

(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
2011 年 7 月 28 日(28.07.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/089692 A1

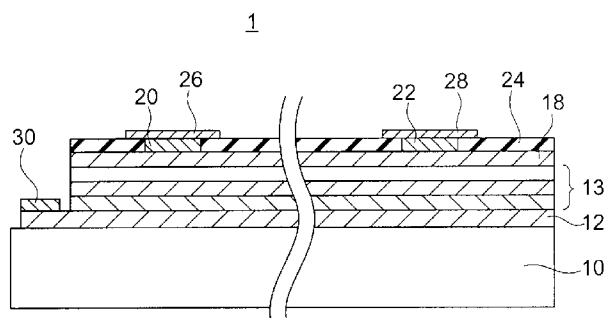
- (51) 国際特許分類:
H03B 15/00 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 29/82 (2006.01) H03H 2/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/050624
- (22) 国際出願日: 2010 年 1 月 20 日(20.01.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 近藤 剛 (KONDO Tsuyoshi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 森瀬 博史 (MORISE Hirofumi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 中村 志保 (NAKAMURA Shiho) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 勝沼 宏仁, 外 (KATSUNUMA Hirohito et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,

[続葉有]

(54) Title: SPIN WAVE DEVICE

(54) 発明の名称: スピン波デバイス

[図2]



(57) Abstract: Disclosed is a spin wave device which can be integrated in an LSI chip and has high design freedom for frequency characteristics. The spin wave device is provided with one input interconnect for transmitting input impulse signals, a multilayer film including an underlayer, a first magnetic layer which is provided on the multilayer film and receives the input impulse signals to thereby create spin waves and propagate the spin waves, a plurality of input electrodes which are disposed in a line on the first magnetic layer, connected to the input interconnect, and transmit the input impulse signals to the first magnetic layer, and a plurality of detection electrodes which detect the spin waves propagated in the first magnetic layer and are each provided on the first magnetic layer so that the distance from the line in which the plurality of input electrodes are disposed is different for each. If the number of detection electrodes is n (where $n \geq 2$), the distance of the i -th (where $n \geq i \geq 1$) detection electrode from the line is L_i , the group velocity of the spin waves is V_g , and the pulse period of the input impulse signals is t_0 , the distance d between an adjacent i -th (where $n-1 \geq i \geq 1$) detection electrode and an $i+1$ -th detection electrode at a direction perpendicular to the line is expressed as $d = V_g \times t_0$.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/089692 A1



GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, 添付公開書類:

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,

TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

L S I に集積化が可能でかつ周波数特性の設計自由度の高いスピン波デバイスを実現することを可能にする。スピン波デバイスは、入力インパルス信号を伝える 1 本の入力配線と、下地層を含む多層膜と、前記多層膜上に設けられ前記入力インパルス信号を受けることによりスピン波を発生し、前記スピン波を伝搬する第 1 の磁性層と、前記第 1 の磁性層上に一直線上に配列されるとともに前記入力配線に接続され、前記入力インパルス信号を前記第 1 の磁性層に伝える複数の入力電極と、前記第 1 の磁性層中を伝搬した前記スピン波を検出する複数の検出電極であって、前記複数の入力電極が配列された前記直線からの距離が異なるようにそれぞれが前記第 1 の磁性層上に設けられた複数の検出電極と、を備え、検出電極の個数を n ($n \geq 2$) とし、第 i ($n \geq i \geq 1$) 番目の検出電極の直線からの距離を L_i とし、スピン波の群速度を V_g とし、前記入力インパルス信号のパルス周期を t_0 とすると、隣接する第 i ($n - 1 \geq i \geq 1$) 番目の検出電極と第 $i + 1$ 番目の検出電極と間の直線に直交する方向における距離 d は、 $d = V_g \times t_0$ と表される。

明 細 書

発明の名称 : スピン波デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、スピン波デバイスに関する。

背景技術

[0002] 高周波電気信号用のフィルタがスピン波の一種である静磁波を用いて実現されている（例えば、非特許文献 1 参照）、この非特許文献 1 に記載されている静磁波フィルタは、ガドリニウムガリウムガーネット基板（以下、GGG 基板とも云う）上にエピタキシャル成長されたイットリウム鉄ガーネット薄膜（以下、YIG 薄膜とも云う）と、下部全面に電氣的接地電極を有し上面に 2 つの金属細線トランデュースを有する誘電体基板と、を備えている。静磁波フィルタ内では YIG 薄膜の表面と、誘電体基板上のトランデュースは互いに接するように配置される。

[0003] 入力トランデュースに入力された高周波電気信号はその周り（近傍）に高周波磁界を発生させる。入力トランデュースの近傍に発生した高周波磁界は YIG 薄膜の一部に磁気モーメントの歳差運動を誘起する。誘起された歳差運動はスピン波として YIG 薄膜内を出力トランデュースまで伝搬する。出力トランデュースまで伝搬されたスピン波は入力とは反対の過程によって出力トランデュース内に高周波電気信号を誘起する。その結果、この静磁波フィルタは、入力トランデュースで励起されかつ出力トランデュースで検出できるスピン波の周波数帯域にある電気信号を透過する帯域制限フィルタとして動作する。

[0004] また、非特許文献 2 には、複数の電極から構成される出力トランデュースを用いた静磁波フィルタが報告されている。入力トランデュースからの距離が異なる位置に入検出電極を配置し、電極の長さとその内部を流れる電流の向きによってスピン波信号の重ね合わせの制御と、検出信号の重み付けとを行うことで所望の周波数特性を持つフィルタを作ることができる。

先行技術文献

非特許文献

- [0005] 非特許文献1: “Magnetostatic waves and their applications” by P. Kabos and V. S. Stalmachov (Chapman & Hall, 1994, London).

非特許文献2: Y. J. Ataiyan et. al., “MSSW transversal filters on current weighting in narrow ($10\mu\text{m}$) Transducers”, IEEE MTT-S Digest, 576 (1986).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、これらのフィルタは集積化の点で問題があった。発生させる静磁波の波長はトランデューサの電極の幅に依存しており、 $1\mu\text{m}$ 程度の幅では短波長で伝搬速度の速い交換スピン波が励起されるので小型化が難しい。加えて静磁波フィルタに用いるスピン波伝搬媒体にはスピン歳差運動が緩和し難い特性が要求され、これまでYIG薄膜が最もよく用いられてきた。この材料は、混載などの方法によってLSI（大規模集積回路）と、静磁波フィルタとを集積化することに対して非常に大きな障壁となっている。YIG薄膜はGGG結晶基板の上にエピタキシャル成長によって成膜される結晶性薄膜である。そして、特定の結晶基板へのエピタキシャル成長を通常のLSIの作製プロセスで実現することができず、事実上静磁波フィルタのLSIへの集積化は不可能な状況にある。

- [0007] また、静磁波フィルタには、特性面においても課題が存在する。トランデューサの動作原理より、フィルタで処理する信号の周波数とスピン波の周波数とが同じになるため、YIG薄膜中の静磁波の伝搬特性がフィルタの特性に直接反映される。このことはフィルタの設計に大きな制限を与える。例えば、帯域制限フィルタを設計する場合、遮断周波数は高周波側ではトランデューサの静磁波励起および検出帯域によって、低周波数側は静磁波の周波数帯域幅によってそれぞれ制限される。特に後者は材料に依存するため、YIG

G薄膜または類似する材料を用いる限り、低周波数側へ帯域を伸ばすことが困難であった。

[0008] 本発明は、上記事情を考慮してなされたものであって、LSIに集積可能でかつ周波数特性の設計自由度が高いスピン波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

[0009] 本発明の第1の態様によるスピン波デバイスは、入力インパルス信号を伝える1本の入力配線と、下地層を含む多層膜と、前記多層膜上に設けられ前記入力インパルス信号を受けることによりスピン波を発生し、前記スピン波を伝搬する第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に一直線上に配列されるとともに前記入力配線に接続され、前記入力インパルス信号を前記第1の磁性層に伝える複数の入力電極と、前記第1の磁性層中を伝搬した前記スピン波を検出する複数の検出電極であって、前記複数の入力電極が配列された前記直線からの距離が異なるようにそれぞれが前記第1の磁性層上に設けられた複数の検出電極と、を備え、前記検出電極の個数を n ($n \geq 2$) とし、第 i ($n \geq i \geq 1$) 番目の検出電極の前記直線からの距離を L_i とし、前記スピン波の群速度を V_g とし、前記入力インパルス信号のパルス周期を t_0 とすると、隣接する第 i ($n-1 \geq i \geq 1$) 番目の検出電極と第 $i+1$ 番目の検出電極と間の前記直線に直交する方向における距離 d は、 $d = V_g \times t_0$ と表されることを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、LSIに集積化が可能でかつ周波数特性の設計自由度の高いスピン波デバイスを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]第1実施形態によるスピン波デバイスを示す上面図。

[図2]第1実施形態によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図3]第1実施形態の第1変形例によるスピン波デバイスを示す上面図。

[図4]第1実施形態の第2変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図5] 入力信号を示す図。

[図6] 第 1 実施形態のスピン波デバイスを有限インパルス応答フィルタに適用した一具体例を示す平面図。

[図7] 第 1 実施形態の第 3 変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図8] 第 1 実施形態の第 4 変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図9] 第 1 実施形態の第 5 変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図10] 第 1 実施形態の第 6 変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図11] 第 1 実施形態の第 7 変形例によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図12] 図 1 2 (a) 乃至図 1 2 (c) は、磁性層 1 8 と磁性層 1 5 の磁化の向きを示す断面図。

[図13] 第 2 実施形態によるスピン波デバイスを示す断面図。

[図14] 第 2 実施形態における信号の重み付け方法を説明する図。

[図15] 第 2 実施形態のスピン波デバイスを有限インパルス応答フィルタに適用した一具体例を示す平面図。

[図16] 第 2 実施形態の一変形例によるスピン波デバイスの出力部を示す断面図。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明の実施形態を以下に図面を参照して説明する。

[0013] (第 1 実施形態)

