

(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
2018年3月15日(15.03.2018)



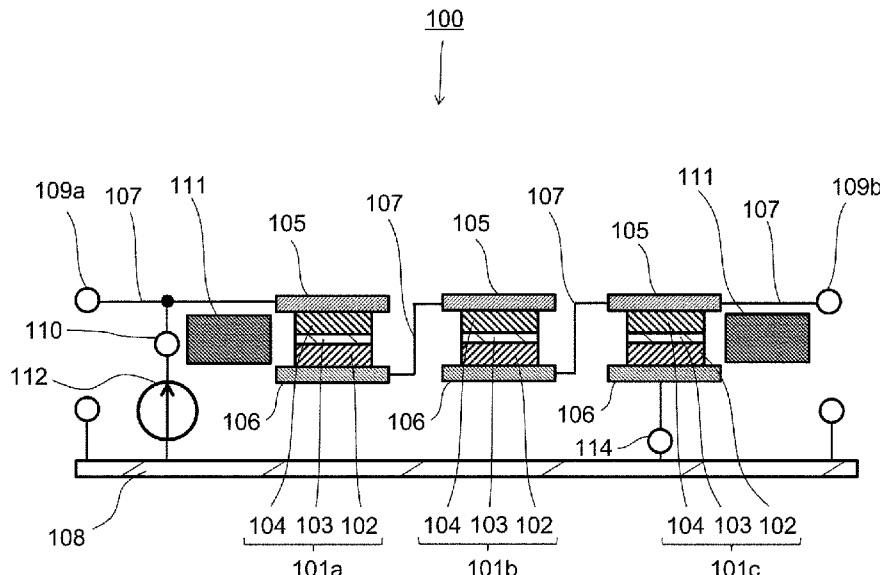
(10) 国際公開番号

WO 2018/047736 A1

- (51) 国際特許分類:
H03B 15/00 (2006.01) *H01L 43/08* (2006.01)
G11B 5/39 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/031580
- (22) 国際出願日: 2017年9月1日(01.09.2017)
- (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 2016-175222 2016年9月8日(08.09.2016) JP
特願 2016-250883 2016年12月26日(26.12.2016) JP
- (71) 出願人: T D K株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目
9番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 占部 順一郎 (URABE Junichiro);
〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D
K株式会社内 Tokyo (JP). 柴田 哲也(SHIBATA
Tetsuya); 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目
9番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP). 山
根 健量(YAMANE Takekazu); 〒1080023 東京
都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株式会
社内 Tokyo (JP). 鈴木 健司(SUZUKI Tsuyoshi);
〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D
K株式会社内 Tokyo (JP). 志村 淳(SHIMURA
Atsushi); 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9
番1号 T D K株式会社内 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: MAGNETO-RESISTIVE DEVICE

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果デバイス



(57) **Abstract:** A magneto-resistive device 100 is characterized in comprising first magneto-resistive elements 101a, 101b, a second magneto-resistive element 101c, a first port 109a, a second port 109b, a signal line 107, and a direct current input terminal 110, wherein: the first port 109a, the first magneto-resistive elements 101a, 101b, and the second port 101b are connected in series in this order by way of the signal line 107; the second magneto-resistive element 101c is connected to the signal line 107 in parallel with the second port 109b; the first magneto-resistive element 101a (101b) and the second magneto-resistive element 101c are formed in such a way that a relationship between an orientation of a direct current



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:

- 国際調査報告(条約第21条(3))

flowing through each of the first magneto-resistive element 101a (101b) and the second magneto-resistive element 101c, input from the direct current input terminal 110, and the order in which a fixed magnetization layer 102, a spacer layer 103 and a free magnetization layer 104 of each of the magneto-resistive elements is the same in the first magneto-resistive element 101a (101b) and the second magneto-resistive element 101c; and a spin torque resonant frequency of the first magneto-resistive element 101a (101b) and the spin torque resonant frequency of the second magneto-resistive element 101c are mutually different.

(57) 要約: 磁気抵抗効果デバイス100は、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと、第2の磁気抵抗効果素子101cと、第1のポート109aと、第2のポート109bと、信号線路107と、直流電流入力端子110とを有し、第1のポート109a、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a(101b)および第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110から入力され第1の磁気抵抗効果素子101a(101b)および第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層102、スペーサ層103および磁化自由層104の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a(101b)と第2の磁気抵抗効果素子101cとで同じになるように形成され、第1の磁気抵抗効果素子101a(101b)のスビントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスビントルク共鳴周波数は互いに異なることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：磁気抵抗効果デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子を利用した磁気抵抗効果デバイスに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話等の移動通信端末の高機能化に伴い、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の帯域幅に比例するため、通信に必要な周波数バンドは増加し、それに伴って、移動通信端末に必要な高周波フィルタの搭載数も増加している。また、近年新しい高周波用部品に応用できる可能性のある分野として研究されているのがスピントロニクスであり、その中で注目されている現象の一つが、磁気抵抗効果素子によるスピントルク共鳴現象である（非特許文献1参照）。磁気抵抗効果素子に交流電流を流すことで、磁気抵抗効果素子にスピントルク共鳴を起こすことが出来、スピントルク共鳴周波数に対応した周波数で周期的に磁気抵抗効果素子の抵抗値が振動する。磁気抵抗効果素子に印加される磁場の強さによって、磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は変化し、一般的にその共鳴周波数は数～数十GHzの高周波帯域である。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：Nature、Vol. 438、No. 7066、pp. 339－342、17 November 2005

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 磁気抵抗効果素子は、スピントルク共鳴現象を利用して高周波デバイスに応用することが考えられるが、高周波フィルタ等の高周波デバイスに応用するための具体的な構成は従来示されていない。本発明は、磁気抵抗効果素子

を利用した高周波フィルタ等の高周波デバイスを実現できる磁気抵抗効果デバイスを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 上記目的を達成するための本発明に係る磁気抵抗効果デバイスは、第1の磁気抵抗効果素子と、第2の磁気抵抗効果素子と、高周波信号が入力される第1のポートと、高周波信号が出力される第2のポートと、信号線路と、直流印加端子とを有し、前記第1のポート、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数と前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は互いに異なることを特徴とする。

[0006] また、上記目的を達成するための本発明に係る磁気抵抗効果デバイスは、第1の磁気抵抗効果素子と、第2の磁気抵抗効果素子と、高周波信号が入力される第1のポートと、高周波信号が出力される第2のポートと、信号線路と、磁気抵抗効果素子に直流電流または直流電圧を印加可能な直流印加端子と、基準電位端子とを有し、前記第1のポート、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置され

たスペーサ層を有し、前記第 1 の磁気抵抗効果素子及び前記第 2 の磁気抵抗効果素子は、それぞれの一端側が前記直流印加端子側になり、それぞれの他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、前記第 1 の磁気抵抗効果素子及び前記第 2 の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第 1 の磁気抵抗効果素子と前記第 2 の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、前記第 1 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数と前記第 2 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は互いに異なることを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、磁気抵抗効果素子を利用した高周波フィルタ等の高周波デバイスを実現できる磁気抵抗効果デバイスを提供することが出来る。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図2]第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図3]第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの直流電流に対する周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図4]第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの磁場強度に対する周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図5]第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図6]第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図7]第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図8]第 4 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図

である。

[図9]第4の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの磁場強度に対する周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図10]第5の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図11]第5の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図12]第6の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図13]第6の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図14]第6の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの直流電流に対する周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図15]第6の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの磁場強度に対する周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図16]第7の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図17]第8の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図18]第8の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図19]第9の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図20]第9の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との関係を示したグラフである。

[図21]第10の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの構成を示した断面模式図である。

[図22]第10の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイスの周波数と減衰量との

関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明を実施するための好適な形態につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、均等の範囲のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換又は変更を行うことが出来る。

[0010] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス100の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス100は、磁化固定層102（第1の磁化固定層）、磁化自由層104（第1の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第1のスペーサ層）を有する2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと、磁化固定層102（第2の磁化固定層）、磁化自由層104（第2の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第2のスペーサ層）を有する第2の磁気抵抗効果素子101cと、高周波信号が入力される第1のポート109aと、高周波信号が出力される第2のポート109bと、信号線路107と、直流印加端子の一例としての直流電流入力端子110とを有している。第1のポート109a、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されている。より具体的には、磁気抵抗効果デバイス100は基準電位端子114を有しており、第2の磁気抵抗効果素子101cの一端（磁化自由層104側）が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cの他端（磁化固定層102側）が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可

能になっている。グラウンド108は磁気抵抗効果デバイス100の外部のものとする事ができる。第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107の一方）に接続されており、直流電流入力端子110は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方）に接続されている。磁気抵抗効果デバイス100は、基準電位端子114がグラウンド108に接続され、直流電流源112が直流電流入力端子110とグラウンド108に接続されて用いられる。直流電流源112が直流電流入力端子110とグラウンド108に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス100は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101c、信号線路107、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路を形成可能となっている。

[0011] 第1の磁気抵抗効果素子101a、101bは、それぞれの一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、それぞれ他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス100では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれの一端側から他端側への向き

と、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとの関係が、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第2の磁気抵抗効果素子 101 c とで同じになるように形成（配置）されている。この例では、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第2の磁気抵抗効果素子 101 c において、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとが、同じ向きの関係になっている。

[0012] 第1の磁気抵抗効果素子 101 a は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子 101 a の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成（配置）されている。第1の磁気抵抗効果素子 101 b は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子 101 b の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成（配置）されている。第2の磁気抵抗効果素子 101 c は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子 101 c の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス 100 では、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、第1の磁気抵抗効果素子 101 b 及び第2の磁気抵抗効果素子 101 c のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、第1の磁気抵抗効果素子 101 b 及び第2の磁気抵抗効果素子 101 c で同じになっている。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であり、時間によって大きさが変化する電流を含む。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であり、時間によって大きさが変化する電圧を含む。

[0013] さらに、第1の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数、第1の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。磁

気抵抗効果デバイス 100 では、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数よりも高い、または、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0014] 第 1 のポート 109 a は交流信号である高周波信号が入力される入力ポートであり、第 2 のポート 109 b は高周波信号が出力される出力ポートである。第 1 のポート 109 a に入力される高周波信号及び第 2 のポート 109 b から出力される高周波信号は、例えば、100 MHz 以上の周波数を有する信号である。第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b はそれぞれ、上部電極 105 および下部電極 106 を介して信号線路 107 と電氣的に接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c は、上部電極 105 を介して信号線路 107 と電氣的に接続され、下部電極 106 と基準電位端子 114 を介してグラウンド 108 と電氣的に接続されている。第 1 のポート 109 a から入力される高周波信号は、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b を通過した後、その一部の高周波信号は第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c に流され、残り的高周波信号は第 2 のポート 109 b に出力される。また、高周波信号が第 1 のポート 109 a から第 2 のポート 109 b に通過する際の電力比（出力電力／入力電力）の dB 値である減衰量（S21）は、ネットワークアナライザなどの高周波測定器により測定することが出来る。

[0015] 上部電極 105 および下部電極 106 は、一対の電極としての役目を有し、各磁気抵抗効果素子を構成する各層の積層方向に各磁気抵抗効果素子を介して配設されている。つまり、上部電極 105 および下部電極 106 は、信号（電流）を各磁気抵抗効果素子に対して、各磁気抵抗効果素子を構成する各層の面と交差する方向、例えば、各磁気抵抗効果素子を構成する各層の面に対して垂直な方向（積層方向）に流すための一対の電極としての機能を有している。上部電極 105 および下部電極 106 は、Ta、Cu、Au、A

uCu、Ru、またはこれらの材料のいずれか2つ以上の膜で構成されることが好ましい。2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bはそれぞれ、一端（磁化自由層104側）が上部電極105を介して信号線路107に電氣的に接続され、他端（磁化固定層102側）が下部電極106を介して信号線路107に電氣的に接続されている。また、第2の磁気抵抗効果素子101cは、一端（磁化自由層104側）が上部電極105を介して信号線路107に電氣的に接続され、他端（磁化固定層102側）が下部電極106を介してグラウンド108に電氣的に接続されている。

[0016] グラウンド108は、基準電位として機能する。信号線路107とグラウンド108との形状は、マイクロストリップライン（MSL）型やコプレーナウェーブガイド（CPW）型に規定することが好ましい。マイクロストリップライン形状やコプレーナウェーブガイド形状を設計する際、信号線路107の特性インピーダンスと回路系のインピーダンスが等しくなるように信号線路107の信号線幅やグラウンド間距離を設計することにより、信号線路107を伝送損失の少ない伝送線路とすることが可能となる。

[0017] 直流電流入力端子110は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを挟んで第2の磁気抵抗効果素子101cの信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子110は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている。直流電流入力端子110に直流電流源112が接続されることで、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに対して、それぞれの積層方向に直流電流を印加することが可能になる。また、直流電流入力端子110と直流電流源112との間に、高周波信号をカットするための、インダクタまたは抵抗素子が直列に接続されてもよい。

[0018] 直流電流源112は、グラウンド108及び直流電流入力端子110に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、信号線路10

7、第2の磁気抵抗効果素子101c、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路が形成されている。直流電流源112は、直流電流入力端子110から、上記の閉回路に直流電流を印加する。直流電流源112は、例えば、可変抵抗と直流電圧源との組み合わせの回路により構成され、直流電流の電流値を変化可能に構成されている。直流電流源112は、一定の直流電流を発生可能な、固定抵抗と直流電圧源との組み合わせの回路により構成されてもよい。

[0019] 磁場印加機構111は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cの近傍に配設され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに磁場（静磁場）を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。例えば、磁場印加機構111は、電圧もしくは電流のいずれかにより、印加磁場強度を可変制御できる電磁石型またはストリップライン型で構成される。また、磁場印加機構111は、電磁石型またはストリップライン型と一定の磁場のみを供給する永久磁石との組み合わせにより構成されていてもよい。また、磁場印加機構111は、各磁気抵抗効果素子に個別に配置され、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を、独立に設定可能な構造でもよい。磁場印加機構111は、各磁気抵抗効果素子に印加する磁場を変化させることで、磁化自由層104における有効磁場を変化させて各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を変化可能となっている。

[0020] 磁化固定層102は、強磁性体材料で構成されており、その磁化方向が実質的に一方向に固定されている。磁化固定層102は、Fe、Co、Ni、NiとFeの合金、FeとCoの合金、またはFeとCoとBの合金などの高スピン分極率材料から構成されることが好ましい。これにより、高い磁気抵抗変化率を得ることが出来る。また、磁化固定層102は、ホイスラー合金で構成されても良い。また、磁化固定層102の膜厚は、1～10nmとすることが好ましい。また、磁化固定層102の磁化を固定するために磁化

固定層 102 に接するように反強磁性層を付加してもよい。或いは、結晶構造、形状などに起因する磁気異方性を利用して磁化固定層 102 の磁化を固定してもよい。反強磁性層には、FeO、CoO、NiO、CuFeS₂、IrMn、FeMn、PtMn、Cr または Mn などを用いることが出来る。

[0021] スペーサ層 103 は、磁化固定層 102 と磁化自由層 104 の間に配置され、磁化固定層 102 の磁化と磁化自由層 104 の磁化が相互作用して磁気抵抗効果が得られる。スペーサ層 103 としては、導電体、絶縁体、半導体によって構成される層、または、絶縁体中に導体によって構成される通電点を含む層で構成される。

[0022] スペーサ層 103 として非磁性導電材料を適用する場合、材料としては Cu、Ag、Au または Ru などが挙げられ、磁気抵抗効果素子には巨大磁気抵抗 (GMR) 効果が発現する。GMR 効果を利用する場合、スペーサ層 103 の膜厚は、0.5 ~ 3.0 nm 程度とすることが好ましい。

[0023] スペーサ層 103 として非磁性絶縁材料を適用する場合、材料としては Al₂O₃ または MgO などが挙げられ、磁気抵抗効果素子にはトンネル磁気抵抗 (TMR) 効果が発現する。磁化固定層 102 と磁化自由層 104 との間にコヒーレントトンネル効果が発現するように、スペーサ層 103 の膜厚を調整することで高い磁気抵抗変化率が得られる。TMR 効果を利用する場合、スペーサ層 103 の膜厚は、0.5 ~ 3.0 nm 程度とすることが好ましい。

[0024] スペーサ層 103 として非磁性半導体材料を適用する場合、材料としては ZnO、In₂O₃、SnO₂、ITO、GaO_x または Ga₂O_x などが挙げられ、スペーサ層 103 の膜厚は 1.0 ~ 4.0 nm 程度とすることが好ましい。

[0025] スペーサ層 103 として非磁性絶縁体中の導体によって構成される通電点を含む層を適用する場合、Al₂O₃ または MgO によって構成される非磁性絶縁体中に、CoFe、CoFeB、CoFeSi、CoMnGe、CoMnSi、CoMnAl、Fe、Co、Au、Cu、Al または Mg などの導

体によって構成される通電点を含む構造とすることが好ましい。この場合、スペーサ層103の膜厚は、0.5～2.0nm程度とすることが好ましい。

[0026] 磁化自由層104は、その磁化の方向が変化可能であり、強磁性材料で構成されている。磁化自由層104の磁化の方向は、例えば、外部印加磁場またはスピン偏極電子によって変化可能である。磁化自由層104は、膜面内方向に磁化容易軸を有する材料の場合、材料としてはCoFe、CoFeB、CoFeSi、CoMnGe、CoMnSiまたはCoMnAlなどが挙げられ、厚さは1～30nm程度とすることが好ましい。磁化自由層104は、膜面法線方向に磁化容易軸を有する材料の場合、材料としてはCo、CoCr系合金、Co多層膜、CoCrPt系合金、FePt系合金、希土類を含むSmCo系合金またはTbFeCo合金などが挙げられる。また、磁化自由層104は、ホイスラー合金で構成されても良い。また、磁化自由層104とスペーサ層103との間に、高スピン分極率材料を挿入しても良い。これによって、高い磁気抵抗変化率を得ることが可能となる。高スピン分極率材料としては、CoFe合金またはCoFeB合金などが挙げられる。CoFe合金またはCoFeB合金いずれの膜厚も0.2～1.0nm程度とすることが好ましい。

[0027] また、上部電極105と各磁気抵抗効果素子との間、および下部電極106と各磁気抵抗効果素子との間にキャップ層、シード層またはバッファ層を配設しても良い。キャップ層、シード層またはバッファ層としては、Ru、Ta、Cu、Crまたはこれらの積層膜などが挙げられ、これらの層の膜厚は2～10nm程度とすることが好ましい。

[0028] 尚、各磁気抵抗効果素子の大きさは、平面視形状が長方形（正方形を含む）の場合、長辺を100nm程度、或いは100nm以下にすることが望ましい。また、平面視形状が長方形ではない場合は、平面視形状に最小の面積で外接する長方形の長辺を、各磁気抵抗効果素子の長辺と定義する。長辺が100nm程度と小さい場合、磁化自由層104の磁区の単磁区化が可能と

なり、高効率なスピントルク共鳴現象の実現が可能となる。ここで、「平面視形状」とは、各磁気抵抗効果素子を構成する各層の積層方向に垂直な平面で見た形状のことである。

[0029] ここで、スピントルク共鳴現象について説明する。

[0030] 磁気抵抗効果素子に、磁気抵抗効果素子の固有のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数の高周波信号を入力すると、磁化自由層の磁化がスピントルク共鳴周波数で振動する。この現象をスピントルク共鳴現象と呼ぶ。磁気抵抗効果素子の素子抵抗値は、磁化固定層と磁化自由層との磁化の相対角で決まる。そのため、スピントルク共鳴時の磁気抵抗効果素子の抵抗値は、磁化自由層の磁化の振動に伴い、周期的に変化する。つまり、磁気抵抗効果素子は、スピントルク共鳴周波数で抵抗値が周期的に変化する抵抗振動素子として取り扱うことが出来る。

[0031] 各磁気抵抗効果素子の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れる直流電流を各磁気抵抗効果素子に印加しながら、各磁気抵抗効果素子にスピントルク共鳴周波数と同じ周波数の高周波信号を入力すると、各磁気抵抗効果素子は、入力された高周波信号と同位相の状態、スピントルク共鳴周波数で抵抗値が周期的に変化し、この高周波信号に対するインピーダンスは減少する。つまり、磁気抵抗効果デバイス 100 において、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101a、101b および第2の磁気抵抗効果素子 101c は、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが減少する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0032] スピントルク共鳴周波数は、磁化自由層 104 における有効磁場によって変化する。磁化自由層 104 における有効磁場 H_{eff} は、磁化自由層 104 に印加される外部磁場 H_E 、磁化自由層 104 における異方性磁場 H_K 、磁化自由層 104 における反磁場 H_D 、磁化自由層 104 における交換結合磁場 H_{EX} を用いて、

$$H_{eff} = H_E + H_K + H_D + H_{EX}$$

で表される。磁場印加機構 111 は、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101

a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに磁場を印加し、各磁化自由層104に外部磁場 H_E を印加することにより、各磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} を設定可能な有効磁場設定機構である。有効磁場設定機構である磁場印加機構111は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加する磁場を変化させることで、各磁化自由層104における有効磁場を変化させて、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれのスピントルク共鳴周波数を変化させることが出来る。このように、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される磁場を変化させると、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれのスピントルク共鳴周波数は変化する。

