、例えば、100MHz以上の周波数を有する信号である。高周波電流の周波数は、高周波入力信号の周波数と等しい。

[0027] 共振器1は、更に、出力ポート8と、第2の信号線路7とを備えている。磁気抵抗効果素子2は、磁化自由層23の磁化の振動に起因する高周波出力信号を生成する。第2の信号線路7は、この高周波出力信号を磁気抵抗効果素子2から出力ポート8に伝送する。出力ポート8には、この高周波出力信号が現れる。回路構成上、磁気抵抗効果素子2は、入力ポート5と出力ポート8との間に位置している。

[0028] 共振器1は、更に、第1の電極11と、第2の電極12と、グランド電極

13とを備えている。第1の電極11と第2の電極12は、それらの間に磁気抵抗効果素子2が介在するように設けられている。第1の電極11と第2の電極12は、高周波電流および後述する直流電流を、磁気抵抗効果素子2に流すために用いられる。第1の電極11は、磁気抵抗効果素子2の第1の端面2aに接している。第2の電極12は、磁気抵抗効果素子2の第2の端面2bに接している。直流電流は、磁気抵抗効果素子2を構成する各層の面と交差する方向、例えば磁気抵抗効果素子2を構成する各層の面に対して垂直な方向に流れる。

[0029] 図1に示した例では、入力ポート5は、一对の端子51, 52を有している。第1の信号線路6の一端は、端子51に電氣的に接続されている。第1の信号線路6の他端は、第1の電極11に電氣的に接続されている。

[0030] また、図1に示した例では、出力ポート8は、一对の端子81, 82を有している。第2の信号線路7の一端は、端子81に電氣的に接続されている。第2の信号線路7の他端は、第2の電極12に電氣的に接続されている。

[0031] 入力ポート5の端子52と出力ポート8の端子82は、それぞれ、グランド電極13に電氣的に接続されている。グランド電極13の電位は、基準電位として用いられる。

[0032] 第1および第2の電極11, 12は、例えば、Al、Ta、Cu、Au、AuCuおよびRuのうちのいずれかよりなる単層の膜によって構成されていてもよいし、それぞれこれらの材料のうちのいずれかよりなる複数の膜の積層体によって構成されていてもよい。

[0033] 信号線路6, 7およびグランド電極13は、マイクロストリップラインまたはコプレーナウェーブガイドによって構成されていてもよい。

[0034] 共振器1は、更に、チョークコイル14と、直流入力端子15とを備えている。チョークコイル14の一端は、第2の信号線路7に電氣的に接続されている。チョークコイル14の他端は、グランド電極13に電氣的に接続されている。直流入力端子15は、第1の信号線路6に電氣的に接続されている。回路構成上、磁気抵抗効果素子2は、直流入力端子15とチョークコイ

ル 1 4 の間に位置している。直流入力端子 1 5 には直流電流が入力され、この直流電流が磁気抵抗効果素子 2 に供給される。

[0035] チョークコイル 1 4 は、インダクタンスを有している。これにより、チョークコイル 1 4 のインピーダンスは、チョークコイル 1 4 を通過する電流の周波数が高くなるほど大きくなる。従って、チョークコイル 1 4 は、第 2 の信号線路 7 を通過する直流電流を通過させてグラウンド電極 1 3 に流すと共に、第 2 の信号線路 7 を通過する高周波出力信号に対しては高いインピーダンスを示す。

[0036] チョークコイル 1 4 としては、例えば、チップインダクタまたは線路が用いられる。チョークコイル 1 4 のインダクタンスは、10 nH 以上であることが好ましい。なお、共振器 1 は、チョークコイル 1 4 の代わりに、インダクタンス成分を有する抵抗素子を備えていてもよい。

[0037] 共振器 1 を動作させる際には、図 1 に示したように、直流入力端子 1 5 とグラウンド電極 1 3 の間に直流電流源 1 6 が設けられる。これにより、直流電流源 1 6、直流入力端子 1 5、第 1 の信号線路 6、磁気抵抗効果素子 2、第 2 の信号線路 7、チョークコイル 1 4 およびグラウンド電極 1 3 を含む閉回路が形成される。直流電流源 1 6 は、この閉回路を流れる直流電流を発生する。磁気抵抗効果素子 2 では、磁化自由層 2 3 から磁化固定層 2 1 に向かう方向に直流電流が流れる。

[0038] 直流電流源 1 6 は、例えば、直流電圧源と抵抗とを組み合わせた回路によって構成される。抵抗としては、可変抵抗または固定抵抗が用いられる。可変抵抗を用いた場合には、直流電流の大きさを変えることができる。固定抵抗を用いた場合には、直流電流は、一定値になる。なお、第 1 の信号線路 6 を通過する高周波電流が直流電流源 1 6 に流れることを阻止するために、直流入力端子 1 5 と直流電流源 1 6 との間に、チョークコイルまたはインダクタンス成分を有する抵抗素子を設けてもよい。

[0039] また、直流電流源 1 6 の代わりに、直流入力端子 1 5 とグラウンド電極 1 3 の間に、直流電圧源を設けてもよい。直流電圧源は、磁気抵抗効果素子 2 に

印加される直流電圧を発生する。直流電圧源と磁気抵抗効果素子 2 は、磁化自由層 2 3 が磁化固定層 2 1 よりも高電位となるような直流電圧が磁気抵抗効果素子 2 に印加されるように接続される。これにより、磁気抵抗効果素子 2 では、磁化自由層 2 3 から磁化固定層 2 1 に向かう方向に直流電流が流れる。直流電圧源は、一定の直流電圧を発生可能なものであってもよいし、発生する直流電圧の大きさが変化可能なものであってもよい。

[0040] なお、本明細書において、直流電流とは、時間によって方向が変化しない電流を言う。直流電流には、時間によって大きさが変化しない電流と、時間によって大きさが変化する電流とが含まれる。また、本明細書において、直流電圧とは、時間によって方向が変化しない電圧を言う。直流電圧には、時間によって大きさが変化しない電圧と、時間によって大きさが変化する電圧とが含まれる。

[0041] グランド電極 1 3 は共振器 1 の外部のものとすることもできる。この場合、共振器 1 は、入力ポート 5 の端子 5 2、出力ポート 8 の端子 8 2 およびチョークコイル 1 4 の他端がグランド電極 1 3 に電氣的に接続されて用いられる。

[0042] ここで、磁気抵抗効果素子 2 について更に詳しく説明する。磁気抵抗効果素子 2 では、磁化固定層 2 1 の磁化と磁化自由層 2 3 の磁化が相互作用することによって磁気抵抗効果が発現する。具体的に説明すると、磁化自由層 2 3 の磁化の方向が磁化固定層 2 1 の磁化の方向に対してなす角度が  $0^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  に近づくに従って、磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値が大きくなる。

[0043] 磁化固定層 2 1 は、強磁性材料によって構成されている。磁化固定層 2 1 を構成する強磁性材料としては、例えば、Fe、Co、Ni、NiFe、FeCo、FeCoB等の高スピン分極率材料や、ホイスラー合金が用いられる。磁化固定層 2 1 の厚みは、 $1 \sim 10 \text{ nm}$  の範囲内であることが好ましい。

[0044] 磁気抵抗効果素子 2 は、更に、磁化固定層 2 1 の磁化の方向を固定するための反強磁性層を含んでいてもよい。反強磁性層は、磁化固定層 2 1 におけ

るスペーサ層 22 に接する面とは反対側の面に接するように設けられる。反強磁性層は、磁化固定層 21 との交換結合により、磁化固定層 21 の磁化の方向を固定する。反強磁性層の材料としては、例えば、FeO、CoO、NiO、CuFeS<sub>2</sub>、IrMn、FeMn、PtMn、Cr および Mn のいずれかが用いられる。磁化固定層 21 の磁化の方向は、反強磁性層を用いずに、結晶構造や形状等に基づく磁気異方性によって固定してもよい。磁気抵抗効果素子 2 が反強磁性層を含む例については、後で説明する第 3 の実施の形態で示す。

[0045] スペーサ層 22 は、その全体が非磁性材料によって構成されていてもよい。スペーサ層 22 を構成する非磁性材料は、導電材料でもよいし、絶縁材料でもよいし、半導体材料でもよい。スペーサ層 22 を構成する非磁性の導電材料としては、Cu、Ag、Au、Ru 等が挙げられる。スペーサ層 22 を構成する非磁性の絶縁材料としては、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 等が挙げられる。スペーサ層 22 の全体が非磁性の導電材料または絶縁材料によって構成されている場合、スペーサ層 22 の厚みは、0.5～3.0 nm の範囲内であることが好ましい。

[0046] スペーサ層 22 を構成する非磁性の半導体材料としては、例えば、Zn、In、Sn、Ga のうちの 1 つ以上を含む酸化物半導体が挙げられる。スペーサ層 22 の全体が非磁性の半導体材料によって構成されている場合、スペーサ層 22 の厚みは、1.0～4.0 nm の範囲内であることが好ましい。

[0047] スペーサ層 22 は、絶縁材料よりなる絶縁部と、導電材料よりなり、絶縁部中に設けられた 1 つ以上の通電部とを含んでいてもよい。絶縁部を構成する絶縁材料としては、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 等が挙げられる。通電部を構成する導電材料としては、CoFe、CoFeB、CoFeSi、CoMnGe、CoMnSi、CoMnAl、Fe、Co、Au、Cu、Al、Mg 等が挙げられる。この場合、スペーサ層 22 の厚みは、0.5～2.0 nm の範囲内であることが好ましい。

[0048] 磁化自由層 23 は、強磁性材料によって構成されている。本実施の形態に

おける磁化自由層 2 3 は、磁化自由層 2 3 とスペーサ層 2 2 の界面に垂直な方向に磁化容易軸を有することが好ましい。このような磁化自由層 2 3 は、例えば、C o、C o C r 系合金、C o C r P t 系合金、F e P t 系合金、希土類を含む S m C o 系合金、T b F e C o 合金またはホイスラー合金よりなる膜や、C o の多層膜によって構成することができる。磁化自由層 2 3 の厚みは、1 ~ 1 0 n m の範囲内であることが好ましい。

[0049] 磁気抵抗効果素子 2 は、更に、第 1 および第 2 の金属層を含んでいてもよい。第 1 の金属層は、磁化自由層 2 3 と第 1 の電極 1 1 の間に設けられる。第 2 の金属層は、磁化固定層 2 1 と第 2 の電極 1 2 の間に設けられる。第 1 の金属層は、キャップ層として用いられる。第 2 の金属層は、シード層またはバッファ層として用いられる。第 1 および第 2 の金属層は、例えば、R u、T a、C u および C r のうちの 1 つ以上を含む単層膜または多層膜によって構成される。第 1 および第 2 の金属層の厚みは、2 ~ 1 0 n m の範囲内であることが好ましい。

[0050] 次に、図 1 を参照して、外部磁界印加部 3 の構成について説明する。外部磁界印加部 3 は、磁気抵抗効果素子 2 の近傍に配置されている。外部磁界印加部 3 は、電磁石を含んでいる。具体的に説明すると、外部磁界印加部 3 は、磁性材料よりなるコア部 3 2 と、コア部 3 2 に巻回されたコイル 3 1 とを有している。コア部 3 2 とコイル 3 1 は、電磁石を構成している。磁気抵抗効果素子 2 とコア部 3 2 は、磁化自由層 2 3 とスペーサ層 2 2 の界面に垂直な方向に並ぶように配置されている。本実施の形態では特に、コア部 3 2 は、磁気抵抗効果素子 2 の第 1 の端面 2 a に対向するように配置されている。

[0051] 外部磁界印加部 3 は、更に、磁性材料よりなる第 1 のヨーク 3 3 および第 2 のヨーク 3 4 を有している。第 1 のヨーク 3 3 は、コア部 3 2 における磁気抵抗効果素子 2 とは反対側の端面に接続されている。第 2 のヨーク 3 4 は、コア部 3 2 における磁気抵抗効果素子 2 側の端面に対向するように配置されている。磁気抵抗効果素子 2 は、コア部 3 2 と第 2 のヨーク 3 4 の間に配置されている。第 1 のヨーク 3 3 と第 2 のヨーク 3 4 は、磁性材料よりなる