本発明の第 1 実施形態によるスピン波デバイスを図 1 および図 2 に示す。

図 1 および図 2 はそれぞれ、本実施形態のスピン波デバイス 1 の上面図および断面図である。

[0014] 本実施形態のスピン波デバイス 1 は基板 1 0 上に設けられていて、基板 1 0 との密着性および良質な薄膜を実現しかつ導電性の下地層 1 2 と、下地層 1 2 の第 1 の領域上に設けられた少なくとも 2 層の薄膜が積層された多層積層膜 1 3 と、この多層積層膜 1 3 上に設けられた磁性層 1 8 と、を備えている。この磁性層 1 8 上には、図 1 に示すように、一直線状に配列された入力電極 $20_1 \sim 20_m$ ($m \geq 1$) の組 2 0 が設けられているとともに、入力電極

の組 20 からの距離がそれぞれ異なるように配列された検出電極 $22_1 \sim 22_n$ ($n \geq 1$) の組 22 が設けられている。ここで、検出電極 $22_1 \sim 22_n$ ($n \geq 1$) の、入力電極の組 20 からの距離とはそれぞれ、入力電極 $20_1 \sim 20_m$ ($m \geq 1$) が配列された直線 25 までの距離 L_i 、すなわち各検出電極 22_i ($i = 1, \dots, n$) の中心から上記直線 25 への垂線の長さ L_i を意味する。各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) および各検出電極 22_j ($j = 1, \dots, n$) はそれぞれ、ドット形状の接触面を有し、この接触面を介して磁性層 18 と接続する。各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) および各検出電極 22_j ($j = 1, \dots, n$) と、磁性層 18 と直接に接触しても構わないし、導電層（後述のキャップ層）を介して接触してしてもよい。なお、本明細書では、「ドット形状」とは、円形、楕円形、四角形、多角形等を意味する。

[0015] これらの入力電極 $20_1 \sim 20_m$ および検出電極 $22_1 \sim 22_n$ はそれぞれの上面が露出するように絶縁層 24 に覆われている。上面が露出された入力電極 $20_1 \sim 20_m$ は絶縁層 24 上に設けられた入力配線 26 に電氣的に接続され、検出電極 $22_1 \sim 22_n$ は絶縁層 24 上に設けられた出力配線 28 に電氣的に接続される。また、多層積層膜 13 が設けられていない下地層 12 の第 2 の領域上に、下地層 12 と電氣的に接続する GND 電極 30 が設けられている。なお、本実施形態においては、GND 電極 30 は、下地層 12 上に設けられたが、積層多層膜 13 のうちの、最上層を除くある導電性の層上に設けてもよい。

[0016] 入力配線 26 は入力電極 $20_1 \sim 20_m$ の配列方向と並行で、その幅は、入力電気信号による電磁誘導の影響を避けるため、入力電極 $20_1 \sim 20_m$ に入力された電流によって生成されるスピン波の波長の少なくとも 2 倍の長さを有するように構成することが望ましい。

[0017] また、出力配線 28 は、検出電極 $22_1 \sim 22_n$ から出力される電気信号を外部へ取り出すため信号の特性に合わせるように構成されることが望ましい。

[0018] なお、本実施形態においては、検出電極は、入力配線 26 の片側の領域にのみ配置されていたが、外部接続の容易さを提供するまたは配線の電磁誘導の影響を抑えるために図 3 に示す第 1 変形例のように、検出電極 $22_1 \sim 22_{10}$ を入力配線 26 の両側に配置してもよい。すなわち、検出電極 22_1 、 22_3 、 22_5 、 22_7 、 22_9 を入力配線 26 の左側に配置し、検出電極 22_2 、 22_4 、 22_6 、 22_8 、 22_{10} を入力配線 26 の右側に配置してもよい。なお、図 3 においては、説明を簡単にするために、検出電極は 10 個であったが、この個数に限定されるものではない。また、図 3 においては、奇数番目の検出電極を入力配線 26 の左側に配置し、偶数番目の検出電極を入力配線 26 の右側に配置したが、奇数番目と偶数番目の検出電極を混在して入力配線の一方の側と他方の側に配置してもよい。

[0019] また、入力電極の組 20 から GND 電極 30 に通電する。すなわち各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) の接触面に略垂直の方向に電圧を印加するか、もしくは電流を流す。これにより引き起こされるスピントルクによって、各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) の接触面下の磁性層 18 の領域にスピン波が励起され、磁性層 18 中を伝搬する。磁性層 18 中を伝搬するスピン波に応じた電気信号が検出電極 $22_1 \sim 22_n$ から取り出される。ただし、各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) および各検出電極 22_j ($j = 1, \dots, n$) におけるドット形状の接触面の最大直径が 500 nm を超えて大きい場合には、複雑な多磁区の磁化構造が、各入力電極 20_i ($i = 1, \dots, m$) および各検出電極 22_j ($j = 1, \dots, n$) に励起されるため、スピン波制御が困難となり望ましくない。ここで、「最大直径」とは、ドット形状が楕円形の場合は長軸を意味し、四角形または多角形の場合は対角線の最大長さを意味する。

[0020] なお、磁性層 18 中を伝搬するスピン波に応じた電気信号を取り出すために、多層膜構造 13 は、磁性層を含む構造であってもよい。例えば、図 4 に示す第 2 変形例のように、下地層 12 と磁性層 18 との間に、反強磁性層 14、磁性層 15、およびトンネルバリア層（スペーサ層）16 が積層された

積層構造を有していてもよい。磁性層 15 の磁化の方向は反強磁性層 14 の交換バイアス効果によって磁化の方向が一方向に固定されている。

- [0021] 入力電極の組 20 と GND 電極 30 との間に通電すると、磁性層 15 より磁性層 18 ヘスピン偏極した電子が注入され、スピントルクが磁性層 18 の磁化に与えられることで、スピン波が発生する。発生したスピン波は磁性層 18 中を伝搬して検出電極の組 22 の直下まで到達する。この際、検出電極の組 22 と GND 電極 30 との間に定電圧電源を用いて定電圧を印加しておくと、スピン波による磁性層 18 の磁化の歳差運動によって検出電極の組 22 の直下における、磁性層 18 / トンネルバリア層 16 / 磁性層 15 からなるトンネル接合の抵抗が変化して、通電電流に変化が生じる。抵抗変化はスピン波の振幅強度におおよそ比例するため、スピン波の強度を電気信号に変換することができる。
- [0022] 本実施形態においては、入力配線 26 を介して各入力電極 20_i (i = 1, ..., m) に入力される入力信号としては、時間的に離散化された電気信号を想定している。図 5 に入力信号の一例を示す。入力信号は時間間隔 t₀ のパルスもしくはインパルス信号列から構成され、フィルタとして本実施形態のスピン波デバイスを用いる場合には、入力信号の包絡線が処理を行う対象の信号となる。

- [0023] 一般に、離散化入力信号に対する有限インパルス応答フィルタの応答関数 H(z) は Z 変換形式を用いて

[数1]

$$H(z) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)Z^{-k} \quad (1)$$

と表わされる。ここで、重み関数列 h(k) (k = 0, 1, ...) を適切に選ぶことで、任意の周波数応答を持ったパッシブなフィルタを実現できる。Z⁻¹ はインパルス信号列の時間間隔 t₀ 分の遅延を表しており、遅延させた信号に重み付けを行い合算して出力信号とする。上記 (1) 式においては、無限個のインパルス信号列を加算していたが、現実の系においては有限個 (

例えば、 $N + 1$ 個 ($N \geq 1$) のインパルス信号列によってフィルタを構成する。

[0024] 次に、本実施形態のスピนว波デバイス 1 を有限インパルス応答フィルタに適用した例を図 6 に示す。この例の有限インパルス応答フィルタにおいては、入力配線 26 にはコンデンサを介して入力信号 I_{input} が入力され、この入力信号 I_{input} は入力電極 $20_1 \sim 20_m$ を介して磁性層 18 送られ、スピนว波が誘起される。この誘起されたスピนว波は磁性層 18 中を伝搬し、このスピนว波に応じた出力信号が検出電極 $22_1 \sim 22_n$ から取り出される。検出電極 $22_2 \sim 22_{n-1}$ には出力配線 28a が接続され、この出力配線 28a からコンデンサを介して正側の出力信号 I_{out+} が取り出される。また、出力配線 28a に対向するように出力配線 28b が設けられ、この出力配線 28b からコンデンサを介して負側の出力信号 I_{out-} が取り出される。なお、図 6 においては、出力配線 28b には検出電極 22_1 、 22_n が接続されている。

[0025] この例の有限インパルス応答フィルタは、生成するスピนว波が入力配線 26 の延在する方向と直交する方向に伝搬する平面波と見なせるように、十分な数の入力電極 $20_1 \sim 20_m$ を有している。スピนว波の伝搬方向における、隣接する検出電極 22_i 、 22_{i+1} ($i = 1, \dots, n-1$) 間の距離（入力配線 26 に直交する方向における検出電極間の中心間距離） d は入力信号の時間間隔 t_0 とスピนว波の群速度 V_g との積になるように配置されることが望ましい。

[0026] 磁場、電場、光などの外場を磁性層 18 に与えてその磁気特性を変調すると群速度も変化する。変調後の群速度を V_g' とすると、本例の有限インパルス応答フィルタは、時間間隔 t_0' ($= d / V_g'$) の信号に対して元の周波数特性とは異なる特性を持ったフィルタとして動作させることもできる。入力電極 $20_1 \sim 20_m$ の組 20 に最も近い検出電極を検出電極 22_1 、最も遠い検出電極を検出電極 22_n とし、その間の検出電極を入力電極の組 20 に近い方から順に検出電極 22_i ($i = 1, \dots, 1$) とし、その面積を $A_i = A_0 \times h(i)$ とする。ここで A_0 は基準となる検出電極の面積で、検出電極

の抵抗変化と出力電流の変化が比例関係とみなせるように適切に設定されることが望ましい。

- [0027] 入力配線 26 を通して入力されたインパルス信号は入力電極 $20_1 \sim 20_m$ の直下の磁性層 18 にスピン波を誘起する。生成されたスピン波はインパルス形状の波束となって検出電極 $22_1 \sim 22_n$ へ伝搬していく。入力された電気インパルス信号列はこのようにしてスピン波のインパルス信号列に変換される。検出電極 $22_1 \sim 22_n$ には出力配線 28a 介して定電圧バイアス V_b が印加されている。ある時刻 T において入力電極 $20_1 \sim 20_m$ によって生成されたスピン波インパルス $X(T)$ が検出電極 22_1 に到達したとき、各検出電極 22_i ($i = 1, \dots, n$) において流れる電流に、スピン波に対応する電流変化 ΔI_i が生じる。この電流変化 ΔI_i は次の (2) 式で表される。

