

(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
2025年1月9日(09.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/009154 A1

(51) 国際特許分類:
H01F 17/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025134

(22) 国際出願日: 2023年7月6日(06.07.2023)

(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: T D K株式会社(**TDK CORPORATION**)
[JP/JP]; 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 鈴木 英治(**SUZUKI Eiji**); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP). 佐々木 智生(**SASAKI**

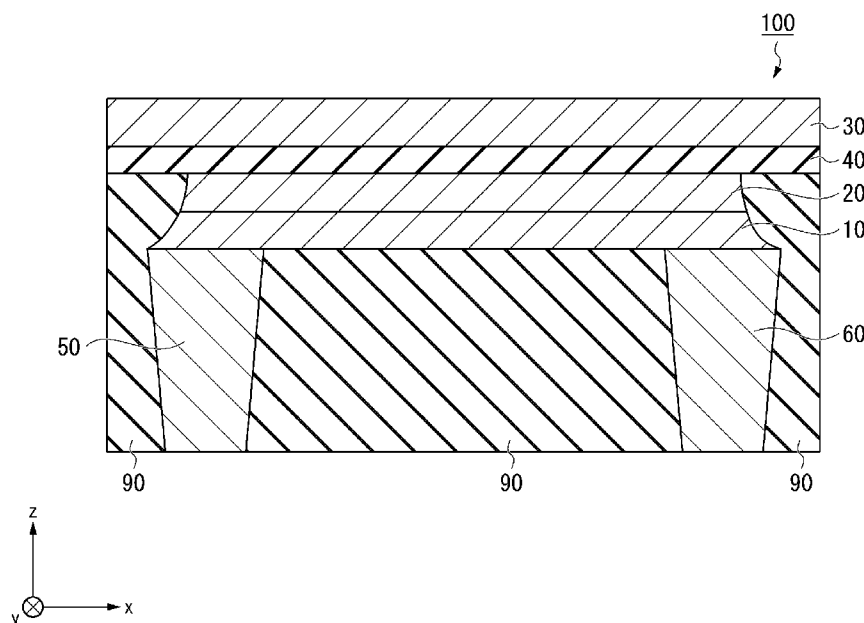
Tomoyuki); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 及 川 周, 外 (**OIKAWA Shu et al.**);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(54) **Title:** SPIN INDUCTOR

(54) 発明の名称: スピンインダクタ



(57) **Abstract:** This spin inductor comprises a wiring layer, a first ferromagnetic layer, and a first heat dissipation layer. The first ferromagnetic layer is in contact with a first surface of the wiring layer. The first heat dissipation layer and the wiring layer sandwich the first ferromagnetic layer in the stacking direction.

(57) 要約: このスピンインダクタは、配線層と、第1強磁性層と、第1放熱層と、を備える。前記第1強磁性層は、前記配線層の第1面に接する。前記第1放熱層と前記配線層は、積層方向において、前記第1強磁性層を挟む。

[続葉有]

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

明 細 書

発明の名称： スピンインダクタ

技術分野

[0001] 本開示は、スピンインダクタに関する。

背景技術

[0002] インダクタは、抵抗やキャパシタと並んで主要な電子部品であり、様々な電子機器に用いられている。コイルは、インダクタの一例である。コイルの大きさとインダクタンスの強度とはトレードオフの関係にあり、小型のコイルで大きなインダクタンスを実現することは難しい。

[0003] 近年、コイルを用いない新たな形態のインダクタに注目が集まっている。コイルを用いない新たな形態のインダクタは、創発インダクタと称される場合がある。例えば、特許文献1、非特許文献1及び非特許文献2には、スピンの振動を利用した新たなインダクタ（以下、スピンインダクタと称する。）が開示されている。スピンインダクタは、素子サイズが小さいほどインダクタンス強度が強くなり、小型化とインダクタンス強度の両立が可能であるとして注目されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2022／181069号

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Yuta Yamane, Shunsuke Fukami, and Junichi Ieda, Physical Review Letters 128, 147201 (2022).

非特許文献2：Yasufumi Arai and Jun'ichi Ieda, Journal of the Physical Society of Japan 92, 074705 (2023).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 小型で大きなインダクタンスを示すインダクタが求められている。スピン

インダクタを含む創発インダクタは、まだ研究の途中であり、様々な問題を抱えている。その一つがスピンインダクタの放熱性である。スピンインダクタは、薄膜を積層した構造を有し、その薄膜を流れる電流により生じる熱を無視できない。

[0007] 本開示は上記事情に鑑みてなされたものであり、放熱効率の高いスピンインダクタ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

[0008] 本開示は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

[0009] (1) 第1の態様に係るスピンインダクタは、配線層と、第1強磁性層と、第1放熱層と、を備える。前記第1強磁性層は、前記配線層の第1面に接する。前記第1放熱層と前記配線層は、積層方向において、前記第1強磁性層を挟む。

[0010] (2) 上記態様に係るスピンインダクタは、第1絶縁層をさらに備えてもよい。前記第1絶縁層は、積層方向において、前記第1強磁性層と前記第1放熱層との間にあってもよい。

[0011] (3) 上記態様に係るスピンインダクタにおいて、前記第1絶縁層は、Si、Ta、Al、Mg、Si及びTiからなる群から選択された少なくとも一つの酸化物又は窒化物を含んでもよい。

[0012] (4) 上記態様に係るスピンインダクタにおいて、前記積層方向から見て、前記第1放熱層は、前記配線層及び前記第1強磁性層の全てを覆ってもよい。

[0013] (5) 上記態様に係るスピンインダクタは、第2放熱層をさらに備えてもよい。前記第1放熱層と前記第2放熱層は、前記積層方向において、前記配線層及び前記第1強磁性層を挟んでもよい。

[0014] (6) 上記態様に係るスピンインダクタは、第1ビア配線と第2ビア配線とをさらに備えてもよい。前記第1ビア配線及び前記第2ビア配線はそれぞれ、前記配線層に接続され、前記第2放熱層は、前記第1ビア配線と前記第2ビア配線との間にあってもよい。

- [0015] (7) 上記態様に係るスピンドクタにおいて、前記第1放熱層の長手方向は、第1方向であり、前記第2放熱層の長手方向は、前記第1方向と交差していてもよい。
- [0016] (8) 上記態様に係るスピンドクタにおいて、前記配線層は、第1方向に電流が流れる主要部と、前記主要部から分岐する第1分岐部とを備えてもよい。前記第1分岐部の少なくとも一部は、前記第1方向と交差する第2方向にずれた位置で、前記主要部に沿う構成でもよい。
- [0017] (9) 上記態様に係るスピンドクタにおいて、前記配線層は、第2分岐部をさらに備えてもよい。前記第2分岐部の少なくとも一部は、前記第1方向と交差する第2方向にずれた位置で、前記主要部に沿い、前記第1分岐部と前記第2分岐部との間には、ギャップがあってもよい。
- [0018] (10) 上記態様に係るスピンドクタは、前記第1放熱層と前記配線層とを繋ぐ第1接続部をさらに備えてもよい。
- [0019] (11) 上記態様に係るスピンドクタは、前記第1放熱層と前記配線層とを繋ぐ第1接続部をさらに備え、前記第1接続部は、前記配線層の前記第1分岐部に接続されていてもよい。
- [0020] (12) 上記態様に係るスピンドクタは、前記第1放熱層と前記第2放熱層とを繋ぐ第2接続部をさらに備えてもよい。
- [0021] (13) 上記態様に係るスピンドクタは、前記配線層と前記第1放熱層と前記第2放熱層とを繋ぐ第3接続部をさらに備えてもよい。
- [0022] (14) 上記態様に係るスピンドクタにおいて、前記第1放熱層は、Ta、NiCr、Ti、SiN、TiN、フェライト、Ni及びFeからなる群から選択されるいずれか一つを含んでもよい。
- [0023] (15) 上記態様に係るスピンドクタにおいて、前記配線層は、前記第1強磁性層にスピンを注入できるように構成され、前記第1強磁性層の磁化は、注入されたスピンによって歳差運動するように構成されていてもよい。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1]第1実施形態に係るスピンドクタの断面図である。