図示しない第3のヨークを介して接続されていてもよい。

[0052] 本実施の形態では、外部磁界印加部3は、外部磁界の大きさを変化可能に構成されている。外部磁界の大きさは、コイル31に流される電流の大きさを調整することによって変化させることができる。外部磁界印加部3によって変えることができる外部磁界の大きさの範囲は、例えば0～2 k O e（1 O eは79.6 A/m）である。また、外部磁界の方向である第2の方向は、コイル31に流される電流の方向を変えることによって、コア部32から磁気抵抗効果素子2に向かう方向とその反対方向との間で切り替えることができる。

[0053] 次に、図2および図3を参照して、第1および第2の方向について説明する。以下の説明では、磁化固定層21の磁化の方向である第1の方向を記号D1で表し、磁化自由層23に印加される外部磁界の方向である第2の方向を記号D2で表し、磁化自由層23の磁化の方向を記号D3で表す。図2は、磁気抵抗効果素子2と第1ないし第3の方向D1、D2、D3を示している。図3は、第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度を示している。

[0054] ここで、図2に示したように、X方向、Y方向、Z方向を定義する。X方向、Y方向、Z方向は、互いに直交する。本実施の形態では、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直な一方向（図2では上側に向かう方向）を、Z方向とする。X方向とY方向は、いずれも、上記界面に対して平行な方向である。図2では、X方向を右側に向かう方向とし、Y方向を図2における手前から奥に向かう方向としている。図3にも、図2に示したX、Y、Zの各方向を示している。

[0055] 本実施の形態では、第1の方向D1と第2の方向D2のうちの少なくとも第2の方向D2は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面と交差する方向である。本実施の形態では特に、第2の方向D2は、上記界面に垂直な方向であり、Z方向と一致する。これを実現するために、本実施の形態では、磁気抵抗効果素子2と外部磁界印加部3のコア部32（図1参照）が、Z方向

に並ぶように配置されている。図2は、磁化自由層23の磁化の方向D3が、第2の方向D2（Z方向）と一致している状態を示している。

[0056] 図3に示したように、第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度を、記号 $\theta$ で表す。角度 $\theta$ は、 $90^\circ \sim 150^\circ$ の範囲内である。角度 $\theta$ は、 $105^\circ \sim 135^\circ$ の範囲内であることが好ましい。角度 $\theta$ が $90^\circ$ の場合には、第1の方向D1は磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向である。角度 $\theta$ が $90^\circ$ よりも大きく $150^\circ$ 以下の場合には、第1の方向D1は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面と交差する方向である。第1の方向D1は、例えば、磁界中熱処理によって磁化固定層21の磁化の方向を設定する際の磁界の方向を変えることによって、容易に任意の方向に設定することができる。また、本実施の形態では、前述の通り、第2の方向D2は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直な方向である。これにより、第2の方向D2の外部磁界を、容易に且つ精度よく磁化自由層23に印加することが可能になる。

[0057] 次に、本実施の形態に係る共振器1の作用および効果について説明する。本実施の形態では、磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23の強磁性共鳴周波数と等しい周波数で変動するエネルギーを磁気抵抗効果素子2に付与することによって、磁化自由層23に強磁性共鳴を生じさせることができる。

[0058] 本実施の形態では特に、上記エネルギーとして、高周波電流を用いる。高周波電流は、磁気抵抗効果素子2を流れる直流電流に重畳されて、磁気抵抗効果素子2に付与される。高周波電流が磁気抵抗効果素子2に付与されると、磁化自由層23における電流密度が高周波電流の周波数で変化し、その結果、磁化自由層23の磁化に作用するスピントランスファートルクが、高周波電流の周波数で変化する。スピントランスファートルクとは、スピン流の流入または流出が生じた強磁性体において、スピン流の変化分におけるスピン角運動量の変化と逆方向に強磁性体の磁化を回転させるように強磁性体の磁化に作用するトルクである。従って、磁化自由層23において、スピントランスファートルクが高周波電流の周波数で変化すると、磁化自由層23の磁

化は、その方向が変化するように、高周波電流の周波数で振動する。

[0059] 磁気抵抗効果素子 2 は、磁化自由層 2 3 の磁化の振動に起因する高周波出力信号を生成する。この高周波出力信号の周波数は、高周波入力信号の周波数と等しい。高周波出力信号は、第 2 の信号線路 7 によって、磁気抵抗効果素子 2 から出力ポート 8 に伝送される。出力ポート 8 には、この高周波出力信号が現れる。

[0060] より具体的に説明すると、磁化自由層 2 3 の磁化が振動すると、磁化自由層 2 3 の磁化の方向 D 3 が磁化固定層 2 1 の磁化の方向 D 1 に対してなす角度が変化し、その結果、磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値が変化する。高周波出力信号は、この磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値の変化によって生成される。本実施の形態では特に、高周波出力信号は、出力ポート 8 の端子 8 1 の電位の変化として現れる。

[0061] 高周波入力信号の周波数が磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数と等しい場合には、磁化自由層 2 3 において強磁性共鳴が生じて、磁化自由層 2 3 の磁化の振動の振幅が最大になる。その結果、高周波出力信号の振幅も最大になる。

[0062] 磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数は、例えば、磁化自由層 2 3 に作用する有効磁界の大きさを変化させることによって変化させることができる。本実施の形態では、磁化自由層 2 3 に作用する有効磁界の大きさは、外部磁界印加部 3 によって磁化自由層 2 3 に印加される外部磁界の大きさに依存する。従って、本実施の形態では、磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数は、例えば、磁化自由層 2 3 に印加される外部磁界の大きさを変化させることによって変化させることができる。具体的に説明すると、外部磁界を大きくすると強磁性共鳴周波数は高くなる。

[0063] また、本実施の形態では、第 2 の方向 D 2 が第 1 の方向 D 1 に対してなす角度  $\theta$  を、 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$  の範囲内の角度としている。これにより、磁化自由層 2 3 に強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値の変化量が十分に大きくなる。その結果、高周波出力信号の振幅が十分に大き

くなり、磁気抵抗効果素子 2 を用いた実用的な共振器 1 を実現することが可能になる。

[0064] 以下、角度  $\theta$  を  $90^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内の角度とする理由について、シミュレーションの結果を参照して説明する。ここで、磁化固定層 2 1 の磁化の方向である第 1 の方向  $D_1$  と磁化自由層 2 3 の磁化の方向  $D_3$  が一致している状態における磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値を  $R_p$  とし、磁化自由層 2 3 の磁化の振動に伴う磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値の変化量の最大値を  $\Delta R$  としたとき、磁化自由層 2 3 の磁化の振動に伴う磁気抵抗効果素子 2 の抵抗変化率を  $\Delta R / R_p$  と定義する。抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  は、 $\Delta R$  に比例する。

[0065] シミュレーションでは、磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数と等しい周波数の高周波入力信号に基づく高周波電流を磁気抵抗効果素子 2 に付与したときの、角度  $\theta$  と抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  との関係を求めた。磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数と高周波入力信号の周波数は、 $0.3 \text{ GHz} \sim 2.8 \text{ GHz}$  の範囲内で変化させた。磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数は、磁化自由層 2 3 に作用する有効磁界の大きさを調整することによって変化させた。

[0066] 図 4 に、シミュレーションの結果を示す。図 4 において、横軸は角度  $\theta$  を示し、縦軸は抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  を示している。図 4 から、抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  は、角度  $\theta$  に対して、以下のような依存性を有することが分かる。まず、抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  は、角度  $\theta$  が  $120^\circ$  またはその近傍の角度のときに最大になる。また、抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  は、角度  $\theta$  がおよそ  $90^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内の場合に、角度  $\theta$  がその範囲外の場合に比べて、相対的に大きくなる。また、抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  は、角度  $\theta$  がおよそ  $105^\circ \sim 135^\circ$  の範囲内の場合に、角度  $\theta$  がその範囲外の場合に比べて、相対的に顕著に大きくなる。

[0067]  $\Delta R$  は、磁化自由層 2 3 に強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値の変化量に対応する。上述の抵抗変化率  $\Delta R / R_p$  の角度  $\theta$  に対する依存性から、磁化自由層 2 3 に強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子 2 の抵抗値の変化量を十分に大きくするためには、角度  $\theta$  は、9

$0^{\circ} \sim 150^{\circ}$  の範囲内であることが好ましく、 $105^{\circ} \sim 135^{\circ}$  の範囲内であることがより好ましいと言える。そこで、本実施の形態では、角度  $\theta$  を、 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$  の範囲内、好ましくは  $105^{\circ} \sim 135^{\circ}$  の範囲内の角度にしている。

[0068] 図5は、角度  $\theta$  を  $120^{\circ}$  にしたときの、共振器1の通過特性の一例を示している。ここでは、共振器1の通過特性を、高周波入力信号の電力に対する高周波出力信号の電力の比を表すSパラメータ  $S_{21}$  を用いて表す。図5において、横軸は周波数を示し、縦軸はdB単位で表したSパラメータ  $S_{21}$  を示している。dB単位で表したSパラメータ  $S_{21}$  の値を  $-1$  dBと表したとき、 $-1$  の値が小さいほど、高周波入力信号の電力に対する高周波出力信号の電力の比が大きい。図5に示した例では、磁化自由層23の強磁性共鳴周波数を、 $3.07\text{ GHz}$  とした。図5から、高周波入力信号の周波数が磁化自由層23の強磁性共鳴周波数と等しいときに、 $-1$  の値が最も小さくなることが分かる。図5は、共振器1が、十分に実用的な共振器の機能を有することを示している。磁化自由層23の強磁性共鳴周波数は、共振器1の共振周波数に対応する。

[0069] 本実施の形態によれば、例えば磁化自由層23に印加される外部磁界の大きさを變えることによって、共振器1の共振周波数に対応する磁化自由層23の強磁性共鳴周波数を變えることができる。そのため、本実施の形態に係る共振器1は、共振周波数が異なる複数の用途に使用することが可能である。

[0070] 以下、角度  $\theta$  を  $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$  の範囲内の角度にすることによって、磁化自由層23に強磁性共鳴を生じさせたときの磁気抵抗効果素子2の抵抗値の變化量が十分に大きくなる理由について説明する。始めに、図6を参照して、磁化自由層23の磁化の挙動について説明する。以下の説明では、磁化固定層21の磁化を記号  $M_1$  で表し、磁化自由層23の磁化を記号  $M_2$  で表し、磁化自由層23の磁化  $M_2$  に作用する有効磁界を記号  $H_{\text{eff}}$  で表す。図6は、磁化  $M_1$ 、 $M_2$  と有効磁界  $H_{\text{eff}}$  のそれぞれの方向を示している。磁化自由層23の

磁化 $M_2$ の挙動は、L L G (Landau Lifshitz Gilbert) 方程式を用いて、下記の式 (1) によって表される。

$$\begin{aligned}
 [0071] \quad \partial M_2 / \partial t = & -|\gamma| (M_2 \times H_{\text{eff}}) \\
 & -|\gamma| \alpha m_2 \times (M_2 \times H_{\text{eff}}) \\
 & + g \beta I_e m_2 \times (m_2 \times m_1) \quad \cdots (1)
 \end{aligned}$$

[0072] 式 (1) の第 1 項、第 2 項、第 3 項は、それぞれ、歳差トルク、ダンピングトルク、スピントランスファートルクを表している。図 6 において、記号 T 1 を付した矢印は歳差トルクを表し、記号 T 2 を付した矢印はダンピングトルクを表し、記号 T 3 を付した矢印はスピントランスファートルクを表している。