[数2]

$$\Delta I_i = \frac{h(k)}{R_0} \left(1 - \frac{\Delta R}{R_0} \right) V_b \quad (2)$$

ここで、 $h(k)$ ($k = 0, 1, \dots$) は (1) 式で示した重み関数列 $h(k)$ ($k = 0, 1, \dots$) を表し、 R_0 は接合面積 A_0 のときの磁性層 18 / トンネルバリア層 16 / 磁性層 15 からなるトンネル接合の抵抗を表し、 ΔR はスピン波に対応する上記トンネル接合の抵抗変化を表す。この電流変化 ΔI_i はスピン波インパルス $X(T - n \times t_0)$ に比例している。正の重み関数 h に対応する検出電極は I_{out+} に接続され、負の重み関数 h に対応する電極は I_{out-} の端子に別々に接続されている。これら二つの出力信号は、図示しない外部の差動増幅回路に接続され、その差 ($= I_{out+} - I_{out-}$) の形で出力される。

- [0028] なお、周辺回路との電氣的特性の整合性を考え、図 4 に示す第 2 変形例のスピン波デバイスにおいて、トンネルバリア層 16 を、図 7 に示すように非磁性導電層 (スペーサ層) 17 に置き換えた構造の第 3 変形例のスピン波デバイスも、本実施形態と同様の効果を得ることができる。

- [0029] トンネルバリア層 16 を用いた第 2 変形例の場合と同様に入力電極と GN

D電極との間にインパルス電気信号を印加することでスピン波インパルス信号を生成することが可能である。また出力に関しても図6で説明した形態にすることによって、巨大磁気抵抗効果（GMR）を介してスピン波を検出し、所望の信号を出力することができる。

[0030] 本実施形態またはその変形例においては、スピン波の生成はスピン偏極した電流を磁性層18に通電することで達成される。つまり、スピン偏極した電流を与える磁性層15と、磁性層18との間にトンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17を配置することにより、磁性層15と磁性層18との直接的磁気結合を防止しつつスピン偏極した電流を磁性層18へ導入することが本実施形態またはその変形例において肝要である。したがって、図8に示す第4変形例のスピン波デバイスのように、下地層12上に磁性層18を設け、この磁性層18上に、トンネルバリア層16、磁性層15、および反強磁性層14の順序で積層された多層積層膜13Aが設けられた構成としてもよい。この多層積層膜13Aは、図1に示す入力電極20₁～20_mを兼用した構成となっており、積層順序が図4に示す第2変形例の多層積層膜13と逆の順序となっている。そして、多層積層膜13Aは、側面が絶縁層24によって取り囲まれ、反強磁性層14の上面が入力配線26と接続する。この第4変形例においては、検出電極は、磁性層18の上面に接続する構成となっている。

[0031] また、図9に示す第5変形例のスピン波デバイスであってもよい。この第5変形例のスピン波デバイスは、図8に示す第4変形例において、多層積層膜13Aの代わりに、トンネルバリア層16を非磁性導電層17に置き換えた多層積層膜13Bを用いた構成を有している。この第5変形例においても、検出電極は、磁性層18の上面に接続する構成となっている。

[0032] なお、図8および図9で示した第4および第5変形例においては、入力電極側は、磁性層18と基板10との間に、基板10との密着性と良質な薄膜を実現するための薄膜と電気伝導性に優れた薄膜の多層膜を有する下地層12のみが配置されているが、検出電極側において、トンネル磁気抵抗効果も

しくは巨大磁気抵抗効果を介してスピン波を検出する目的で、図4または図7に示すように、磁性層18と下地層12との間に、磁性層18下に設けられたトンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17と、トンネルバリア層もしくは非磁性導電層下に設けられた磁性層15と、この磁性層15下に設けられた反強磁性層との積層構造を有するように配置してもよい。すなわち、検出電極側においては、下地層12、反強磁性層14、磁性層15、トンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17、および磁性層18の順に積層される。したがって、この場合、検出電極は、磁性層18の上面と接続する。

[0033] また、第1実施形態においては、検出電極を用いたスピン波検出をトンネル磁気抵抗効果もしくは巨大磁気抵抗効果を利用して行う。磁性層18と磁性層15との間にトンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17を配置して両層の直接的磁気結合を抑制しつつ、磁性層15の磁化に対する磁性層18の磁化の方向の変化をトンネル磁気抵抗効果もしくは巨大磁気抵抗効果によって電流変化に変換することでスピン波検出が実現される。したがって、図10に示す第6変形例のように、検出電極が、磁性層18上に設けられたトンネルバリア層16と、このトンネルバリア層16上に設けられた磁性層15と、この磁性層15上に設けられ磁性層15の磁化方向を一方向に固定する反強磁性層14とを有する多層膜構造を有していてもよい。また、トンネルバリア層16を非磁性導電層17に置き換えた、図11に示す第7変形例の多層膜構造を有した検出電極としてもよい。なお、これらの場合において、入力電極側においてスピン波を生成する目的で、図4または図7に示すように、磁性層18と下地層12との間に、磁性層18下に設けられたトンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17と、トンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17下に設けられた磁性層15と、この磁性層15下に設けられた反強磁性層14との積層構造を有するように配置してもよい。すなわち、検出電極側においては、下地層12、反強磁性層14、磁性層15、トンネルバリア層16もしくは非磁性導電層17、および磁性層18の順に

積層される。したがって、この場合、入力電極は、磁性層 18 の上面と接続する。

[0034] また、入力電極として図 8 に示す構造を有し、検出電極として図 10 に示す構造を有するように構成してもよい。また、入力電極として図 9 に示す構造を有し、検出電極として図 11 に示す構造を有するように構成してもよい。

[0035] 本実施形態およびその変形例においては、磁性層 18 と磁性層 15 とを備えている。これらの磁性層 18 および磁性層 15 における、外部磁界が印加されていない場合の磁化の方向（磁化容易軸）は、膜面に略平行かまたは略垂直となっている。ここで、膜面とは、磁性層 18 または磁性層 15 の上面を意味する。

[0036] これらの磁性層 18 または磁性層 15 に用いられる、磁化の向きが膜面に対して略垂直方向となる磁性材料としては、FeVPd、FeCrPd、CoFePt 等が挙げられる。すなわち、上記磁性材料としては、鉄（Fe）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、マンガン（Mn）、およびクロム（Cr）よりなる群から選択された少なくとも一つの元素と、白金（Pt）、パラジウム（Pd）、イリジウム（Ir）、ルテニウム（Ru）、ロジウム（Rh）よりなる群から選択された少なくとも一つの元素と、を含む合金を用いることができる。これらの合金は、磁性材料の組成や熱処理により特性を調整することができる。また、TbFeCo、GdFeCo などの希土類と遷移金属とのアモルファス合金、またはCo/Pt、Co/Pd、Co/Ni の積層構造なども望ましい。

[0037] また、磁化容易軸（磁化の方向）が膜面に対して略平行となる磁性材料としては、例えば、鉄（Fe）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、マンガン（Mn）、クロム（Cr）よりなる群から選択された少なくとも一つの元素を含む磁性金属が挙げられる。

[0038] 磁性層 18 および磁性層 15 の磁化の向きは図 12（a）に示すように、膜面に平行でかつ互いに反平行（逆の向き）となっている配置でもよいし、

図 1 2 (b) に示すように磁性層 1 8 の磁化の向きが膜面に垂直となる配置であってもよい。これらの場合、スピン波伝搬特性に面内方向依存性がないので電極の配置などの自由度が広がる。また、図 1 2 (c) に示すように、面内磁化を有する磁性層 1 8 に対して垂直磁化を有する磁性層 1 5 を用いると、電流によってスピン波を誘起する際の立ち上がり速度が著しく速くなり、高速処理を行う上で有利である。

[0039] 以上の磁性体を磁性層に用いる場合、磁気異方性と飽和磁化を調整することで磁性層から発生する高周波磁場の周波数をチューニングすることができる。また、ハーフメタルのようにフェルミ面の状態密度を小さくすることでスピン波の減衰率を下げるができる。

[0040] トンネルバリア層の材料としては、アルミニウム (A l) 、チタン (T i) 、亜鉛 (Z n) 、ジルコニウム (Z r) 、タンタル (T a) 、コバルト (C o) 、ニッケル (N i) 、シリコン (S i) 、マグネシウム (M g) 、鉄 (F e) よりなる群から選択された少なくとも一つの元素を含む酸化物、窒化物、フッ化物、酸窒化物などが挙げられる。あるいは、 A l A s 、 G a N 、 A l N 、 Z n S e 、 Z n O などの大きなエネルギーギャップを有する半導体を有することが好ましい。また、トンネルバリア層の厚さを約 0. 2 n m ~ 2. 0 n m 程度の範囲内の値とすることが、大きな出力信号を得るに当たっては好ましい。

[0041] 非磁性導電層の具体的材料としては、銅 (C u) 、金 (A u) 、銀 (A g) 、アルミニウム (A l) 、またはこれら銅 (C u) 、金 (A u) 、銀 (A g) 、アルミニウム (A l) よりなる群から選択された少なくとも一つの元素を含む合金を挙げることができる。この場合の層厚は 1. 5 n m 以上、 2 0 n m 以下であると、磁性層 1 8 と磁性層 1 5 とが層間結合せず、かつ、伝導電子のスピン偏極状態は非磁性導電層 1 7 を通過する際に失わせないで済むという利点がある。

[0042] 以上説明したように、本実施形態によれば、磁性層 1 8 にインパルス入力電気信号によるスピン波インパルス信号を発生させ、磁性層 1 8 を伝搬して

きた異なるタイミングで検出電極に入力される信号を電気信号に変換し合算することで、有限インパルス応答を示す高速動作素子を実現することができる。したがって、LSIに集積化が可能でかつ周波数特性の設計自由度の高いスピン波デバイスを実現することができる。