[0033] また、スピントルク共鳴時に2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに直流電流が印加されることにより、スピントルクが増加して、振動する抵抗値の振幅が増加する。振動する抵抗値の振幅が増加することにより、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれの素子インピーダンスの変化量が増加する。また、印加される直流電流の電流密度を変化させると、スピントルク共鳴周波数は変化する。したがって、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれのスピントルク共鳴周波数は、磁場印加機構111からの磁場を変化させるか、直流電流入力端子110からの印加直流電流を変化させることにより変化させることが出来る。2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれに印加される直流電流の電流密度は、それぞれの発振閾値電流密度よりも小さいことが好ましい。磁気抵抗効果素子の発振閾値電流密度とは、この値以上の電流密度の直流電流の印加により、磁気抵抗効果素子の磁化自由層の磁化が一定周波数及び一定の振幅で歳差運動を開始し、磁気抵抗効果素子が発振す

る（磁気抵抗効果素子の出力（抵抗値）が一定周波数及び一定の振幅で変動する）閾値の電流密度のことである。

[0034] また、同一の磁場および同一の電流密度の直流電流が磁気抵抗効果素子に印加された状態で考えると、磁気抵抗効果素子の平面視形状のアスペクト比が大きくなるに従って磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は高くなる。ここで「平面視形状のアスペクト比」とは、磁気抵抗効果素子の平面視形状に最小の面積で外接する長方形の、短辺の長さに対する長辺の長さの比率のことである。例えば、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bと第2の磁気抵抗効果素子101cについて、膜構成が互いに同じで、平面視形状はいずれも長方形であるが、平面視形状のアスペクト比が互いに異なるようにすることで、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるようにすることができる。ここで「膜構成が同じ」とは、磁気抵抗効果素子を構成する各層の材料および膜厚が同じであり、さらに各層の積層順が同じであることを意味する。

[0035] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、低インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。同様に、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、低インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101bを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなり

、高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。

[0036] さらに、スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号（2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、低インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cを通過してグラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cによりグラウンド108から遮断され、第2のポート109bに出力されやすくなる。

[0037] 図2に、磁気抵抗効果デバイス100に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図2の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図2のプロット線220は、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。f_aは第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、f_bは第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数であり、f_cは第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数である。図2では、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数より低い場合の例を示している。

[0038] 図2のプロット線220に示されるように、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第1の磁気抵抗効果素子

101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の通過帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、この場合の磁気抵抗効果デバイス100は、図2のプロット線220に示されるような、通過帯域の低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0039] 同様にして、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数より高い場合には、磁気抵抗効果デバイス100は、通過帯域の高周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の上限周波数に一致させることが好ましい。

[0040] 図3および図4に、磁気抵抗効果デバイス100に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図3および図4の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図3は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加された

磁場が一定の時のグラフである。図3のプロット線131は、直流電流入力端子110から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される直流電流値が I_{a1} の時のものであり、プロット線132は直流電流入力端子110から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される直流電流値が I_{a2} の時のものである。この時の直流電流値の関係は、 $I_{a1} < I_{a2}$ である。また、図4は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加された直流電流が一定の時のグラフである。図4のプロット線141は、磁場印加機構111から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される磁場強度が H_{b1} の時のものであり、プロット線142は磁場印加機構111から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される磁場強度が H_{b2} の時のものである。この時の磁場強度の関係は、 $H_{b1} < H_{b2}$ である。

[0041] 例えば、図3に示されるように、直流電流入力端子110から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される直流電流値を I_{a1} から I_{a2} に大きくした場合、電流値の変化に伴い2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数での素子インピーダンスの変化量が増加することで、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域（通過帯域）において、第2のポート109bから出力される高周波信号がさらに大きくなり、通過損失が小さくなる。それと同時に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域において、第2のポート109bから出力される高周波信号がさらに小さくなる。したがって、磁気抵抗効果デバイス101は、遮断特性と通過特性のレンジが大きく、さらに急峻な肩特性を持

つ高周波フィルタを実現することが可能となる。また、直流電流値を I_{a1} から I_{a2} に大きくすると、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は f_{d1} から f_{d2} に、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数は f_{e1} から f_{e2} に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は f_{g1} から f_{g2} にシフトする。すなわち通過帯域は低周波数側へシフトする。つまり、磁気抵抗効果デバイス100は、通過帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することも出来る。

[0042] さらに、例えば、図4に示されるように、磁場印加機構111から印加される磁場強度を H_{b1} から H_{b2} に強くした場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は f_{h1} から f_{h2} に、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数は f_{i1} から f_{i2} に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は f_{j1} から f_{j2} にシフトする。すなわち、通過帯域は高周波数側へシフトする。また、磁場強度（磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）を変化させる方が、直流電流値を変化させるよりも大きく通過帯域をシフトさせることができる。つまり、磁気抵抗効果デバイス100は、通過帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することが出来る。

[0043] なお、各磁気抵抗効果素子に印加される外部磁場 H_E （磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）が大きくなるに従って、各磁気抵抗効果素子の振動する抵抗値の振幅が小さくなるので、各磁気抵抗効果素子に印加される外部磁場 H_E （磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）を大きくするのに伴い、各磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度を大きくすることが好ましい。

[0044] また、磁気抵抗効果デバイス100では、第1の磁気抵抗効果素子は1個（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bのいずれか一方）としてもよい。

[0045] このように、磁気抵抗効果デバイス100は、2つの第1の磁気抵抗効果

素子101a、101bと、第2の磁気抵抗効果素子101cと、高周波信号が入力される第1のポート109aと、高周波信号が出力される第2のポート109bと、信号線路107と、直流電流入力端子110（直流印加端子）とを有し、第1のポート109a、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスペーサ層103を有し、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれの一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、それぞれの他端側が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cとで同じになるように形成されている。また、第1の磁気抵抗効果素子101aは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第1の磁気抵抗効果素子101bは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101bの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101cの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周

波数は互いに異なっており、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。

[0046] したがって、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cに第1のポート109aから信号線路107を介して高周波信号が入力されることにより、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cにスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの中を第1の磁化自由層から第1の磁化固定層の方向に直流電流が流れることにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第1の磁気抵抗効果素子101aの素子インピーダンスが減少し、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第1の磁気抵抗効果素子101bの素子インピーダンスが減少する。同様に、スピントルク共鳴と同時に、第2の磁気抵抗効果素子101cの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に直流電流が流れることにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第2の磁気抵抗効果素子101cの素子インピーダンスが減少する。

[0047] 第1のポート109a、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2のポート109bがこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bが高インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。さらに、第2の磁気抵抗効果素子101cが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、高周波信号を、第2の磁気抵抗効果素子101cが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第2の磁気抵抗効果素子101cが高インピーダンス状態

である非共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。このように、磁気抵抗効果デバイス100は、第1のポート109aから入力された高周波信号を、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109b側に通過させることが出来、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109bに対して遮断することが出来る。つまり、磁気抵抗効果デバイス100は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極大値を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極小値を持ち、高周波フィルタとして機能する。

[0048] 磁気抵抗効果デバイス100では、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低いため）、第1の磁気抵抗効果素子101aスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポートに対し遮断することができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低いため）、第1の磁気抵抗効果素子101bスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポートに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共

鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側または低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス100は、通過帯域の高周波数側または低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0049] さらに、磁気抵抗効果デバイス100は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを有し、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数より低いので、広い通過帯域を持ち、通過帯域の高周波数側または低周波数側における肩特性が急峻である帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0050] さらに、遮断特性と通過特性のレンジを大きく、肩特性を急峻にするためには、磁化自由層104が膜面法線方向に磁化容易軸を有し、磁化固定層102が膜面方向に磁化容易軸を有する構成とすることが好ましい。

[0051] また、直流電流入力端子110から印加される直流電流を変化させることにより、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を可変制御することができるため、磁気抵抗効果デバイス100は、周波数可変フィルタとして機能することも可能となる。

[0052] さらに、磁気抵抗効果デバイス100は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を設定可能な周波数設定機構としての磁場印加機構111を有するので、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を任意の周波数にするこ

とができる。したがって、磁気抵抗効果デバイス１００は、任意の周波数帯のフィルタとして機能することが可能となる。

[0053] さらに、磁気抵抗効果デバイス１００は、磁場印加機構１１１が、磁化自由層１０４における有効磁場を設定可能な有効磁場設定機構であり、磁化自由層１０４における有効磁場を変化させて２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂおよび第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃのスピントルク共鳴周波数を変化可能であるので、周波数可変フィルタとして機能することが可能となる。

[0054] また、以上の説明では、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂが互いに直列に接続されている例で説明したが、第１の磁気抵抗効果素子は３個以上であってもよい。また、複数の第１の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第１のポート１０９ａ、各々の第１の磁気抵抗効果素子および第２のポート１０９ｂが信号線路１０７を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス１００と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0055] また、以上の説明では、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃが、第２のポート１０９ｂに対して並列に、第１の磁気抵抗効果素子１０１ｂと第２のポート１０９ｂとの間の信号線路１０７に接続され、直流電流入力端子１１０が、第１の磁気抵抗効果素子１０１ａと第１のポート１０９ａとの間の信号線路１０７に接続されている例で説明したが、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃが、第２のポート１０９ｂに対して並列に、第１の磁気抵抗効果素子１０１ａと第１のポート１０９ａとの間の信号線路１０７に接続され、直流電流入力端子１１０が、第１の磁気抵抗効果素子１０１ｂと第２のポート１０９ｂとの間の信号線路１０７に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃの一端が第１の磁気抵抗効果素子１０１ａと第１のポート１０９ａとの間の信号線路１０７に接続され、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃの他端が、基準電位端子１１４に接続されて基準電位

端子 114 を介してグラウンド 108 に接続されるようにしてもよい。

[0056] また、磁気抵抗効果デバイス 100 は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が一定以上の大きさの場合、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数において、第 1 のポート 109 a から入力される高周波信号の入力電力よりも、第 2 のポート 109 b から出力される出力電力を大きくする（減衰量を 0 dB 以上とする）ことが出来る。つまり、磁気抵抗効果デバイス 100 は、増幅器（アンプ）として機能することも可能となる。

[0057] （第 2 の実施形態）

図 5 は、本発明の第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス 200 の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス 200 において、第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス 200 は、第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 に対し、さらにインダクタ 113 と基準電位端子 115 を有している。インダクタ 113 は、第 2 のポート 109 b に対して並列に、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107（第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107、または第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 の一方）に接続され、さらに基準電位端子 115 に接続されて基準電位端子 115 を介してグラウンド 108 に接続可能になっている。直流電流入力端子 110 は、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107（第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107、または第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 の他方）に接続されている。第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c は、第 2 のポート

109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの少なくとも1つを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cの一端（磁化自由層104側）が第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cの他端（磁化固定層102側）が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可能になっている。直流電流源112が直流電流入力端子110とグラウンド108に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス200は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、信号線路107、インダクタ113、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路と、第2の磁気抵抗効果素子101c、信号線路107、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路を形成可能となっている。

[0058] 第1の磁気抵抗効果素子101a、101bは、それぞれの一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、それぞれ他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子115側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子115に接続されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス200では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cとで同じになるように形成（配置）されている。

[0059] 第1の磁気抵抗効果素子101aは磁化固定層102側が第1のポート1

09 a 側になるように信号線路 107 に接続されて、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成（配置）されている。第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b は磁化固定層 102 側が第 1 のポート 109 a 側になるように信号線路 107 に接続されて、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス 200 では、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c で同じになっている。磁気抵抗効果デバイス 200 のその他の構成は、第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 と同じである。

[0060] 直流電流源 112 は、グラウンド 108 及び直流電流入力端子 110 に接続され、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b、信号線路 107、インダクタ 113、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路が形成されている。また、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、信号線路 107、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路が形成されている。

[0061] インダクタ 113 は、信号線路 107 とグラウンド 108 との間に接続され、インダクタ成分により電流の高周波成分をカットすると同時に電流の不変成分を通す機能を有する。インダクタ 113 は、チップインダクタまたはパターン線路によるインダクタのどちらでもよい。また、インダクタ成分を有する抵抗素子でもよい。インダクタ 113 のインダクタンス値は 10 nH 以上であることが好ましい。このインダクタ 113 により、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b を通過する高周波信号の特性を劣化させ

ることなく、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、信号線路107、インダクタ113、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路に、直流電流入力端子110から印加された直流電流を流すことができる。

[0062] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第2の磁気抵抗効果素子101cと直流電流入力端子110のいずれか一方が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0063] 磁気抵抗効果デバイス200は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0064] 第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100および第2の実施形態の磁気抵抗効果デバイス200において、さらに、通過帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第2の磁気抵抗効果素子101cのQ値を、通過帯域を形成する第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。ここでQ値とは、磁気抵抗効果素子のインピーダンスの絶対値が、磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数 f_0 におけるインピーダンスの絶対値から3dB減少または増加する、周波数 f_0 の両側の周波数 f_1 、 f_2 ($f_1 < f_2$) を用いて、

$$Q = f_0 / (f_2 - f_1)$$

で表される。スピントルク共鳴時の磁気抵抗効果素子のQ値は、磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度に比例するため、例えば、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bと第2の磁気抵抗効果素子101cが互いに直列接続されている場合には、第2の磁気抵抗

効果素子 101c の平面視形状の面積を、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a (第 1 の磁気抵抗効果素子 101b) の平面視形状の面積よりも小さくすることにより、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の Q 値を、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a (第 1 の磁気抵抗効果素子 101b) の Q 値よりも大きくすることができる。

[0065] (第 3 の実施形態)

図 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス 300 の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス 300 において、第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第 1 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 100 と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス 300 は、磁化固定層 102 (第 1 の磁化固定層)、磁化自由層 104 (第 1 の磁化自由層) およびこれらの間に配置されたスペーサ層 103 (第 1 のスペーサ層) を有する第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と、磁化固定層 102 (第 2 の磁化固定層)、磁化自由層 104 (第 2 の磁化自由層) およびこれらの間に配置されたスペーサ層 103 (第 2 のスペーサ層) を有する 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d と、高周波信号が入力される第 1 のポート 109a と、高周波信号が出力される第 2 のポート 109b と、信号線路 107 と、直流電流入力端子 110 とを有している。第 1 のポート 109a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および第 2 のポート 109b が信号線路 107 を介してこの順に直列接続されている。2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d は、互いに直列接続されており、直列接続された 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d は、第 2 のポート 109b に対して並列に信号線路 107 に接続されている。第 2 の磁気抵抗効果素子 101d は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c と同様に、第 2 のポート 109b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 に接続されている。より具体的には、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の磁化自由層 1

04側が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101dの磁化固定層102側が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可能になっている。

[0066] 第2の磁気抵抗効果素子101cと同様に、第2の磁気抵抗効果素子101dは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されており、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101dの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス300では、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101aと2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dとで同じになるように形成（配置）されている。また、磁気抵抗効果デバイス300では、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層102、スペーサ層103および磁化自由層104の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dで同じになっている。

[0067] さらに、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。磁気抵抗効果デバイス300では、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高い、または、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周

波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0068] 第1のポート109aから入力される高周波信号は、第1の磁気抵抗効果素子101aを通過した後、その一部の高周波信号は2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに流され、残りの高周波信号は第2のポート109bに出力される。

[0069] 第2の磁気抵抗効果素子101dは、一端（磁化自由層104側）が上部電極105を介して信号線路107（第2の磁気抵抗効果素子101c）に電氣的に接続され、他端（磁化固定層102側）が下部電極106と基準電位端子114を介してグラウンド108に電氣的に接続されている。

[0070] 直流電流入力端子110は、第1の磁気抵抗効果素子101aを挟んで2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子110は、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている。直流電流入力端子110に直流電流源112が接続されることで、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに直流電流を印加することが可能になる。

[0071] 直流電流源112は、グラウンド108及び直流電流入力端子110に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a、信号線路107、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101d、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路が形成されている。直流電流源112は、直流電流入力端子110から、上記の閉回路に直流電流を印加する。

[0072] 磁場印加機構111は、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの近傍に配設され、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに磁場を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。

- [0073] 磁気抵抗効果デバイス300のその他の構成は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と同じである。
- [0074] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、低インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。
- [0075] さらに、スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号（第1の磁気抵抗効果素子101aを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、低インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cを通過してグラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cによりグラウンド108から遮断され、第2のポート109bに出力されやすくなる。同様に、第1のポート109aから入力された高周波信号（第1の磁気抵抗効果素子101aを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、低インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101dを通過してグラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなり、高周波信号の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第2

の磁気抵抗効果素子 101c によりグラウンド 108 から遮断され、第 2 のポート 109b に出力されやすくなる。

[0076] 図 7 に、磁気抵抗効果デバイス 300 に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図 7 の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図 7 のプロット線 320 は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d に印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。f_a は第 1 の磁気抵抗効果素子 101a のスピントルク共鳴周波数であり、f_c は第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数であり、f_d は第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数である。図 7 では、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a のスピントルク共鳴周波数が、第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数および第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数より低い場合の例を示している。

[0077] 図 7 のプロット線 320 に示されるように、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。また、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a により、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数および第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の遮断帯域の低周波数側）において、高周波信号を第 2 のポート 109b 側に通過させることができる。高周波信号が通過する第 1 の磁気抵抗効果素子 101a のスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数の近傍および第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、この場合の磁気抵抗効果デバイス 300 は、図 7 のプロット線 320 に示されるような、通過帯域の低周波数側

において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0078] 同様にして、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数より高い場合には、磁気抵抗効果デバイス300は、遮断帯域の高周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の上限周波数に一致させることが好ましい。

[0079] さらに、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに印加される直流電流、または磁場印加機構111が第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに印加する磁場を変化させることで、遮断帯域をシフトさせることができる。つまり、磁気抵抗効果デバイス300は、遮断帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することが出来る。

[0080] また、磁気抵抗効果デバイス300では、第2の磁気抵抗効果素子は1個（第2の磁気抵抗効果素子101c、101dのいずれか一方）としてもよい。

[0081] このように、磁気抵抗効果デバイス300は、第1の磁気抵抗効果素子101aと、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dと、高周波信号が入力される第1のポート109aと、高周波信号が出力される第2のポート109bと、信号線路107と、直流電流入力端子110（直流印加端子）とを有し、第1のポート109a、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され

、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスペーサ層103を有し、第1の磁気抵抗効果素子101a及び第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれの一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、それぞれの他端側が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a及び第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2の磁気抵抗効果素子101c、101dとで同じになるように形成されている。また、第1の磁気抵抗効果素子101aは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101cの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101dは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101dの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は互いに異なっており、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。

[0082] したがって、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに第1のポート109aから信号線路107を

介して高周波信号が入力されることにより、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dにスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に直流電流が流れることにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第1の磁気抵抗効果素子101aの素子インピーダンスが減少する。同様に、スピントルク共鳴と同時に、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に直流電流が流れることにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第2の磁気抵抗効果素子101cの素子インピーダンスが減少し、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第2の磁気抵抗効果素子101dの素子インピーダンスが減少する。

[0083] 第1のポート109a、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第2のポート109bがこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第1の磁気抵抗効果素子101aが高インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第1の磁気抵抗効果素子101aが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。さらに、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、高周波信号を、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが高インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。このように、磁気抵抗効果デバイス300は、第1のポート109aから入力された高周波信号を、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109b側に通過させることが出来、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および

第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109bに対して遮断することが出来る。つまり、磁気抵抗効果デバイス300は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極大値を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極小値を持ち、高周波フィルタとして機能する。

[0084] 磁気抵抗効果デバイス300では、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低いため）、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポートに通過させることができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低いため）、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポートに通過させることができる。高周波信号が通過する第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側または低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗

効果デバイス 300 は、遮断帯域の高周波数側または低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0085] さらに、磁気抵抗効果デバイス 300 は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d を有し、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数は、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d の各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d の各々のスピントルク共鳴周波数より低いので、広い遮断帯域を持ち、遮断帯域の高周波数側または低周波数側における肩特性が急峻である帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0086] また、以上の説明では、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d が互いに直列に接続されている例で説明したが、第 2 の磁気抵抗効果素子は 3 個以上であってもよい。また、複数の第 2 の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、各々の第 2 の磁気抵抗効果素子が第 2 のポート 109 b に対して並列に信号線路 107 に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス 300 と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0087] また、以上の説明では、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d が、第 2 のポート 109 b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 に接続され、直流電流入力端子 110 が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107 に接続されている例で説明したが、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d が、第 2 のポート 109 b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107 に接続され、直流電流入力端子 110 が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c の磁化自由層 104 側が第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 1 のポート 109

aとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101dの磁化固定層102側が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続されるようにしてもよい。