[0073] 式 (1) における $m_1$ 、 $m_2$ は、それぞれ、磁化 $M_1$ 、 $M_2$ の方向の単位ベクトルである。また、 $\gamma$ はジャイロ磁気定数であり、 $\alpha$ はダンピング定数であり、 $I_e$ は電流密度である。また、 $\beta$ は、ディラック定数すなわち換算プランク定数を、 $2e$  ( $e$ は電荷) で割った値である。また、 $g$ は、スピントランスファアの効率を表すパラメータである。 $g$ は、スピン分極率 $P$ と、磁化 $M_2$ の方向が磁化 $M_1$ の方向に対してなす角度 $\phi$  (図 6 参照) を用いて、下記の式 (2) によって表される。

$$[0074] \quad g = P / (1 + P^2 \cos \phi) \quad \cdots (2)$$

[0075] 次に、角度 $\phi$ とスピントランスファートルクの大きさとの関係について説明する。式 (1) における $m_2 \times (m_2 \times m_1)$ の大きさは、 $\sin \phi$ と表される。式 (1) から、スピントランスファートルクの大きさは、 $g \cdot \sin \phi$ に比例する。 $g \cdot \sin \phi$ は、スピントランスファートルクの大きさを決めるパラメータと言える。

[0076] 図 7 は、角度 $\phi$ を変化させたときの $g \cdot \sin \phi$ の変化を示す特性図である。図 7 において、横軸は角度 $\phi$ を示し、縦軸は $g \cdot \sin \phi$ の値を示している。図 7 において、符号 9 1, 9 2, 9 3, 9 4 を付した曲線は、それぞれ、スピン分極率 $P$ を 0. 4、0. 5、0. 6、0. 7 としたときの $g \cdot \sin \phi$ を示している。実用的なスピン分極率 $P$ は、例えば 0. 5 ~ 0. 7 の

範囲内である。図7から、スピン分極率 $P$ が $0.5 \sim 0.7$ の範囲内である場合には、 $g \cdot \sin \phi$ が最大になるとき、すなわちスピントランスファートルクが最大になるときの角度 $\phi$ は、およそ $105^\circ \sim 120^\circ$ の範囲内であることが分かる。

[0077] 本実施の形態では、有効磁界 $H_{\text{eff}}$ の方向は、外部磁界の方向である第2の方向 $D_2$ と一致するか、ほぼ一致する。磁化自由層23の磁化 $M_2$ の方向 $D_3$ が第2の方向 $D_2$ と一致している状態では、磁化自由層23の磁化 $M_2$ の方向 $D_3$ は、有効磁界 $H_{\text{eff}}$ の方向と一致するか、ほぼ一致する。この状態では、図6に示した角度 $\phi$ は、図3に示した角度 $\theta$ と一致するか、ほぼ一致する。従って、この状態では、角度 $\theta$ が、およそ $105^\circ \sim 120^\circ$ の範囲内であるときに、磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用するスピントランスファートルクが最大になる。

[0078] 一方、磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用するスピントランスファートルクが大きいほど、高周波電流を用いて、効率よくエネルギーを磁気抵抗効果素子2に付与することができる。

[0079] これらのことから、図7に示した $g \cdot \sin \phi$ の角度 $\phi$ に対する依存性が、図4に示した抵抗変化率 $\Delta R / R_p$ の角度 $\theta$ に対する依存性を生じさせる一因であると考えられる。

[0080] ところで、本実施の形態では、磁気抵抗効果素子2に直流電流が供給され、この直流電流によって、磁化固定層21から磁化自由層23に向かうスピン流が生じる。以下、この直流電流によるスピン流が抵抗変化率 $\Delta R / R_p$ に与える影響について説明する。この直流電流によるスピン流は、磁化自由層23の磁化 $M_2$ に対して、図6に示した角度 $\phi$ を小さくするようなスピントランスファートルクを与える。以下、このスピントランスファートルクを、直流起因スピントランスファートルクと言う。

[0081] ここで、磁化自由層23の磁化 $M_2$ の振動の中心軸が、磁化固定層21の磁化 $M_1$ の方向すなわち第1の方向 $D_1$ に対してなす角度を記号 $\theta_c$ で表す。本実施の形態のように第2の方向 $D_2$ が第1の方向 $D_1$ に対してなす角度 $\theta$ が

180°よりも小さい場合において、直流起因スピントランスファートルクが磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用すると、角度 $\theta_c$ は、有効磁界 $H_{eff}$ の方向が第1の方向D1に対してなす角度よりもいくらか小さくなる。本実施の形態では、有効磁界 $H_{eff}$ の方向は、外部磁界の方向である第2の方向D2と一致するか、ほぼ一致する。従って、本実施の形態では、角度 $\theta_c$ は、図3に示した角度 $\theta$ よりもいくらか小さくなる。

[0082] 磁化自由層23の磁化 $M_2$ の振動の振幅が一定であると仮定すると、角度 $\theta_c$ が90°のときに、抵抗変化率 $\Delta R/R_p$ が最大になる。本実施の形態において、直流起因スピントランスファートルクが磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用する場合には、角度 $\theta$ を90°にすると角度 $\theta_c$ は90°よりも小さくなる。本実施の形態において、直流起因スピントランスファートルクが磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用する場合には、角度 $\theta$ を90°よりもいくらか大きくした方が、角度 $\theta$ を90°にした場合に比べて、角度 $\theta_c$ を90°に近づけて、抵抗変化率 $\Delta R/R_p$ を大きくすることが可能になる。

[0083] 従って、本実施の形態において、直流起因スピントランスファートルクが磁化自由層23の磁化 $M_2$ に作用する場合には、角度 $\theta$ は、90°よりも大きく150°以下であることが好ましく、105°～135°の範囲内であることがより好ましい。

[0084] ここで、第1の方向D1と同じ方向の単位ベクトルを第1の単位ベクトルとし、第2の方向D2と同じ方向の単位ベクトルを第2の単位ベクトルとする。共振器1に関して、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直または平行な平面であって、その平面における第2の単位ベクトルの成分が第1の単位ベクトルの成分に対してなす角度が90°～150°好ましくは105°～135°となる平面が存在していてもよい。以下、このような平面を基準平面と言う。基準平面は、第1の方向D1および第2の方向D2に平行であることが好ましい。この場合には、基準平面における第2の単位ベクトルの成分が第1の単位ベクトルの成分に対してなす角度は、角度 $\theta$ と等しい。この場合、第1の方向D1と第2の方向D2の関係を容易に把握するこ

とが可能になる。本実施の形態では、少なくとも、磁化自由層 2 3 とスペーサ層 2 2 の界面に垂直な X Z 平面が基準平面に該当する。

[0085] [第 2 の実施の形態]

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。始めに、図 8 を参照して、本実施の形態に係る共振器 1 の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器 1 の構成は、以下の点で第 1 の実施の形態と異なっている。本実施の形態に係る共振器 1 は、第 1 の実施の形態における外部磁界印加部 3 の代わりに、外部磁界印加部 1 0 3 を備えている。外部磁界印加部 1 0 3 は、磁気抵抗効果素子 2 の近傍に配置されている。

[0086] 外部磁界印加部 1 0 3 は、第 1 および第 2 の電磁石を含んでいる。具体的に説明すると、外部磁界印加部 1 0 3 は、それぞれ磁性材料よりなる第 1 のコア部 1 3 2 および第 2 のコア部 1 3 3 と、導線 1 3 1 とを有している。導線 1 3 1 は、第 1 のコア部 1 3 2 に巻回された第 1 の巻線部分と、第 2 のコア部 1 3 3 に巻回された第 2 の巻線部分とを含んでいる。第 1 の巻線部分と第 2 の巻線部分は、直列に接続されている。第 1 のコア部 1 3 2 と第 1 の巻線部分は、第 1 の電磁石を構成している。第 2 のコア部 1 3 3 と第 2 の巻線部分は、第 2 の電磁石を構成している。第 1 および第 2 のコア部 1 3 2, 1 3 3 は、磁気抵抗効果素子 2 の磁化自由層 2 3 とスペーサ層 2 2 の界面に平行な方向における磁気抵抗効果素子 2 の両側に配置されている。

[0087] 外部磁界印加部 1 0 3 は、磁気抵抗効果素子 2 の磁化自由層 2 3 に対して、第 2 の方向 D 2 の外部磁界を印加する。本実施の形態では、外部磁界印加部 1 0 3 は、外部磁界の大きさを変化可能に構成されている。外部磁界の大きさは、導線 1 3 1 に流される電流の大きさを調整することによって変化させることができる。また、第 2 の方向 D 2 は、導線 1 3 1 に流される電流の方向を変えることによって、コア部 1 3 2 からコア部 1 3 3 に向かう方向とその反対方向との間で切り替えることができる。

[0088] 第 1 の実施の形態と同様に、磁化固定層 2 1 は、第 1 の方向 D 1 の磁化を有する第 1 の磁性層のみからなる。以下、本実施の形態における第 1 および

第2の方向D1, D2の、第1の例と第2の例について説明する。

[0089] 始めに、図9を参照して、本実施の形態における第1および第2の方向D1, D2の第1の例について説明する。図9には、第1の実施の形態における図2に示したX, Y, Zの各方向も示している。図9では、Y方向を図9における手前から奥に向かう方向としている。

[0090] 第1の例では、第2の方向D2は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向であり、X方向と一致する。これを実現するために、本実施の形態では、図8に示したように、コア部132、磁気抵抗効果素子2およびコア部133が、X方向に並ぶように配置されている。図9は、磁化自由層23の磁化の方向D3が、第2の方向D2（X方向）と一致している状態を示している。

[0091] また、第1の例では、第1の方向D1は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面と交差する方向である。第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度 $\theta$ の範囲は、第1の実施の形態と同じである。第1の例では、少なくとも、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直なXZ平面が、第1の実施の形態で定義した基準平面に該当する。

[0092] 次に、図10を参照して、本実施の形態における第1および第2の方向D1, D2の第2の例について説明する。図10には、X, Y, Zの各方向も示している。

[0093] 第2の例では、第2の方向D2は、第1の例と同様に、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向であり、X方向と一致する。図10は、磁化自由層23の磁化の方向D3が、第2の方向D2（X方向）と一致している状態を示している。また、第2の例では、第1の方向D1も、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向である。第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度 $\theta$ の範囲は、第1の実施の形態と同じである。第2の例では、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行なXY平面が、第1の実施の形態で定義した基準平面に該当する。

[0094] 本実施の形態における磁化自由層23は、磁化自由層23とスペーサ層2

2の界面に平行な方向に磁化容易軸を有することが好ましい。このような磁化自由層23は、例えば、CoFe、CoFeB、CoFeSi、CoMnGe、CoMnSi、CoMnAlまたはホイスラー合金よりなる膜によって構成することができる。この膜の厚みは、1～10nmの範囲内であることが好ましい。

[0095] また、本実施の形態における磁化自由層23は、複数の層によって構成されていてもよい。この場合、複数の層のうち、最もスペーサ層22に近い層を、他の1つ以上の層よりもスピン分極率が高い高スピン分極率層とすることが好ましい。これにより、磁気抵抗効果素子2の抵抗変化率を大きくすることが可能になる。高スピン分極率層の材料としては、CoFe合金、CoFeB合金等の高スピン分極率材料が用いられる。高スピン分極率層の厚みは、0.2～1.0nmの範囲内であることが好ましい。

[0096] 本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

[0097] [第3の実施の形態]

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。始めに、図11を参照して、本実施の形態に係る共振器1の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器1の構成は、以下の点で第1の実施の形態と異なっている。本実施の形態に係る共振器1は、第1の実施の形態における外部磁界印加部3の代わりに、外部磁界印加部203を備えている。外部磁界印加部203は、磁気抵抗効果素子2の近傍に配置されている。

[0098] 外部磁界印加部203は、第1ないし第4の電磁石を含んでいる。具体的に説明すると、外部磁界印加部203は、それぞれ磁性材料よりなる第1のコア部233、第2のコア部234、第3のコア部235および第4のコア部236と、第1の導線231と、第2の導線232とを有している。第1の導線231は、第1のコア部233に巻回された第1の巻線部分と、第2のコア部234に巻回された第2の巻線部分とを含んでいる。第1の巻線部分と第2の巻線部分は、直列に接続されている。第1のコア部233と第1