[0043] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態によるスピン波デバイスを図13に示す。本実施形態のスピン波デバイス1Aは、図2に示す第1実施形態のスピン波デバイス1において、出力配線28として、検出電極22を挟むように、2個の出力配線28a、28bを設けた構成となっている。第1実施形態においては、検出電極を用いたスピン波の検出はトンネル磁気抵抗効果もしくは巨大磁気抵抗効果を利用して行われている。これに対して、第2実施形態においては、図13に示すように磁性層18に接続する検出電極22を挟むように2つの出力配線28a、28bを設け、2つの出力配線28a、28b間に生じるスピホール効果による起電力を出力とする。

[0044] 検出電極22の直下の磁性層18においてスピン波による磁化歳差運動が生じると、スピンプンピングと呼ばれる現象によって検出電極22内の伝導電子のスピン偏極率に空間分布が生じる。検出電極22の磁性層18に接する部分が最もスピン偏極率が高く、検出電極22の、磁性層18と反対側の面に近づくにつれてスピン偏極率が小さくなる。このスピン偏極の空間分布は検出電極22内に電荷の空間分布も誘起するので、これを電圧として検出することでスピン波信号を電気信号へ変換することができる。

[0045] 図14は一つの検出電極22とそれに接続された出力配線28a、28bを拡大して上方から見た図である。2つの出力配線28a、28b間に生じる起電力 V_{out} の大きさは、検出電極22と出力配線28a、28bのそれぞれとを接続する2か所の中心を結んだ直線40と磁性層18の磁化方向42との、磁性層18の面内においてなす角度を θ とし、検出電極22の直下での磁性層18を伝搬するスピン波の振幅強度をAとすると、角度 θ と、振幅強度Aに依存する。すなわち、起電力 V_{out} は、 $A \sin \theta$ に比例する。この

関係を利用すれば、同じ強度のスピン波に対するそれぞれの検出電極 22 のスピン波信号から電気信号への変換係数を角度 θ によって変えることができ、重み付けを実現することができる。以下では i 番目の検出電極に対する変換係数を w_i と表現する。

[0046] 第 2 実施形態のスピン波デバイス 1 A を有限インパルス応答フィルタに適用した例を図 15 に示す。図 6 に示した場合と同様に、スピン波の伝搬方向を基準とした検出電極間の距離（検出電極の中心間距離）は入力信号の時間間隔 t_0 とスピン波の群速度 V_g の積の値になるように配置されることが望ましい。磁場、電場、光などの外場を磁性層 18 に与えてその磁気特性を変調すると群速度も変化する。変調後の群速度を V_g' とすると、本実施形態は、時間間隔 $t_0' = d / V_g'$ の信号に対して元の周波数特性とは異なる特性を持ったフィルタとして動作させることもできる。

[0047] なお、スピン波を生成する部分は第 1 実施形態と同様であり、図 13 に示すように磁性層 18 と下地層 12 との間に磁性層 18 に隣接したトンネルバリア層 16 もしくは非磁性導電層 17、さらにトンネルバリア層 16 もしくは非磁性導電層 17 隣接した磁性層 15、この磁性層 15 に隣接した反強磁性層 14 を持つ構造、もしくは図 8、9 に示すように入力電極が多層膜構造になっているような形態をとってもよい。第 1 実施形態と同様の方法で生成されたスピン波インパルス信号は距離に応じた遅延時間後、各検出電極の位置まで到達して変換係数 w_i に応じた電気信号へ変換される。各検出電極に接続されている 2 本の出力配線 28 a、28 b は各々出力端子 A、B に接続されており、すべての検出電極 22 から生じる信号を電氣的合算して外部へ出力される。負の重み付けはそれぞれの出力端子に接続されている出力配線の接続位置を入れ替えることで実現される。精度よく大きな信号を得るために、各検出電極の抵抗は出力端子に接続される後段の回路の入力インピーダンスより十分に大きいことが望ましい。

[0048] 本実施形態に接続される周辺回路の構成上の理由から、グラウンドループによるノイズ発生を抑えたい場合は、図 16 に示すように、検出電極 22 と

磁性層 18 との間にトンネルバリア層 23 を挿入することもできる。その場合、トンネルバリア層 23 の厚さを約 $0.2\text{ nm} \sim 2.0\text{ nm}$ 程度の範囲内の値とすると、スピンプンピングの効果を維持しつつグラウンドループの影響を最小限に抑えることができる。

[0049] 図 14、15 においては長方形の検出電極を一例としたが、スピンホール効果による起電力に対する重み付けを容易に設計する観点に立てば、その面内形状は 2 回の回転対称性もしくは円に代表される高次の回転対称性を有していることが望ましい。

[0050] 以上説明したように、本実施形態によれば、磁性層 18 にインパルス入力電気信号によるスピン波インパルス信号を発生させ、伝搬してきた異なるタイミングで検出電極に入力される信号を電気信号に変換し合算することで、有限インパルス応答を示す高速動作素子を実現することができる。したがって、LSI に集積化が可能でかつ周波数特性の設計自由度の高いスピン波デバイスを実現することができる。

[0051] (第 1 実施例)

次に、本発明の第 1 実施例について図 4 および図 6 を参照して説明する。この実施例は図 4 および図 6 に示すように絶縁層 24 を貫通して磁性層 18 に隣接する 10 個の入力電極 $20_1 \sim 20_{10}$ と、同様に絶縁層 24 を貫通して磁性層 18 に達する 9 個の検出電極 $22_1 \sim 22_9$ を備えている、タップ数 $N = 9$ の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタである。入力電極 $20_1 \sim 20_{10}$ のそれぞれの直径は 50 nm である。設計に当たっては目標の特性として、サンプリング周波数 $f_s = 3.3\text{ GHz}$ のインパルス列からなる包絡線信号に対して、遮断周波数 $f_c = 1\text{ GHz}$ を想定した。ここでは入力電極側から近い順に数えて検出電極 $22_1 \sim 22_9$ と呼ぶ。中間の検出電極 22_5 は基準となる検出電極であって、その直径は 100 nm である。他の検出電極 A_n ($n = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9$) の面積 A_n は検出電極 22_5 の面積 A_5 を基準として次式で設定している。

[数3]

$$A_n = A_5 \times \frac{\pi}{\omega_c T} \times \frac{\sin[(n-5)\omega_c T]}{(n-5)\pi} \quad (3)$$

ここで、遮断角振動数 $\omega_c = 2\pi f_c$ 、サンプリング周期 $T = 1/f_s$ である。上記の値が正になる場合は、図6において紙面に向かって下方の検出電極に接続され、負の場合は上方の出力配線に接続される。検出電極の間隔は、スピン波の群速度として $1\mu\text{m}/\text{ns}$ 、サンプリング周期 T として 300ps を想定して 300nm とした。

[0052] この実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは図4に示す積層構造を有している。磁性層18としてCoFeB、トンネルバリア層16としてMgO、磁性層15としてCoFe/CoFeBの2層積層構造を用いた。磁性層15はIrMnからなる反強磁性層14により紙面の左から右へ向かうように磁化が固着される。一方、磁性層18の磁化は、外部磁界が存在しない場合に、磁性層15の磁化と反平行となっている。

[0053] 本実施例の有限インパルス応答フィルタは、以下のように作製される。まず、ウェーハ（基板）10上に下地層12を形成した後、そのウェーハ10を超高真空スパッタ装置内に配置する。次に、下地層12上に、IrMnからなる反強磁性層14、CoFe/CoFeBからなる磁性層15、MgOからなるトンネルバリア層16、CoFeBからなる磁性層18、およびRuからなるキャップ層（図示せず）を、この順序で積層する。そして、磁場中でのアニールによりCoFe/CoFeBからなる磁性層15の磁化を固着させた。また室温中で磁場を印加してCoFeBからなる磁性層18の磁化をCoFe/CoFeBからなる磁性層15の磁化方向と反平行に固着させる。

[0054] 次に、全面にレジストを塗布し、このレジストを、KrFを用いるステップ露光装置によってパターニングし、レジスト中にGND電極30に対応する位置に開口を形成する。そして、上記開口が形成されたレジストをマスクとして、イオンミリング法を用いて、GND電極30が形成される領域上の

反強磁性層 14、磁性層 15、トンネルバリア層 16、磁性層 18、および Ru からなるキャップ層（図示せず）を削り取り、下地層 12 の上面を露出させる。

[0055] 次に、上記キャップ層上に EB（electron beam：電子線）レジストを塗布して EB 露光を行い、GND 電極 30、入力電極 20₁～20₁₀、および検出電極 22₁～22₉に対応した開口を EB レジストに形成する。そして、GND 電極 30、入力電極 20₁～20₁₀、および検出電極 22₁～22₉に対応した開口を Cu で埋め込み成膜し、EB レジストを除去することにより、GND 電極 30、入力電極 20₁～20₁₀、および検出電極 22₁～22₉を形成する。

[0056] 次に、反強磁性層 14／磁性層 15／トンネルバリア層 16／磁性層 18 からなる多層膜構造、GND 電極 30、入力電極 20₁～20₁₀、および検出電極 22₁～22₉を完全に覆うように SiO₂ 層 24 を成膜する。その後、SiO₂ 層 24 の表面をイオンミリングにより平坦化することで GND 電極 30、入力電極 20₁～20₁₀、および検出電極 22₁～22₉の上面を露出させる。

[0057] 次に、入力電極 20₁～20₁₀ および検出電極 22₁～22₉のそれぞれに接続される入力配線 26 および出力配線 28 の形成を行う。入力配線 26 と出力配線 28 の形成は、全面にレジストを塗布し、このレジストを、KrF ステッパ露光装置を用いてパターニングし、レジスト中に入力電極 20₁～20₁₀ および検出電極 22₁～22₉にそれぞれ接続する開口を形成する。そして、この開口を Cu で埋め込み成膜した後、レジストを除去し形成する。なお、予め、入力電極に半値幅 200 ps のパルス状電流を流し、入力電極に接続したスペクトルアナライザによる信号解析と距離が異なる信号検出電極にて時間分解検出を行って、伝播するスピン波の中心周波数が約 12.4 GHz、群速度が 0.98 μm/ns であることを確認した。