[0088] また、第2の実施形態と同様にして、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300に対して、インダクタ113が、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107の一方）に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方）に接続され、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0089] 第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300において、さらに、遮断帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第1の磁気抵抗効果素子101aのQ値を、遮断帯域を形成する第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。スピントルク共鳴時の磁気抵抗効果素子のQ値は、磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度に比例するため、例えば、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dが互いに直列接続されている場合には、第1の磁気抵抗効果素子101aの平面視形状の面積を、第2の磁気抵抗効果素子101c（第2の磁気抵抗効果素子101d）の平面視形状の面積よりも小さくすることにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのQ値を、第

2の磁気抵抗効果素子101c（第2の磁気抵抗効果素子101d）のQ値よりも大きくすることができる。

[0090]（第4の実施形態）

図8は、本発明の第4の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス400の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス400において、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス400は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100に対し、さらに第3の磁気抵抗効果素子101eを有している。第3の磁気抵抗効果素子101eは、磁化固定層102（第3の磁化固定層）、磁化自由層104（第3の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第3のスペーサ層）を有している。第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されている。第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2の磁気抵抗効果素子101cと同様に、第2のポート109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されている。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eは互いに直列接続されており、第3の磁気抵抗効果素子101eの一端（磁化自由層104側）が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107（第2の磁気抵抗効果素子101c）に接続され、第3の磁気抵抗効果素子101eの他端（磁化固定層102側）が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可能になっている。

[0091] 第3の磁気抵抗効果素子101eは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効

果デバイス400では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eとで同じになるように形成（配置）されている。この例では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eにおいて、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとが、同じ向きの関係になっている。

[0092] 第3の磁気抵抗効果素子101eは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第3の磁気抵抗効果素子101eの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス400では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層102、スペーサ層103および磁化自由層104の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eで同じになっている。さらに、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0093] 第1のポート109aから入力される高周波信号は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを通過した後、その一部の高周波信号は第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eに流れ、残り的高周波信号は第2のポート109bに出力される。

- [0094] 第3の磁気抵抗効果素子101eは、一端（磁化自由層104側）が上部電極105を介して信号線路107（第2の磁気抵抗効果素子101c）に電氣的に接続され、他端（磁化固定層102側）が下部電極106と基準電位端子114を介してグラウンド108に電氣的に接続されている。
- [0095] 直流電流入力端子110は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを挟んで第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eの信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子110は、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている。直流電流入力端子110に直流電流源112が接続されることで、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eに直流電流を印加することが可能になる。
- [0096] 直流電流源112は、グラウンド108及び直流電流入力端子110に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、信号線路107、第2の磁気抵抗効果素子101c、第3の磁気抵抗効果素子101e、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路が形成されている。直流電流源112は、直流電流入力端子110から、上記の閉回路に直流電流を印加する。
- [0097] 磁場印加機構111は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eの近傍に配設され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eに磁場を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。
- [0098] 磁気抵抗効果デバイス400のその他の構成は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と同じである。
- [0099] 磁気抵抗効果デバイス400において、第3の磁気抵抗効果素子101e

は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e の中を磁化自由層 104 から磁化固定層 102 の方向に流れるように形成されているので、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c と同様に、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが減少する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0100] スピントルク共鳴現象により、第 1 のポート 109 a から入力された高周波信号（2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b を通過した高周波信号）の高周波成分の中で第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e のスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第 2 のポート 109 b に並列に接続された、低インピーダンス状態の第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e によりグラウンド 108 に流れやすくなり、第 2 のポート 109 b に出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e のスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e によりグラウンド 108 から遮断され、第 2 のポート 109 b に出力されやすくなる。

[0101] 図 9 に、磁気抵抗効果デバイス 400 に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図 9 の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図 9 のプロット線 420 は、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c および第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e に印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。f a は第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数であり、f b は第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数であり、f c は第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数であり、f e は第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e のスピントルク共鳴周波数である。

[0102] 図 9 のプロット線 420 に示されるように、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第 1 の磁気抵抗効果素子

101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の高周波数側（上記の通過帯域の高周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。また、第3の磁気抵抗効果素子101eにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の通過帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス400は、図9のプロット線420に示されるような、通過帯域の低周波数側および高周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の上限周波数に一致させ、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数を、使用す

る通過帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0103] また、磁気抵抗効果デバイス400では、第1の磁気抵抗効果素子は1個（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bのいずれか一方）としてもよい。

[0104] このように、磁気抵抗効果デバイス400は、第3の磁気抵抗効果素子101eを磁気抵抗効果デバイス100に対してさらに有し、第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスペーサ層103を有し、第3の磁気抵抗効果素子101eは、その一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、その他端側が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eとで同じになるように形成されている。また、第3の磁気抵抗効果素子101eは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第3の磁気抵抗効果素子101eの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっており、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴

周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0105] したがって、第3の磁気抵抗効果素子101eに第1のポート109aから信号線路107を介して高周波信号が入力されることにより、第3の磁気抵抗効果素子101eにスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第3の磁気抵抗効果素子101eの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に直流電流が流れることにより、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第3の磁気抵抗効果素子101eの素子インピーダンスが減少する。

[0106] 第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、高周波信号を、第3の磁気抵抗効果素子101eが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第3の磁気抵抗効果素子101eが高インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。

[0107] 第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポートに対し遮断することができる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポートに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および

第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側および低周波数側の両方の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス400は、通過帯域の高周波数側および低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0108] さらに、磁気抵抗効果デバイス400は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを有するので、広い通過帯域を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いため、通過帯域の高周波数側及び低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0109] また、以上の説明では、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bが互いに直列に接続されている例で説明したが、第1の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第1の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第1のポート109a、各々の第1の磁気抵抗効果素子および第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス400と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0110] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eが互いに直列に接続されている例で説明したが、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eが互いに並列

に接続されていても良い。この場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス400と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0111] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cの磁化自由層104側が第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、第3の磁気抵抗効果素子101eの磁化固定層102側が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続されるようにしてもよい。

[0112] また、以上の説明では、磁気抵抗効果デバイス400として、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100に対して第3の磁気抵抗効果素子101eが追加された例で説明しているが、第2の実施形態の磁気抵抗効果デバイス200に対して第3の磁気抵抗効果素子101eが同様に追加された形態でもよい。

[0113] 第4の実施形態の磁気抵抗効果デバイス400において、さらに、通過帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eのそれぞれのQ値を

、通過帯域を形成する第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。スピントルク共鳴時の磁気抵抗効果素子のQ値は、磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度に比例するため、例えば、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bと第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eが互いに直列接続されている場合には、第2の磁気抵抗効果素子101cの平面視形状の面積と第3の磁気抵抗効果素子101eの平面視形状の面積を、第1の磁気抵抗効果素子101a（第1の磁気抵抗効果素子101b）の平面視形状の面積よりも小さくすることにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのQ値と第3の磁気抵抗効果素子101eのQ値を、第1の磁気抵抗効果素子101a（第1の磁気抵抗効果素子101b）のQ値よりも大きくすることができる。

[0114] （第5の実施形態）

図10は、本発明の第5の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス500の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス500において、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100および第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス500は、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300に対し、さらに第4の磁気抵抗効果素子101fを有している。第4の磁気抵抗効果素子101fは、磁化固定層102（第4の磁化固定層）、磁化自由層104（第4の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第4のスペーサ層）を有している。第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されている。より具体的には、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fは互いに直列接続されている。

[0115] 第4の磁気抵抗効果素子101fは、その一端側（この例では磁化自由層

104側)が直流電流入力端子110側になり、その他端側(この例では磁化固定層102側)が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス500では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第2の磁気抵抗効果素子101c、101d及び第4の磁気抵抗効果素子101fは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101aと2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dと第4の磁気抵抗効果素子101fとで同じになるように形成(配置)されている。この例では、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2の磁気抵抗効果素子101c、101dと第4の磁気抵抗効果素子101fにおいて、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとが、同じ向きの関係になっている。

[0116] 第4の磁気抵抗効果素子101fは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第4の磁気抵抗効果素子101fの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成(配置)されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス500では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第2の磁気抵抗効果素子101c、第2の磁気抵抗効果素子101d及び第4の磁気抵抗効果素子101fのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層102、スペーサ層103および磁化自由層104の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、第2の磁気抵抗効果素子101c、第2の磁気抵抗効果素子101d及び第4の磁気抵抗効果素子101fで同じになっている。さらに、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっ

ている。

[0117] 第1のポート109aから入力される高周波信号は、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fを通過した後、その一部の高周波信号は2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに流れ、残りの高周波信号は第2のポート109bに出力される。

[0118] 第4の磁気抵抗効果素子101fは、一端（磁化自由層104側）が上部電極105を介して信号線路107に電氣的に接続され、他端（磁化固定層102側）が下部電極106を介して信号線路107に電氣的に接続されている。

[0119] 直流電流入力端子110は、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fを挟んで2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子110は、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている。直流電流入力端子110に直流電流源112が接続されることで、第1の磁気抵抗効果素子101a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに直流電流を印加することが可能になる。

[0120] 直流電流源112は、グラウンド108及び直流電流入力端子110に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a、第4の磁気抵抗効果素子101f、信号線路107、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101d、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路が形成されている。直流電流源112は、直流電流入力端子110から、上記の閉回路に直流電流を印加する。

[0121] 磁場印加機構111は、第1の磁気抵抗効果素子101a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの近傍に配設され、第1の磁気抵抗効果素子101a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに

磁場を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。

[0122] 磁気抵抗効果デバイス500のその他の構成は、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300と同じである。

[0123] 磁気抵抗効果デバイス500において、第4の磁気抵抗効果素子101fは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第4の磁気抵抗効果素子101fの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に流れるように形成されているので、第1の磁気抵抗効果素子101aと同様に、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが減少する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0124] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、低インピーダンス状態の第4の磁気抵抗効果素子101fを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第4の磁気抵抗効果素子101fにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。

[0125] 図11に、磁気抵抗効果デバイス500に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図11の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図11のプロット線520は、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101d、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。fcは第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数であり、fdは第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数であり、faは第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、ffは第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数である。

[0126] 図11のプロット線520に示されるように、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側（上記の遮断帯域の高周波数側）において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。また、第4の磁気抵抗効果素子101fにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の遮断帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対し通過させることができる。高周波信号が通過する第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス500は、図11のプロット線520に示されるような、遮断帯域の低周波数側および高周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第1の磁気抵抗効果素子1

01 a のスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の上限周波数に一致させ、第4の磁気抵抗効果素子101 f のスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0127] また、磁気抵抗効果デバイス500では、第2の磁気抵抗効果素子は1個（第2の磁気抵抗効果素子101 c、101 dのいずれか一方）としてもよい。

[0128] このように、磁気抵抗効果デバイス500は、第4の磁気抵抗効果素子101 f を磁気抵抗効果デバイス300に対してさらに有し、第1のポート109 a、第4の磁気抵抗効果素子101 f および第2のポート109 b が信号線路107 を介してこの順に直列接続され、第1の磁気抵抗効果素子101 a、2つの第2の磁気抵抗効果素子101 c、101 d および第4の磁気抵抗効果素子101 f は、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104 およびこれらの間に配置されたスペーサ層103 を有し、第4の磁気抵抗効果素子101 f は、その一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、その他端側が基準電位端子114 側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114 に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101 a、第2の磁気抵抗効果素子101 c、101 d 及び第4の磁気抵抗効果素子101 f は、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104 から磁化固定層102 への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101 a と2つの第2の磁気抵抗効果素子101 c、101 d と第4の磁気抵抗効果素子101 f とで同じになるように形成されている。また、第4の磁気抵抗効果素子101 f は、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第4の磁気抵抗効果素子101 f の中を磁化自由層104 から磁化固定層102 の方向に流れるように形成され、第1の磁気抵抗効果素子101 a のスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101 c のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101 f のスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101 c のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっており、

第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数は、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0129] したがって、第4の磁気抵抗効果素子101fに第1のポート109aから信号線路107を介して高周波信号が入力されることにより、第4の磁気抵抗効果素子101fにスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第4の磁気抵抗効果素子101fの中を磁化自由層104から磁化固定層102の方向に直流電流が流れることにより、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第4の磁気抵抗効果素子101fの素子インピーダンスが減少する。

[0130] 第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bがこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第4の磁気抵抗効果素子101fが低インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させ、第4の磁気抵抗効果素子101fが高インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断することが出来る。

[0131] 第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、

高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側および低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス500は、遮断帯域の高周波数側および低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0132] さらに、磁気抵抗効果デバイス500は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dを有するので、広い遮断帯域を持ち、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いため、遮断帯域の高周波数側及び低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0133] また、以上の説明では、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが互いに直列に接続されている例で説明したが、第2の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第2の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、各々の第2の磁気抵抗効果素子が第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス500と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0134] また、以上の説明では、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fが互いに直列に接続されている例で説明したが、第1の

磁気抵抗効果素子 101a と第 4 の磁気抵抗効果素子 101f が互いに並列に接続されていても良い。この場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第 1 のポート 109a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および第 2 のポート 109b が信号線路 107 を介してこの順に直列接続され、第 1 のポート 109a、第 4 の磁気抵抗効果素子 101f および第 2 のポート 109b が信号線路 107 を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス 500 と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0135] また、以上の説明では、2つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d が、第 2 のポート 109b に対して並列に、第 4 の磁気抵抗効果素子 101f と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 に接続され、直流電流入力端子 110 が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 に接続されている例で説明したが、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d が、第 2 のポート 109b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 に接続され、直流電流入力端子 110 が、第 4 の磁気抵抗効果素子 101f と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の磁化自由層 104 側が第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 に接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101d の磁化固定層 102 側が、基準電位端子 114 に接続されて基準電位端子 114 を介してグラウンド 108 に接続されるようにしてもよい。

[0136] また、第 2 の実施形態と同様にして、第 5 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 500 に対して、インダクタ 113 が、第 2 のポート 109b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107（第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および第 4 の磁気抵抗効果素子 101f と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107、または第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および第 4 の磁気抵抗効果素子 101f と第

2のポート109bとの間の信号線路107の一方)に接続され、直流電流入力端子110が、第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107(第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方)に接続され、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fの少なくとも1つを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0137] 第5の実施形態の磁気抵抗効果デバイス500において、さらに、遮断帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fのそれぞれのQ値を、遮断帯域を形成する第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。スピントルク共鳴時の磁気抵抗効果素子のQ値は、磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度に比例するため、例えば、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fと第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dが互いに直列接続されている場合には、第1の磁気抵抗効果素子101aの平面視形状の面積と第4の磁気抵抗効果素子101fの平面視形状の面積を、第2の磁気抵抗効果素子101c(第2の磁気抵抗効果素子101d)の平面視形状の面積よりも小さくすることにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのQ値と第4の磁気抵抗効果素子101fのQ値を、第2の磁気抵抗効果素子101c(第2の磁気抵抗効果素子101d)のQ値よりも大きくすることができる。

[0138] (第6の実施形態)

図12は、本発明の第6の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス600の

断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス600において、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス600は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100に対し、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの中を流れる直流電流の向きおよび第2の磁気抵抗効果素子101cの中を流れる直流電流の向きが異なる。磁気抵抗効果デバイス600では、第1の磁気抵抗効果素子101aは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。第1の磁気抵抗効果素子101bは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101bの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101cの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス600では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層102、スペーサ層103および磁化自由層104の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cで同じになっている。磁気抵抗効果デバイス600のその他の構成は、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100と同じである。

[0139] 各磁気抵抗効果素子の中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れる直流電流を各磁気抵抗効果素子に印加しながら、各磁気抵抗効果素子にスピントルク共鳴周波数と同じ周波数の高周波信号を入力すると、各磁気抵抗効果素子は、入力された高周波信号と位相が180°異なる状態で、

スピントルク共鳴周波数で抵抗値が周期的に変化し、この高周波信号に対するインピーダンスは増加する。つまり、磁気抵抗効果デバイス600において、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cは、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが増加する抵抗素子として取り扱うことができる。

[0140] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、高インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101aを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。同様に、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、高インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101bにより、第2のポート109bに出力されにくくなり、高周波信号の高周波成分の中で第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第1の磁気抵抗効果素子101bを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。

[0141] さらに、スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号（2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、高インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cによりグラウンド108から遮断

され、第2のポート109bに出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、高インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cを通過してグラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなる。

[0142] 図13に、磁気抵抗効果デバイス600に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図13の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図13のプロット線620は、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。f_aは第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、f_bは第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数であり、f_cは第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数である。図13では、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数より低い場合の例を示している。

[0143] 図13のプロット線620に示されるように、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の遮断帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bの

スピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、この場合の磁気抵抗効果デバイス 600 は、図 13 のプロット線 620 に示されるような、遮断帯域の低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0144] 同様にして、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a のスピントルク共鳴周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101b のスピントルク共鳴周波数より高い場合には、磁気抵抗効果デバイス 600 は、遮断帯域の高周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の上限周波数に一致させることが好ましい。

[0145] 図 14 および図 15 に、磁気抵抗効果デバイス 600 に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図 14 および図 15 の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図 14 は、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b および第 2 の磁気抵抗効果素子 101c に印加された磁場が一定の時のグラフである。図 14 のプロット線 631 は、直流電流入力端子 110 から 2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b および第 2 の磁気抵抗効果素子 101c に印加される直流電流値が I_{a1} の時のものであり、プロット線 632 は直流電流入力端子 110 から 2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b および第 2 の磁気抵抗効果素子 101c に印加される直流電流値が I_{a2} の時のものである。この時の直流電流値の関係は、 $I_{a1} < I_{a2}$ である。また、図 15 は、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b および第 2 の磁気抵抗効果素子 101c に印加された直流電流が一定の時のグラフである。図 15 のプロット線 6

41は、磁場印加機構111から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される磁場強度が H_{b1} の時のものであり、プロット線642は磁場印加機構111から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される磁場強度が H_{b2} の時のものである。この時の磁場強度の関係は、 $H_{b1} < H_{b2}$ である。

[0146] 例えば、図14に示されるように、直流電流入力端子110から2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cに印加される直流電流値を I_{a1} から I_{a2} に大きくした場合、電流値の変化に伴い2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数での素子インピーダンスの変化量が増加することで、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域（遮断帯域）において、第2のポート109bから出力される高周波信号がさらに小さくなり、通過損失が大きくなる。それと同時に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域において、第2のポート109bから出力される高周波信号がさらに大きくなる。したがって、磁気抵抗効果デバイス600は、遮断特性と通過特性のレンジが大きく、さらに急峻な肩特性を持つ高周波フィルタを実現することが可能となる。また、直流電流値を I_{a1} から I_{a2} に大きくすると、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は f_{d1} から f_{d2} に、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数は f_{e1} から f_{e2} に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は f_{g1} から f_{g2} にシフトする。すなわち遮断帯域は低周波数側へシフトする。つまり、磁気抵抗効果デバイス100は、遮断帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することも出来る。

[0147] さらに、例えば、図15に示されるように、磁場印加機構111から印加

される磁場強度を H_{b1} から H_{b2} に強くした場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は f_{h1} から f_{h2} に、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数は f_{i1} から f_{i2} に、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は f_{j1} から f_{j2} にシフトする。すなわち、遮断帯域は高周波数側へシフトする。また、磁場強度（磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）を変化させる方が、直流電流値を変化させるよりも大きく遮断帯域をシフトさせることができる。つまり、磁気抵抗効果デバイス600は、遮断帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することが出来る。

[0148] なお、各磁気抵抗効果素子に印加される外部磁場 H_E （磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）が大きくなるに従って、各磁気抵抗効果素子の振動する抵抗値の振幅が小さくなるので、各磁気抵抗効果素子に印加される外部磁場 H_E （磁化自由層104における有効磁場 H_{eff} ）を大きくするのに伴い、各磁気抵抗効果素子に印加される直流電流の電流密度を大きくすることが好ましい。

[0149] また、磁気抵抗効果デバイス600では、第1の磁気抵抗効果素子は1個（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bのいずれか一方）としてもよい。

[0150] このように、磁気抵抗効果デバイス600は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと、第2の磁気抵抗効果素子101cと、高周波信号が入力される第1のポート109aと、高周波信号が出力される第2のポート109bと、信号線路107と、直流電流入力端子110（直流印加端子）とを有し、第1のポート109a、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bおよび第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスベ

一サ層 103 を有し、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c は、それぞれの一端側が直流電流入力端子 110（直流印加端子）側になり、それぞれの他端側が基準電位端子 114 側になるように、直流電流入力端子 110（直流印加端子）および基準電位端子 114 に接続され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c は、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとの関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c とで同じになるように形成されている。また、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a は、直流電流入力端子 110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b は、直流電流入力端子 110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c は、直流電流入力端子 110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は互いに異なっており、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数と第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。

[0151] したがって、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c に第 1 のポート 109 a から信号線路 107 を介して高周波信号が入力されることにより、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c にスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b の中を磁化固定層 102 から磁化自

由層 104 の方向に直流電流が流れることにより、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a の素子インピーダンスが増加し、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b の素子インピーダンスが増加する。同様に、スピントルク共鳴と同時に、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に直流電流が流れることにより、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c の素子インピーダンスが増加する。

[0152] 第 1 のポート 109 a、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b および第 2 のポート 109 b がこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b が低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第 2 のポート 109 b 側に通過させ、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b が高インピーダンス状態である共鳴周波数では第 2 のポート 109 b に対して遮断することが出来る。さらに、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c が、第 2 のポート 109 b に対して並列に信号線路 107 に接続されることにより、高周波信号を、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c が高インピーダンス状態である共鳴周波数では第 2 のポート 109 b 側に通過させ、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c が低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第 2 のポート 109 b に対して遮断することが出来る。このように、磁気抵抗効果デバイス 600 は、第 1 のポート 109 a から入力された高周波信号を、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b のスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第 2 のポート 109 b に対して遮断することが出来、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第 2 のポート 109 b 側に通過させることが出来る。つまり、磁気抵抗効果デバイス 600 は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数および第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b の

スピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極小値を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極大値を持ち、高周波フィルタとして機能する。

[0153] 磁気抵抗効果デバイス600では、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低い）、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低い）、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側または低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス600は、遮断帯域の高周波数側または低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0154] さらに、磁気抵抗効果デバイス600は、スピントルク共鳴周波数が互い

に異なる2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを有し、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数より低いので、広い遮断帯域を持ち、遮断帯域の高周波数側または低周波数側における肩特性が急峻である帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0155] また、以上の説明では、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bが互いに直列に接続されている例で説明したが、第1の実施形態で説明した場合と同様にして、第1の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第1の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第1のポート109a、各々の第1の磁気抵抗効果素子および第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス600と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0156] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第1の実施形態で説明した場合と同様にして、第2の磁気抵抗効果素子101cが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0157] (第7の実施形態)

図16は、本発明の第7の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス700の

断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス700において、第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス700は、第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600に対し、さらにインダクタ113と基準電位端子115を有している。インダクタ113は、第2のポート109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107の一方）に接続され、さらに基準電位端子115に接続されて基準電位端子115を介してグラウンド108に接続可能になっている。直流電流入力端子110は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方）に接続されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、第2のポート109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの少なくとも1つを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されている。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cの一端（磁化自由層104側）が第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101cの他端（磁化固定層102側）が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可能になっている。直流電流源112が直流電流入力端子110とグラウンド108に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス700は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、信号線路1

07、インダクタ113、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路と、第2の磁気抵抗効果素子101c、信号線路107、グラウンド108および直流電流入力端子110を含む閉回路を形成可能となっている。

[0158] 第1の磁気抵抗効果素子101a、101bは、それぞれの一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、それぞれ他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子115側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子115に接続されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス700では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cとで同じになるように形成（配置）されている。

[0159] 第1の磁気抵抗効果素子101aは磁化固定層102側が第1のポート109a側になるように信号線路107に接続されて、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。第1の磁気抵抗効果素子101bは磁化固定層102側が第1のポート109a側になるように信号線路107に接続されて、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101bの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス700では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第1の磁気抵抗効果素子101b及び第2の磁気抵抗効果素子101cのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化

固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b 及び第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c で同じになっている。磁気抵抗効果デバイス 700 のその他の構成は、第 6 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 600 と同じである。

[0160] 直流電流源 112 は、グラウンド 108 及び直流電流入力端子 110 に接続され、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b、信号線路 107、インダクタ 113、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路が形成されている。また、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、信号線路 107、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路が形成されている。

[0161] インダクタ 113 は、第 2 の実施形態で説明したのと同様に、信号線路 107 とグラウンド 108 との間に接続され、インダクタ成分により電流の高周波成分をカットすると同時に電流の不変成分を通す機能を有する。このインダクタ 113 により、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b を通過する高周波信号の特性を劣化させることなく、2つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b、信号線路 107、インダクタ 113、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路に、直流電流入力端子 110 から印加された直流電流を流すことができる。

[0162] また、以上の説明では、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c が、第 2 のポート 109 b に対して並列に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 に接続され、直流電流入力端子 110 が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107 に接続されている例で説明したが、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c と直流電流入力端子 110 のいずれか一方が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 1 の磁気抵抗効果素子 101 b との間の信号線路 107 に接続されるようにしてもよい。

[0163] 磁気抵抗効果デバイス 700 は、第 6 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス

600と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0164] 第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600および第7の実施形態の磁気抵抗効果デバイス700において、さらに、遮断帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第2の磁気抵抗効果素子101cのQ値を、遮断帯域を形成する第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。

[0165] (第8の実施形態)

図17は、本発明の第8の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス800の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス800において、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス800は、第3の実施形態の磁気抵抗効果デバイス300に対し、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を流れる直流電流の向きおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの中を流れる直流電流の向きが異なる。磁気抵抗効果デバイス800では、第1の磁気抵抗効果素子101aは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101bの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。第2の磁気抵抗効果素子101dは、直流電流入力端子110から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101dの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス800では、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dのそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それ

ぞれの磁化固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a 及び 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d で同じになっている。磁気抵抗効果デバイス 800 のその他の構成は、第 3 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 300 と同じである。

[0166] 第 6 の実施形態で説明したように、磁気抵抗効果デバイス 800 において、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a および 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d は、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが増加する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0167] スピントルク共鳴現象により、第 1 のポート 109 a から入力された高周波信号の高周波成分の中で第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、高インピーダンス状態の第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a により、第 2 のポート 109 b に出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a を通過し、第 2 のポート 109 b に出力されやすくなる。

[0168] さらに、スピントルク共鳴現象により、第 1 のポート 109 a から入力された高周波信号（第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a を通過した高周波信号）の高周波成分の中で第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第 2 のポート 109 b に並列に接続された、高インピーダンス状態の第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c によりグラウンド 108 から遮断され、第 2 のポート 109 b に出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c を通過してグラウンド 108 に流れ、第 2 のポート 109 b に出力されにくくなる。

。同様に、第1のポート109aから入力された高周波信号（第1の磁気抵抗効果素子101aを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、高インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101dによりグラウンド108から遮断され、第2のポート109bに出力されやすくなり、高周波信号の高周波成分の中で第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第2の磁気抵抗効果素子101cを通過してグラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなる。

[0169] 図18に、磁気抵抗効果デバイス800に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図18の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図18のプロット線820は、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。 f_a は第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、 f_c は第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数であり、 f_d は第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数である。図18では、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数より低い場合の例を示している。

[0170] 図18のプロット線820に示されるように、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の通過帯域の低周波数側）において

、高周波信号を第2のポート109bに対して遮断することができる。高周波信号が遮断される第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、この場合の磁気抵抗効果デバイス800は、図18のプロット線820に示されるような、通過帯域の低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0171] 同様にして、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数より高い場合には、磁気抵抗効果デバイス800は、通過帯域の高周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の上限周波数に一致させることが好ましい。

[0172] さらに、第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに印加される直流電流、または磁場印加機構111が第1の磁気抵抗効果素子101a及び2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dに印加する磁場を変化させることで、通過帯域をシフトさせることができる。つまり、磁気抵抗効果デバイス800は、通過帯域の周波数を変化可能な急峻な肩特性を持つ高周波フィルタとして機能することが出来る。

[0173] また、磁気抵抗効果デバイス800では、第2の磁気抵抗効果素子は1個

(第2の磁気抵抗効果素子101c、101dのいずれか一方)としてもよい。

[0174] このように、磁気抵抗効果デバイス800は、第1の磁気抵抗効果素子101aと、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dと、高周波信号が入力される第1のポート109aと、高周波信号が出力される第2のポート109bと、信号線路107と、直流電流入力端子110（直流印加端子）とを有し、第1のポート109a、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスペーサ層103を有し、第1の磁気抵抗効果素子101a及び第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれの一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、それぞれの他端側が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a及び第2の磁気抵抗効果素子101c、101dは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2の磁気抵抗効果素子101c、101dとで同じになるように形成されている。また、第1の磁気抵抗効果素子101aは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第1の磁気抵抗効果素子101aの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101cは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第2の磁気抵抗効果素子101cの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101dは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第2

の磁気抵抗効果素子 101 d の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は互いに異なっており、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と第 2 の磁気抵抗効果素子 101 d のスピントルク共鳴周波数は互いに異なっている。

[0175] したがって、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a 及び 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d に第 1 のポート 109 a から信号線路 107 を介して高周波信号が入力されることにより、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a 及び 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d にスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に直流電流が流れることにより、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a の素子インピーダンスが増加する。同様に、スピントルク共鳴と同時に、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に直流電流が流れることにより、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c の素子インピーダンスが増加し、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 d のスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第 2 の磁気抵抗効果素子 101 d の素子インピーダンスが増加する。

[0176] 第 1 のポート 109 a、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a および第 2 のポート 109 b がこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a が低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第 2 のポート 109 b 側に通過させ、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a が高インピーダンス状態である共鳴周波数では第 2 のポート 109 b に対して遮断することが出来る。さらに、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d が、第 2 のポート 109 b に対して並列に信号線路 107 に接続され

ることにより、高周波信号を、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが高インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させ、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109bに対して遮断することが出来る。このように、磁気抵抗効果デバイス800は、第1のポート109aから入力された高周波信号を、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109bに対して遮断することが出来、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数では、第2のポート109b側に通過させることが出来る。つまり、磁気抵抗効果デバイス800は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極小値を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数で高周波信号の通過量の極大値を持ち、高周波フィルタとして機能する。

- [0177] 磁気抵抗効果デバイス800では、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低いため）、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポート109bに対して遮断することができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数と第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数が互いに異なるため（第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高いまたは低い

め)、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側または低周波数側において、高周波信号を第2のポート109bに対して遮断することができる。高周波信号が遮断される第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側または低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス800は、通過帯域の高周波数側または低周波数側において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0178] さらに、磁気抵抗効果デバイス800は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dを有し、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数は、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数より低いので、広い通過帯域を持ち、通過帯域の高周波数側または低周波数側における肩特性が急峻である帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0179] また、以上の説明では、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが互いに直列に接続されている例で説明したが、第3の実施形態で説明した場合と同様に、第2の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第2の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、各々の第2の磁気抵抗効果素子が第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス800と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0180] また、以上の説明では、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101

dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第3の実施形態で説明した場合と同様に、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0181] また、第7の実施形態と同様に、第8の実施形態の磁気抵抗効果デバイス800に対して、インダクタ113が、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107の一方）に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方）に接続され、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0182] 第8の実施形態の磁気抵抗効果デバイス800において、さらに、通過帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第1の磁気抵抗効果素子101aのQ値を、通過帯域を形成する第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。

[0183] (第9の実施形態)

図19は、本発明の第9の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス900の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス900において、第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス900は、第6の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600に対し、さらに第3の磁気抵抗効果素子101eを有している。第3の磁気抵抗効果素子101eは、磁化固定層102（第3の磁化固定層）、磁化自由層104（第3の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第3のスペーサ層）を有している。第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されている。第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2の磁気抵抗効果素子101cと同様に、第2のポート109bに対して並列に、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されている。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eは互いに直列接続されており、第3の磁気抵抗効果素子101eの一端（磁化自由層104側）が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107（第2の磁気抵抗効果素子101c）に接続され、第3の磁気抵抗効果素子101eの他端（磁化固定層102側）が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続可能になっている。

[0184] 第3の磁気抵抗効果素子101eは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス900では、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eは、それ

ぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとの関係が、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第2の磁気抵抗効果素子 101 c と第3の磁気抵抗効果素子 101 e とで同じになるように形成（配置）されている。この例では、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b と第2の磁気抵抗効果素子 101 c と第3の磁気抵抗効果素子 101 e において、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとが、同じ向きの関係になっている。

[0185] 第3の磁気抵抗効果素子 101 e は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第3の磁気抵抗効果素子 101 e の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス 900 では、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、第1の磁気抵抗効果素子 101 b、第2の磁気抵抗効果素子 101 c 及び第3の磁気抵抗効果素子 101 e のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第1の磁気抵抗効果素子 101 a、第1の磁気抵抗効果素子 101 b、第2の磁気抵抗効果素子 101 c 及び第3の磁気抵抗効果素子 101 e で同じになっている。さらに、第2の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b の各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子 101 e のスピントルク共鳴周波数は、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b の各々のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0186] 第1のポート 109 a から入力される高周波信号は、2つの第1の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b を通過した後、その一部の高周波信号は第2の磁気抵抗効果素子 101 c および第3の磁気抵抗効果素子 101 e に流れ、残りの高周波信号は第2のポート 109 b に出力される。

[0187] 第3の磁気抵抗効果素子 101 e は、一端（磁化自由層 104 側）が上部電極 105 を介して信号線路 107（第2の磁気抵抗効果素子 101 c）に

電氣的に接続され、他端（磁化固定層１０２側）が下部電極１０６をと基準電位端子１１４を介してグラウンド１０８に電氣的に接続されている。

[0188] 直流電流入力端子１１０は、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂを挟んで第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃおよび第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅの信号線路１０７への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路１０７に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子１１０は、第１の磁気抵抗効果素子１０１ａと第１のポート１０９ａとの間の信号線路１０７に接続されている。直流電流入力端子１１０に直流電流源１１２が接続されることで、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂ、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃおよび第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅに直流電流を印加することが可能になる。

[0189] 直流電流源１１２は、グラウンド１０８及び直流電流入力端子１１０に接続され、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂ、信号線路１０７、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃ、第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅ、グラウンド１０８および直流電流入力端子１１０を含む閉回路が形成されている。直流電流源１１２は、直流電流入力端子１１０から、上記の閉回路に直流電流を印加する。

[0190] 磁場印加機構１１１は、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂ、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃおよび第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅの近傍に配設され、２つの第１の磁気抵抗効果素子１０１ａ、１０１ｂ、第２の磁気抵抗効果素子１０１ｃおよび第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅに磁場を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。

[0191] 磁気抵抗効果デバイス９００のその他の構成は、第６の実施形態の磁気抵抗効果デバイス６００と同じである。

[0192] 磁気抵抗効果デバイス９００において、第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅは、直流電流入力端子１１０から入力される直流電流が、第３の磁気抵抗効果素子１０１ｅの中を磁化固定層１０２から磁化自由層１０４の方向に流れ

るように形成されているので、第2の磁気抵抗効果素子101cと同様に、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のインピーダンスが増加する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0193] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号（2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを通過した高周波信号）の高周波成分の中で第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、第2のポート109bに並列に接続された、高インピーダンス状態の第3の磁気抵抗効果素子101eによりグラウンド108から遮断され、第2のポート109bに出力されやすくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第3の磁気抵抗効果素子101eを通過し、グラウンド108に流れ、第2のポート109bに出力されにくくなる。

[0194] 図20に、磁気抵抗効果デバイス900に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図20の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図20のプロット線920は、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。f_aは第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、f_bは第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数であり、f_cは第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数であり、f_eは第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数である。

[0195] 図20のプロット線920に示されるように、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が遮断帯域となる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cにより、第1の磁気抵抗効果素子101

aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の高周波数側（上記の遮断帯域の高周波数側）において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。また、第3の磁気抵抗効果素子101eにより、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の遮断帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109b側に通過させることができる。高周波信号が通過する第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さくすることができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス900は、図20のプロット線920に示されるような、遮断帯域の低周波数側および高周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能する。この場合、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の上限周波数に一致させ、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数を、使用する遮断帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0196] また、磁気抵抗効果デバイス900では、第1の磁気抵抗効果素子は1個

(第1の磁気抵抗効果素子101a、101bのいずれか一方)としてもよい。

[0197] このように、磁気抵抗効果デバイス900は、第3の磁気抵抗効果素子101eを磁気抵抗効果デバイス600に対してさらに有し、第3の磁気抵抗効果素子101eは、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続され、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eは、それぞれ磁化固定層102、磁化自由層104およびこれらの間に配置されたスペーサ層103を有し、第3の磁気抵抗効果素子101eは、その一端側が直流電流入力端子110（直流印加端子）側になり、その他端側が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110（直流印加端子）および基準電位端子114に接続され、第1の磁気抵抗効果素子101a、101b、第2の磁気抵抗効果素子101c及び第3の磁気抵抗効果素子101eは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101a、101bと第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eとで同じになるように形成されている。また、第3の磁気抵抗効果素子101eは、直流電流入力端子110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第3の磁気抵抗効果素子101eの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に流れるように形成され、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっており、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数は、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

- [0198] したがって、第3の磁気抵抗効果素子101eに第1のポート109aから信号線路107を介して高周波信号が入力されることにより、第3の磁気抵抗効果素子101eにスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第3の磁気抵抗効果素子101eの中を磁化固定層102から磁化自由層104の方向に直流電流が流れることにより、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第3の磁気抵抗効果素子101eの素子インピーダンスが増加する。
- [0199] 第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、高周波信号を、第3の磁気抵抗効果素子101eが高インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させ、第3の磁気抵抗効果素子101eが低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109bに対して遮断することが出来る。
- [0200] 第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポート側に通過させることができる。また、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポート側に通過させることができる。高周波信号が通過する第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、遮断帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに小さく

することができるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍または第1の磁気抵抗効果素子101bのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される遮断帯域の高周波数側および低周波数側の両方の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス400は、遮断帯域の高周波数側および低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0201] さらに、磁気抵抗効果デバイス900は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bを有するので、広い遮断帯域を持ち、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第3の磁気抵抗効果素子101eのスピントルク共鳴周波数が、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bの各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いため、遮断帯域の高周波数側及び低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域遮断型フィルタとして機能することが可能となる。

[0202] また、以上の説明では、2つの第1の磁気抵抗効果素子101a、101bが互いに直列に接続されている例で説明したが、第4の実施形態で説明した場合と同様に、第1の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第1の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第1のポート109a、各々の第1の磁気抵抗効果素子および第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス900と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0203] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eが互いに直列に接続されている例で説明したが、第4の実施形態で説明した場合と同様に、第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eが互いに並列に接続されていても良い。こ

の場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス900と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0204] また、以上の説明では、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第4の実施形態で説明した場合と同様に、第2の磁気抵抗効果素子101cおよび第3の磁気抵抗効果素子101eが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101bと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cの磁化自由層104側が第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、第3の磁気抵抗効果素子101eの磁化固定層102側が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続されるようにしてもよい。

[0205] また、以上の説明では、磁気抵抗効果デバイス900として、第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス600に対して第3の磁気抵抗効果素子101eが追加された例で説明しているが、第7の実施形態の磁気抵抗効果デバイス700に対して第3の磁気抵抗効果素子101eが同様に追加された形態でもよい。

[0206] 第9の実施形態の磁気抵抗効果デバイス900において、さらに、遮断帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第2の磁気抵抗効果素子101cと第3の磁気抵抗効果素子101eのそれぞれのQ値を

、遮断帯域を形成する第1の磁気抵抗効果素子101aと第1の磁気抵抗効果素子101bの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。

[0207] (第10の実施形態)

図21は、本発明の第10の実施形態に係る磁気抵抗効果デバイス1000の断面模式図である。磁気抵抗効果デバイス1000において、第8の実施形態の磁気抵抗効果デバイス800と異なる点について主に説明し、共通する事項は適宜説明を省略する。第1の実施形態の磁気抵抗効果デバイス100および第8の実施形態の磁気抵抗効果デバイス800と共通している要素は同じ符号を用いており、共通している要素の説明は省略する。磁気抵抗効果デバイス1000は、第8の実施形態の磁気抵抗効果デバイス800に対し、さらに第4の磁気抵抗効果素子101fを有している。第4の磁気抵抗効果素子101fは、磁化固定層102（第4の磁化固定層）、磁化自由層104（第4の磁化自由層）およびこれらの間に配置されたスペーサ層103（第4のスペーサ層）を有している。第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されている。より具体的には、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fは互いに直列接続されている。

[0208] 第4の磁気抵抗効果素子101fは、その一端側（この例では磁化自由層104側）が直流電流入力端子110側になり、その他端側（この例では磁化固定層102側）が基準電位端子114側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114に接続されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス1000では、第1の磁気抵抗効果素子101a、第2の磁気抵抗効果素子101c、101d及び第4の磁気抵抗効果素子101fは、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層104から磁化固定層102への向きとの関係が、第1の磁気抵抗効果素子101aと2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dと第4の磁気抵抗効果素子101fとで同じになるように形成（配置）されている。この例では、第1