の巻線部分は、第1の電磁石を構成している。第2のコア部234と第2の巻線部分は、第2の電磁石を構成している。第2の導線232は、第3のコア部235に巻回された第3の巻線部分と、第4のコア部236に巻回された第4の巻線部分とを含んでいる。第3の巻線部分と第4の巻線部分は、直列に接続されている。第3のコア部235と第3の巻線部分は、第3の電磁石を構成している。第4のコア部236と第4の巻線部分は、第4の電磁石を構成している。

[0099] 第1および第2のコア部233, 234は、磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直な方向における磁気抵抗効果素子2の両側に配置されている。第3および第4のコア部235, 236は、磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向における磁気抵抗効果素子2の両側に配置されている。

[0100] 外部磁界印加部203は、磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23に対して、第2の方向D2の外部磁界を印加する。磁化固定層21は、少なくとも、第1の方向D1の磁化を有する第1の磁性層からなる。

[0101] 本実施の形態では、外部磁界印加部203は、外部磁界の大きさと、外部磁界の方向である第2の方向D2の両方を変化可能に構成されている。以下、これについて詳しく説明する。第1および第2の電磁石は、磁化自由層23に対して、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直な方向の磁界を印加する。以下、この磁界を、外部磁界の垂直成分と言う。外部磁界の垂直成分の大きさは、第1の導線231に流される電流の大きさを調整することによって変化させることができる。また、外部磁界の垂直成分の方向は、第1の導線231に流される電流の方向を変えることによって、第1のコア部233から第2のコア部234に向かう方向とその反対方向との間で切り替えることができる。

[0102] 第3および第4の電磁石は、磁化自由層23に対して、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に平行な方向の磁界を印加する。以下、この磁界を、外部磁界の水平成分と言う。外部磁界の水平成分の大きさは、第2の導線2

32に流される電流の大きさを調整することによって変化させることができる。また、外部磁界の水平成分の方向は、第2の導線232に流される電流の方向を変えることによって、第3のコア部235から第4のコア部236に向かう方向とその反対方向との間で切り替えることができる。

[0103] 磁化自由層23に印加される外部磁界は、外部磁界の垂直成分と外部磁界の水平成分とが合成されたものである。そのため、本実施の形態では、外部磁界の垂直成分の大きさおよび方向と、外部磁界の水平成分の大きさおよび方向を変えることによって、外部磁界の大きさと第2の方向D2の両方を変えることができる。

[0104] 次に、図12ないし図14を参照して、本実施の形態における磁気抵抗効果素子2の構成の第1ないし第3の例と、本実施の形態における第1および第2の方向D1、D2の第1および第2の例について説明する。図12ないし図14には、第1の実施の形態における図2に示したX、Y、Zの各方向も示している。図12ないし図14では、Y方向を図12ないし図14における手前から奥に向かう方向としている。

[0105] 図12には、磁気抵抗効果素子2の構成の第1の例と、第1および第2の方向D1、D2の第1の例を示している。図12に示した例では、磁化固定層21は、第1の実施の形態と同様に、第1の方向D1の磁化を有する第1の磁性層のみからなる。また、図12に示した例では、第1の方向D1は、磁化固定層21とスペーサ層22の界面に平行な方向であって、X方向とは反対の方向である。また、図12に示した例では、第2の方向D2は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面と交差する方向である。第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度 $\theta$ の範囲は、第1の実施の形態と同じである。

[0106] 図13には、磁気抵抗効果素子2の構成の第2の例を示している。図13に示した例では、磁気抵抗効果素子2は、磁化固定層21、磁化自由層23およびスペーサ層22に加えて、反強磁性層24を含んでいる。反強磁性層24は、磁化固定層21におけるスペーサ層22に接する面とは反対側の面

に接するように設けられる。

[0107] また、図13に示した例では、磁化固定層21は、第1の磁性層を含む複数の層からなる。具体的には、磁化固定層21は、第1の磁性層211と、第2の磁性層212と、第1の磁性層211と第2の磁性層212の間に配置された非磁性層213とを含み、いわゆるシンセティック構造を有している。第1の磁性層211は、スペーサ層22に接している。第2の磁性層212は、反強磁性層24に接している。

[0108] 第2の磁性層212は、反強磁性層24との交換結合により、磁化の方向が実質的に固定されている。第1の磁性層211と第2の磁性層212は、反強磁性的に結合し、磁化の方向が互いに逆方向になっている。第1の磁性層211は、第1の方向D1の磁化を有している。図13に示した第1の方向D1は、図12に示した第1の方向D1と同じ方向であり、X方向とは反対の方向である。第2の磁性層212は、第1の方向D1とは反対方向の磁化を有している。図13において、第2の磁性層212内に描かれた矢印は、第2の磁性層212の磁化の方向を表している。図13に示した第2の磁性層212の磁化の方向は、X方向と一致する。

[0109] 第1および第2の磁性層211, 212は、強磁性材料によって構成されている。第1および第2の磁性層211, 212は、第1の実施の形態における磁化固定層21を構成する強磁性材料と同じ材料によって構成されていてもよい。非磁性層213は、例えば、その全体がRu等の非磁性の導電材料によって構成されている。

[0110] 図14には、磁気抵抗効果素子2の構成の第3の例と、第1および第2の方向D1, D2の第2の例を示している。図14に示した例では、磁気抵抗効果素子2の構成は、基本的には、図13に示した例と同じである。ただし、図14に示した例では、磁化固定層21の第1および第2の磁性層211, 212の磁化の方向が、図13に示した方向と異なっている。図14に示したように、第1の磁性層211の磁化の方向すなわち第1の方向D1は、磁化固定層21とスペーサ層22の界面に垂直な方向であって、Z方向とは

反対の方向である。第2の磁性層212の磁化の方向は、第1の方向D1とは反対の方向であり、Z方向と一致する。図14において、第2の磁性層212内に描かれた矢印は、第2の磁性層212の磁化の方向を表している。

[0111] また、図14に示した例では、第2の方向D2は、磁化自由層23とスペーサ層22の界面と交差する方向である。第2の方向D2が第1の方向D1に対してなす角度 $\theta$ の範囲は、第1の実施の形態と同じである。

[0112] 図12ないし図14に示した3つの例では、いずれも、少なくとも、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直なXZ平面が、第1の実施の形態で定義した基準平面に該当する。

[0113] 本実施の形態に係る共振器1では、前述のように、外部磁界の大きさと第2の方向D2の両方を変えることができる。本実施の形態によれば、例えば、磁化自由層23に強磁性共鳴を生じさせたときの磁化自由層23の磁化の振動の中心軸を、磁化自由層23とスペーサ層22の界面に垂直な方向またはそれに近い方向に設定することが可能である。このように設定することにより、磁化自由層23の磁化の方向によって磁化自由層23の磁化に作用する異方性磁界が大きく異なることを防止することができる。これにより、高周波出力信号の波形の歪を抑制することができる。

[0114] 本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

[0115] [第4の実施の形態]

次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。始めに、図15を参照して、本実施の形態に係る共振器1の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器1の構成は、以下の点で第3の実施の形態と異なっている。本実施の形態に係る共振器1は、第3の実施の形態におけるエネルギー付与部4の代わりに、エネルギー付与部104を備えている。

[0116] エネルギー付与部104は、磁化自由層23の磁化を振動させるためのエネルギーとして、高周波磁界を、磁気抵抗効果素子2に付与するものである。エネルギー付与部104は、高周波磁界を発生するための1つ以上の電磁石を含

んでいる。

[0117] 本実施の形態では、第1のコア部233と第1の導線231の第1の巻線部分によって構成された第1の電磁石と、第2のコア部234と第1の導線231の第2の巻線部分によって構成された第2の電磁石が、高周波磁界を発生するための1つ以上の電磁石を兼ねている。以下、第1の導線231の両端を入力端231a, 231bと言う。入力端231a, 231bには、直流電流と、それに重畳された高周波電流が入力される。これにより、第1の導線231には、高周波電流が重畳された直流電流が流される。第1および第2の電磁石は、直流電流による外部磁界の垂直成分と、高周波電流による高周波磁界とを発生する。磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23には、第1および第2の電磁石によって発生された外部磁界の垂直成分および高周波磁界と、第3および第4の電磁石によって発生された外部磁界の水平成分とが合成された磁界が印加される。以下、この磁界を、高周波重畳磁界と言う。

[0118] 第3の実施の形態と同様に、外部磁界の方向は第2の方向D2である。高周波磁界は、高周波重畳磁界の方向を、第2の方向D2を中心として振動するように変化させる。高周波重畳磁界の方向の変化の周波数は、高周波電流の周波数と等しい。磁化自由層23の磁化は、磁化自由層23の磁化の方向D3が磁化固定層21の磁化の方向D1に対してなす角度が変化するように、高周波電流の周波数で振動する。

[0119] また、本実施の形態に係る共振器1は、第3の実施の形態における第1の信号線路6の代わりに、信号線路106を備えている。信号線路106の一端は、直流入力端子15に電氣的に接続されている。信号線路106の他端は、第1の電極11に電氣的に接続されている。本実施の形態に係る共振器1では、第3の実施の形態における入力ポート5は設けられていない。本実施の形態では、磁気抵抗効果素子2には、高周波電流が重畳されていない直流電流が流される。

[0120] 本実施の形態では、高周波磁界が磁気抵抗効果素子2に付与されると、磁

化自由層 2 3 の磁化に作用する有効磁界  $H_{\text{eff}}$  の方向が高周波電流の周波数で変化する。その結果、第 1 の実施の形態における式 (1) を参照して説明したダンピングトルク (式 (1) の第 2 項) が変化する。これにより、磁化自由層 2 3 の磁化は、その方向が変化するよう、高周波電流の周波数で振動する。その結果、高周波電流の周波数と等しい周波数の高周波出力信号が発生する。

[0121] なお、上述のように有効磁界  $H_{\text{eff}}$  の方向が変化すると、第 1 の実施の形態における式 (1) を参照して説明した歳差トルク (式 (1) の第 1 項) も変化する。しかし、歳差トルクの変化が磁化自由層 2 3 の磁化の振動に与える影響は、ダンピングトルクに比べて非常に小さい。

[0122] 高周波電流の周波数が磁化自由層 2 3 の強磁性共鳴周波数と等しい場合には、磁化自由層 2 3 において強磁性共鳴が生じて、磁化自由層 2 3 の磁化の振動の振幅が最大になる。その結果、高周波出力信号の振幅も最大になる。

[0123] 本実施の形態では、前述のように、磁気抵抗効果素子 2 には直流電流が供給される。従って、本実施の形態においても、第 1 の実施の形態と同様に、直流起因スピントランスファートルクが、磁化自由層 2 3 の磁化に作用する。そのため、本実施の形態においても、第 1 の実施の形態と同様に、第 2 の方向  $D_2$  が第 1 の方向  $D_1$  に対してなす角度  $\theta$  は、 $90^\circ$  よりも大きいことが好ましく、 $90^\circ$  よりも大きく  $150^\circ$  以下であることがより好ましく、 $105^\circ \sim 135^\circ$  の範囲内であることがさらに好ましい。

[0124] なお、本実施の形態において、第 1 および第 2 の電磁石の代わりに、第 3 および第 4 の電磁石が、高周波磁界を発生するための 1 つ以上の電磁石を兼ねていてもよい。この場合には、第 2 の導線 2 3 2 には、高周波電流が重畳された直流電流が流される。そして、第 3 および第 4 の電磁石が、直流電流による外部磁界の水平成分と、高周波電流による高周波磁界とを発生する。

[0125] 本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 3 の実施の形態と同様である。

[0126] [第 5 の実施の形態]

次に、本発明の第5の実施の形態について説明する。始めに、図16を参照して、本実施の形態に係る共振器1の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器1の構成は、以下の点で第3の実施の形態と異なっている。本実施の形態に係る共振器1は、第3の実施の形態におけるエネルギー付与部4の代わりに、エネルギー付与部204を備えている。

[0127] エネルギー付与部204は、磁化自由層23の磁化を振動させるためのエネルギーとして、高周波磁界を、磁気抵抗効果素子2に付与するものである。エネルギー付与部204は、入力ポート5と、入力ポート5に印加された高周波入力信号に基づく高周波電流を伝送する高周波信号線路206を含んでいる。入力ポート5の構成は、第3の実施の形態と同じである。高周波信号線路206の一端は、入力ポート5の端子51に電氣的に接続されている。高周波信号線路206の他端は、グランド電極13に電氣的に接続されている。