[図2]第1実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図3]第1実施形態に係るスピニングダクタの機能を説明するための模式図である。

[図4]第2実施形態に係るスピニングダクタの断面図である。

[図5]第2実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図6]第3実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図7]第4実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図8]第5実施形態に係るスピニングダクタの断面図である。

[図9]第5実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図10]第5実施形態に係るスピニングダクタの第1変形例の平面図である。

[図11]第5実施形態に係るスピニングダクタの第2変形例の平面図である。

[図12]第6実施形態に係るスピニングダクタの断面図である。

[図13]第6実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図14]第7実施形態に係るスピニングダクタの断面図である。

[図15]第7実施形態に係るスピニングダクタの平面図である。

[図16]第7実施形態に係るスピニングダクタの第1変形例の平面図である。

[図17]本実施形態に係るスピニングダクタの活用例である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本実施形態について、図を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本開示はそれらに限定されるものではなく、本開示の効果を奏する範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[0026] まず方向について定義する。各層が広がる面の一方向をx方向、x方向に対して直交する方向をy方向とする。例えば、配線層10に沿って第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ第1方向をx方向とする。x-y面内において、x方向と直交する第2方向を例えばy方向とする。また各層の厚み

方向を z 方向とする。 x 方向及び y 方向は、 z 方向に対して直交する。 z 方向は、積層方向の一例である。

[0027] 「第1実施形態」

図1は、第1実施形態に係るスピンドクタ100の断面図である。図1は、配線層10の y 方向の中心を通る xz 面に沿ってスピンドクタ100を切断した図である。図2は、第1実施形態に係るスピンドクタ100の平面図である。図2では、第1放熱層30の下方に位置する構成要素を点線で図示する。

[0028] スピンドクタ100は、配線層10と第1強磁性層20と第1放熱層30と第1絶縁層40と第1ビア配線50と第2ビア配線60とを備える。

[0029] スピンドクタ100の周囲は、絶縁層90で被覆されている。絶縁層90は、多層配線の配線間や素子間を絶縁する絶縁層である。絶縁層90は、半導体デバイスの絶縁層に適用されているものと同様の材料を用いることができる。絶縁層90は、例えば、酸化シリコン(SiO_x)、窒化シリコン(SiN_x)、炭化シリコン(SiC)、窒化クロム(CrN)、炭窒化シリコン(SiCN)、酸窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)である。

[0030] スピンドクタ100は、磁性体中の磁化の振動によって動作するインダクタである。スピンドクタ100は、電流の高周波成分をカットし、電流の不変成分を通す。電流は、配線層10に沿って、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間に流れる。スピンドクタ100は、高周波電流をカットしたい部分に配設される。高周波電流はスピンドクタ100でカットされるが、直流電流はスピンドクタ100を流れる。直流電流にとってスピンドクタ100は、抵抗である。

[0031] スピンドクタ100は、配線層10と第1強磁性層20とからなるインダクタ層を複数有してもよい。隣接するインダクタ層の間には、例えば、スペーサ層が挟まれる。スペーサ層は、導体でも、半導体でも、絶縁体でもよい。

[0032] 配線層 10 は、電流が流れる際のスピホール効果によってスピン流を発生させる機能を有する金属、合金、金属間化合物、金属硼化物、金属炭化物、金属珪化物、金属燐化物のいずれかを含む。配線層 10 は、スピン軌道トルク配線と呼ばれる場合もある。

[0033] 配線層 10 は、例えば、主成分として非磁性の重金属を含む。重金属は、イットリウム (Y) 以上の比重を有する金属を意味する。非磁性の重金属は、例えば、最外殻に d 電子又は f 電子を有する原子番号 39 以上の原子番号が大きい非磁性金属である。配線層 10 は、例えば、Hf、Ta、W からなる。非磁性の重金属は、その他の金属よりスピン軌道相互作用が強く生じる。スピホール効果はスピン軌道相互作用により生じる。スピホール効果によって配線層 10 内でスピンの偏在しやすくなると、スピン流 J_s が発生しやすくなる。

[0034] 配線層 10 は、磁性金属を含んでもよい。磁性金属は、強磁性金属又は反強磁性金属である。非磁性体に含まれる微量な磁性金属は、スピンの散乱因子となる。微量とは、例えば、配線層を構成する元素の総モル比の 3% 以下である。スピンの磁性金属により散乱するとスピン軌道相互作用が増強され、電流に対するスピン流の生成効率が高くなる。

[0035] 配線層 10 は、トポロジカル絶縁体を含んでもよい。トポロジカル絶縁体は、物質内部が絶縁体又は高抵抗体であるが、その表面にスピン偏極した金属状態が生じている物質である。トポロジカル絶縁体は、スピン軌道相互作用により内部磁場が生じる。トポロジカル絶縁体は、外部磁場が無くてもスピン軌道相互作用の効果で新たなトポロジカル相が発現する。トポロジカル絶縁体は、強いスピン軌道相互作用とエッジにおける反転対称性の破れにより純スピン流を高効率に生成できる。またトポロジカル絶縁体は、表面にのみ電流が流れるため、少ない電流量で高い電流密度を実現できる。

[0036] トポロジカル絶縁体は、例えば、 Sn 、 SnTe 、 $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_{1.7}\text{Se}_{1.3}$ 、 TlBiSe_2 、 Bi_2Te_3 、 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ 、 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ などである。トポロジカル絶縁体は、高効率にスピン流を生成するこ

とが可能である。

[0037] 第1強磁性層20は、配線層10の第1面と接する。第1強磁性層20は、例えば、配線層10の上面と接する。

[0038] 第1強磁性層20は、強磁性体である。強磁性体は、例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属、これらの金属を1種以上含む合金、これらの金属とB、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とが含まれる合金等である。

[0039] 強磁性体は、例えば、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Fe、Co-Ho合金、Sm-Fe合金、Fe-Pt合金、Co-Pt合金、CoCrPt合金である。CoCrPt合金、L1₀型のCoFe合金は、飽和磁化が大きく、かつ、磁気異方性も強く、これらを第1強磁性層20に用いると、スピンドクタ100の共鳴周波数が高くなる。

[0040] また第1強磁性層20は、磁性絶縁体でもよい。第1強磁性層20が磁性絶縁体の場合、配線層10はトポロジカル絶縁体であることが特に好ましい。磁性絶縁体とトポロジカル絶縁体の接合面のみに電流が流れるため、電流損失を抑え、発熱等によるエネルギー損失を抑えることができる。

[0041] また第1強磁性層20は、フェリ磁性絶縁体や反強磁性絶縁体でもよい。第1強磁性層20が反強磁性絶縁体の場合、配線層10はトポロジカル絶縁体であることが特に好ましい。反強磁性絶縁体とトポロジカル絶縁体の接合面のみに電流が流れるため、電流損失を抑え、発熱等によるエネルギー損失を抑えることができる。さらに、第1強磁性層20が反強磁性絶縁体である場合、第1強磁性層20の共鳴周波数が高くなり、10GHz以上の高周波の領域でも、スピンドクタは共鳴を起こさない。そのため、第1強磁性層20が反強磁性絶縁体であるスピンドクタは、広い帯域において、安定的にインダクタンスを示す。例えば、反強磁性絶縁体は、NiO、MnO、Cr₂O₃、フェライトやガーネットなどの磁性元素を含んだ酸化物、MnSなどの磁性元素を含んだ硫化物、FeCl₂などの磁性元素を含んだ塩化物などである。