の磁気抵抗効果素子 101a と第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d と第 4 の磁気抵抗効果素子 101f において、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとが、同じ向きの関係になっている。

[0209] 第 4 の磁気抵抗効果素子 101f は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第 4 の磁気抵抗効果素子 101f の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成（配置）されている。つまり、磁気抵抗効果デバイス 1000 では、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、第 2 の磁気抵抗効果素子 101d 及び第 4 の磁気抵抗効果素子 101f のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの磁化固定層 102、スペーサ層 103 および磁化自由層 104 の配置順との関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、第 2 の磁気抵抗効果素子 101d 及び第 4 の磁気抵抗効果素子 101f で同じになっている。さらに、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数および第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第 4 の磁気抵抗効果素子 101f のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c のスピントルク共鳴周波数および第 2 の磁気抵抗効果素子 101d のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0210] 第 1 のポート 109a から入力される高周波信号は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a および第 4 の磁気抵抗効果素子 101f を通過した後、その一部の高周波信号は 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101c、101d に流され、残りの高周波信号は第 2 のポート 109b に出力される。

[0211] 第 4 の磁気抵抗効果素子 101f は、一端（磁化自由層 104 側）が上部電極 105 を介して信号線路 107 に電氣的に接続され、他端（磁化固定層 102 側）が下部電極 106 を介して信号線路 107 に電氣的に接続されている。

- [0212] 直流電流入力端子 110 は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a および第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f を挟んで 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d の信号線路 107 への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路 107 に接続されている。より具体的には、直流電流入力端子 110 は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107 に接続されている。直流電流入力端子 110 に直流電流源 112 が接続されることで、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f および 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d に直流電流を印加することが可能になる。
- [0213] 直流電流源 112 は、グラウンド 108 及び直流電流入力端子 110 に接続され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f、信号線路 107、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路が形成されている。直流電流源 112 は、直流電流入力端子 110 から、上記の閉回路に直流電流を印加する。
- [0214] 磁場印加機構 111 は、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f および 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d の近傍に配設され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f および 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d に磁場を印加して、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を設定可能となっている。
- [0215] 磁気抵抗効果デバイス 1000 のその他の構成は、第 8 の実施形態の磁気抵抗効果デバイス 800 と同じである。
- [0216] 磁気抵抗効果デバイス 1000 において、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、直流電流入力端子 110 から入力される直流電流が、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成されているので、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と同様に、スピントルク共鳴現象により、スピントルク共鳴周波数で高周波信号のイ

ンピーダンスが増加する抵抗素子として取り扱うことが出来る。

[0217] スピントルク共鳴現象により、第1のポート109aから入力された高周波信号の高周波成分の中で第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数と一致する、またはスピントルク共鳴周波数の近傍の周波数成分は、高インピーダンス状態の第4の磁気抵抗効果素子101fにより、第2のポート109bに出力されにくくなる。一方、高周波信号の高周波成分の中で第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍でない周波数成分は、低インピーダンス状態の第4の磁気抵抗効果素子101fを通過し、第2のポート109bに出力されやすくなる。

[0218] 図22に、磁気抵抗効果デバイス1000に入力される高周波信号の周波数と減衰量との関係を示したグラフを示す。図22の縦軸は減衰量、横軸は周波数を表している。図22のプロット線1020は、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101d、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fに印加された磁場が一定で、且つ、印加された直流電流が一定の時のグラフである。fcは第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数であり、fdは第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数であり、faは第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数であり、ffは第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数である。

[0219] 図22のプロット線1020に示されるように、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍の帯域が通過帯域となる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側（上記の通過帯域の高周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対して遮断することができる。高周波信号が遮断される第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減

衰量の比をさらに大きくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。また、第4の磁気抵抗効果素子101fにより、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の低周波数側（上記の遮断帯域の低周波数側）において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍および第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス1000は、図22のプロット線1020に示されるような、通過帯域の低周波数側および高周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能する。この場合、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、高周波信号の減衰量の周波数に対する変化が急峻であるため、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の上限周波数に一致させ、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数を、使用する通過帯域の下限周波数に一致させることが好ましい。

[0220] また、磁気抵抗効果デバイス1000では、第2の磁気抵抗効果素子は1個（第2の磁気抵抗効果素子101c、101dのいずれか一方）としてもよい。

[0221] このように、磁気抵抗効果デバイス1000は、第4の磁気抵抗効果素子101fを磁気抵抗効果デバイス800に対してさらに有し、第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bが

信号線路 107 を介してこの順に直列接続され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d および第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、それぞれ磁化固定層 102、磁化自由層 104 およびこれらの間に配置されたスペーサ層 103 を有し、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、その一端側が直流電流入力端子 110（直流印加端子）側になり、その他端側が基準電位端子 114 側になるように、直流電流入力端子 110（直流印加端子）および基準電位端子 114 に接続され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d 及び第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、それぞれの一端側から他端側への向きと、それぞれの磁化自由層 104 から磁化固定層 102 への向きとの関係が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a と 2 つの第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c、101 d と第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f とで同じになるように形成されている。また、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、直流電流入力端子 110（直流印加端子）から入力される直流電流が、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に流れるように形成され、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっており、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 d のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f のスピントルク共鳴周波数は、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 d のスピントルク共鳴周波数よりも低くなっている。

[0222] したがって、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f に第 1 のポート 109 a から信号線路 107 を介して高周波信号が入力されることにより、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f にスピントルク共鳴を誘起させることが出来る。このスピントルク共鳴と同時に、第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f の中を磁化固定層 102 から磁化自由層 104 の方向に直流電流が流れることにより、第

4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数と同じ周波数に対する第4の磁気抵抗効果素子101fの素子インピーダンスが増加する。

[0223] 第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bがこの順に直列接続されることにより、高周波信号を、第4の磁気抵抗効果素子101fが高インピーダンス状態である共鳴周波数では第2のポート109bに対し遮断し、第4の磁気抵抗効果素子101fが低インピーダンス状態である非共鳴周波数では第2のポート109b側に通過させることが出来る。

[0224] 第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。また、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数よりも低いため、第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の高周波数側および低周波数側において、高周波信号を第2のポート109bに対し遮断することができる。高周波信号が遮断される第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数の近傍および第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数の近傍においては、通過帯域における高周波信号の減衰量に対する減衰量の比をさらに大きくすることができるため、第2の磁気抵抗効果素子101cのスピントルク共鳴周波数の近傍または第2の磁気抵抗効果素子101dのスピントルク共鳴周波数の近傍で形成される通過帯域の高周波数側および低周波数側の肩特性を急峻にすることが可能になる。つまり、磁気抵抗効果デバイス1000は、通過帯域の高周波数側および低周波数側の両方において急

峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0225] さらに、磁気抵抗効果デバイス1000は、スピントルク共鳴周波数が互いに異なる2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dを有するので、広い通過帯域を持ち、第1の磁気抵抗効果素子101aのスピントルク共鳴周波数が、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、第4の磁気抵抗効果素子101fのスピントルク共鳴周波数が、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dの各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いため、通過帯域の高周波数側及び低周波数側の両方において急峻な肩特性を持つ帯域通過型フィルタとして機能することが可能となる。

[0226] また、以上の説明では、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが互いに直列に接続されている例で説明したが、第5の実施形態で説明した場合と同様にして、第2の磁気抵抗効果素子は3個以上であってもよい。また、複数の第2の磁気抵抗効果素子同士が互いに並列に接続されていても良い。これらの場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、各々の第2の磁気抵抗効果素子が第2のポート109bに対して並列に信号線路107に接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス1000と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0227] また、以上の説明では、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fが互いに直列に接続されている例で説明したが、第5の実施形態で説明した場合と同様にして、第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fが互いに並列に接続されていても良い。この場合の磁気抵抗効果デバイスであっても、第1のポート109a、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続され、第1のポート109a、第4の磁気抵抗効果素子101fおよび第2のポート109bが信号線路107を介してこの順に直列接続されることにより、磁気抵抗効果デバイス1000と同様の、高周波フィルタとしての周波数特性をもつことができる。

[0228] また、以上の説明では、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続されている例で説明したが、第5の実施形態で説明した場合と同様にして、第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、直流電流入力端子110が、第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107に接続されるようにしてもよい。より具体的には、第2の磁気抵抗効果素子101cの磁化自由層104側が第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107に接続され、第2の磁気抵抗効果素子101dの磁化固定層102側が、基準電位端子114に接続されて基準電位端子114を介してグラウンド108に接続されるようにしてもよい。

[0229] また、第7の実施形態と同様にして、第10の実施形態の磁気抵抗効果デバイス1000に対して、インダクタ113が、第2のポート109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aと第1のポート109aとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107の一方）に接続され、直流電流入力端子110が、第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107（第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第1のポート109aとの間の信号線路107、または第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fと第2のポート109bとの間の信号線路107の他方）に接続され、2つの第2の磁気抵抗効果素子101c、101dが、第2のポート

109bに対して並列に、第1の磁気抵抗効果素子101aおよび第4の磁気抵抗効果素子101fの少なくとも1つを挟んでインダクタ113の信号線路107への接続箇所とは反対側の箇所の信号線路107に接続されるようにしてもよい。

[0230] 第10の実施形態の磁気抵抗効果デバイス1000において、さらに、通過帯域を広く、肩特性を急峻にするためには、肩特性を急峻にする第1の磁気抵抗効果素子101aと第4の磁気抵抗効果素子101fのそれぞれのQ値を、通過帯域を形成する第2の磁気抵抗効果素子101cと第2の磁気抵抗効果素子101dの少なくとも一方のQ値よりも大きくすることが好ましい。

[0231] 以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、上記で説明した実施形態以外にも変更や構成要素の追加を行うことが可能である。例えば、第1のポート109aに接続された高周波回路に直流信号が流れるのを防ぐために、第1、第3、第4、第5、第6および第8、第9及び第10の実施形態における直流電流入力端子110と信号線路107との接続部と第1のポート109aとの間の信号線路107に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続してもよい。同様に、第2および第7の実施形態におけるインダクタ113と信号線路107との接続部と第1のポート109aとの間の信号線路107に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続してもよい。また、第2のポート109bに接続された高周波回路に直流信号が流れるのを防ぐために、第1、第3、第4、第5、第6、第8、第9および第10の実施形態における第2の磁気抵抗効果素子101cと信号線路107との接続部と第2のポート109bとの間の信号線路107に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続してもよい。同様に、第2および第7の実施形態における直流電流入力端子110と信号線路107との接続部と第2のポート109bとの間の信号線路107に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続してもよい。

[0232] また、第2および第7の実施形態では、インダクタ113が、第1の磁気

抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 と基準電位端子 115 (グラウンド 108) とに接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の一端が第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 に接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の他端が基準電位端子 114 (グラウンド 108) に接続され、直流入力端子 111 が第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 に接続されている例で説明したが、インダクタ 113 が、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 2 のポート 109b との間の信号線路 107 と基準電位端子 115 (グラウンド 108) とに接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101c の一端が第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 に接続され、第 2 の磁気抵抗効果素子 101b の他端が基準電位端子 114 (グラウンド 108) に接続され、直流入力端子 111 が第 1 の磁気抵抗効果素子 101a と第 1 のポート 109a との間の信号線路 107 に接続されるようにしてもよい。

[0233] また、第 2 および第 7 の実施形態では、インダクタ 113 を用いた例で説明したが、インダクタ 113 にかえて、抵抗素子を用いても良い。この場合、抵抗素子は、信号線路 107 と基準電位端子 115 (グラウンド 108) との間に接続され、抵抗成分により電流の高周波成分をカットする機能を有する。この抵抗素子は、チップ抵抗またはパターン線路による抵抗のどちらでもよい。この抵抗素子の抵抗値は、信号線路 107 の特性インピーダンス以上であることが好ましい。例えば、信号線路 107 の特性インピーダンスが 50Ω の場合、抵抗素子の抵抗値が 50Ω の時は 45% の高周波電力を抵抗素子によりカットし、抵抗素子の抵抗値が 500Ω の時は 90% の高周波電力を抵抗素子によりカットすることが可能となる。この抵抗素子により、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b を通過する高周波信号の特性を劣化させることなく、第 1 の磁気抵抗効果素子 101a、101b、信号線路 107、抵抗素子、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路に、直流電流入力端子 110 から印加された直流電流を流す

ことができる。

[0234] インダクタ 113 にかえて抵抗素子を用いる場合は、抵抗素子（または直流電流入力端子 11）の信号線路 107 への接続部と第 1 のポート 109 a との間の信号線路 107 に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続すること、および、直流電流入力端子 110（または抵抗素子）の信号線路 107 への接続部と第 2 のポート 109 b との間の信号線路 107 に、直流信号をカットするためのコンデンサを直列に接続することが、2 つの第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a、101 b、信号線路 107、抵抗素子、グラウンド 108 および直流電流入力端子 110 を含む閉回路に、直流電流入力端子 110 から印加された直流電流を効率的に流すことができる点で好ましい。

[0235] また、第 1 ～第 10 の実施形態において、各磁気抵抗効果素子の中を流れる高周波信号の各磁気抵抗効果素子に対する向きが、第 1 ～第 10 の実施形態の説明の中で図示されている向きとは反対になるように各磁気抵抗効果素子が形成（配置）されていても良い。例えば、第 1、第 3、第 4、第 5、第 6、第 8、第 9 および第 10 の実施形態では、各磁気抵抗効果素子は、磁化自由層 104 側が第 1 のポート 109 a 側に接続されているが、各磁気抵抗効果素子は、磁化固定層 102 側が第 1 のポート 109 a 側に接続されるようにしてもよい。これらの場合は、直流電流源 112 から直流電流入力端子 110 に入力される直流電流の向きを、各実施形態の説明の中で図示されている向きとは反対になるようにすればよい。

[0236] また、第 1 ～第 10 の実施形態において、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a（101 b）、第 2 の磁気抵抗効果素子 101 c（101 d）、第 3 の磁気抵抗効果素子 101 e 及び第 4 の磁気抵抗効果素子 101 f は、それぞれの磁化自由層 104 側が直流電流入力端子 110 側になり、それぞれの磁化固定層 102 側が基準電位端子 114（115）側になるように、直流電流入力端子 110 および基準電位端子 114（115）に接続されているが、第 1 の磁気抵抗効果素子 101 a（101 b）、第 2 の磁気抵抗効果素子 1

01c (101d)、第3の磁気抵抗効果素子101e及び第4の磁気抵抗効果素子101fは、それぞれの磁化固定層102側が直流電流入力端子110側になり、それぞれの磁化自由層104側が基準電位端子114 (115) 側になるように、直流電流入力端子110および基準電位端子114 (115) に接続されるようにしてもよい。

[0237] また、第1～第10の実施形態では、直流電流源112からの直流電流が、直流印加端子の一例である直流電流入力端子110から入力され、各磁気抵抗効果素子 (第1～第4の磁気抵抗効果素子) に印加される例で説明したが、直流電流源112にかえて直流電圧源を直流印加端子に接続し、直流印加端子から直流電圧が各磁気抵抗効果素子 (第1～第4の磁気抵抗効果素子) に対してそれぞれの積層方向に印加されて、各磁気抵抗効果素子の中を直流電流が流れるようにしてもよい。つまり、直流印加端子は、各磁気抵抗効果素子 (第1～第4の磁気抵抗効果素子) に直流電流または直流電圧を印加可能であればよい。直流電圧源は、一定の直流電圧を発生可能な直流電圧源でもよく、発生する直流電圧値の大きさが変化可能な直流電圧源でもよい。

[0238] また、第1～第10の実施形態では、磁気抵抗効果デバイス100 (200、300、400、500、600、700、800、900、1000) が周波数設定機構 (有効磁場設定機構) として磁場印加機構111を有する例で説明しているが、周波数設定機構 (有効磁場設定機構) は、以下に示すような他の例でも良い。例えば、磁気抵抗効果素子に電場を印加し、その電場を変化させることにより、磁化自由層における異方性磁場 H_k を変化させて磁化自由層における有効磁場を変化させ、磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を変化させることができる。この場合、磁気抵抗効果素子に電場を印加する機構が、周波数設定機構 (有効磁場設定機構) となる。また、磁化自由層の近傍に圧電体を設け、その圧電体に電場を印加して圧電体を変形させ、磁化自由層を歪ませることにより、磁化自由層における異方性磁場 H_k を変化させて磁化自由層における有効磁場を変化させ、磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を変化させることができる。この場合、圧電体に

電場を印加する機構および圧電体が、周波数設定機構（有効磁場設定機構）となる。また、電気磁気効果を有する反強磁性体またはフェリ磁性体である制御膜を磁化自由層に磁氣的に結合するように設け、制御膜に磁場および電場を印加し、制御膜に印加する磁場および電場の少なくとも一方を変化させることにより、磁化自由層における交換結合磁場 H_{EX} を変化させて磁化自由層における有効磁場を変化させ、磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数を変化させることができる。この場合、制御膜に磁場を印加する機構、制御膜に電場を印加する機構および制御膜が、周波数設定機構（有効磁場設定機構）となる。

[0239] また、周波数設定機構が無くても（磁場印加機構 1 1 1 からの磁場が印加されなくても）、各磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が所望の周波数である場合には、周波数設定機構（磁場印加機構 1 1 1）は無くてもよい。

符号の説明

[0240] 1 0 1 a、1 0 1 b 第 1 の磁気抵抗効果素子
1 0 1 c、1 0 1 d 第 2 の磁気抵抗効果素子
1 0 1 e 第 3 の磁気抵抗効果素子
1 0 1 f 第 4 の磁気抵抗効果素子
1 0 2 磁化固定層
1 0 3 スペーサ層
1 0 4 磁化自由層
1 0 5 上部電極
1 0 6 下部電極
1 0 7 信号線路
1 0 8 グラウンド
1 0 9 a 第 1 のポート
1 0 9 b 第 2 のポート
1 1 0 直流電流入力端子

1 1 1 磁場印加機構

1 1 2 直流電流源

1 1 3 インダクタ

1 1 4、1 1 5 基準電位端子

1 0 0、2 0 0、3 0 0、4 0 0、5 0 0、6 0 0、7 0 0、8 0 0、9 0

0、1 0 0 0 磁気抵抗効果デバイス

請求の範囲

[請求項1] 第1の磁気抵抗効果素子と、第2の磁気抵抗効果素子と、高周波信号が入力される第1のポートと、高周波信号が出力される第2のポートと、信号線路と、直流印加端子とを有し、

前記第1のポート、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数と前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は互いに異なることを特徴とする磁気抵抗効果デバイス。

[請求項2] スピントルク共鳴周波数が互いに異なる複数の前記第1の磁気抵抗効果素子を有し、

前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より低いことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項3] スピントルク共鳴周波数が互いに異なる複数の前記第2の磁気抵抗

効果素子を有し、

前記第 1 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は、前記複数の第 2 の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または前記複数の第 2 の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より低いことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項4]

第 3 の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、前記第 2 のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、

前記第 1 の磁気抵抗効果素子、前記第 2 の磁気抵抗効果素子および前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第 1 の磁気抵抗効果素子、前記第 2 の磁気抵抗効果素子および前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第 1 の磁気抵抗効果素子、前記第 2 の磁気抵抗効果素子および前記第 3 の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第 1 の磁気抵抗効果素子と前記第 2 の磁気抵抗効果素子と前記第 3 の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第 2 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第 1 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第 3 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第 1 の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項5]

第 3 の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、前記第 2 のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第3の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第3の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第3の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第3の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第3の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項2に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項6]

第4の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第1のポート、前記第4の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗

効果素子と前記第4の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第4の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項7]

第4の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第1のポート、前記第4の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、前記直流印加端子から入力され前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子のそれぞれの中を流れる直流電流の向きと、それぞれの前記磁化固定層、前記スペーサ層および前記磁化自由層の配置順との関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第4の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第4の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項3に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項8]

第1の磁気抵抗効果素子と、第2の磁気抵抗効果素子と、高周波信号が入力される第1のポートと、高周波信号が出力される第2のポー

トと、信号線路と、磁気抵抗効果素子に直流電流または直流電圧を印加可能な直流印加端子と、基準電位端子とを有し、

前記第1のポート、前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第2の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子および前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子及び前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれの一端側が前記直流印加端子側になり、それぞれの他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子及び前記第2の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数と前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は互いに異なることを特徴とする磁気抵抗効果デバイス。

[請求項9]

スピントルク共鳴周波数が互いに異なる複数の前記第1の磁気抵抗効果素子を有し、

前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より低いことを特徴とする請求項8に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項10] スピントルク共鳴周波数が互いに異なる複数の前記第2の磁気抵抗効果素子を有し、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数は、前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より高い、または前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数より低いことを特徴とする請求項8に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項11] 第3の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第3の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に前記信号線路に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第3の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第3の磁気抵抗効果素子は、その一端側が前記直流印加端子側になり、その他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子及び前記第3の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第3の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第3の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項8に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項12] 第3の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第3の磁気抵抗効果素子は、前記第2のポートに対して並列に