[0128] ここで、図17を参照して、高周波信号線路206について詳しく説明する。図17は、磁気抵抗効果素子2とその周辺を示す斜視図である。高周波信号線路206は、磁気抵抗効果素子2の近傍に配置された高周波磁界発生部206aを含んでいる。高周波磁界発生部206aは、X方向に平行な方向に細長い形状を有し、磁気抵抗効果素子2および第1の電極11のZ方向の先に配置されている。図17では、高周波信号線路206のうち、高周波磁界発生部206aとそれ以外の部分との境界を点線で示している。

[0129] 高周波磁界発生部206aは、高周波信号線路206を通過する高周波電流に基づいて高周波磁界を発生する。この高周波磁界の一部は、磁気抵抗効果素子2に付与される。磁気抵抗効果素子2に付与される高周波磁界の方向は、Y方向に平行な方向である。

[0130] 第3の実施の形態で説明したように、外部磁界印加部203は、第1ないし第4の電磁石を含み、磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23に対して、第2の方向D2の外部磁界を印加する。磁気抵抗効果素子2の磁化自由層23には、第1および第2の電磁石によって発生された外部磁界の垂直成分と、第3および第4の電磁石によって発生された外部磁界の水平成分と、高周波

磁界発生部 206a によって発生された高周波磁界が合成された磁界が印加される。以下、この磁界を、高周波重畳磁界と言う。

[0131] 第3の実施の形態と同様に、外部磁界の方向は第2の方向D2である。高周波磁界は、高周波重畳磁界の方向を、第2の方向D2を中心としてY方向に平行な方向に振動するように変化させる。高周波重畳磁界の方向の変化の周波数は、高周波電流の周波数と等しい。磁化自由層23の磁化は、磁化自由層23の磁化の方向D3が磁化固定層21の磁化の方向D1に対してなす角度が変化するように、高周波電流の周波数で振動する。

[0132] また、本実施の形態に係る共振器1は、更に、信号線路17と直流入力端子18とを備えている。信号線路17の一端は、第1の電極11に電氣的に接続されている。信号線路17の他端は、グランド電極13に電氣的に接続されている。直流入力端子18は、チョークコイル14とグランド電極13との間に設けられている。なお、本実施の形態では、第3の実施の形態における直流入力端子15は設けられていない。

[0133] 本実施の形態では、共振器1を動作させる際には、図16に示したように、直流入力端子18とグランド電極13の間に直流電流源16が設けられる。これにより、信号線路17、磁気抵抗効果素子2、第2の信号線路7、チョークコイル14、直流入力端子18、直流電流源16およびグランド電極13を含む閉回路が形成される。直流電流源16は、この閉回路を流れる直流電流を発生する。磁気抵抗効果素子2では、磁化自由層23から磁化固定層21に向かう方向に直流電流が流れる。本実施の形態では特に、磁気抵抗効果素子2には、高周波電流が重畳されていない直流電流が流される。

[0134] 本実施の形態では、第4の実施の形態と同様に、磁気抵抗効果素子2に印加される高周波磁界による磁化自由層23の磁化の振動に起因する高周波出力信号が発生する。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第3または第4の実施の形態と同様である。

[0135] [第6の実施の形態]

次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。始めに、図18を参

照して、本実施の形態に係る共振器 1 の構成について説明する。本実施の形態に係る共振器 1 の構成は、以下の点で第 3 の実施の形態と異なっている。本実施の形態に係る共振器 1 は、直流入力端子 18 と、信号線路 19 とを備えている。直流入力端子 18 は、チョークコイル 14 とグランド電極 13 との間に設けられている。信号線路 19 の一端は、第 1 の電極 11 に電氣的に接続されている。信号線路 19 の他端は、グランド電極 13 に電氣的に接続されている。なお、本実施の形態では、第 3 の実施の形態における直流入力端子 15 は設けられていない。

[0136] ここで、図 19 を参照して、本実施の形態における第 1 の電極 11 の形状について説明する。図 19 は、磁気抵抗効果素子 2 とその周辺を示す斜視図である。本実施の形態では、第 1 の電極 11 は、X 方向に平行な方向に細長い形状を有している。第 1 の電極 11 は、X 方向の先に位置する第 1 の端部と、その反対側の第 2 の端部とを有している。図 19 に示した例では、第 1 の端部に信号線路 19 が接続され、第 2 の端部に第 1 の信号線路 6 が接続されている。図 19 では、第 1 の電極 11 と第 1 の信号線路 6 との境界および第 1 の電極 11 と信号線路 19 との境界を点線で示している。なお、図 19 に示した例とは逆に、第 1 の端部に第 1 の信号線路 6 が接続され、第 2 の端部に信号線路 19 が接続されていてもよい。

[0137] 本実施の形態では、共振器 1 を動作させる際には、図 18 に示したように、直流入力端子 18 とグランド電極 13 の間に直流電流源 16 が設けられる。これにより、信号線路 19、磁気抵抗効果素子 2、第 2 の信号線路 7、チョークコイル 14、直流入力端子 18、直流電流源 16 およびグランド電極 13 を含む閉回路が形成される。直流電流源 16 は、この閉回路を流れる直流電流を発生する。磁気抵抗効果素子 2 では、磁化自由層 23 から磁化固定層 21 に向かう方向に直流電流が流れる。

[0138] 本実施の形態におけるエネルギー付与部 4 は、磁化自由層 23 の磁化を振動させるためのエネルギーとして、高周波磁界と高周波電流を、磁気抵抗効果素子 2 に付与するものである。本実施の形態では、入力ポート 5 に印加された

高周波入力信号に基づく高周波電流は、第1の信号線路6、第1の電極11および信号線路19を通過する。第1の電極11は、第1の電極11を通過する高周波電流に基づいて高周波磁界を発生する。この高周波磁界の一部は、磁気抵抗効果素子2に付与される。磁気抵抗効果素子2に付与される高周波磁界の方向は、図19に示したY方向に平行な方向である。また、第1の電極11に供給された高周波電流の一部は、磁気抵抗効果素子2を流れる直流電流に重畳されて、磁気抵抗効果素子2に付与される。

[0139] 本実施の形態では、磁気抵抗効果素子2に印加される高周波磁界による磁化自由層23の磁化の振動と磁気抵抗効果素子2を流れる高周波電流による磁化自由層23の磁化の振動とに起因する高周波出力信号が発生する。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第3または第5の実施の形態と同様である。

[0140] なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、本発明における外部磁界印加部は、1つ以上の電磁石の代わりに、磁化自由層23の近くに配置された1つ以上の導線を含んでもよい。この1つ以上の導線は、通電されることによって、その周りに磁界を発生する。この磁界の一部が外部磁界となる。

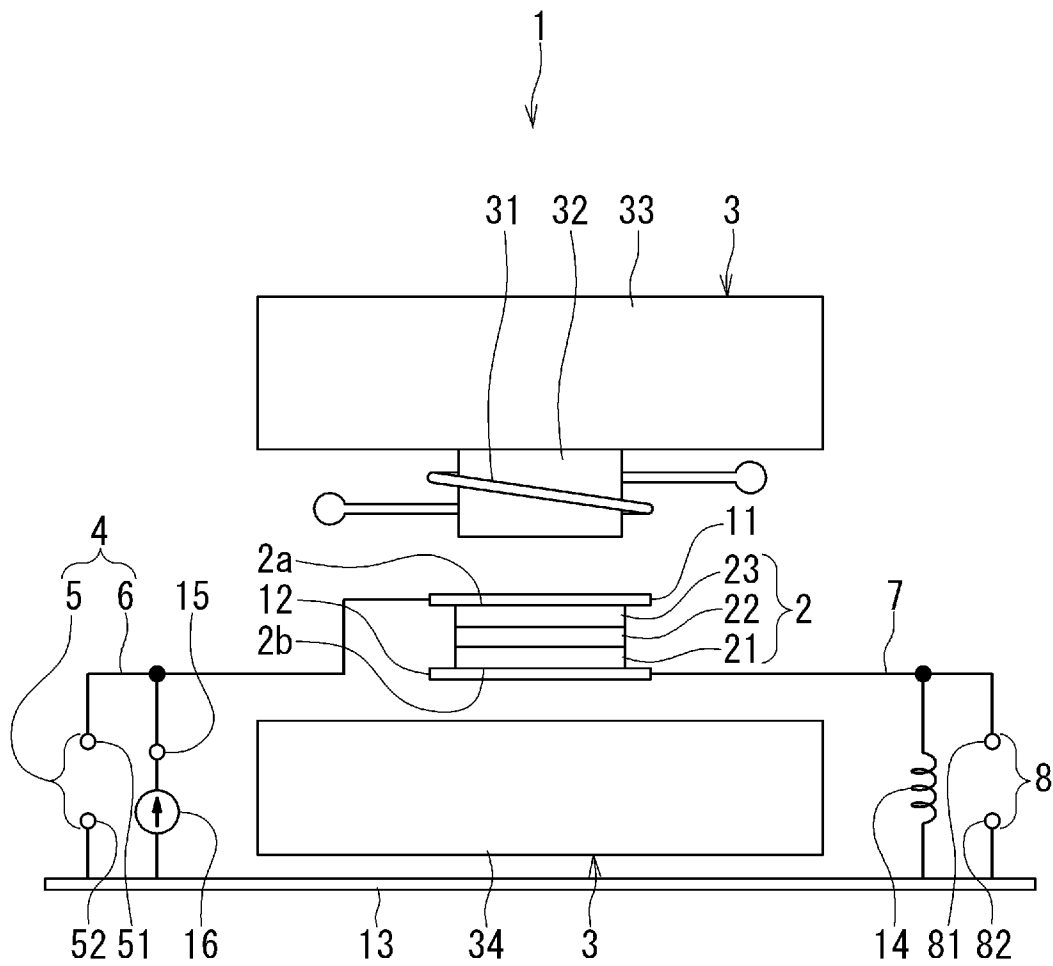
[0141] また、本発明における外部磁界印加部は、1つ以上の電磁石の代わりに、1つ以上の永久磁石を含んでもよい。第3の実施の形態では、第1および第2の電磁石の代わりに、外部磁界の垂直成分を発生する1つ以上の永久磁石を設けてもよい。この場合には、第3および第4の電磁石を用いて、外部磁界の水平成分の大きさと方向の少なくとも一方を変えることによって、外部磁界の方向である第2の方向D2を変化させることが可能である。あるいは、第3の実施の形態において、第3および第4の電磁石の代わりに、外部磁界の水平成分を発生する1つ以上の永久磁石を設けてもよい。この場合には、第1および第2の電磁石を用いて、外部磁界の垂直成分の大きさと方向の少なくとも一方を変えることによって、外部磁界の方向である第2の方向D2を変化させることが可能である。