[0058] 次に、入力電極 20₁～20₁₀ と検出電極 22₁～22₉にそれぞれ定バイアス電圧を印加し、繰り返し周波数が 3.3 GHz、半値幅が 200 ps イン

パルスからなるインパルス列を正弦波 $\sin(\omega t)$ で振幅変調した信号を容量カップルを通して入力電極へ入力し、正弦波の周波数を 500MHz から 1.5GHz まで掃引したところ、 1GHz までは振幅 $10\mu\text{A}$ の入力信号と同じ正弦波変調インパルス信号が出力端子から得られたが、 1GHz を超えたところで急激に振幅が小さくなり、本実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタが設計通り動作していることを確認できた。

[0059] さらに、紙面に向かって下から上方向へ磁性層 18 の磁化の向きと平行な方向に 2000e の磁場を印加してスピン波の群速度を $0.75\mu\text{m}/\text{ns}$ として、インパルス列の繰り返し周期 400ps として同様の実験を行ったところ、 750MHz の遮断周波数を得ることができ、印加磁場によってフィルタ特性をチューニングできることも確認した。

[0060] (第2実施例)

次に本発明の第2実施例について説明する。本実施例は、図8および図10に示すように、入力電極および検出電極が多層膜構造を有する有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタである。入検出電極の大きさと配置、個数は第1実施例と同様である。

[0061] この第2実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは、次のように作製される。まず、ウェーハ(基板) 10 上に下地層 12 を形成した後、そのウェーハ 10 を超高真空スパッタ装置内に配置する。続いて、下地層 12 上に CoFeB からなる磁性層 18、 MgO からなるトンネルバリア層 16、 CoFeB/CoFe の積層構造を有する磁性層 15、 IrMn からなる反強磁性層 14、および Ru からなるキャップ層(図示せず)を、この順序で堆積させる。そして、磁場中でのアニールにより CoFe/CoFeB からなる磁性層 15 の磁化を固着させる。その後、磁性層 15 と、 CoFeB からなる磁性層 18 の磁化の向きが互いに反平行となるように室温で磁場を印加して磁性層 18 の磁化を固着した。

[0062] 次に、全面にレジストを塗布し、 KrF を用いたステップ露光装置によって、上記レジストをパターニングし、上記レジストに GND 電極 30 が形成

される領域に開口を形成する。続いて、上記開口が形成されたレジストをマスクとして、イオンミリング法を用いて、GND電極30が形成される領域上の磁性層18、トンネルバリア層16、磁性層15、および上記キャップ層を削り取り、下地層12の上面を露出させる。

[0063] 次に、前記レジストパターンを剥離した後、再び全面にEBレジストを塗布し、EB露光を用いてGND電極30、入力電極20、検出電極30の部分だけレジストが残るようにパターニングする。そして、パターニングされたレジストをマスクとして、イオンミリング法を用いて、レジストが残っていない部分においてトンネルバリア層16の上面が露出するまで磁性層15、反強磁性層14、およびキャップ層を削り取る。

[0064] さらに、パターニングされたレジストをそのままにSiO₂からなる絶縁層24を、スパッタ装置を用いて、トンネルバリア層16の上面が露出している部分に堆積し、イオンミリングで削られなかった入力電極と検出電極が絶縁層24に埋め込まれた状態にする。そして、上記レジストをその上に成膜されているSiO₂層ともども剥離する。

[0065] 次に、再び全面にレジストを塗布して、KrFを用いたステップ露光装置を用いて入力配線26、出力配線28、GND電極30の配線に相当する部分が開口したレジストパターンを形成する。そして開口部にCuを埋め込み成膜して、レジストを剥離することで、入力配線26、出力配線28、GND配線が形成される。

[0066] このようにして作製された有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは第1実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタとほぼ同様の周波数特性を示す一方、入力電極に同じ信号電圧を印加しても3μAの電流しか流れなかった。本実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは、第1実施例に比べて製造工程が増えるが、電流の閉じ込めが効率よく行うことが可能なため、低消費電力な有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタとなる。

[0067] (第3実施例)

次に、本発明の第3実施例について説明する。本実施例は図13、14、15に示すように、検出電極のスピンの検出方法にスピンプンピングとスピンホール効果を用いた有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタである。検出電極22は入力電極側から近い順に数えて検出電極22₁～検出電極22₉の全部で9つあり、形状は図13、14に示すように長方形である。配置は第1実施例と同様である。検出信号の重み付けは図13に示すように磁性層18の磁化方向と検出電極22に生じる起電力を検出する点との位置関係で決まり、図13に示した角度 θ を中間の検出電極22₅においては0度とし、その他の検出電極22_n ($n=1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9$)の角度 θ_n は、

[数4]

$$\theta_n = \sin^{-1} \left\{ \frac{\pi}{\omega_c T} \times \frac{\sin[(n-5)\omega_c T]}{(n-5)\pi} \right\} \quad (4)$$

とする。積層構造、そして磁性層18と磁性層15の磁化の向きも第1実施例と同様である。

[0068] 第3実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは、次のように作製される。まず、ウェーハ（基板）10上に下地層12を形成した後、そのウェーハ10を超高真空スパッタ装置内に配置する。続いて、下地層12上に、IrMnからなる反強磁性層14、CoFe/CoFeBの積層構造を有する磁性層15、MgOからなるトンネルバリア層16、CoFeBからなる磁性層18、およびRuからなるキャップ層（図示せず）を、この順序で積層する。そして、磁場中でのアニールによりCoFe/CoFeBからなる磁性層15の磁化を例えば図13において紙面の左から右方向へ固着させた。また室温中で磁場を印加してCoFeBからなる磁性層18の磁化を磁性層15の磁化方向と反平行に固着させる。

[0069] 次に、全面にレジストを塗布し、このレジストを、KrFを用いたステップ露光装置によってパターニングすることにより、レジスト中にGND電極

に対応する位置に開口を形成する。続いて、開口が形成されたレジストをマスクとして、イオンミリング法を用いて、GND電極30が形成される領域上の反強磁性層14、磁性層15、トンネルバリア層16、磁性層18、および上記キャップ層を削り取り、下地層12の上面を露出させる。

[0070] 次に、上記キャップ層上にEBレジストを塗布してEB露光を行い、EBレジストの、GND電極と入力電極が形成される領域に開口を形成する。そして、GND電極と入力電極が形成される領域に対応した開口をCuで埋め込み成膜し、EBレジストを除去することにより、GND電極と入力電極を形成する。

[0071] 次に、再度EBレジストを塗布してEB露光を行い、検出電極に対応した開口をEBレジストに形成する。そして、検出電極に対応した開口にスピン軌道相互作用の大きいPtで埋め込み成膜し、EBレジストを除去することで検出電極を形成する。

[0072] 次に、反強磁性層14／磁性層15／トンネルバリア層16／磁性層18の多層膜構造、GND電極、入力電極、および検出電極を完全に覆うようにSiO₂層24を成膜する。その後、SiO₂層24の表面を、イオンミリング法を用いて平坦化することでGND電極、入力電極および検出電極の上面を露出させる。

[0073] 次に、入力電極および検出電極のそれぞれに接続される入力配線と出力配線の形成を行う。入力配線と出力配線の形成は、全面にレジストを塗布し、このレジストを、KrFを用いたステッパ露光装置によってパターニングし、レジスト中に入力電極および検出電極にそれぞれ接続する開口を形成する。そして、この開口をCuで埋め込み成膜した後、レジストを除去し形成する。

[0074] このようにして作製された有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタは第1実施例の有限インパルス応答低周波数域透過型フィルタとほぼ同様の周波数特性を示した。また、出力信号強度が第1実施例の20%程度と小さかったが、検出電極に外部より電源を接続する必要がなく低消費電力な有限

インパルス応答低周波数域透過型フィルタが実現することができた。

[0075] 以上説明したように、本発明の各実施形態および各実施例によれば、LSIに集積化が可能でかつ周波数特性の設計自由度の高いスピン波デバイスを実現することができる。

符号の説明

- [0076] 1 スピン波デバイス
- 1 A スピン波デバイス
- 1 0 基板（ウェーハ）
- 1 2 下地層
- 1 4 反強磁性層
- 1 5 磁性層
- 1 6 トンネルバリア層
- 1 7 非磁性導電層
- 1 8 磁性層
- 2 0 入力電極の組
- 2 0₁ ~ 2 0_m 入力電極
- 2 2 検出電極
- 2 2₁ ~ 2 2_n 検出電極
- 2 4 絶縁層
- 2 6 入力配線
- 2 8 出力配線
- 3 0 GND電極

請求の範囲

- [請求項1] 入力インパルス信号を伝える1本の入力配線と、
 下地層を含む多層膜と、
 前記多層膜上に設けられ前記入力インパルス信号を受けることによりスピン波を発生し、前記スピン波を伝搬する第1の磁性層と、
 前記第1の磁性層上に一直線上に配列されるとともに前記入力配線に接続され、前記入力インパルス信号を前記第1の磁性層に伝える複数の入力電極と、
 前記第1の磁性層中を伝搬した前記スピン波を検出する複数の検出電極であって、前記複数の入力電極が配列された前記直線からの距離が異なるようにそれぞれが前記第1の磁性層上に設けられた複数の検出電極と、
 を備え、
 前記検出電極の個数を n ($n \geq 2$) とし、第 i ($n \geq i \geq 1$) 番目の検出電極の前記直線からの距離を L_i とし、前記スピン波の群速度を V_g とし、前記入力インパルス信号のパルス周期を t_0 とすると、隣接する第 i ($n-1 \geq i \geq 1$) 番目の検出電極と第 $i+1$ 番目の検出電極と間の前記直線に直交する方向における距離 d は、
$$d = V_g \times t_0$$

と表されることを特徴とするスピン波デバイス。
- [請求項2] 前記多層膜は、前記第1の磁性層に隣接したスペーサ層と、前記スペーサ層に隣接し、磁化の向きが固定された第2の磁性層とを含むことを特徴とする請求項1記載のスピン波デバイス。
- [請求項3] 前記スペーサ層は、トンネルバリア層であることを特徴とする請求項2記載のスピン波デバイス。
- [請求項4] 前記スペーサ層は、非磁性導電層であることを特徴とする請求項2記載のスピン波デバイス。
- [請求項5] 前記入力電極のそれぞれは、前記第1の磁性層に隣接したスペーサ