- [0042] 第1放熱層30は、インダクタ層で生じた熱の放熱を補助する層である。
第1放熱層30と配線層10とは、z方向において、第1強磁性層20を挟む。第1放熱層30は、例えば、第1絶縁層40を挟んで、第1強磁性層20に近接する。
- [0043] 第1放熱層30は、例えば、Ta、NiCr、Ti、SiN、TiN、フェライト、Ni及びFeからなる群から選択されるいずれか一つを含む。
- [0044] 第1放熱層30は、例えば、z方向から見て、配線層10及び第1強磁性層20を覆う。第1放熱層30が配線層10及び第1強磁性層20を覆うことで、配線層10及び第1強磁性層20で生じた熱の排熱効率が高まる。
- [0045] 第1絶縁層40は、第1強磁性層20と第1放熱層30との間にある。第1絶縁層40は、例えば、Si、Ta、Al、Mg及びTiからなる群から選択された少なくとも一つの酸化物又は窒化物を含む。第1絶縁層40は、熱伝導率が高いものが好ましく、例えば、MgO、AlN、SiN、TiNである。
- [0046] 第1放熱層30が絶縁体の場合は、第1絶縁層40は無くてもよい。第1放熱層30が導電体の場合は、第1絶縁層40を設けることが好ましい。第1絶縁層40が第1放熱層30と第1強磁性層20との間にあると、配線層10を流れる電流の一部が第1放熱層30に分流することを防ぎ、配線層10を流れる電流の電流密度が低下することを抑制できる。
- [0047] 第1ビア配線50及び第2ビア配線60は、導電性を有する材料を含む。
第1ビア配線50及び第2ビア配線60は、例えば、Cu、Al、Ag、Au等である。第1ビア配線50は、配線層10と接する。第2ビア配線60は、第1ビア配線50と異なる位置で、配線層10と接する。第1ビア配線50は、例えば、配線層10の第1端に接続され、第2ビア配線60は、配線層10の第2端に接続される。第1ビア配線50及び第2ビア配線60は、z方向に延びる。
- [0048] スピンインダクタ100は、第1ビア配線50及び第2ビア配線60に代えて、インダクタ層の側面に接する第1端子と第2端子とを有してもよい。

また第1ビア配線50及び第2ビア配線60のそれぞれは、インダクタ層の上面と接してもよい。

[0049] 本実施形態に係るスピニンドクタ100は、各層を積層する積層工程と、各層を所定の形状に加工する加工工程とを繰り返すことで作製できる。積層工程は、例えば、スパッタリング法、化学気相成長法（CVD法）、電子ビーム蒸着法（EB蒸着法）、原子レーザデポジッション法等を用いることができる。加工工程は、例えば、フォトリソグラフィ法等を用いて行うことができる。

[0050] 次いで、スピニンドクタ100の機能について説明する。図3は、スピニンドクタ100の機能を説明するための模式図である。

[0051] スピニンドクタ100は、配線層10に沿って電流が流れた際にインダクタとして機能する。第1ビア配線50と第2ビア配線60との間に電流を印加すると、配線層10の面内に電流が流れる。

[0052] 配線層10内を流れる電流は、スピホール効果によってスピ流を発生させる。

[0053] スピホール効果は、電流を流した場合にスピ軌道相互作用に基づき、電流の流れる方向と直交する方向（例えば、 z 方向）にスピ流が誘起される現象である。スピホール効果は、運動（移動）する電荷（電子）が運動（移動）方向を曲げられる点で、通常のホール効果と共通する。通常のホール効果は、磁場中で運動する荷電粒子の運動方向がローレンツ力によって曲げられる。これに対し、スピホール効果は磁場が存在しなくても、電子が移動するだけ（電流が流れるだけ）でスピの移動方向が曲げられる。

[0054] 例えば、配線層10の x 方向に電流が流れると、例えば、 $-y$ 方向に偏極したスピ S_1 は進行方向に対して $+z$ 方向に曲げられ、 $+y$ 方向に偏極したスピ S_2 は進行方向に対して $-z$ 方向に曲げられる。

[0055] 配線層10で生じたスピ S_1 は、第1強磁性層20に注入される。配線層10と第1強磁性層20との距離がスピ S_1 のスピ拡散長以下であることで、配線層10で生じたスピ S_1 を第1強磁性層20に効率的に注入

できる。配線層 10 と第 1 強磁性層 20 との間には、他の層が挿入されていてもよい。

[0056] 第 1 強磁性層 20 の磁化 M_{20} は、配線層 10 から注入されるスピン S_1 によって歳差運動する。磁化 M_{20} の保磁力と配線層 10 に流す電流の大きさは調整されており、注入されるスピン S_1 によって磁化 M_{20} が反転せずに歳差運動するように構成されている。

[0057] 第 1 強磁性層 20 の磁化 M_{20} が歳差運動すると、磁気モーメントと電流との間でエネルギー変換が生じ、スピンインダクタ 100 はインダクタ機能を発現する。

[0058] 磁化 M_{20} の歳差運動を保つという観点で、磁化 M_{20} は、スピンインダクタ 100 に外部磁場も電流も印加されていない初期状態で、 z 方向又は x 方向に配向する成分を有することが好ましく、 z 方向に配向していることがより好ましい。ここで、「電流が流れていない」とは、配線層 10 に電位差を印加していない状態を意味する。また「外部磁場が印加されていない」とは、第 1 強磁性層 20 に意図的な磁場を印加していない状態を意味する。

[0059] 磁化 M_{20} が y 方向に配向している場合、外部磁場が印加されていない状態でも、磁化反転が生じ、磁化の歳差運動が維持されない場合がある。磁化 M_{20} が x 方向又は z 方向に配向している場合は、無磁場下では磁化反転が生じにくい。スピンインダクタ 100 は、磁気モーメントと電流との間のエネルギー変換を利用してインダクタ機能を発現するため、磁化の歳差運動が止まると、インダクタ機能が十分発現されない。

[0060] なお、磁化 M_{20} が y 方向に配向する場合でも、配線層 10 を流れる電流密度を調整することで磁化の歳差運動を維持することは可能である。

[0061] スピンインダクタ 100 は、第 1 強磁性層 20 の強磁性共鳴の周波数で共鳴現象を生じるため、共鳴周波数近傍ではインダクタとしての安定的な動作が困難である。したがって、スピンインダクタ 100 は、スピンインダクタ 100 の強磁性共鳴周波数よりも十分低い周波数、または、十分高い周波数で使用される。この十分低い周波数、又は、十分高い周波数は、概ね、強磁

性共鳴周波数を基準に、強磁性共鳴周波数から5%以上ずれた周波数を示す。スピンドクタ100は、例えば、10GHzや1THzを超える周波数でもインダクタンスを発生させることが可能である。またスピンドクタ100で生じるインダクタンスは、1nH以下でも十分に機能する。

[0062] スピンドクタ100は、電流と磁気モーメントとの間のエネルギー変換を利用してインダクタ機能を発現するため、小型でも強いインダクタンスを発現できる。例えば、z方向から平面視した際のスピンドクタ100の最大幅が0.003mm以下でも、0.1μH以上10μH以下のインダクタンスを発現できる。小型のインダクタンス素子は、宇宙、極低温等の大型の素子を組み込むことが困難な領域で、特に求められている。また、z方向から平面視した際のスピンドクタ100の最大幅が数十nmで、長さが数百nmサイズでも、スピンドクタ100は、数nH～数百nHのインダクタンスを示す。

[0063] 上述のように、本実施形態に係るスピンドクタ100は、配線層10から注入されるスピンによって第1強磁性層20の磁化M20が歳差運動することで、インダクタとして機能する。このスピンドクタ100は、コイルとは異なる原理で動作し、小型化が可能である。例えば、z方向から平面視した際のスピンドクタ100の最大幅が0.003mm以下でも、0.1μH以上10μH以下のインダクタンスを発現できる。小型のインダクタンス素子は、宇宙、極低温等の大型の素子を組み込むことが困難な領域で、特に求められている。

[0064] また本実施形態に係るインダクタ100は、薄膜のインダクタ層で熱が生じた場合でも、第1放熱層30から熱を効率的に逃がすことができる。

[0065] 「第2実施形態」

図4は、第2実施形態に係るスピンドクタ101の断面図である。図5は、第2実施形態に係るスピンドクタ101の平面図である。第2実施形態に係るスピンドクタ101において、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く

。

[0066] 第2実施形態に係るスピンドクタ101は、配線層10と第1強磁性層20と第1放熱層30と第1絶縁層40と第1ビア配線50と第2ビア配線60と第2放熱層70とを備える。スピンドクタ101の周囲は絶縁層90で覆われている。スピンドクタ101は、第2放熱層70を有する点で、第1実施形態に係るスピンドクタ100と異なる。