## 請求の範囲

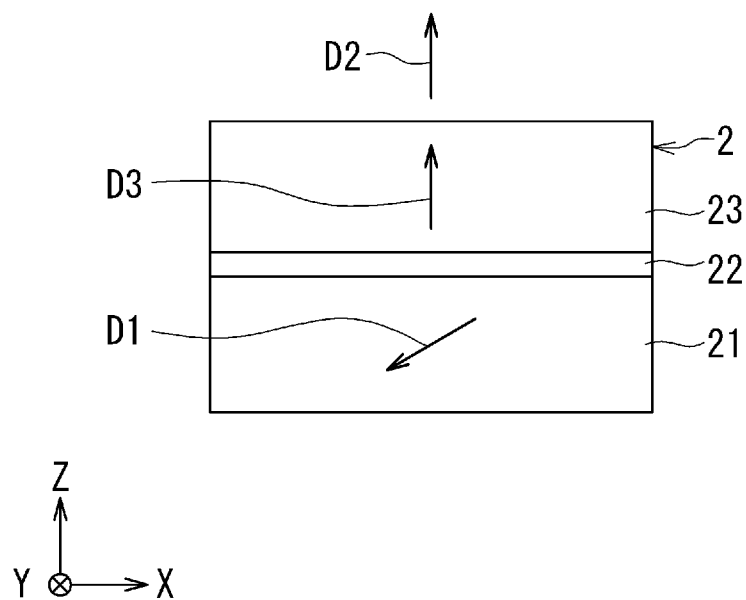
- [請求項1]           少なくとも第1の磁性層からなる磁化固定層と、方向が変化する磁化を有する磁化自由層と、前記磁化固定層と磁化自由層の間に配置され且つ前記第1の磁性層に接するスペーサ層とを含む磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層は第1の方向の磁化を有するものである磁気抵抗効果素子と、
- 前記磁気抵抗効果素子の前記磁化自由層に対して、第2の方向の静磁界である外部磁界を印加する外部磁界印加部と、
- 前記磁化自由層の磁化を振動させるためのエネルギーを前記磁気抵抗効果素子に付与するエネルギー付与部とを備えた共振器であって、
- 前記第2の方向が前記第1の方向に対してなす角度は、 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$ の範囲内であることを特徴とする共振器。
- [請求項2]           前記エネルギー付与部は、高周波電流を、前記エネルギーとして前記磁気抵抗効果素子に付与することを特徴とする請求項1記載の共振器。
- [請求項3]           前記エネルギー付与部は、高周波磁界を、前記エネルギーとして前記磁気抵抗効果素子に付与することを特徴とする請求項1記載の共振器。
- [請求項4]           前記第2の方向が前記第1の方向に対してなす角度は、 $105^{\circ} \sim 135^{\circ}$ の範囲内であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の共振器。
- [請求項5]           前記第1の方向と前記第2の方向の少なくとも一方は、前記磁化自由層と前記スペーサ層の界面と交差する方向であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の共振器。
- [請求項6]           前記第2の方向は、前記磁化自由層と前記スペーサ層の界面に垂直な方向であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の共振器。
- [請求項7]           前記第2の方向は、前記磁化自由層と前記スペーサ層の界面に平行な方向であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の共振器。

- [請求項8] 前記第1の方向は、前記磁化固定層と前記スペーサ層の界面に垂直な方向であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の共振器。
- [請求項9] 前記第1の方向は、前記磁化固定層と前記スペーサ層の界面に平行な方向であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の共振器。
- [請求項10] 前記外部磁界印加部は、前記外部磁界の大きさを変化可能であることを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載の共振器。
- [請求項11] 前記外部磁界印加部は、前記第2の方向を変化可能であることを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の共振器。
- [請求項12] 更に、前記磁化自由層の磁化の振動に起因する高周波出力信号が現れる出力ポートを備えたことを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載の共振器。

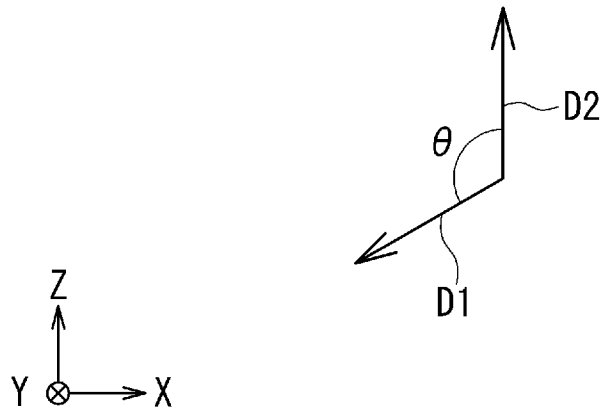
[図1]



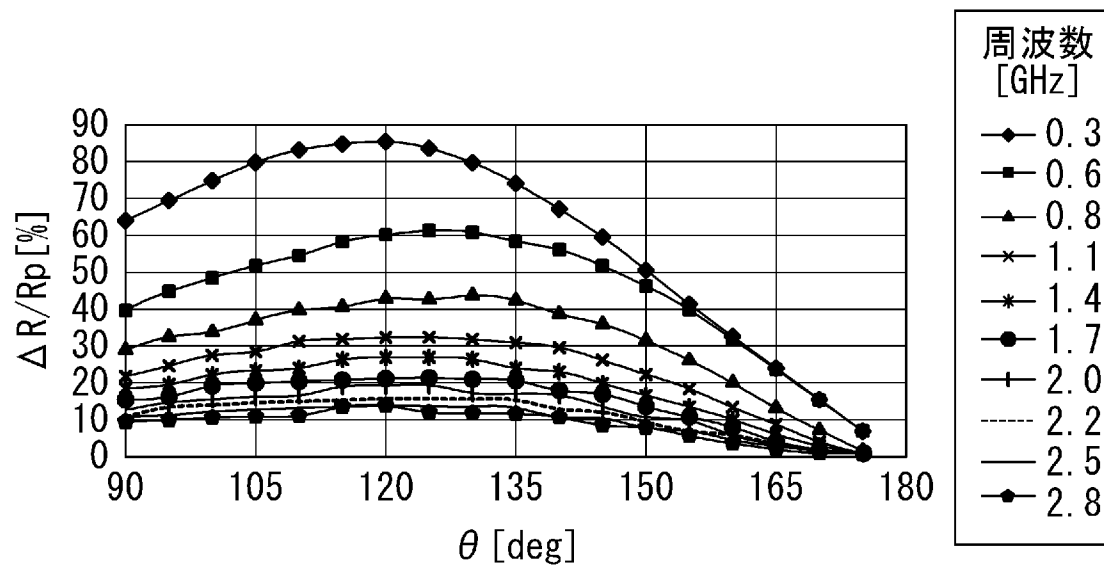
[図2]



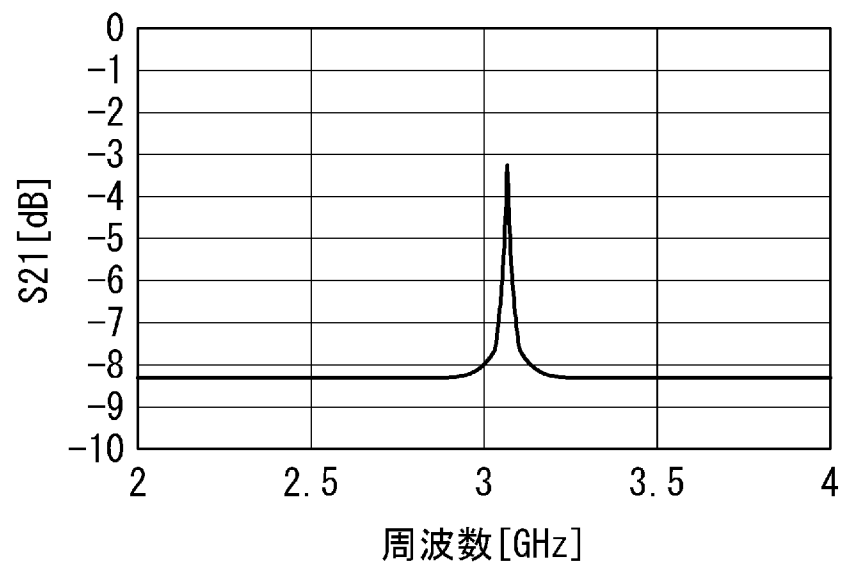
[図3]



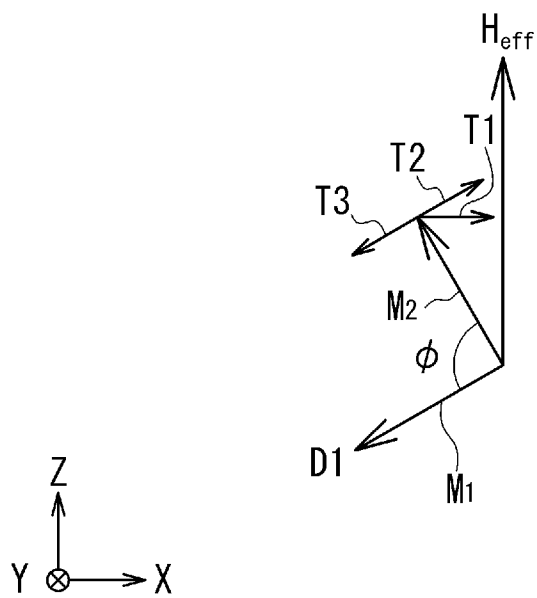
[図4]



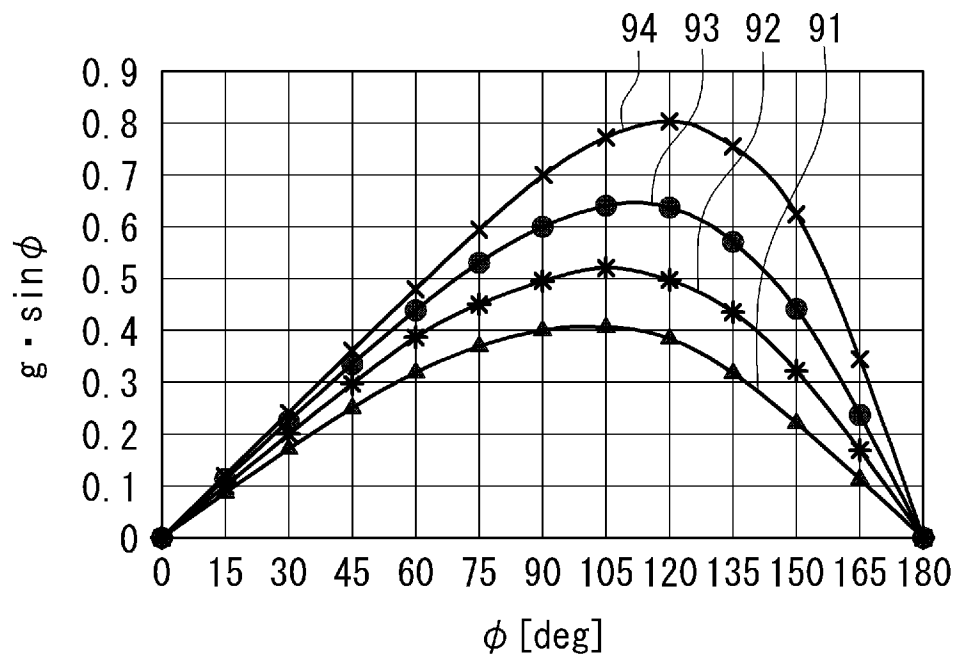
[図5]



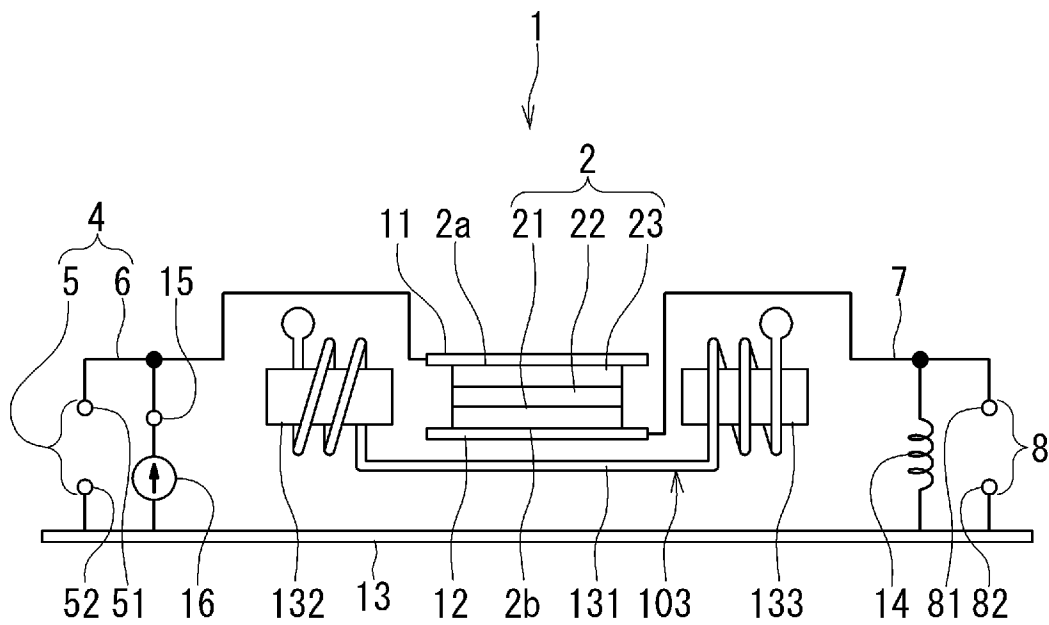
[図6]