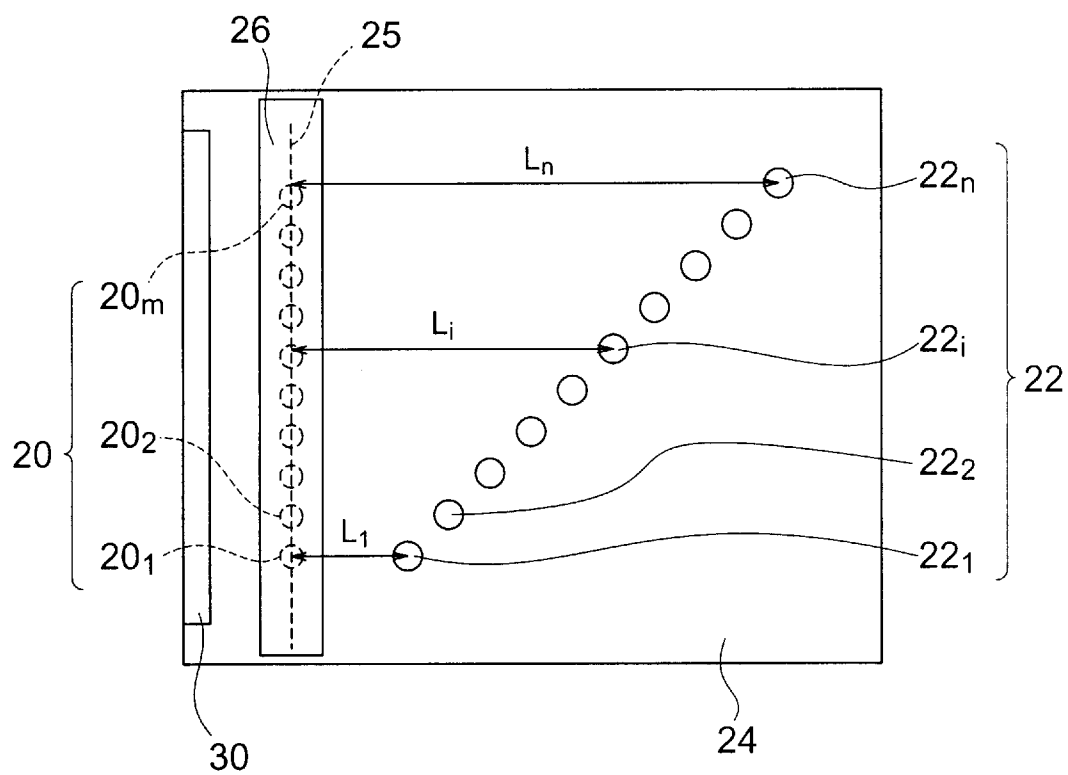
層と、前記スペーサ層に隣接し、磁化の向きが固定された第2の磁性層を含むことを特徴とする請求項1記載のスピン波デバイス。

[請求項6] 前記検出電極のそれぞれは、前記第1の磁性層に隣接したスペーサ層と、前記スペーサ層に隣接し、磁化の向きが固定された第2の磁性層を含むことを特徴とする請求項1記載のスピン波デバイス。

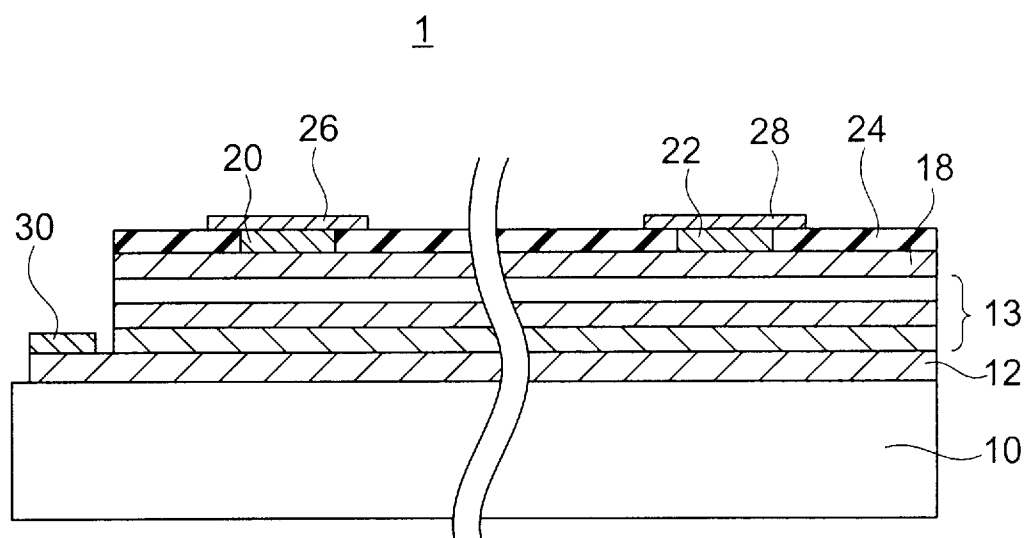
[請求項7] 2本の出力配線を有し、前記複数の検出電極のそれぞれは、前記2本の出力配線と異なる接続点で接続されることを特徴とする請求項1記載のスピン波デバイス。

[請求項8] 前記複数の検出電極のそれぞれは、前記第1の磁性層と間にトンネルバリア層が設けられていることを特徴とする請求項1記載のスピン波デバイス。

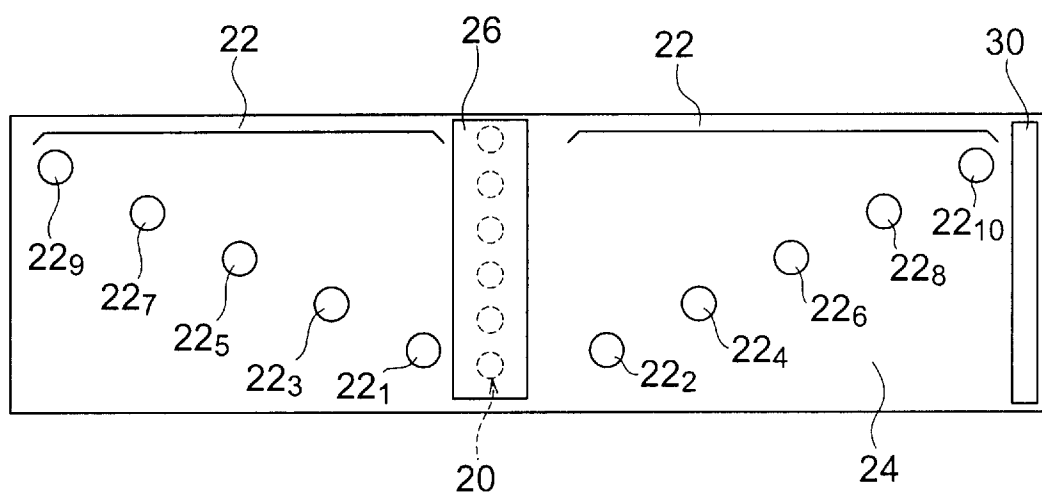
[図1]



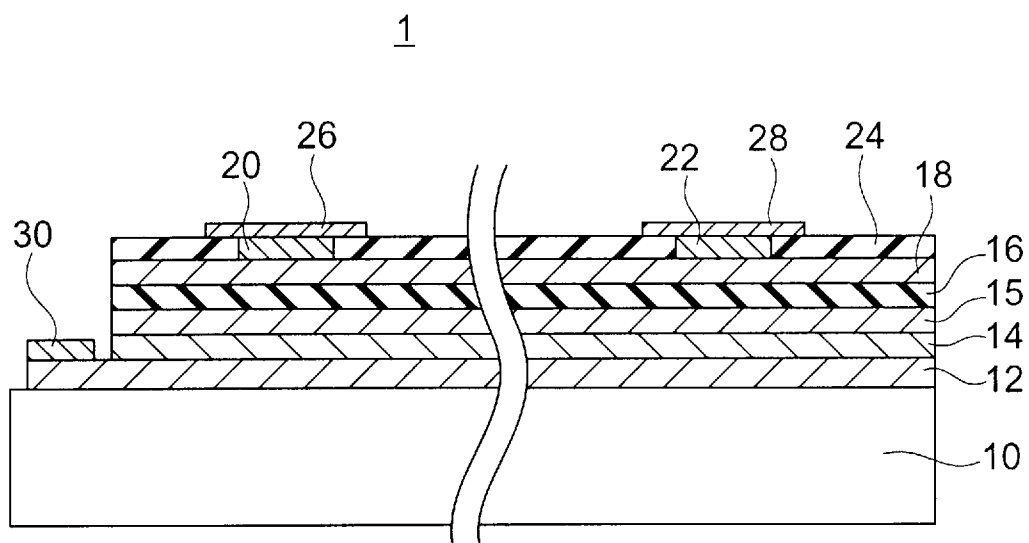
[図2]



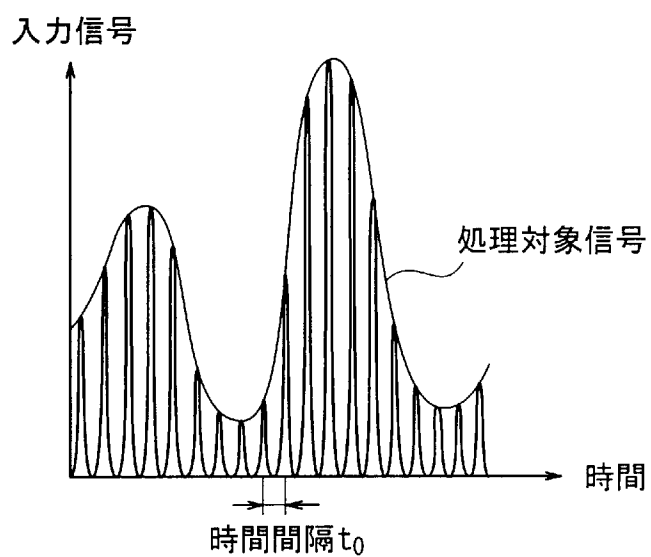
[図3]