前記信号線路に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第3の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第3の磁気抵抗効果素子は、その一端側が前記直流印加端子側になり、その他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子及び前記第3の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第3の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第3の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第1の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項9に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項13]

第4の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第1のポート、前記第4の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

前記第4の磁気抵抗効果素子は、その一端側が前記直流印加端子側になり、その他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子及び前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側

への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第4の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第4の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記第2の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項8に記載の磁気抵抗効果デバイス。

[請求項14]

第4の磁気抵抗効果素子をさらに有し、

前記第1のポート、前記第4の磁気抵抗効果素子および前記第2のポートが前記信号線路を介してこの順に直列接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子および前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれ磁化固定層、磁化自由層およびこれらの間に配置されたスペーサ層を有し、

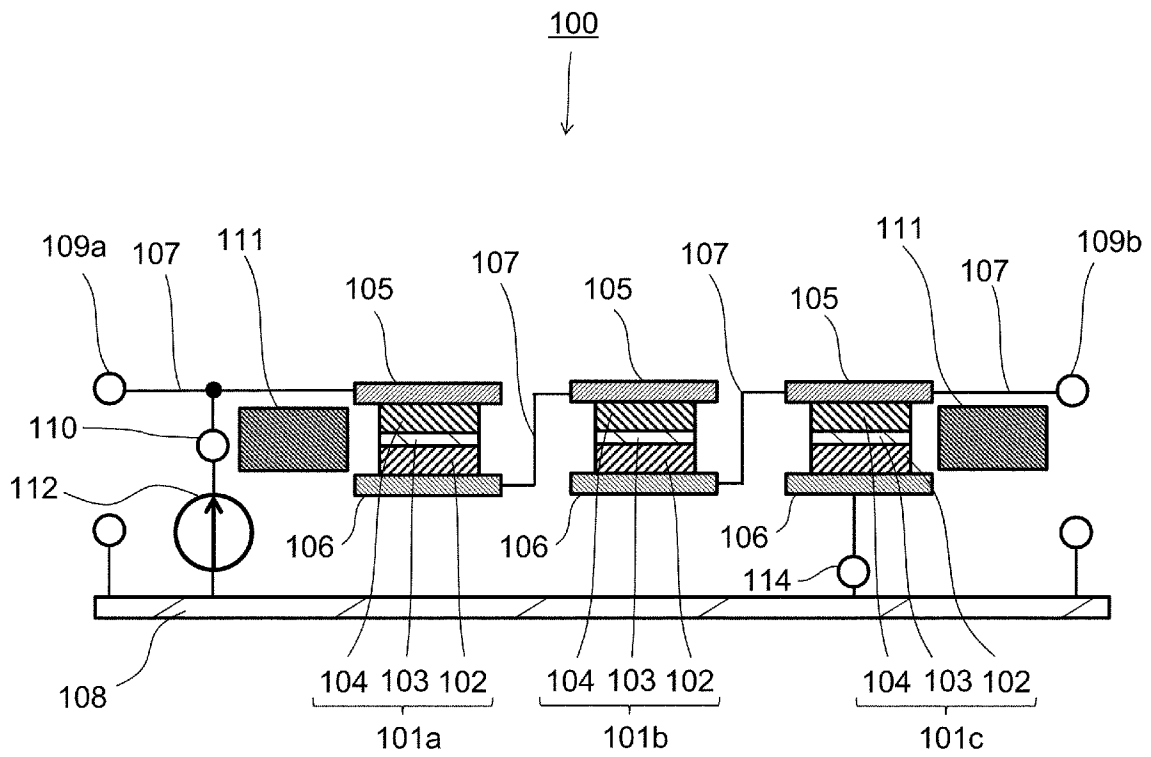
前記第4の磁気抵抗効果素子は、その一端側が前記直流印加端子側になり、その他端側が前記基準電位端子側になるように、前記直流印加端子および前記基準電位端子に接続され、

前記第1の磁気抵抗効果素子、前記第2の磁気抵抗効果素子及び前記第4の磁気抵抗効果素子は、それぞれの前記一端側から前記他端側への向きと、それぞれの前記磁化自由層から前記磁化固定層への向きとの関係が、前記第1の磁気抵抗効果素子と前記第2の磁気抵抗効果素子と前記第4の磁気抵抗効果素子とで同じになるように形成され、

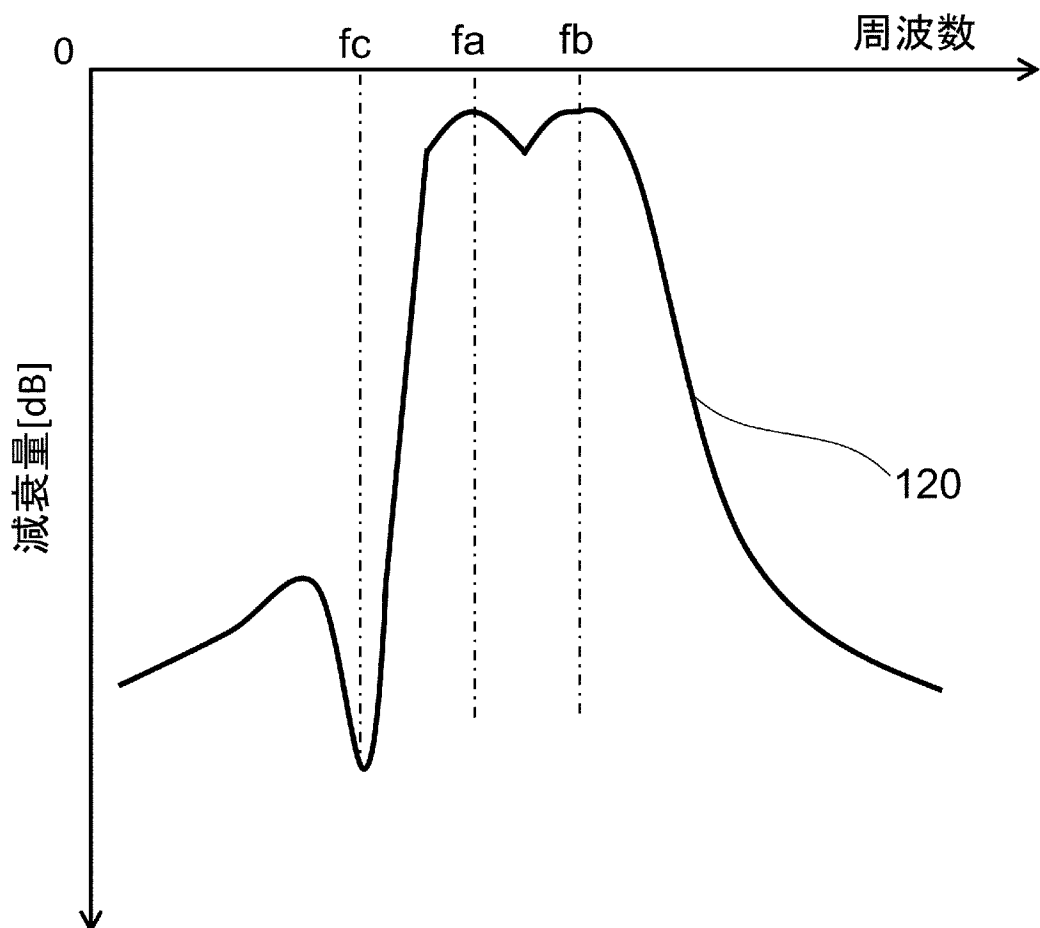
前記第1の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも高く、前記第4の磁気抵抗効果素子のスピントルク共鳴周波数が、前記複数の第2の磁気抵抗効果素子の各々のスピントルク共鳴周波数よりも低いことを特徴とする請求項10に記載の磁気抵抗効果デバイス。

。

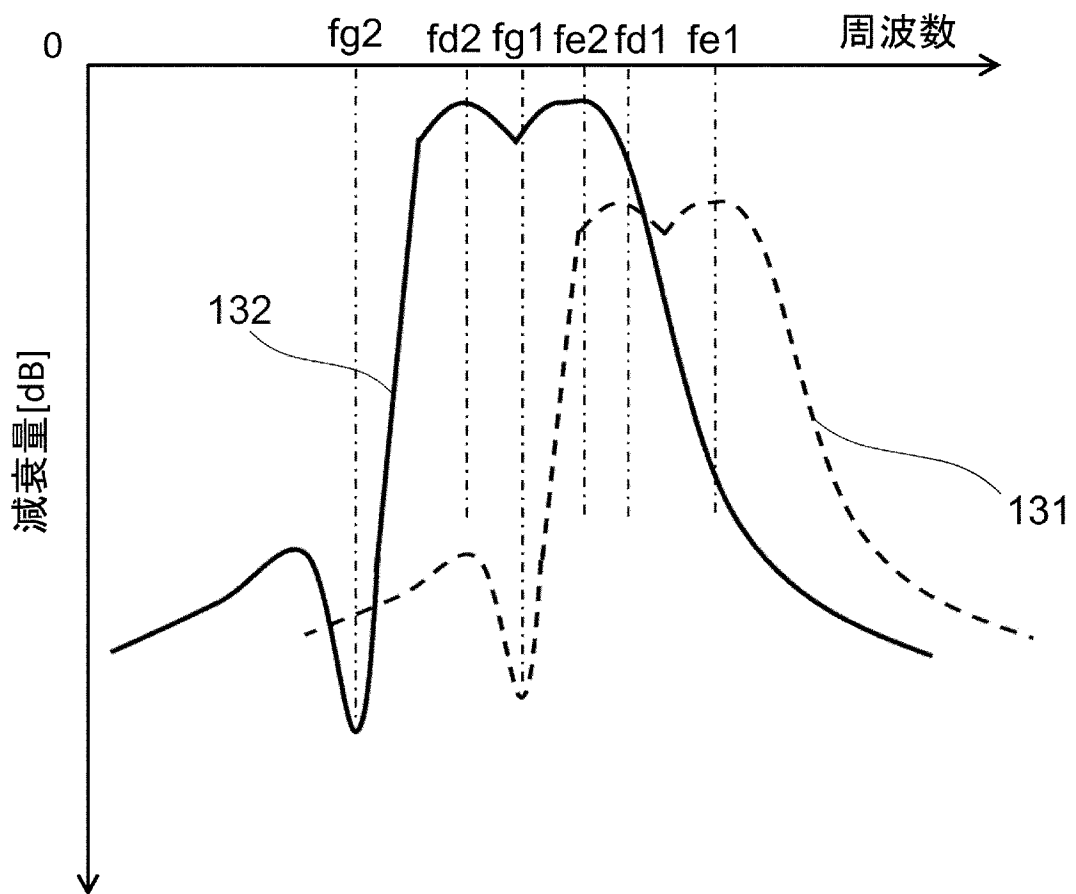
[図1]



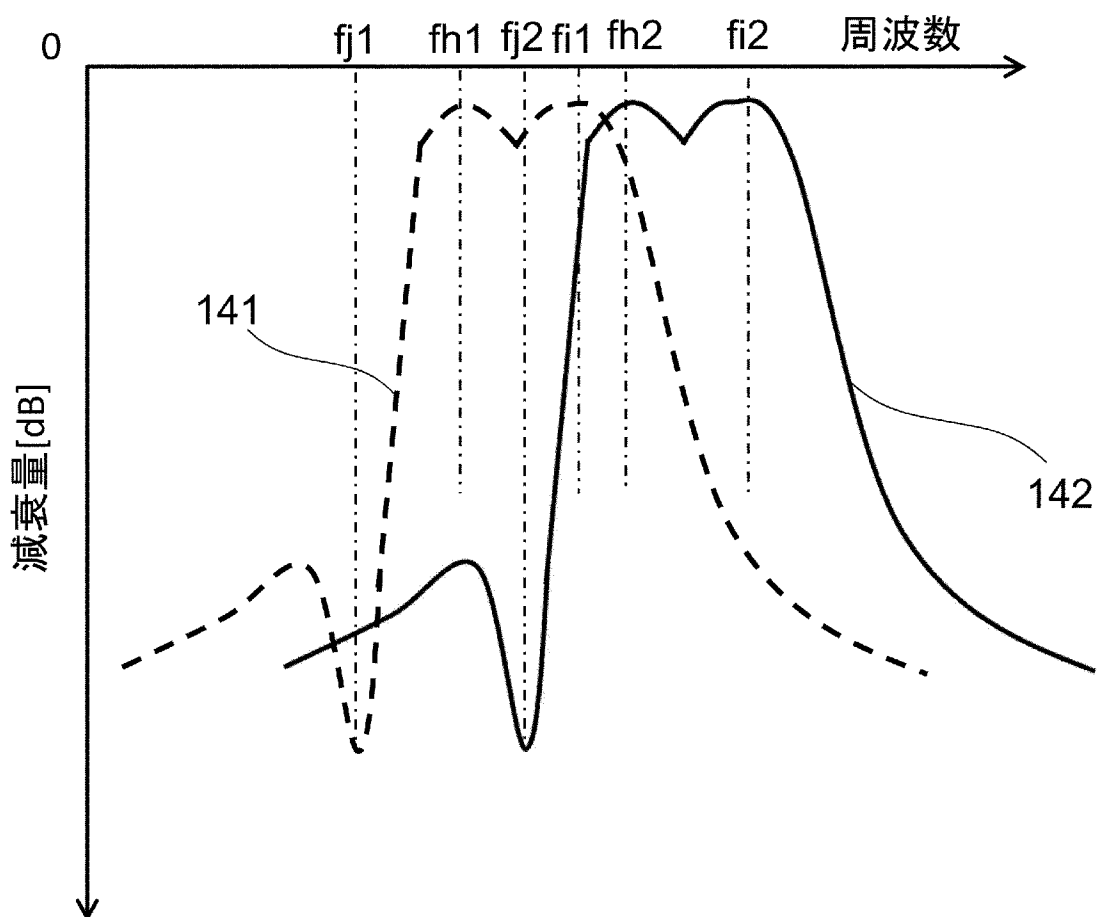
[図2]



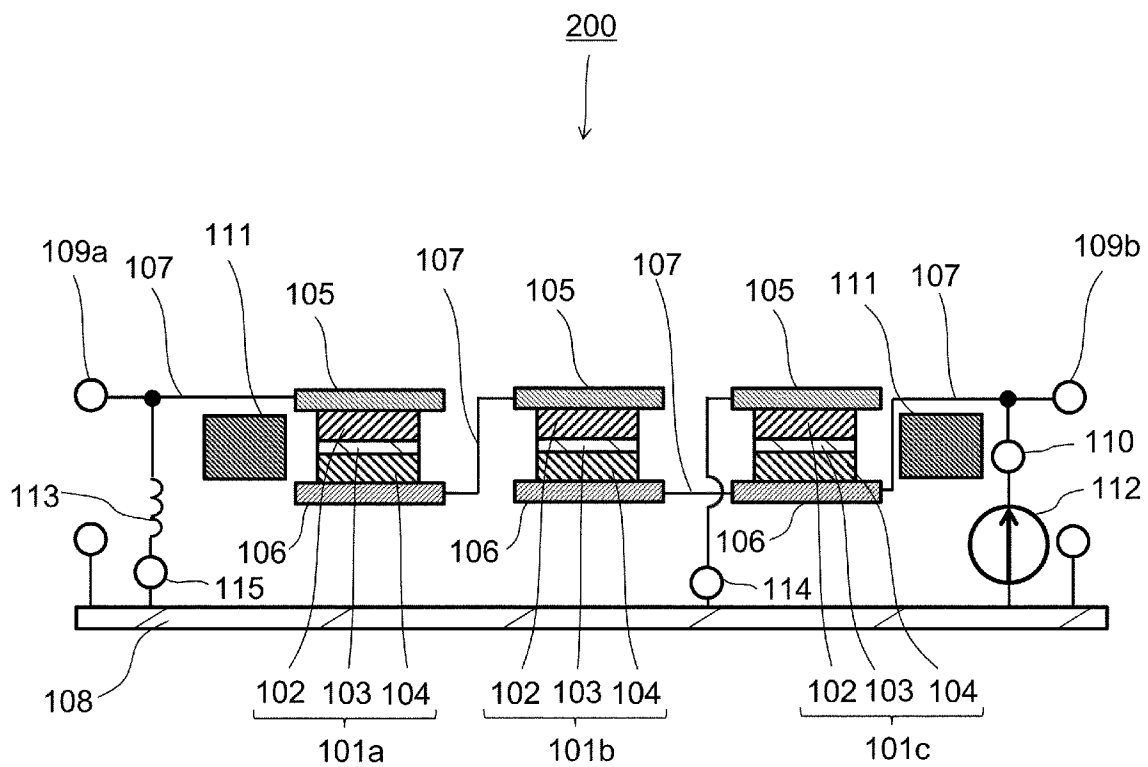
[図3]



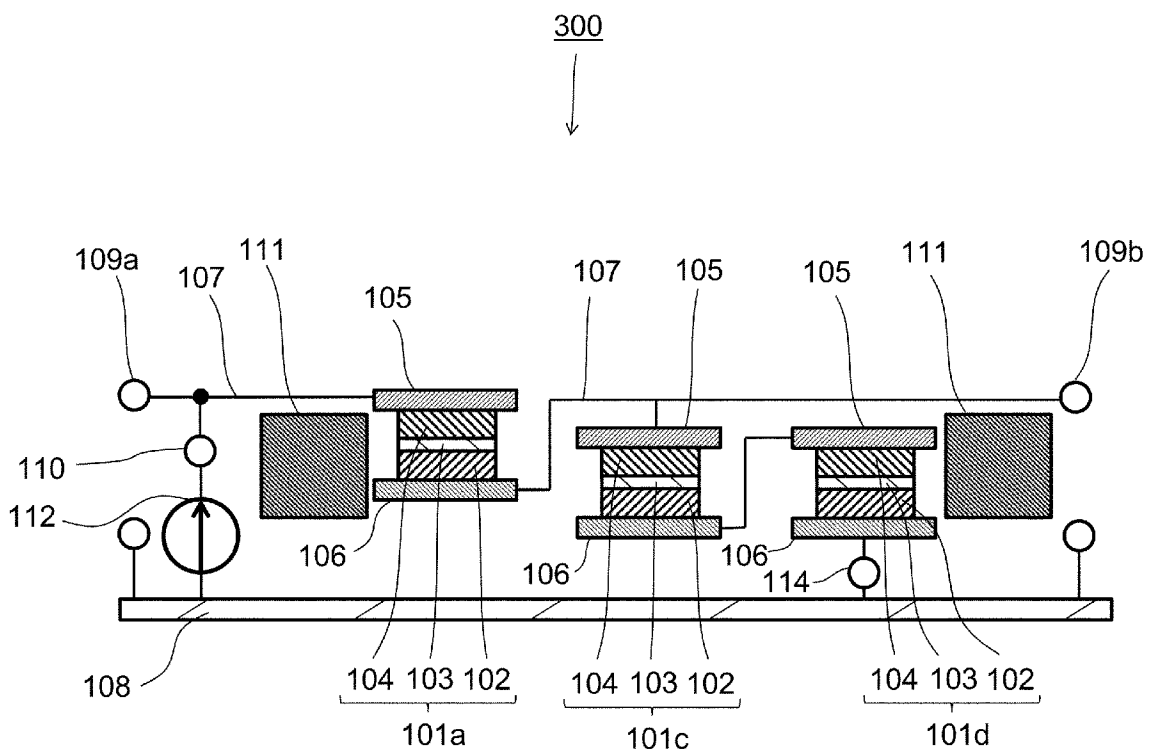
[図4]