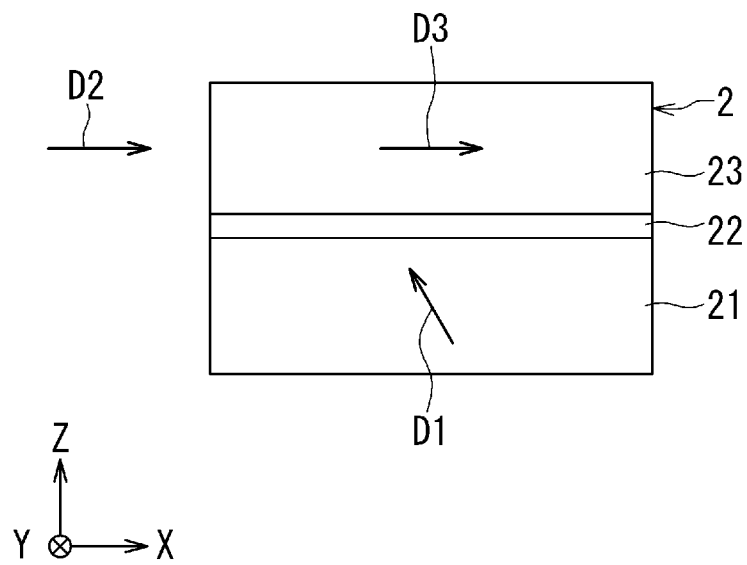
[図7]



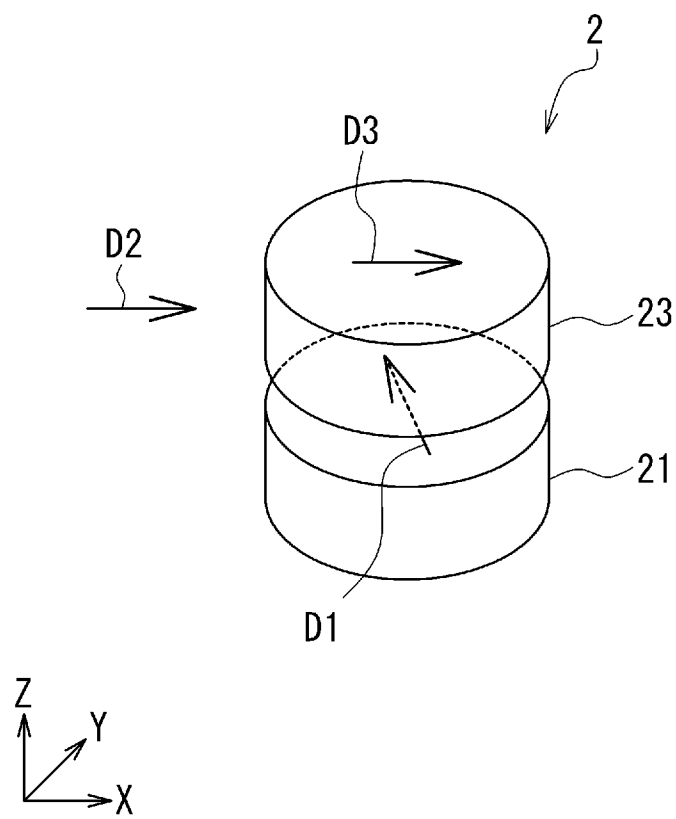
[図8]

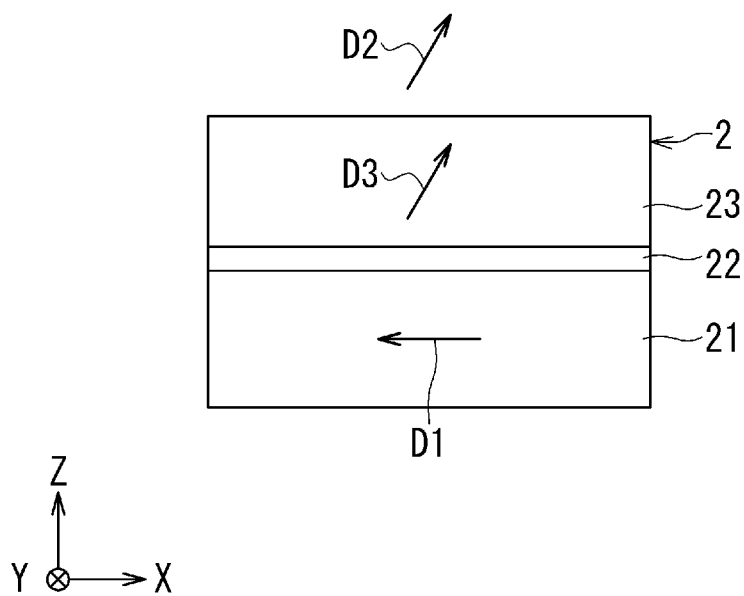
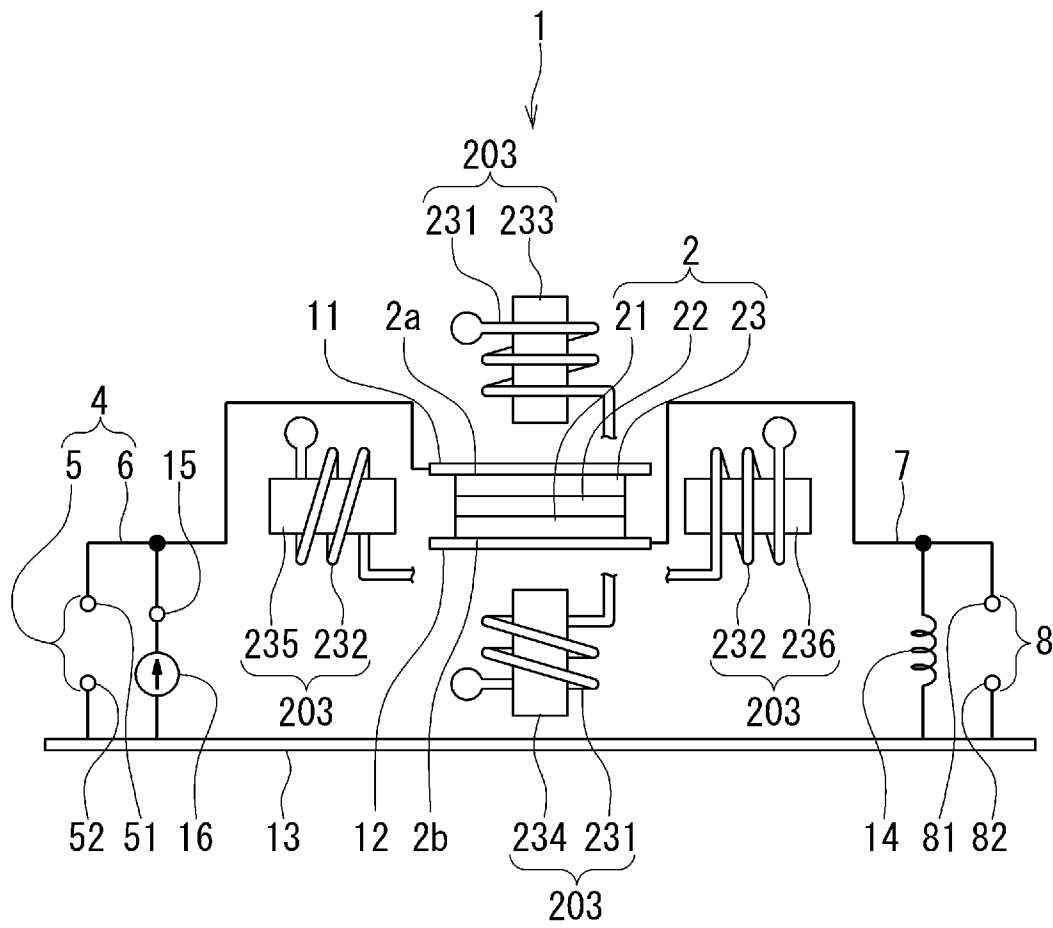


[図9]

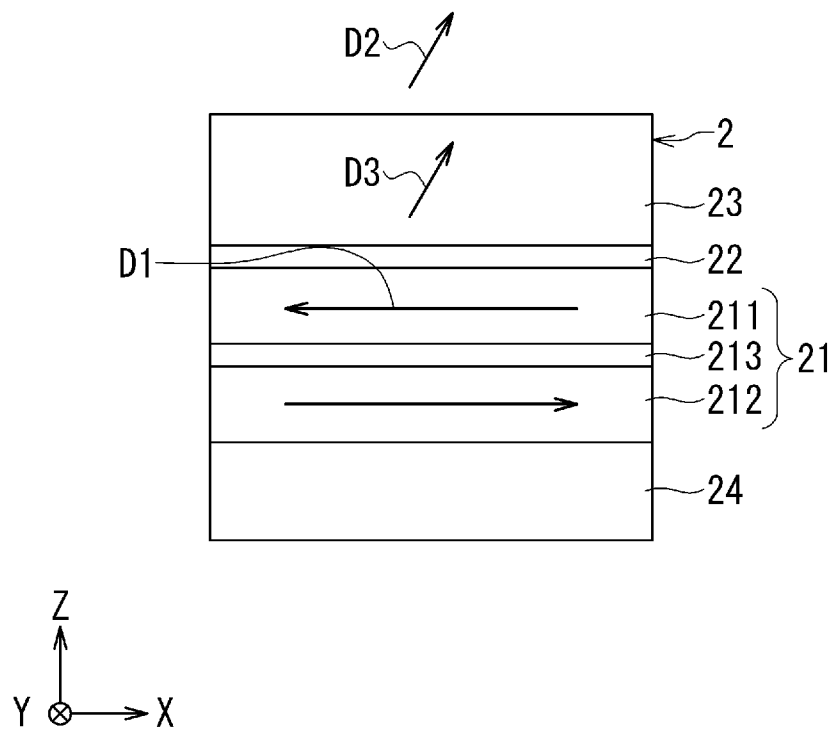


[図10]

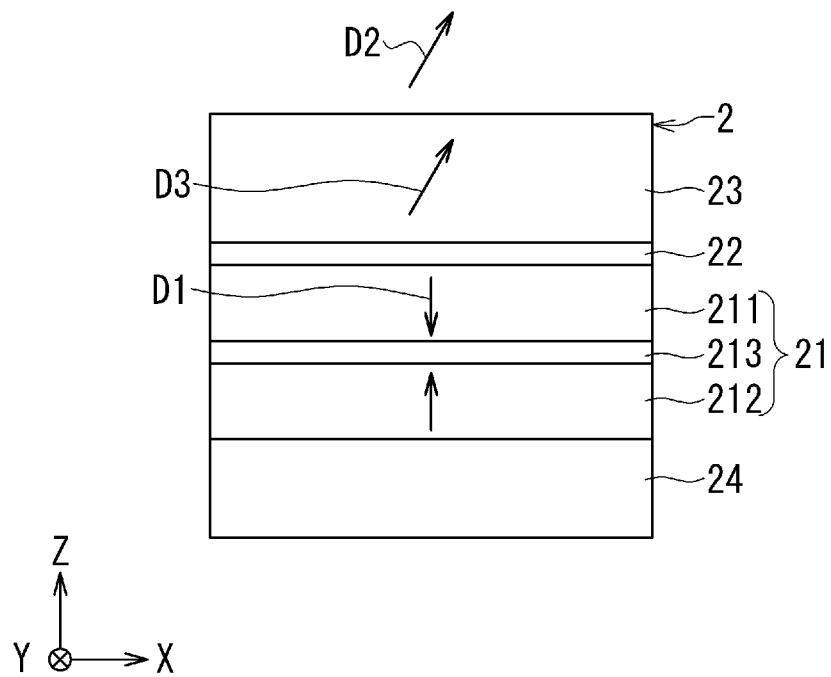




[図13]