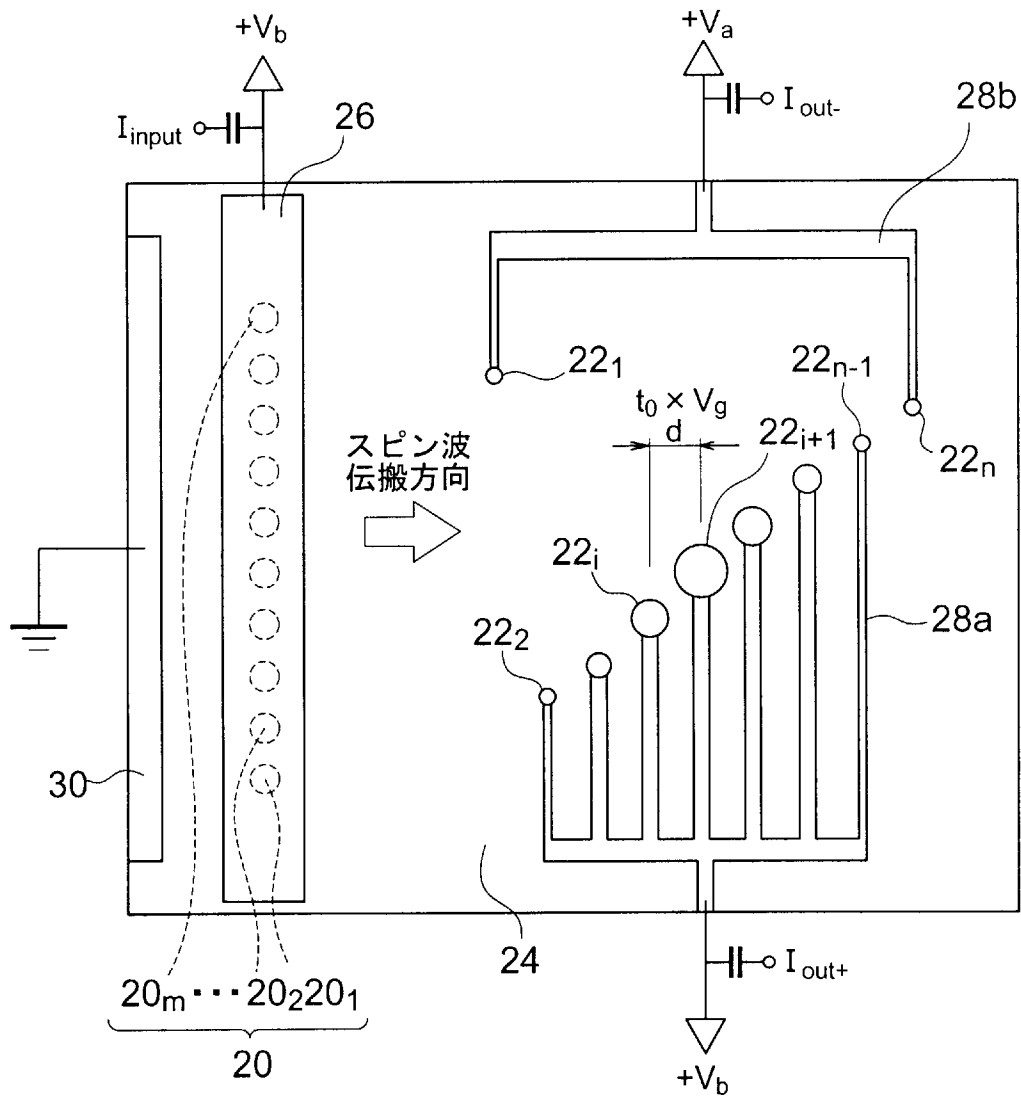
[図4]



[図5]

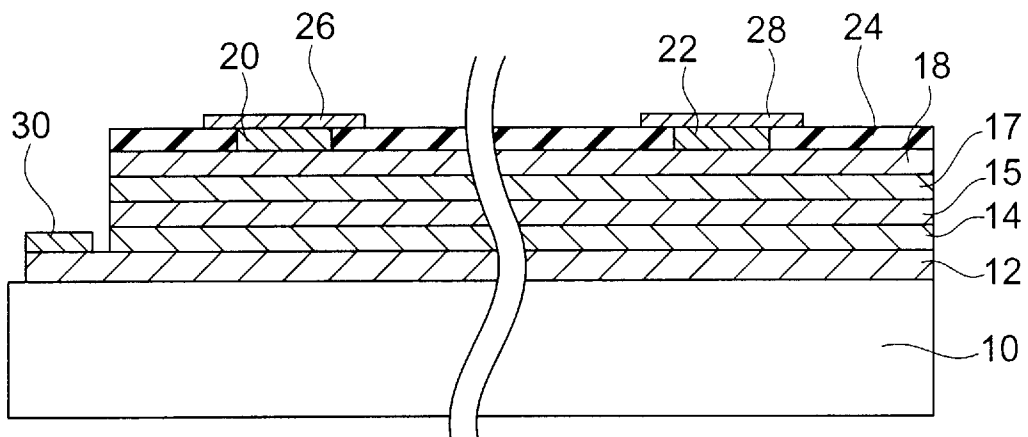


[図6]

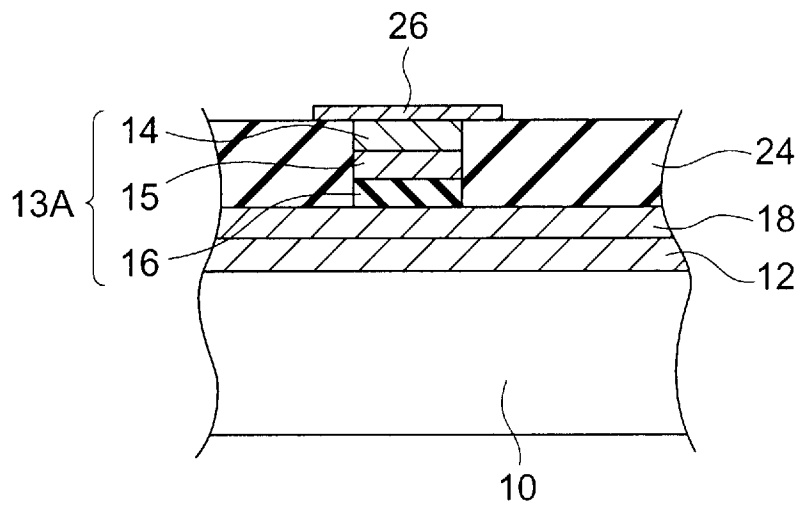


[図7]

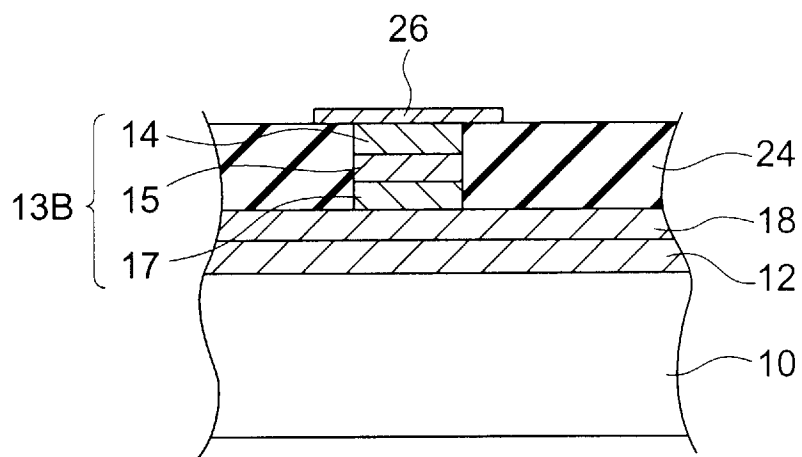
1



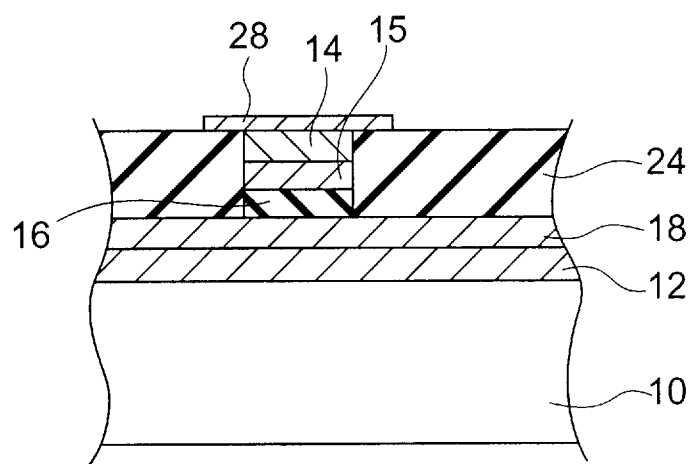
[図8]



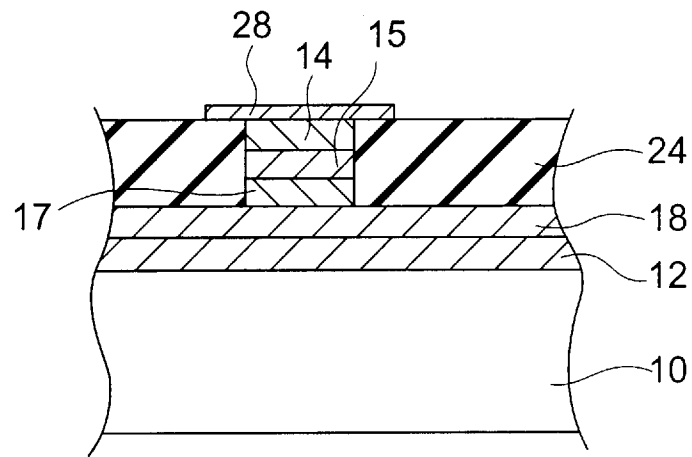
[図9]