[0067] 第2放熱層70は、配線層10の下方に位置する。第2放熱層70と第1放熱層30は、z方向に配線層10及び第1強磁性層20を挟む。第2放熱層70は、x方向において、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間にある。

[0068] 第2放熱層70の周囲は、絶縁層90で被覆され、第2放熱層70は、配線層10、第1ビア配線50及び第2ビア配線60と絶縁されている。

[0069] z方向から見て、第2放熱層70の長手方向はy方向である。第2放熱層70は、例えば、y方向が長手方向である長方形である。第2放熱層70の長手方向は、第1放熱層30の長手方向と異なってもよい。例えば、図5に示すように、第1放熱層30の長手方向がx方向で、第2放熱層70の長手方向がy方向でもよい。第2放熱層70をy方向が長手方向の長方形とすることで、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間の限られた空間に、大きな面積の第2放熱層70を配置できる。

[0070] 第2実施形態に係るスピンドクタ101は、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の効果を奏する。また発熱しやすいインダクタ層を第1放熱層30と第2放熱層70とで挟むことで、スピンドクタ101の排熱効率をより高めることができる。

[0071] 「第3実施形態」

図6は、第3実施形態に係るスピンドクタ102の平面図である。第3実施形態に係るスピンドクタ102の断面は、図1と同等である。第3実施形態に係るスピンドクタ102において、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を

省く。

- [0072] 第3実施形態に係るスピンドクタ102は、配線層10Aと第1強磁性層20Aと第1放熱層30と第1絶縁層40と第1ビア配線50と第2ビア配線60とを備える。スピンドクタ102は、配線層10A及び第1強磁性層20Aの形状が、第1実施形態に係るスピンドクタ100の配線層10及び第1強磁性層20と異なる。
- [0073] 配線層10Aは、主要部11と分岐部12、13とを有する。主要部11は、第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ部分である。分岐部12、13はそれぞれ、主要部11から分岐した部分である。分岐部12、13のそれぞれは、第1分岐部の一例である。
- [0074] 分岐部12は、第1部分121と第2部分122とを有する。第1部分121は、主要部11からy方向にずれた位置にあり、主要部11に沿って延びる。第1部分121は、x方向から傾いた方向に延びていてもよい。第2部分122は、主要部11と第1部分121とを繋ぐ部分である。第2部分122は、主要部11からy方向の成分をもって突出している。
- [0075] 同様に、分岐部13は、第1部分131と第2部分132とを有する。第1部分131は、主要部11からy方向にずれた位置にあり、主要部11に沿って延びる。第1部分131は、x方向から傾いた方向に延びていてもよい。第2部分132は、主要部11と第1部分131とを繋ぐ部分である。第2部分132は、主要部11からy方向の成分をもって突出している。
- [0076] 配線層10Aにおいて、電流の多くは主要部11を流れ、分岐部12、13にはほとんど電流は流れない。主要部11において、電流はx方向に流れる。分岐部12、13における電流密度は、例えば、 1 A/cm^2 以下であり、好ましくは 0.1 A/cm^2 以下である。そのため、配線層10Aに電流を流した場合でも、分岐部12、13はあまり発熱しない。分岐部12、13は、主要部11で生じた熱を放熱する。
- [0077] また第1強磁性層20Aは、主要部21と分岐部22、23とを有する。主要部21は、第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ部分である。

分岐部 2 2、2 3 はそれぞれ、主要部 2 1 から分岐した部分である。

[0078] 分岐部 2 2 は、第 1 部分 2 2 1 と第 2 部分 2 2 2 とを有する。第 1 部分 2 2 1 は、主要部 2 1 から y 方向にずれた位置にあり、主要部 2 1 に沿って延びる。第 1 部分 2 2 1 は、x 方向から傾いた方向に延びていてもよい。第 2 部分 2 2 2 は、主要部 2 1 と第 1 部分 2 2 1 とを繋ぐ部分である。第 2 部分 2 2 2 は、主要部 2 1 から y 方向の成分をもって突出している。

[0079] 同様に、分岐部 2 3 は、第 1 部分 2 3 1 と第 2 部分 2 3 2 とを有する。第 1 部分 2 3 1 は、主要部 2 1 から y 方向にずれた位置にあり、主要部 2 1 に沿って延びる。第 1 部分 2 3 1 は、x 方向から傾いた方向に延びていてもよい。第 2 部分 2 3 2 は、主要部 2 1 と第 1 部分 2 3 1 とを繋ぐ部分である。第 2 部分 2 3 2 は、主要部 2 1 から y 方向の成分をもって突出している。

[0080] 第 1 強磁性層 2 0 A において、電流の多くは主要部 2 1 を流れ、分岐部 2 2、2 3 にはほとんど電流は流れない。主要部 2 1 において、電流は x 方向に流れる。分岐部 2 2、2 3 における電流密度は、例えば、 $1 \text{ A} / \text{cm}^2$ 以下であり、好ましくは $0.1 \text{ A} / \text{cm}^2$ 以下である。分岐部 2 2、2 3 は、主要部 2 1 で生じた熱を放熱する。

[0081] 第 3 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 2 は、第 1 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 0 と同様の効果を奏する。また分岐部 1 2、1 3、2 2、2 3 は、配線層 1 0 A で生じた熱の放熱経路として機能する。そのため、第 3 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 2 は、放熱性に優れる。また分岐部 1 2、1 3、2 2、2 3 にはほとんど電流は流れないため、スピンドクタ 1 0 2 が分岐部 1 2、1 3、2 2、2 3 を有することで、主要部 1 1、2 1 を流れる電流の電流密度が大きく下がることもない。

[0082] ここでは、配線層 1 0 A 及び第 1 強磁性層 2 0 A の両方が分岐部を有する例を示したが、いずれか一方のみが分岐部を有する構成でもよい。すなわち、配線層 1 0 A を配線層 1 0 に置き換えてもよいし、第 1 強磁性層 2 0 A を第 1 強磁性層 2 0 に置き換えてもよい。

[0083] 「第 4 実施形態」

図7は、第4実施形態に係るスピンドクタ103の平面図である。第4実施形態に係るスピンドクタ103の断面は、図1と同等である。第4実施形態に係るスピンドクタ103において、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0084] 第4実施形態に係るスピンドクタ103は、配線層10Bと第1強磁性層20Bと第1放熱層30と第1絶縁層40と第1ビア配線50と第2ビア配線60とを備える。スピンドクタ103は、配線層10B及び第1強磁性層20Bの形状が、第1実施形態に係るスピンドクタ100の配線層10及び第1強磁性層20と異なる。

[0085] 配線層10Bは、主要部11と分岐部12、13、14、15とを有する。主要部11は、第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ部分である。分岐部12、13、14、15はそれぞれ、主要部11から分岐した部分である。分岐部12、13、14、15はそれぞれ、主要部11からy方向にずれた位置にあり、主要部11に沿って延びる部分を有する。分岐部12、13のそれぞれは、第1分岐部の一例である。分岐部14、15のそれぞれは、第2分岐部の一例である。

[0086] 分岐部12、13は、主要部11の第1端から分岐する。分岐部14、15は、主要部11の第2端から分岐する。分岐部12と分岐部14との間にはギャップGがあり、分岐部12と分岐部14とは電氣的に接続されていない。そのため、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間に、分岐部12及び分岐部14を介した電流経路は形成されない。同様に、分岐部13と分岐部15との間にはギャップGがあり、分岐部13と分岐部15とは電氣的に接続されていない。そのため、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間に、分岐部13及び分岐部15を介した電流経路は形成されない。

[0087] 配線層10Bにおいて、電流の多くは主要部11を流れ、分岐部12、13、14、15にはほとんど電流は流れない。主要部11において、電流はx方向に流れる。分岐部12、13、14、15における電流密度は、例え

ば、 1 A/cm^2 以下であり、 0.1 A/cm^2 以下である。そのため、配線層10Bに電流を流した場合でも、分岐部12、13、14、15はあまり発熱しない。分岐部12、13、14、15は、主要部11で生じた熱を放熱する。