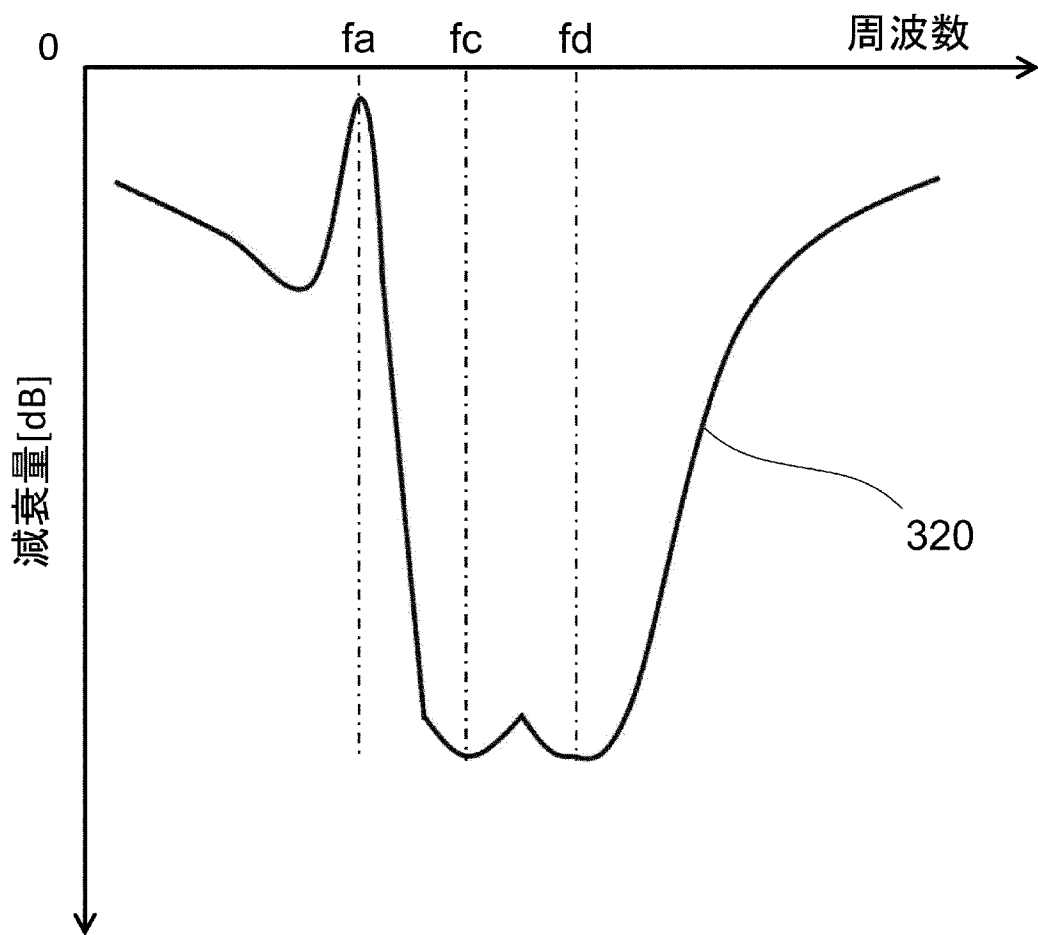
[図5]



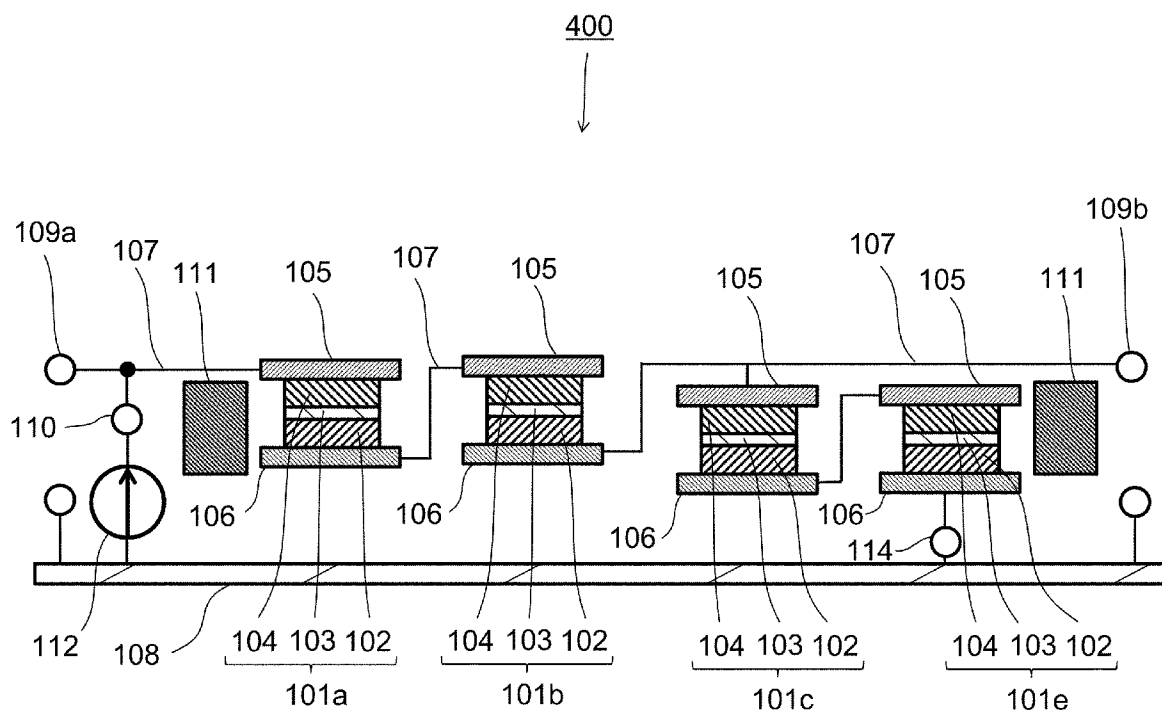
[図6]



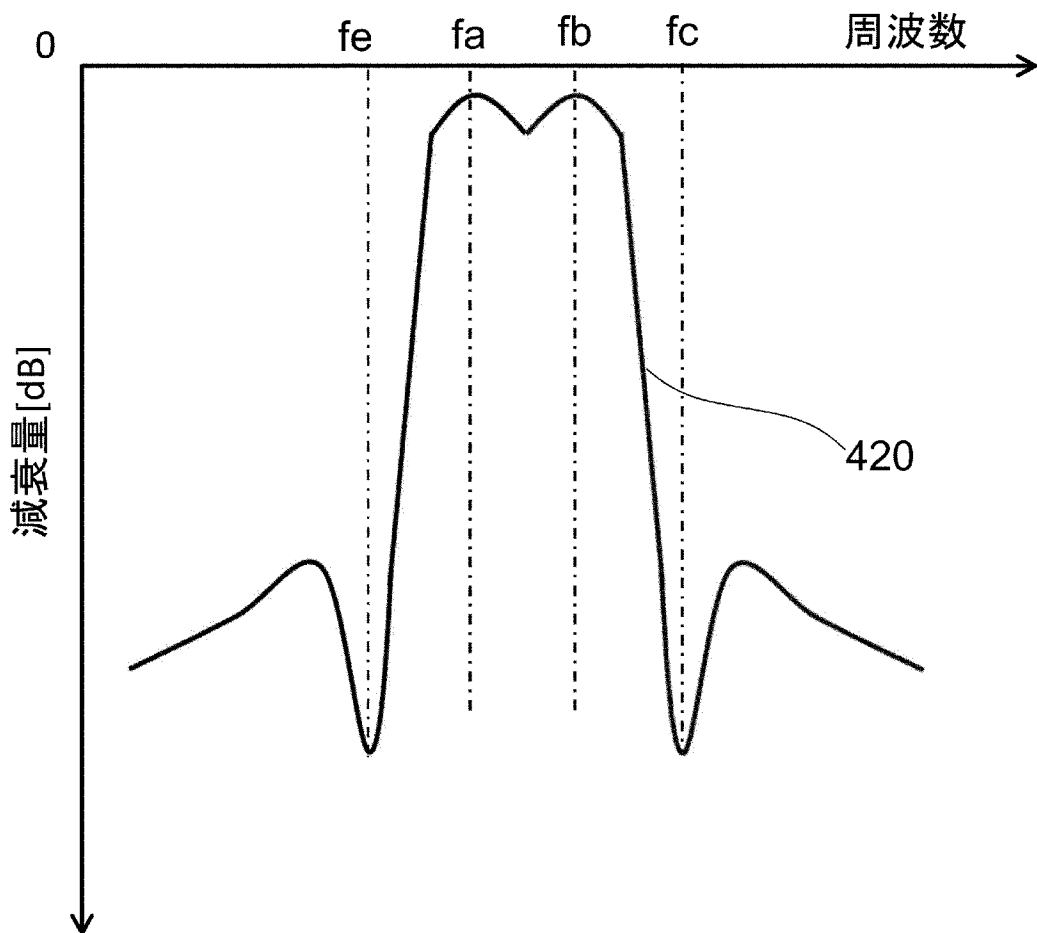
[図7]



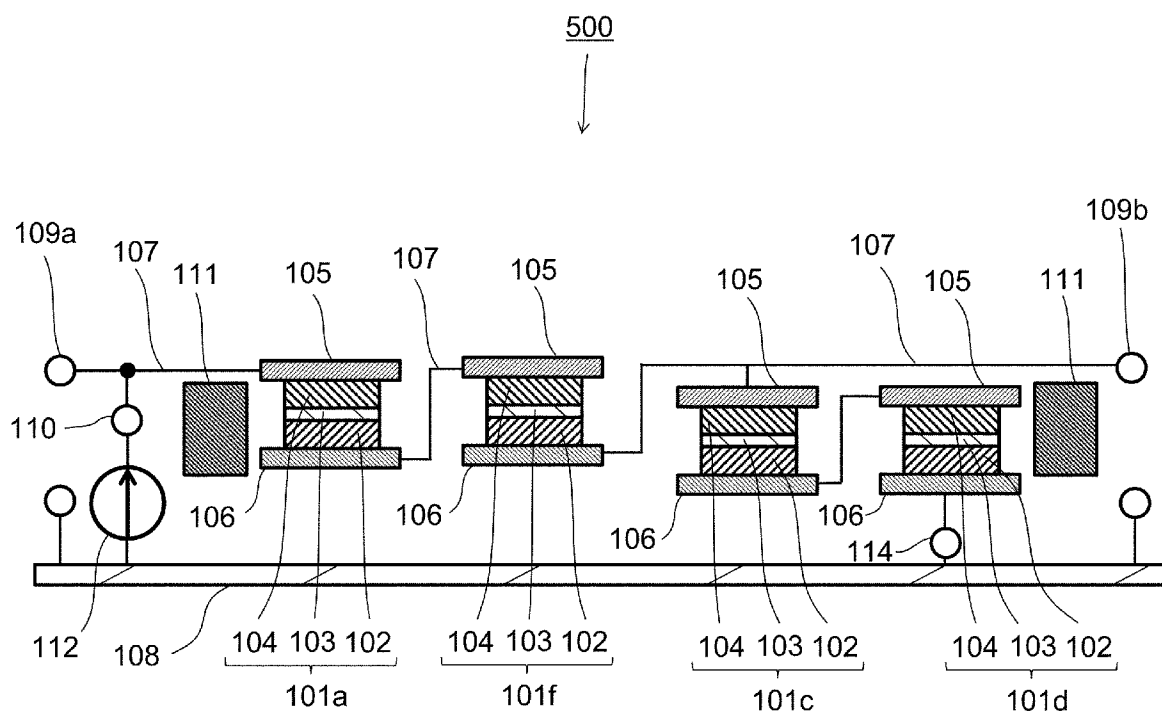
[図8]



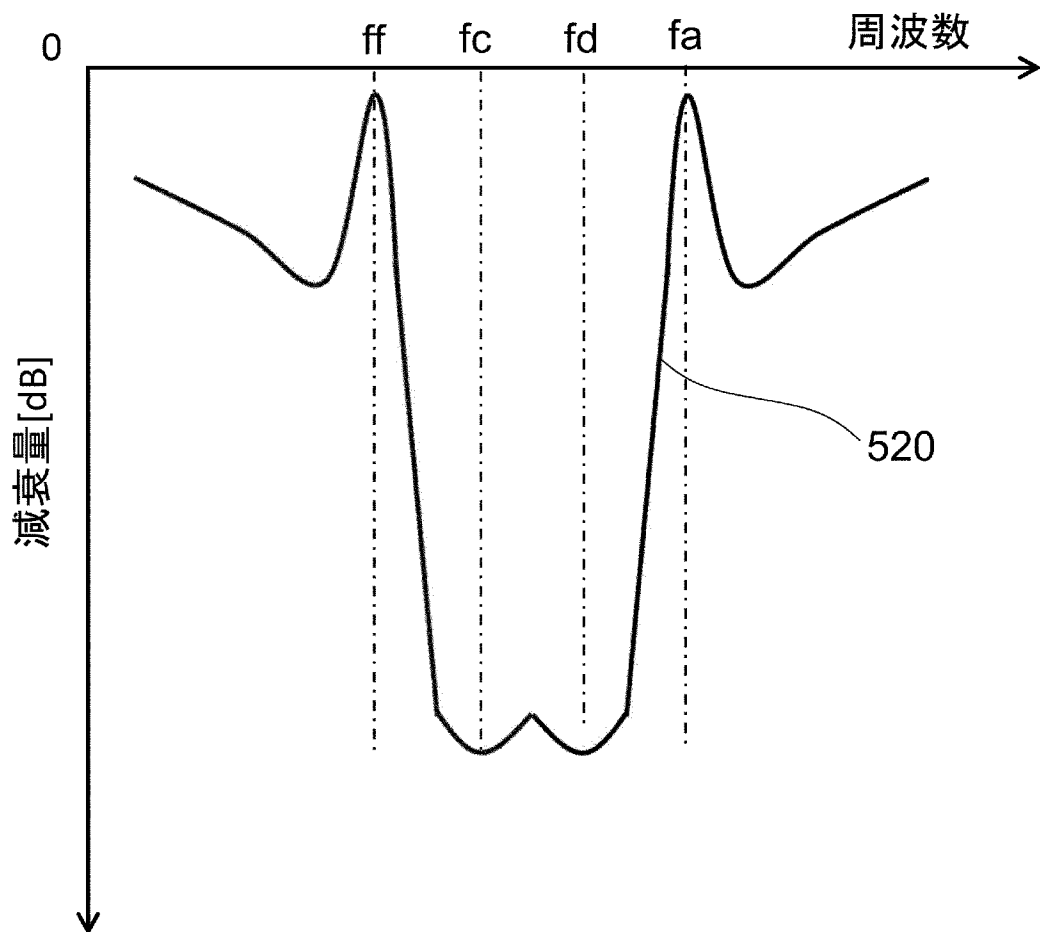
[図9]



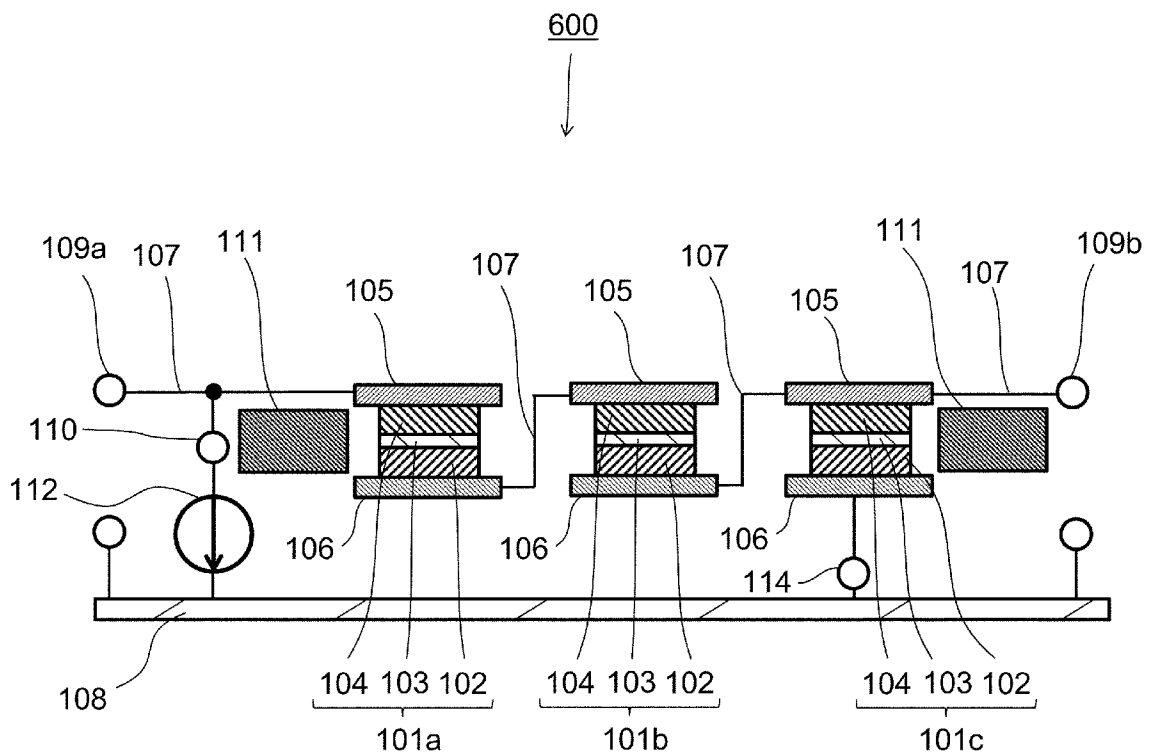
[図10]



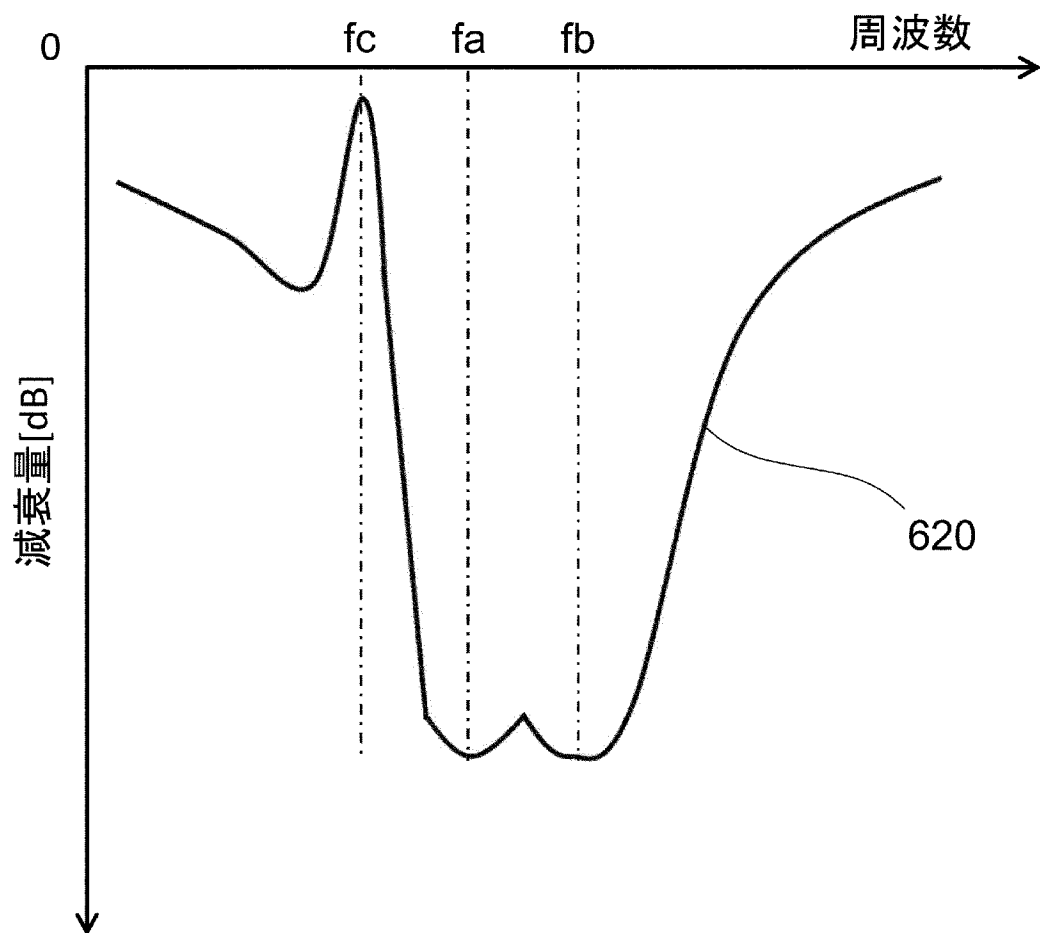
[図11]