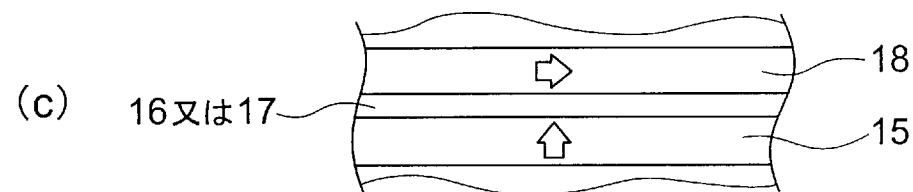
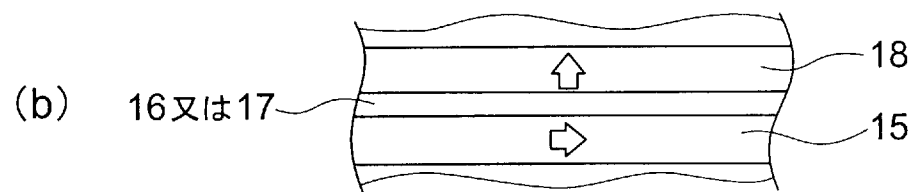
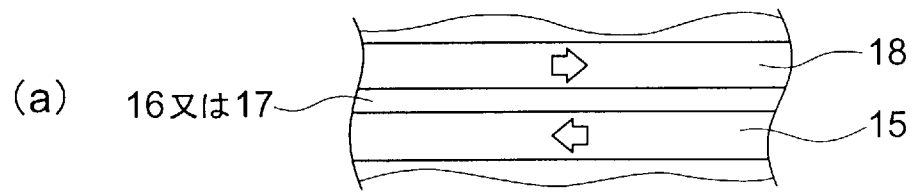
[図10]



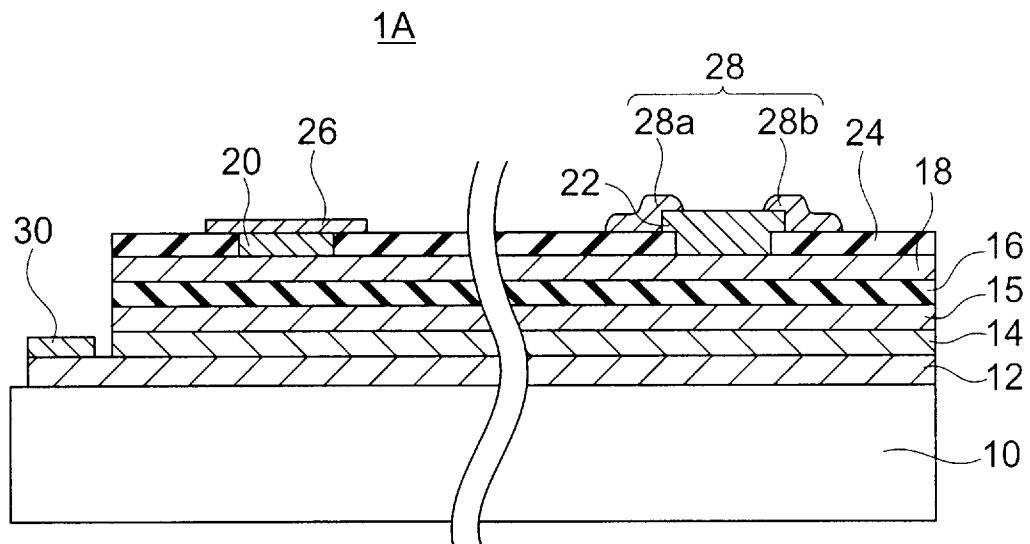
[図11]



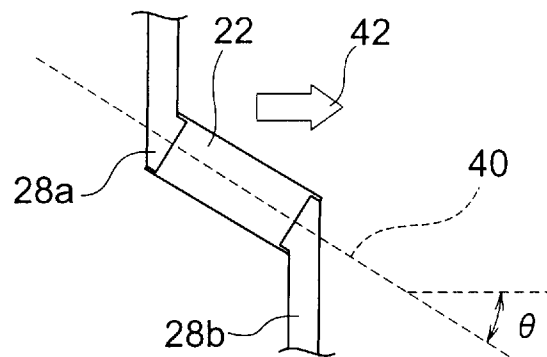
[図12]



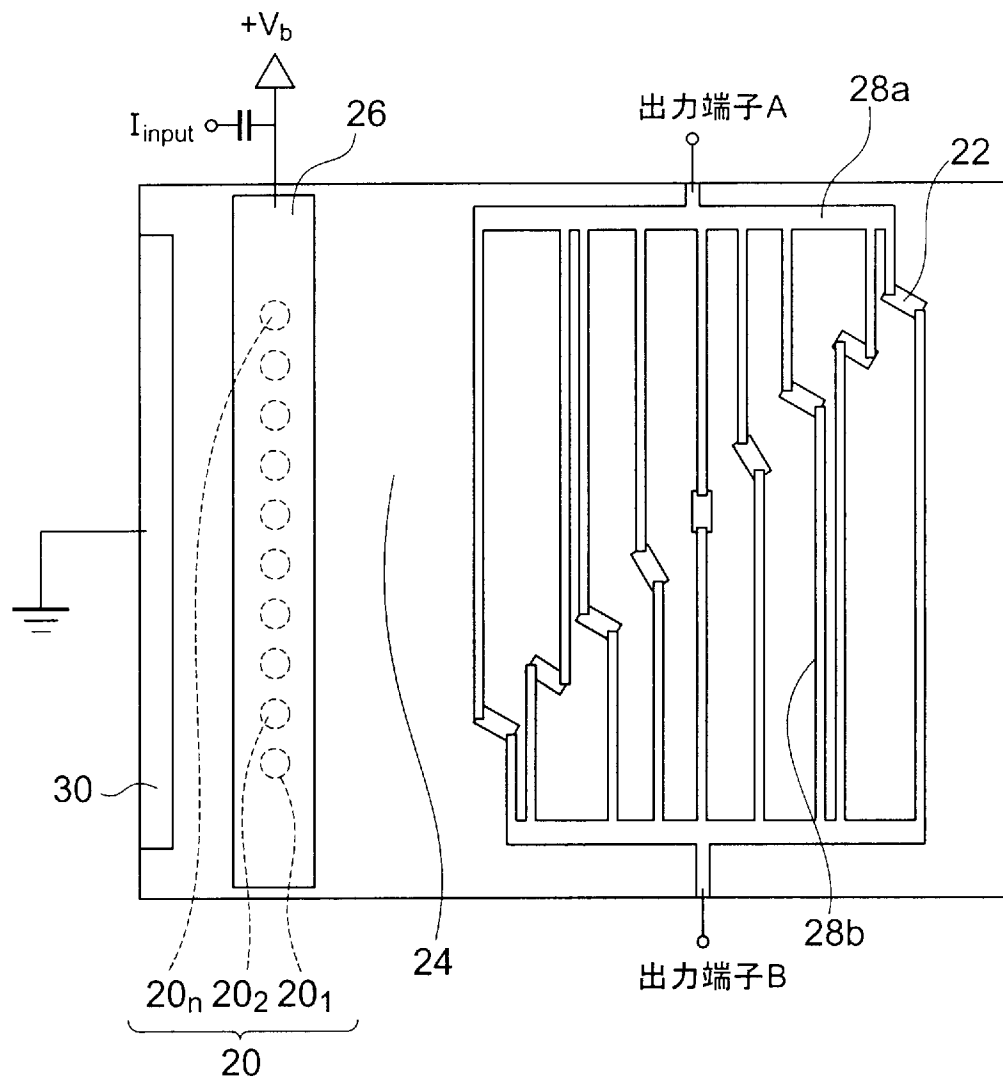
[図13]



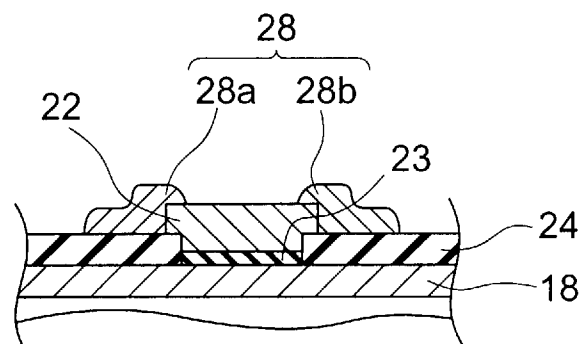
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050624

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03B15/00(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H03H2/00(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03B15/00, H01L29/82, H01L43/08, H03H2/00

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Y.J.Ataiyan, et al., MSSW TRANSVERSAL FILTERS BASED ON CURRENT WEIGHTING IN NARROW (10 μ m) TRANSDUCERS, IEEE MTT-S Digest, 1986, p.575-p.578	1-8
A	JP 2007-124340 A (Toshiba Corp.), 17 May 2007 (17.05.2007), fig. 1; paragraphs [0012] to [0021] & US 2007/0109147 A1	1-8
A	Sang-Koog Kim, et al., A gigahertz-range spin-wave filter composed of width-modulated nanostrip magnonic-crystal waveguides, APPLIED PHYSICS LETTERS, 2009.08.24, Vol.95 No.8, page. 082507	1-8

☒ 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
02 April, 2010 (02.04.10)Date of mailing of the international search report
20 April, 2010 (20.04.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050624

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-176318 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 30 June 2005 (30.06.2005), paragraphs [0116] to [0125]; fig. 14 & US 2007/0075806 A1 & EP 1686689 A1	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03B15/00(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H03H2/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03B15/00, H01L29/82, H01L43/08, H03H2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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	Y. J. Ataiyan、他 4 名, MSSW TRANSVERSAL FILTERS BASED ON CURRENT WEIGHTING IN NARROW (10 μ m) TRANSDUCERS, IEEE MTT-S Digest, 1986, p. 575-p. 578	1-8
A	JP 2007-124340 A (株式会社東芝) 2007.05.17, 図 1, [0012]-[0021] & US 2007/0109147 A1	1-8

☒ 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

02.04.2010

国際調査報告の発送日

20.04.2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 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)

崎間 伸洋

5W

3570

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の 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	Sang-Koog Kim、他 2 名、 A gigahertz-range spin-wave filter composed of width-modulated nanostrip magnonic-crystal waveguides, APPLIED PHYSICS LETTERS, 2009.08.24, Vol.95 No.8, page.082507	1-8
A	JP 2005-176318 A (松下電器産業株式会社) 2005.06.30, [0116]-[0125]、図 14 & US 2007/0075806 A1 & EP 1686689 A1	1-8