[図14]



[図15]

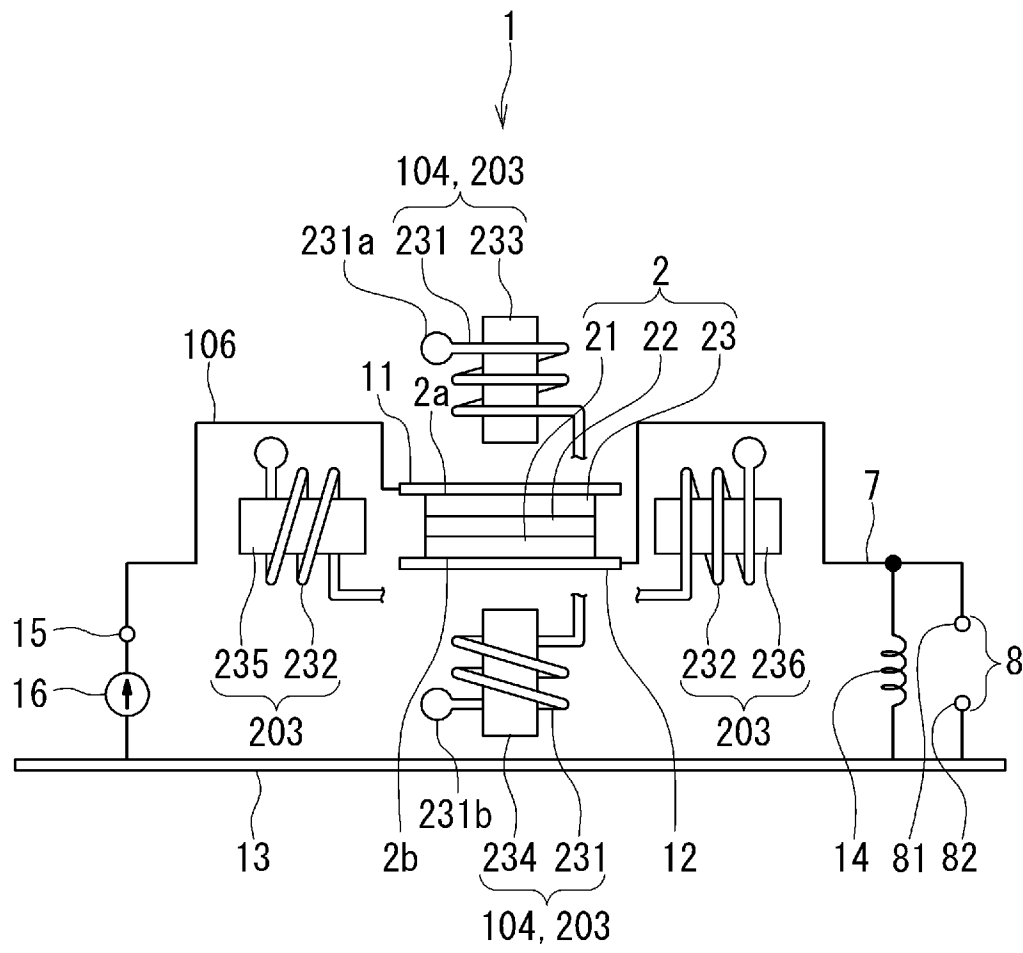
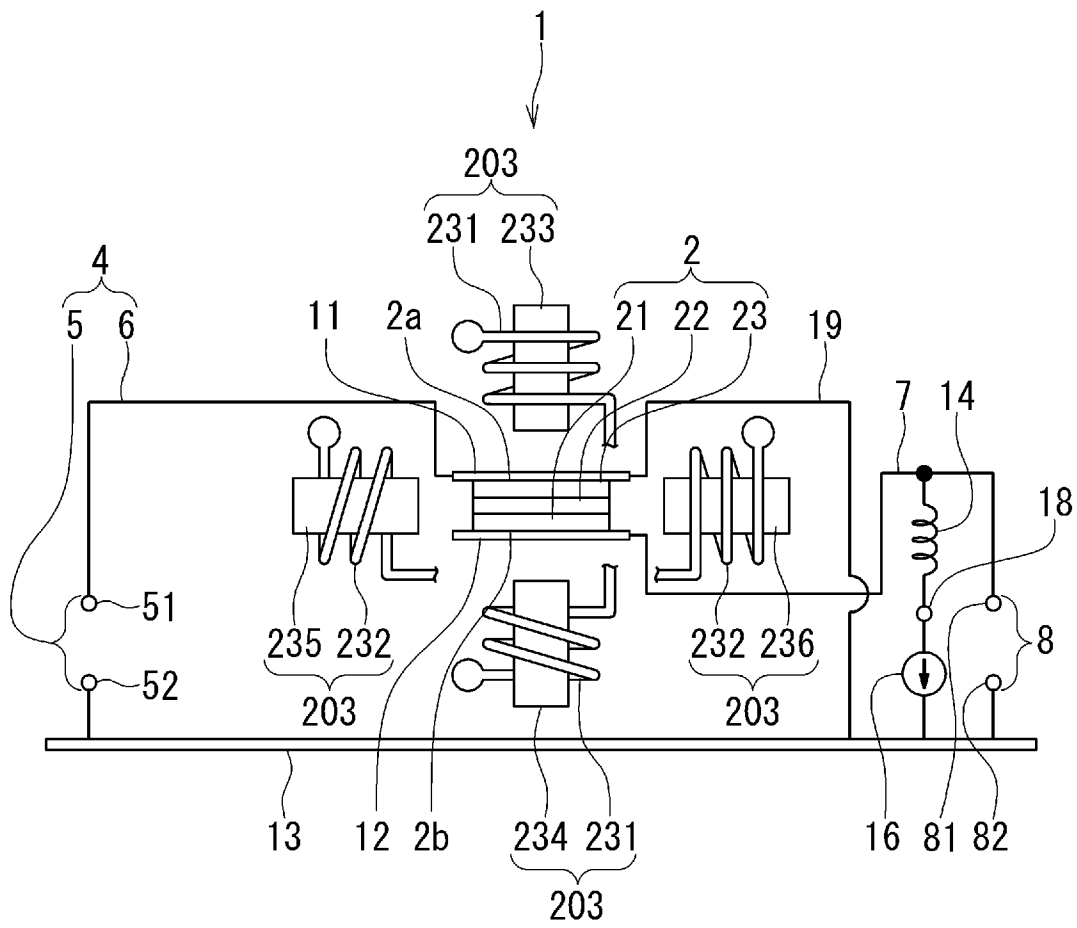
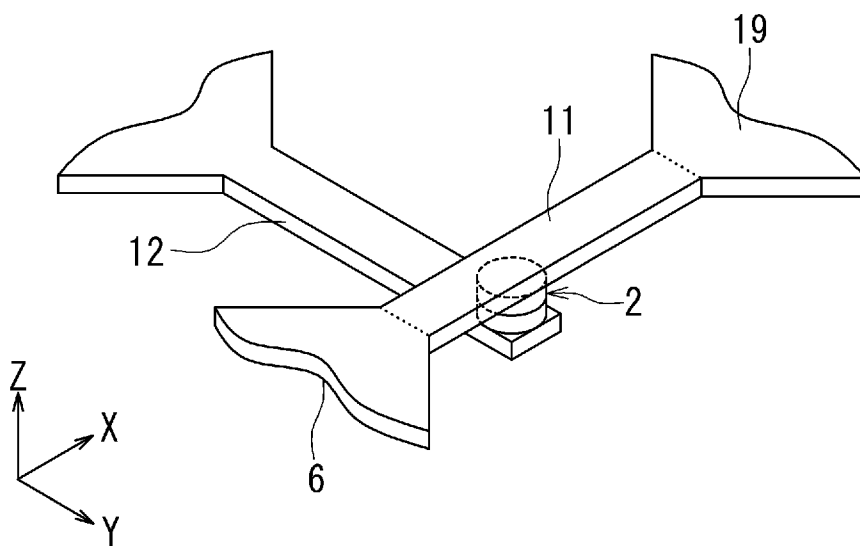


FIG. 1 is a perspective view of a first embodiment of a device. The device includes a base 11 with a top surface 12. A first member 206 is positioned on the base 11, and a second member 206a is positioned on top of the first member 206. A component 2 is positioned on top of the second member 206a. A coordinate system is shown with Z, X, and Y axes.

[図18]



[図19]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/044787

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H03H9/22 (2006.01) i, G11B5/39 (2006.01) i, H01L29/82 (2006.01) i,  
H01L43/08 (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)

Int.Cl. H03H9/22, G11B5/39, H01L29/82, H01L43/08

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

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| Published examined utility model applications of Japan   | 1922-1996 |
| Published unexamined utility model applications of Japan | 1971-2018 |
| Registered utility model specifications of Japan         | 1996-2018 |
| Published registered utility model applications of Japan | 1994-2018 |

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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                         | Relevant to claim No.        |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| X<br>Y    | JP 2016-96377 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 26 May 2016, paragraphs [0044]-[0074], fig. 1-7 (Family: none)                                          | 1, 4-5, 9-11<br>2-3, 6-8, 12 |
| Y         | JP 2008-64499 A (TOSHIBA CORP.) 21 March 2008, paragraphs [0010]-[0013], fig. 1 (Family: none)                                                                                             | 2, 3, 6-8, 12                |
| Y         | JP 2013-045840 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 March 2013, paragraphs [0005]-[0006], [0044] & US 2015/0085569 A1, paragraphs [0007]-[0010], [0109] | 3, 6-8, 12                   |



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

"I" 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  
06 February 2018 (06.02.2018)

Date of mailing of the international search report  
20 February 2018 (20.02.2018)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2017/044787

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2011-181756 A (CANON ANELVA CORPORATION) 15 September 2011, paragraph [0022] (Family: none)                                                                | 6-8, 12               |
| Y         | US 2016/0277000 A1 (TDK CORPORATION) 22 September 2016, paragraphs [0042]-[0049], fig. 1 & JP 2017-63397 A, paragraphs [0028]-[0035], fig. 1 & CN 106559039 A | 6-8, 12               |
| Y         | JP 2008-170416 A (TDK CORPORATION) 24 July 2008, paragraphs [0043]-[0044], fig. 4 & US 2008/0180085 A1, paragraphs [0055]-[0056], fig. 4                      | 6-8, 12               |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H03H9/22(2006.01)i, G11B5/39(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(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 (IPC))

Int.Cl. H03H9/22, G11B5/39, H01L29/82, H01L43/08

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   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018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)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号               |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| X<br>Y          | JP 2016-96377 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所)<br>2016.05.26, 段落[0044]-[0074], 第1-7図 (ファミリーなし)                                      | 1, 4-5, 9-11<br>2-3, 6-8, 12 |
| Y               | JP 2008-64499 A (株式会社東芝) 2008.03.21,<br>段落[0010]-[0013], 第1図 (ファミリーなし)                                                   | 2, 3, 6-8, 12                |
| Y               | JP 2013-045840 A (独立行政法人産業技術総合研究所)<br>2013.03.04, 段落[0005]-[0006], [0044]<br>& US 2015/0085569 A1, [0007]-[0010], [0109] | 3, 6-8, 12                   |

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

06.02.2018

国際調査報告の発送日

20.02.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

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)

麻川 倫広

5W

8388

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                    |                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 2011-181756 A (キャノンアネルバ株式会社)<br>2011.09.15, 段落[0022] (ファミリーなし)                                                                  | 6-8, 12        |
| Y                     | US 2016/0277000 A1 (TDK CORPORATION) 2016.09.22,<br>[0042]-[0049], 第1図<br>& JP 2017-63397 A, 段落[0028]-[0035], 第1図 & CN 106559039 A | 6-8, 12        |
| Y                     | JP 2008-170416 A (TDK株式会社) 2008.07.24,<br>段落[0043]-[0044], 第4図<br>& US 2008/0180085 A1, [0055]-[0056], 第4図                         | 6-8, 12        |