[0088] 第1強磁性層20Bは、主要部21と分岐部22、23、24、25とを有する。主要部21は、第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ部分である。分岐部22、23、24、25はそれぞれ、主要部21から分岐した部分である。分岐部22、23、24、25はそれぞれ、主要部21からy方向にずれた位置にあり、主要部21に沿って延びる部分を有する。

[0089] 分岐部22、23は、主要部21の第1端から分岐する。分岐部24、25は、主要部21の第2端から分岐する。分岐部22と分岐部24との間にはギャップGがあり、分岐部22と分岐部24とは電氣的に接続されていない。同様に、分岐部23と分岐部25との間にはギャップGがあり、分岐部23と分岐部25とは電氣的に接続されていない。

[0090] 第1強磁性層20Bにおいて、電流の多くは主要部21を流れ、分岐部22、23、24、25にはほとんど電流は流れない。主要部21において、電流はx方向に流れる。分岐部22、23、24、25における電流密度は、例えば、 1 A/cm^2 以下であり、 0.1 A/cm^2 以下である。そのため、第1強磁性層20Bに電流を流した場合でも、分岐部22、23、24、25はあまり発熱しない。分岐部22、23、24、25は、主要部21で生じた熱を放熱する。

[0091] 第4実施形態に係るスピンドクタ103は、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の効果を奏する。また分岐部12、13、14、15、22、23、24、25は、配線層10Bで生じた熱の放熱経路として機能する。そのため、第4実施形態に係るスピンドクタ103は、放熱性に優れる。

[0092] ここでは、配線層10B及び第1強磁性層20Bの両方が分岐部を有する例を示したが、いずれか一方のみが分岐部を有する構成でもよい。すなわち

、配線層10Bを配線層10に置き換えてもよいし、第1強磁性層20Bを第1強磁性層20に置き換えてもよい。また分岐部12、13、14、15、22、23、24、25にはほとんど電流は流れないため、スピニンドクタ103が分岐部12、13、14、15、22、23、24、25を有することで、主要部11、21を流れる電流の電流密度が大きく下がることもない。

[0093] 「第5実施形態」

図8は、第5実施形態に係るスピニンドクタ104の断面図である。図8は、配線層10Aのy方向の中心を通るxz面に沿ってスピニンドクタ104を切断した図である。図8において、紙面手前側の構成要素を点線で図示する。図9は、第5実施形態に係るスピニンドクタ104の平面図である。図9では、第1放熱層30の下方に位置する構成要素を点線で図示する。第5実施形態に係るスピニンドクタ104において、第3実施形態に係るスピニンドクタ102と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0094] 第5実施形態に係るスピニンドクタ104は、配線層10Aと第1強磁性層20Aと第1放熱層30と第1絶縁層40と第1ビア配線50と第2ビア配線60と接続部81とを備える。スピニンドクタ104は、接続部81を有する点が、第3実施形態に係るスピニンドクタ102と異なる。

[0095] 接続部81は、配線層10Aと第1放熱層30とを繋ぐ。接続部81は、第1接続部の一例である。接続部81は、例えば、分岐部12と第1放熱層30とを繋ぐ。また接続部81は、例えば、分岐部13と第1放熱層30とを繋ぐ。分岐部12、13にはほとんど電流が流れないため、接続部81及び第1放熱層30にもほとんど電流は流れない。そのため、第1ビア配線50と第2ビア配線60との間に流れる電流において、分岐部12又は分岐部13、接続部81、第1放熱層30の順に流れる電流経路は形成されない。

[0096] 接続部81は、分岐部12、13から熱を第1放熱層30に向かって逃がす。そのため、接続部81は、主要部11で生じた熱が分岐部12、13に

蓄積することを抑制する。

[0097] 第5実施形態に係るスピンドクタ104は、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の効果を奏する。また分岐部12、13、22、23は、配線層10Aで生じた熱の放熱経路として機能する。また接続部81は、熱を第1放熱層30に向かって逃がすため、分岐部12、13、22、23に熱が蓄積されることを抑制する。第5実施形態に係るスピンドクタ104は、放熱性に優れる。

[0098] ここでは、配線層10Aと第1放熱層30とを接続部81で繋ぐ例を示したが、第5実施形態に係るスピンドクタはこの例に限られない。

[0099] 図10は、第5実施形態に係るスピンドクタの第1変形例の平面図である。第1変形例に係るスピンドクタ104Aは、配線層10Aが配線層10であり、第1強磁性層20Aが第1強磁性層20である点が図9に示すスピンドクタ104と異なる。

[0100] スピンドクタ104Aは、配線層10と第1放熱層30とを繋ぐ接続部81を有する。接続部81は、第1ビア配線50と第2ビア配線60とを繋ぐ直線からy方向にずれた位置にあることが好ましい。第1変形例に係るスピンドクタ104においても、配線層10で生じた熱を効率的に第1放熱層30に伝えることができる。スピンドクタ104Aは、接続部81を介した電流ロスが生じるものの、高い放熱性を有している。

[0101] 図11は、第5実施形態に係るスピンドクタの第2変形例の平面図である。第2変形例に係るスピンドクタ104Bは、配線層10Aが配線層10Bであり、第1強磁性層20Aが第1強磁性層20Bである点が図9に示すスピンドクタ104と異なる。配線層10B、第1強磁性層20Bの構成は、図7と同等である。

[0102] スピンドクタ104Bは、配線層10Bと第1放熱層30とを繋ぐ接続部81を有する。接続部81は、例えば、分岐部12又は分岐部13と第1放熱層30とを繋ぐ。例えば、一方の接続部81を分岐部12と接続した場合、もう一方の接続部は分岐部13と接続することが好ましい。例えば、

一方の接続部 8 1 を分岐部 1 2 と接続し、他方の接続部 8 1 を分岐部 1 5 と接続した場合、第 1 ビア配線 5 0、分岐部 1 2、第 1 放熱層 3 0、接続部 8 1、分岐部 1 5、第 2 ビア配線 6 0 という電流経路が形成され、電流ロスが生じるためである。

[0103] また第 1 放熱層 3 0 を複数の領域に区分し、それぞれの領域を電氣的に絶縁してもよい。この場合、接続部 8 1 から第 1 放熱層 3 0 の一部の領域に至った電流が他の領域に至ることはできないため、電流ロスの原因と成る電流経路が形成されにくくなる。

[0104] 「第 6 実施形態」

図 1 2 は、第 6 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 5 の断面図である。図 1 2 は、配線層 1 0 の y 方向の中心を通る x z 面に沿ってスピンドクタ 1 0 5 を切断した図である。図 1 2 において、紙面手前側の構成要素を点線で図示する。図 1 3 は、第 5 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 4 の平面図である。図 1 3 では、第 1 放熱層 3 0 の下方に位置する構成要素を点線で図示する。第 6 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 5 において、第 2 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 1 と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0105] 第 6 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 5 は、配線層 1 0 と第 1 強磁性層 2 0 と第 1 放熱層 3 0 と第 1 絶縁層 4 0 と第 1 ビア配線 5 0 と第 2 ビア配線 6 0 と第 2 放熱層 7 0 と接続部 8 2 とを備える。スピンドクタ 1 0 5 は、接続部 8 2 を有する点が、第 2 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 1 と異なる。

[0106] 接続部 8 2 は、第 1 放熱層 3 0 と第 2 放熱層 7 0 とを繋ぐ。接続部 8 2 は、第 2 接続部の一例である。接続部 8 2 は、第 1 放熱層 3 0 と第 2 放熱層 7 0 との間で熱を伝導する。接続部 8 2 で第 1 放熱層 3 0 と第 2 放熱層 7 0 とを繋ぐことで、第 1 放熱層 3 0 又は第 2 放熱層 7 0 に熱が蓄積されることをより抑制できる。

[0107] 第 6 実施形態に係るスピンドクタ 1 0 5 は、第 2 実施形態に係るスピ

ンインダクタ１００と同様の効果を奏する。また接続部８２は、第１放熱層３０と第２放熱層７０との間の熱伝導を担うため、熱が局所的に蓄積されることを防ぐ。そのため、第６実施形態に係るスピニンダクタ１０５は、放熱性に優れる。