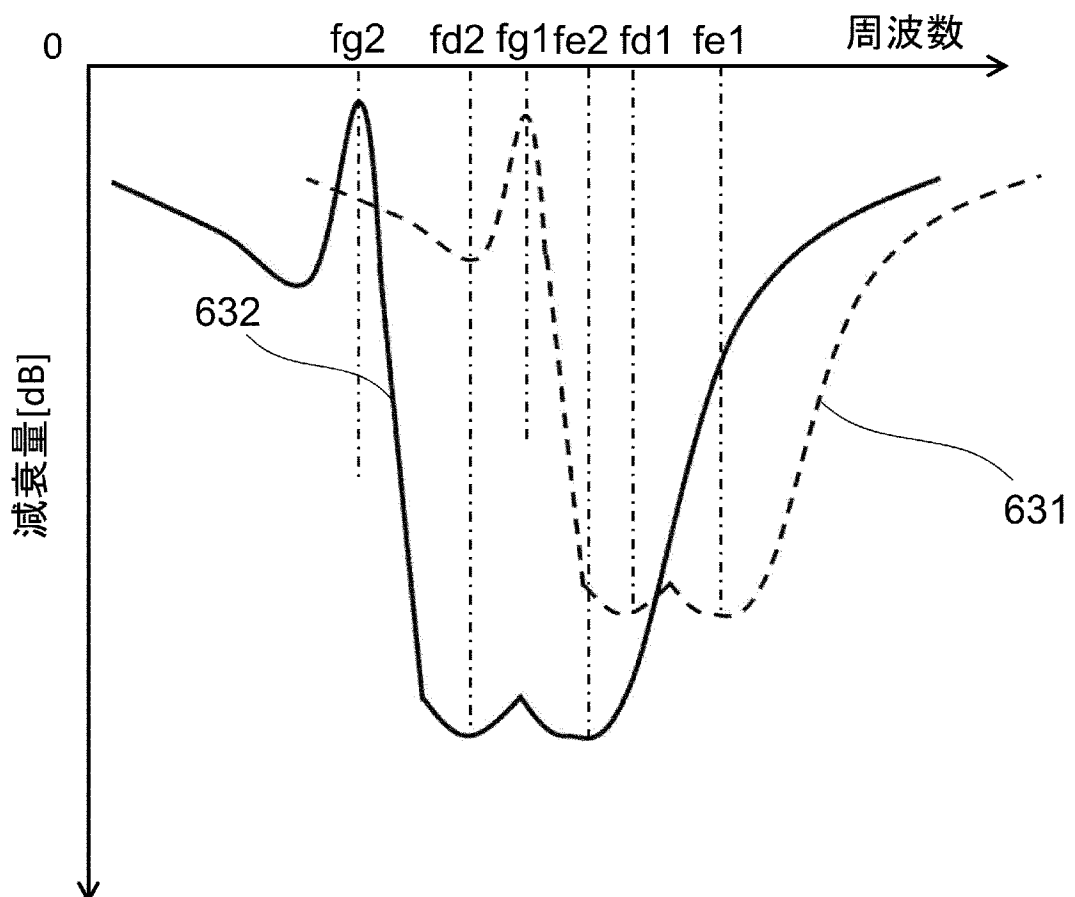
[図12]



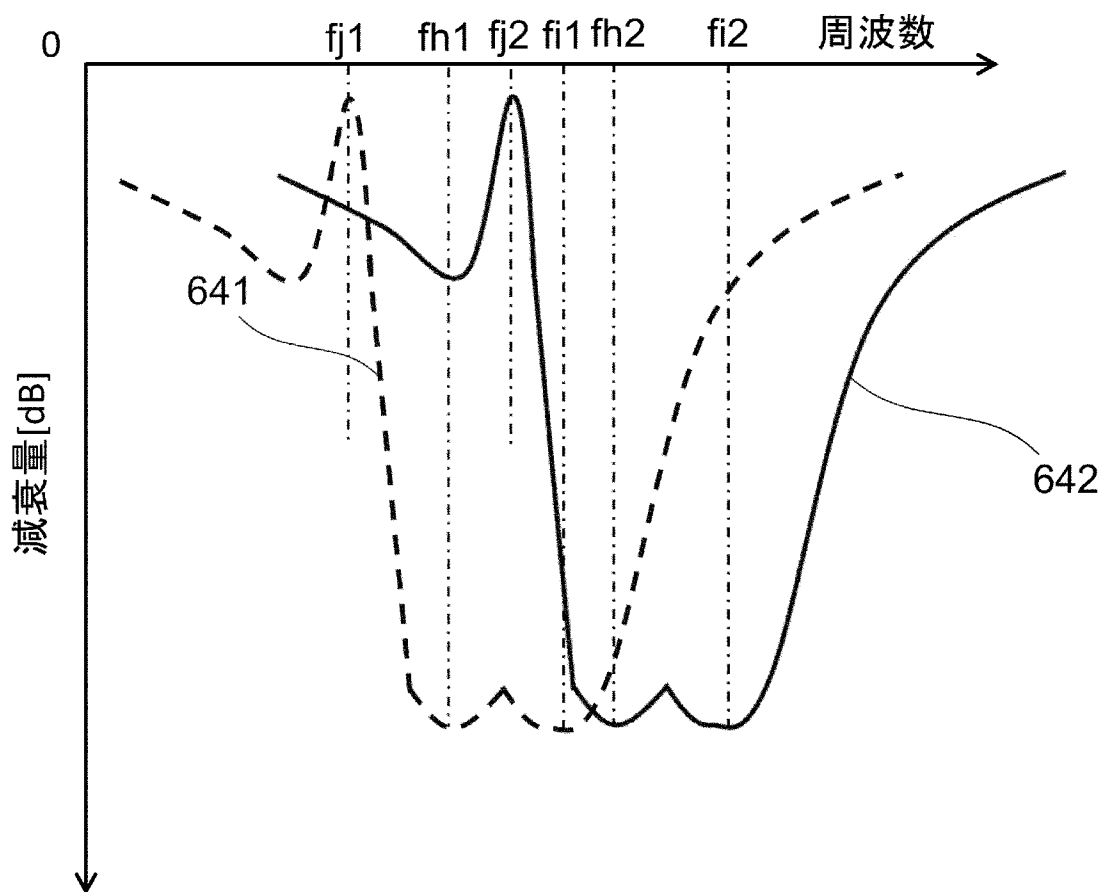
[図13]



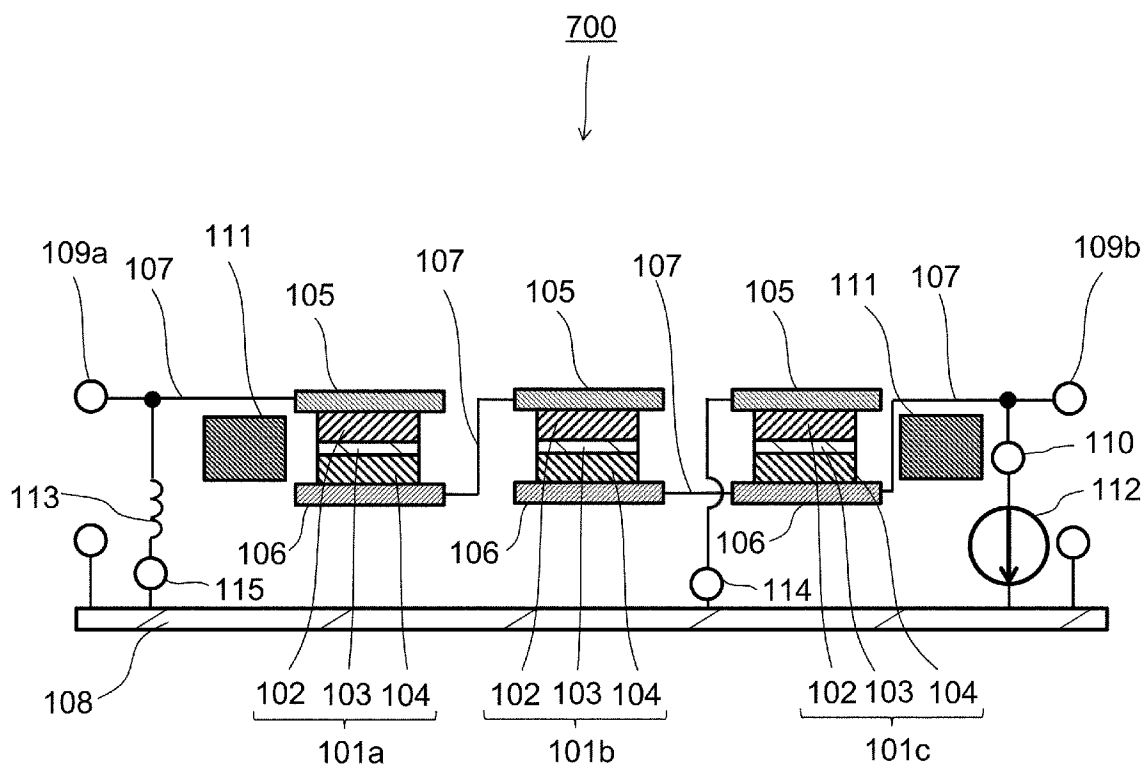
[図14]



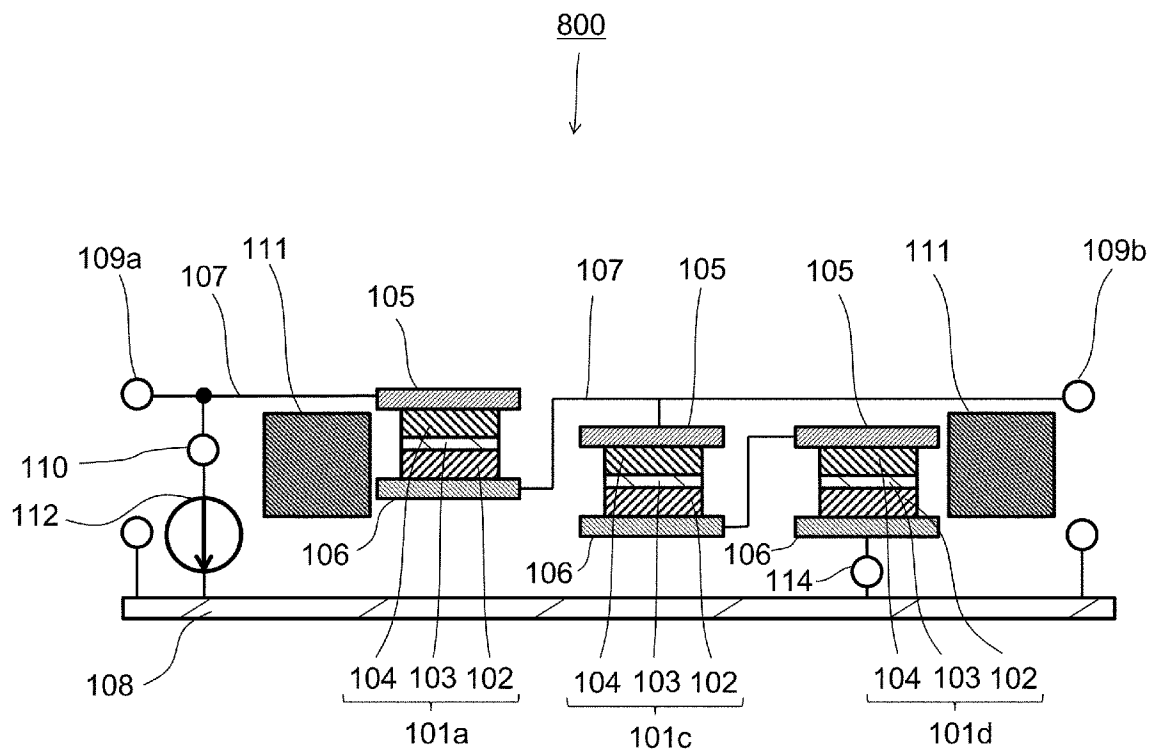
[図15]



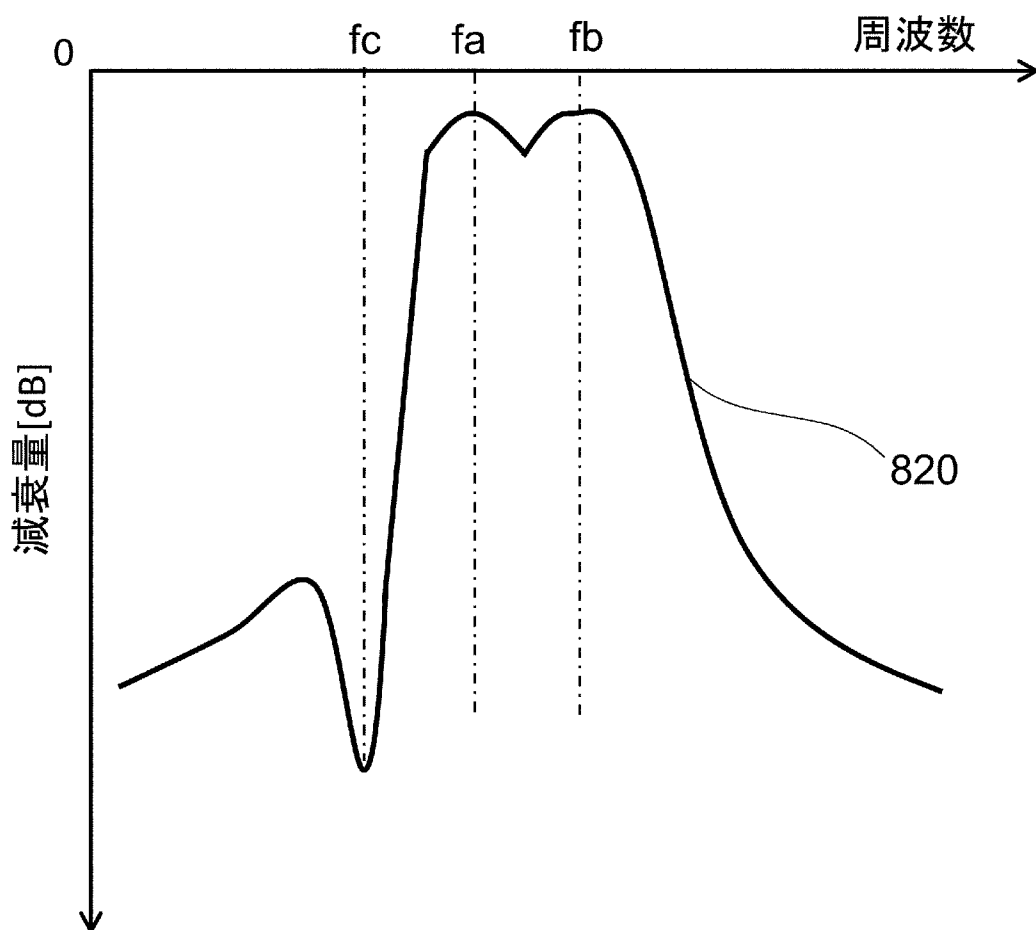
[図16]



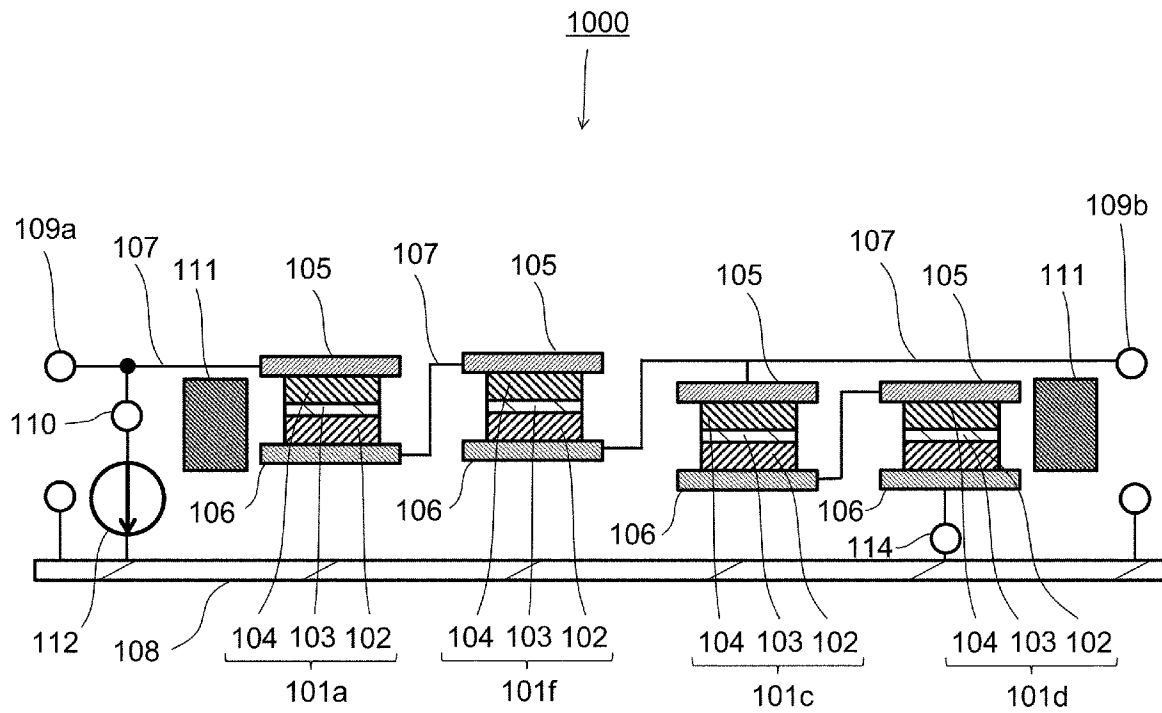
[図17]



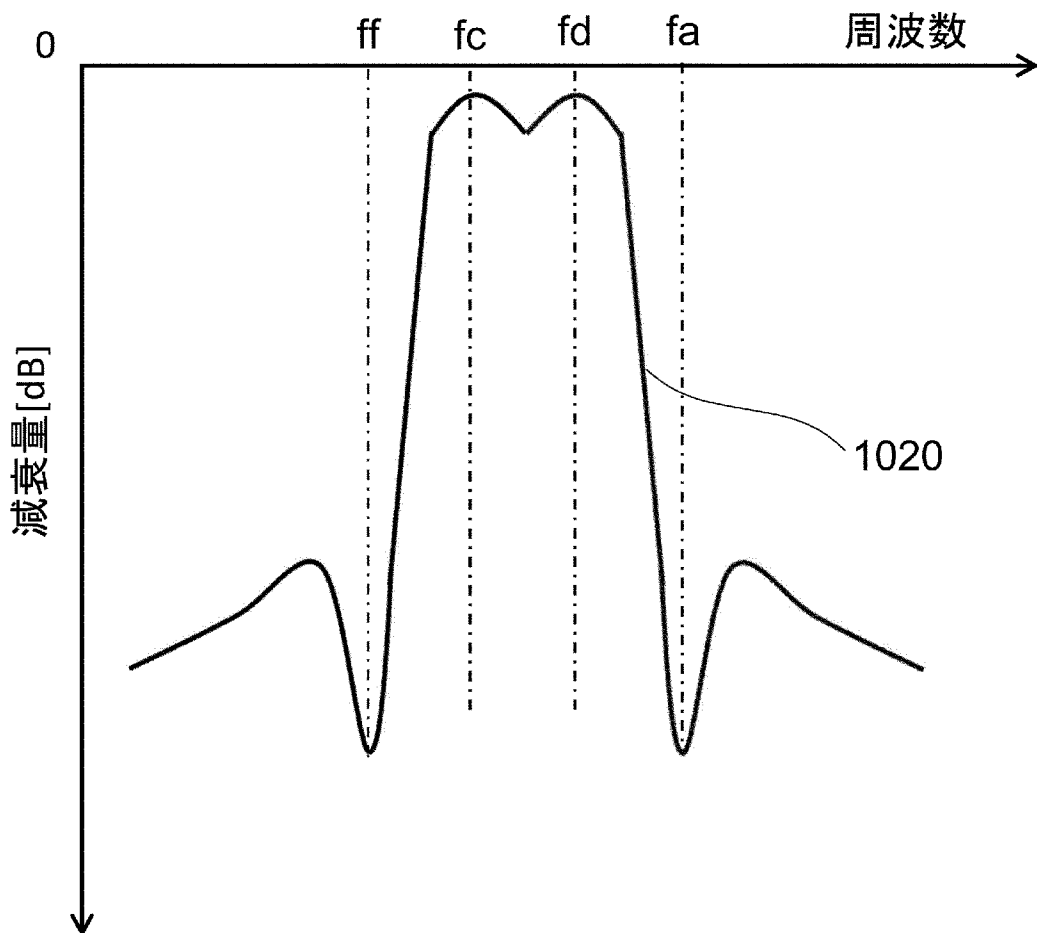
[図18]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/031580

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03B15/00(2006.01)i, G11B5/39(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)

H03B15/00, G11B5/39, H01L43/08

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2016-143701 A (TDK Corp.), 08 August 2016 (08.08.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2007-189686 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 26 July 2007 (26.07.2007), entire text; all drawings & US 2007/0159270 A1 entire text; all drawings & KR 10-0718145 B1	1-14

☐ 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
31 October 2017 (31.10.17)

Date of mailing of the international search report
14 November 2017 (14.11.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03B15/00(2006.01)i, G11B5/39(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. H03B15/00, G11B5/39, 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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 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	JP 2016-143701 A (TDK株式会社) 2016.08.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 2007-189686 A (三星電子株式会社) 2007.07.26, 全文, 全図 & US 2007/0159270 A1, 全文, 全図 & KR 10-0718145 B1	1-14

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

31.10.2017

国際調査報告の発送日

14.11.2017

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）

橋本 和志

5W

4183

電話番号 03-3581-1101 内線 3576