[0108] 「第７実施形態」

図１４は、第７実施形態に係るスピニンダクタ１０６の断面図である。図１４は、配線層１０Ａのｙ方向の中心を通るｘｚ面に沿ってスピニンダクタ１０６を切断した図である。図１４において、紙面手前側の構成要素を点線で図示する。図１５は、第７実施形態に係るスピニンダクタ１０６の平面図である。図１５では、第１放熱層３０の下方に位置する構成要素を点線で図示する。第７実施形態に係るスピニンダクタ１０６において、第２実施形態に係るスピニンダクタ１０１及び第３実施形態に係るスピニンダクタ１０２と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0109] 第７実施形態に係るスピニンダクタ１０６は、配線層１０Ａと第１強磁性層２０Ａと第１放熱層３０と第１絶縁層４０と第１ビア配線５０と第２ビア配線６０と第２放熱層７０と接続部８３とを備える。スピニンダクタ１０６は、第２放熱層７０及び接続部８３を有する点が、第３実施形態に係るスピニンダクタ１０２と異なる。

[0110] 接続部８３は、配線層１０Ａと第１放熱層３０と第２放熱層７０とを繋ぐ。接続部８３は、第３接続部の一例である。接続部８３は、例えば、分岐部１２、１３のそれぞれと第１放熱層３０と第２放熱層７０とを繋ぐ。分岐部１２、１３にはほとんど電流が流れないため、接続部８１、第１放熱層３０及び第２放熱層７０にもほとんど電流は流れない。そのため、第１ビア配線５０と第２ビア配線６０との間に流れる電流が接続部８３を介して、第１放熱層３０及び第２放熱層７０に至ることはほとんどない。

[0111] 接続部８３は、分岐部１２、１３から熱を第１放熱層３０及び第２放熱層７０に向かって逃がす。そのため、接続部８３は、主要部１１で生じた熱が分岐部１２、１３に蓄積することを抑制する。

- [0112] 第7実施形態に係るスピンドクタ106は、第1実施形態に係るスピンドクタ100と同様の効果を奏する。また分岐部12、13、22、23は、配線層10Aで生じた熱の放熱経路として機能する。また接続部83は、熱を第1放熱層30及び第2放熱層70に向かって逃がすため、分岐部12、13、22、23に熱が蓄積されることを抑制する。第7実施形態に係るスピンドクタ106は、放熱性に優れる。
- [0113] ここでは、配線層10Aと第1放熱層30と第2放熱層70とを接続部83で繋ぐ例を示したが、第7実施形態に係るスピンドクタはこの例に限られない。
- [0114] 図16は、第7実施形態に係るスピンドクタの第1変形例の平面図である。第1変形例に係るスピンドクタ106Bは、配線層10Aが配線層10Bであり、第1強磁性層20Aが第1強磁性層20Bである点が図15に示すスピンドクタ106と異なる。配線層10B、第1強磁性層20Bの構成は、図7と同等である。
- [0115] スピンドクタ106Aは、配線層10Bと第1放熱層30と第2放熱層70とを繋ぐ接続部83を有する。接続部83は、例えば、分岐部12又は分岐部13と第1放熱層30と第2放熱層70とを繋ぐ。例えば、一方の接続部83を分岐部12と接続した場合、もう一方の接続部83は分岐部13と接続することが好ましい。
- [0116] また第1放熱層30を複数の領域に区分し、それぞれの領域を電氣的に絶縁してもよい。この場合、接続部81から第1放熱層30の一部の領域に至った電流が他の領域に至ることはできないため、電流ロスの原因と成る電流経路が形成されにくくなる。
- [0117] 以上、第1実施形態から第7実施形態を例示し、スピンドクタの具体的な構成について説明した。本開示に係るスピンドクタは、これらの例示される構成に限られず、趣旨を満たす範囲で様々な変更が可能である。また本開示に係るスピンドクタは、例えば、モジュールに組み込んで活用することができる。図17は、本実施形態に係るスピンドクタの活用例

を示す。

[0118] 近年、半導体回路とメモリなどの特定の機能を持ったデバイスを一つのチップ化する検討がされている。半導体回路とメモリなどのデバイスをワンチップ化する技術は、「チップレット」や「ヘテロインテグレーション」と呼ばれている。これらをワンチップ化することで、レイテンシを低減し、消費電力を削減し、コストを削減できる。これらの技術を用いた場合であっても、チップが動作するためにはチップの周辺に受動部品を別途に配置する必要がある。したがって、チップを高集積化しても受動部品がモジュールの微細化の課題となりえる。受動部品をチップレットやヘテロインテグレーションに組み込むことで、モジュールの更なる微細化が期待される。

[0119] 図17に示すチップCは、半導体回路L1、接続層L2、配線層L3、メモリ層L4、センサ層L5、LCR（受動部品）層L6、全固体薄膜バッテリー層L7を有し、これらが順に積層されている。各層の層間は接合されワンチップ化されているが、図17では理解を容易にするために間隔をあけている。本開示にかかるスピニンドクタは例えばLCR層L6に形成される。LCR層L6は、従来の電子部品であるインダクタンス、キャパシタンス、抵抗などの受動部品だけでなく、スピニンドクタやスピン可変キャパシタンスなどを形成してもよい。LCR層L6は、他の層とのコンタクトビアで接続され、チップC全体で一つのモジュールとして活用される。本開示に係るスピニンドクタは、図17に示すようなセンサや電源も有し、自律的に情報収集ができるデバイスに適用できる。

[0120] 以上、本実施形態のいくつかの例を具体的に説明したが、本開示はこれらの具体例に限られるものではない。たとえば、それぞれの実施形態の特徴的な構成を組み合わせてもよい。

符号の説明

[0121] 10、10A、10B 配線層

11、21 主要部

12、13、14、15、21、22、23、24、25 分岐部

20、20A、20B 第1強磁性層

30 第1放熱層

40 第1絶縁層

50 第1ビア配線

60 第2ビア配線

70 第2放熱層

81、82、83 接続部

90 絶縁層

100、101、102、103、104、104A、104B、105、

106、106A、106B スピンインダクタ

121、131、221、231 第1部分

122、132、222、232 第2部分

G ギャップ

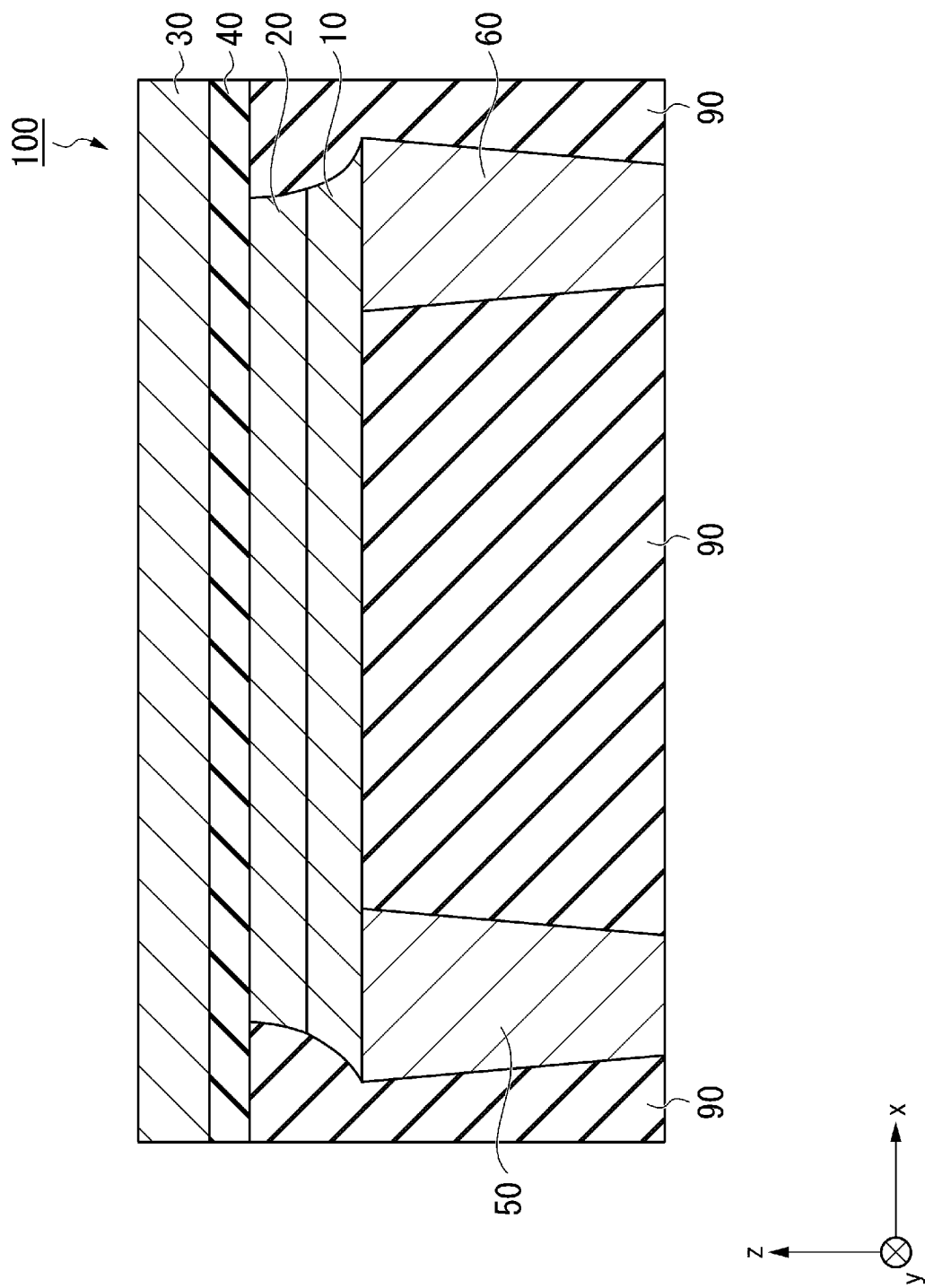
請求の範囲

- [請求項1] 配線層と、第1強磁性層と、第1放熱層と、を備え、
前記第1強磁性層は、前記配線層の第1面に接し、
前記第1放熱層と前記配線層は、積層方向において、前記第1強磁性層を挟む、スピンドクタ。
- [請求項2] 第1絶縁層をさらに備え、
前記第1絶縁層は、積層方向において、前記第1強磁性層と前記第1放熱層との間にある、請求項1に記載のスピンドクタ。
- [請求項3] 前記第1絶縁層は、Si、Ta、Al、Mg及びTiからなる群から選択された少なくとも一つの酸化物又は窒化物を含む、請求項2に記載のスピンドクタ。
- [請求項4] 前記積層方向から見て、前記第1放熱層は、前記配線層及び前記第1強磁性層の全てを覆う、請求項1に記載のスピンドクタ。
- [請求項5] 第2放熱層をさらに備え、
前記第1放熱層と前記第2放熱層は、前記積層方向において、前記配線層及び前記第1強磁性層を挟む、請求項1に記載のスピンドクタ。
- [請求項6] 第1ビア配線と第2ビア配線とをさらに備え、
前記第1ビア配線及び前記第2ビア配線はそれぞれ、前記配線層に接続され、
前記第2放熱層は、前記第1ビア配線と前記第2ビア配線との間にある、請求項5に記載のスピンドクタ。
- [請求項7] 前記第1放熱層の長手方向は、第1方向であり、
前記第2放熱層の長手方向は、前記第1方向と交差している、請求項5に記載のスピンドクタ。
- [請求項8] 前記配線層は、第1方向に電流が流れる主要部と、前記主要部から分岐する第1分岐部とを備え、
前記第1分岐部の少なくとも一部は、前記第1方向と交差する第2

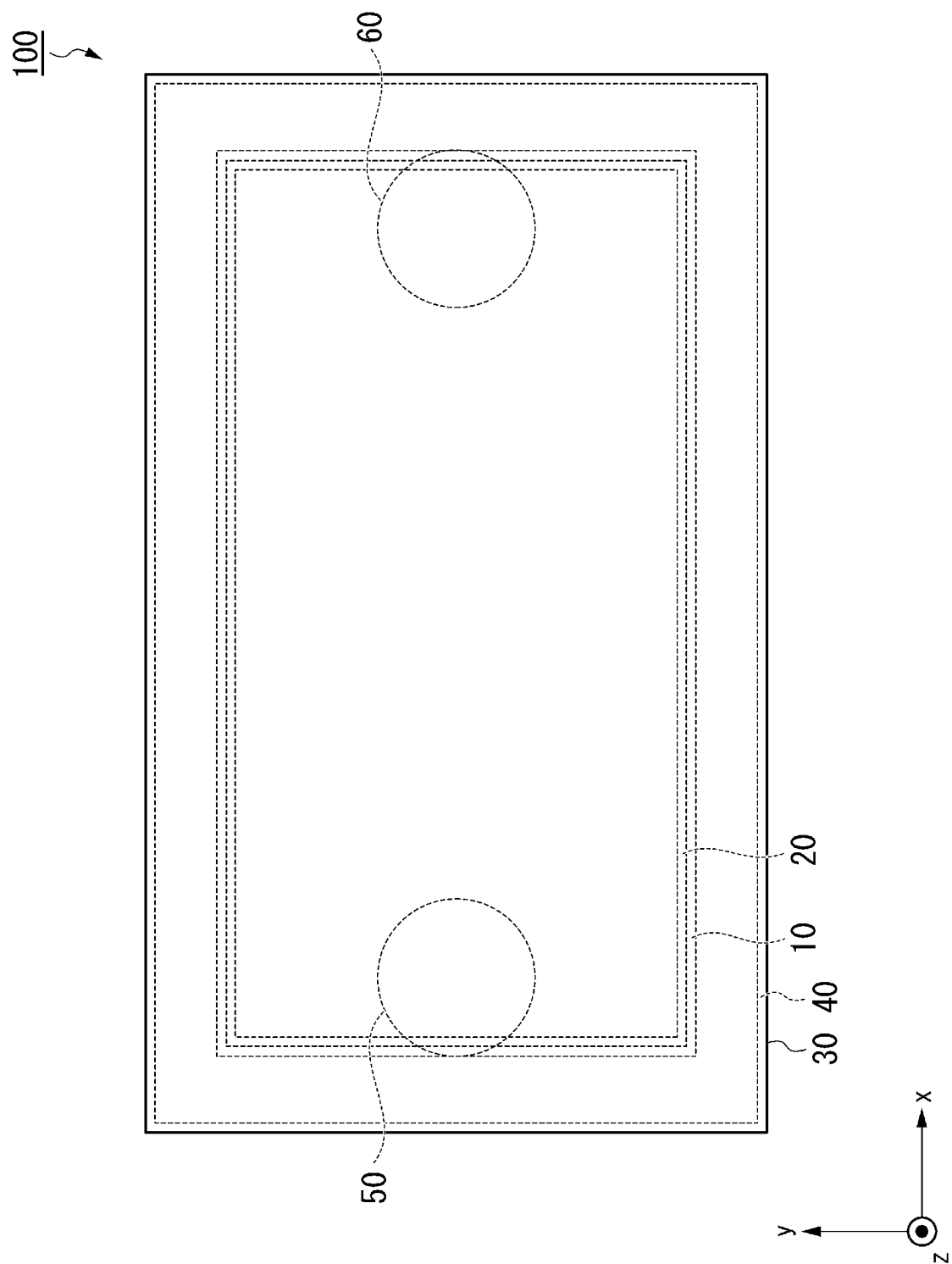
方向にずれた位置で、前記主要部に沿う、請求項 1 に記載のスピンインダクタ。

- [請求項9] 前記配線層は、第 2 分岐部をさらに備え、
前記第 2 分岐部の少なくとも一部は、前記第 1 方向と交差する第 2 方向にずれた位置で、前記主要部に沿い、
前記第 1 分岐部と前記第 2 分岐部との間には、ギャップがある、請求項 8 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項10] 前記第 1 放熱層と前記配線層とを繋ぐ第 1 接続部をさらに備える、請求項 1 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項11] 前記第 1 放熱層と前記配線層とを繋ぐ第 1 接続部をさらに備え、
前記第 1 接続部は、前記配線層の前記第 1 分岐部に接続されている、請求項 8 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項12] 前記第 1 放熱層と前記第 2 放熱層とを繋ぐ第 2 接続部をさらに備える、請求項 5 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項13] 前記配線層と前記第 1 放熱層と前記第 2 放熱層とを繋ぐ第 3 接続部をさらに備える、請求項 5 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項14] 前記第 1 放熱層は、Ta、NiCr、Ti、SiN、TiN、フェライト、Ni 及び Fe からなる群から選択されるいずれか一つを含む、請求項 1 に記載のスピンインダクタ。
- [請求項15] 前記配線層は、前記第 1 強磁性層にスピンを注入できるように構成され、
前記第 1 強磁性層の磁化は、注入されたスピンによって歳差運動するように構成されている、請求項 1 に記載のスピンインダクタ。

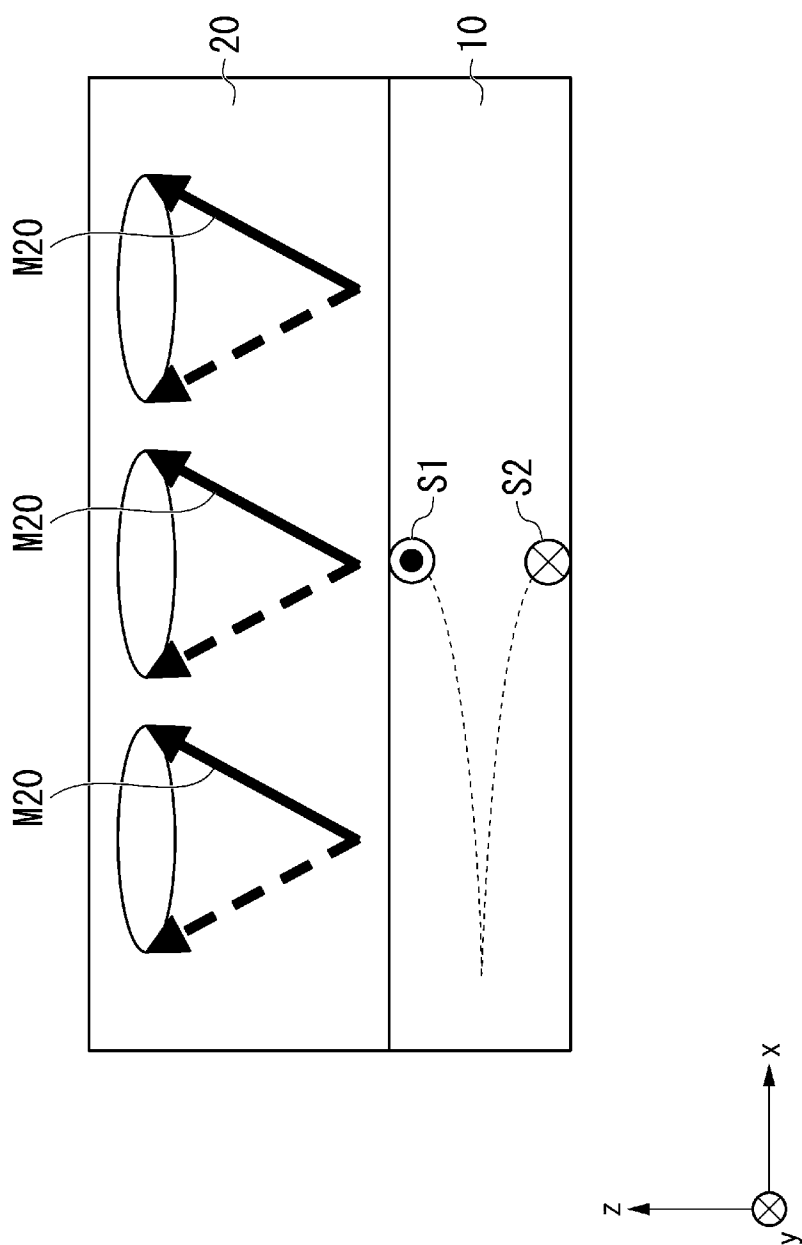
[図1]



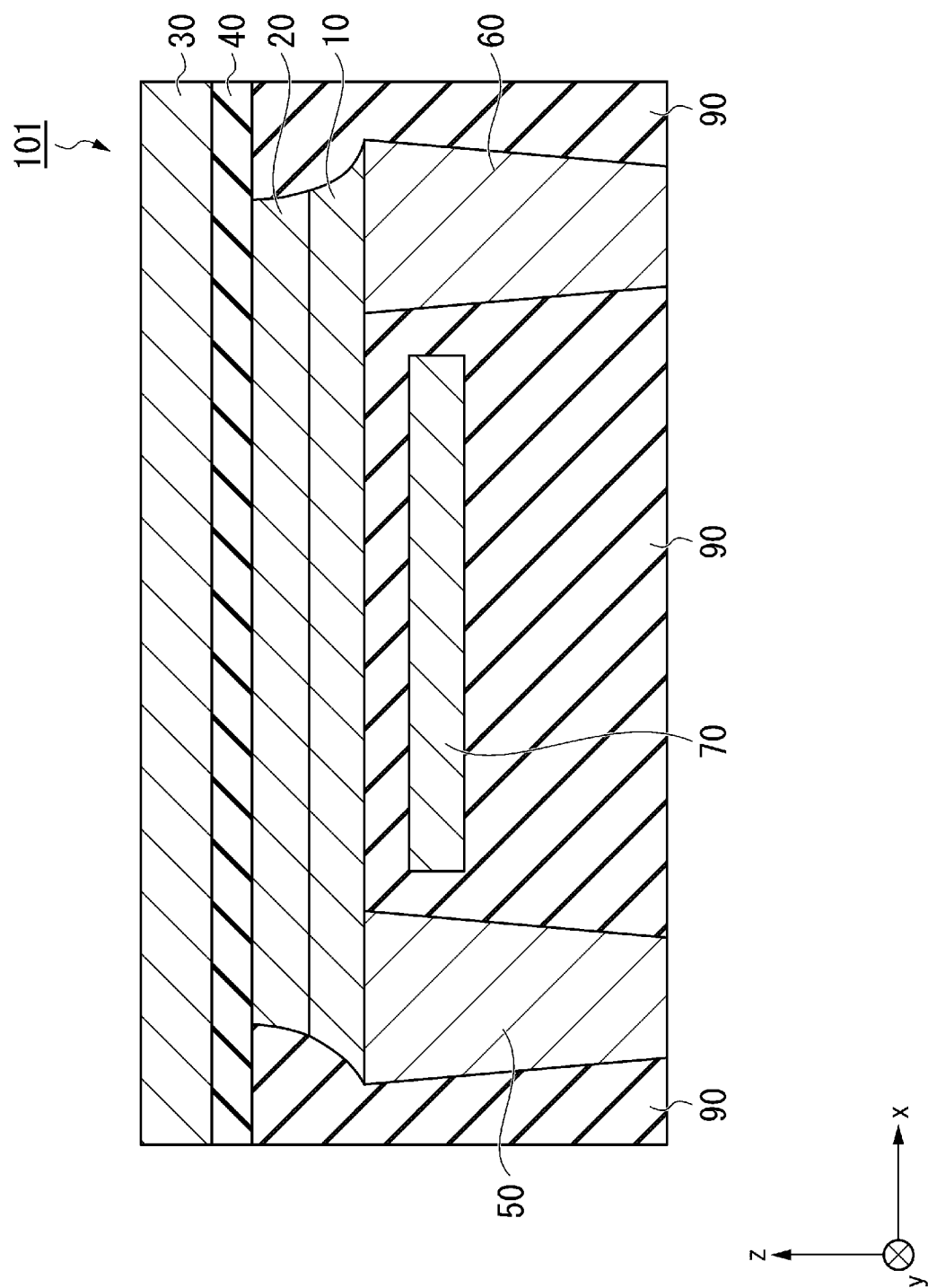
[図2]



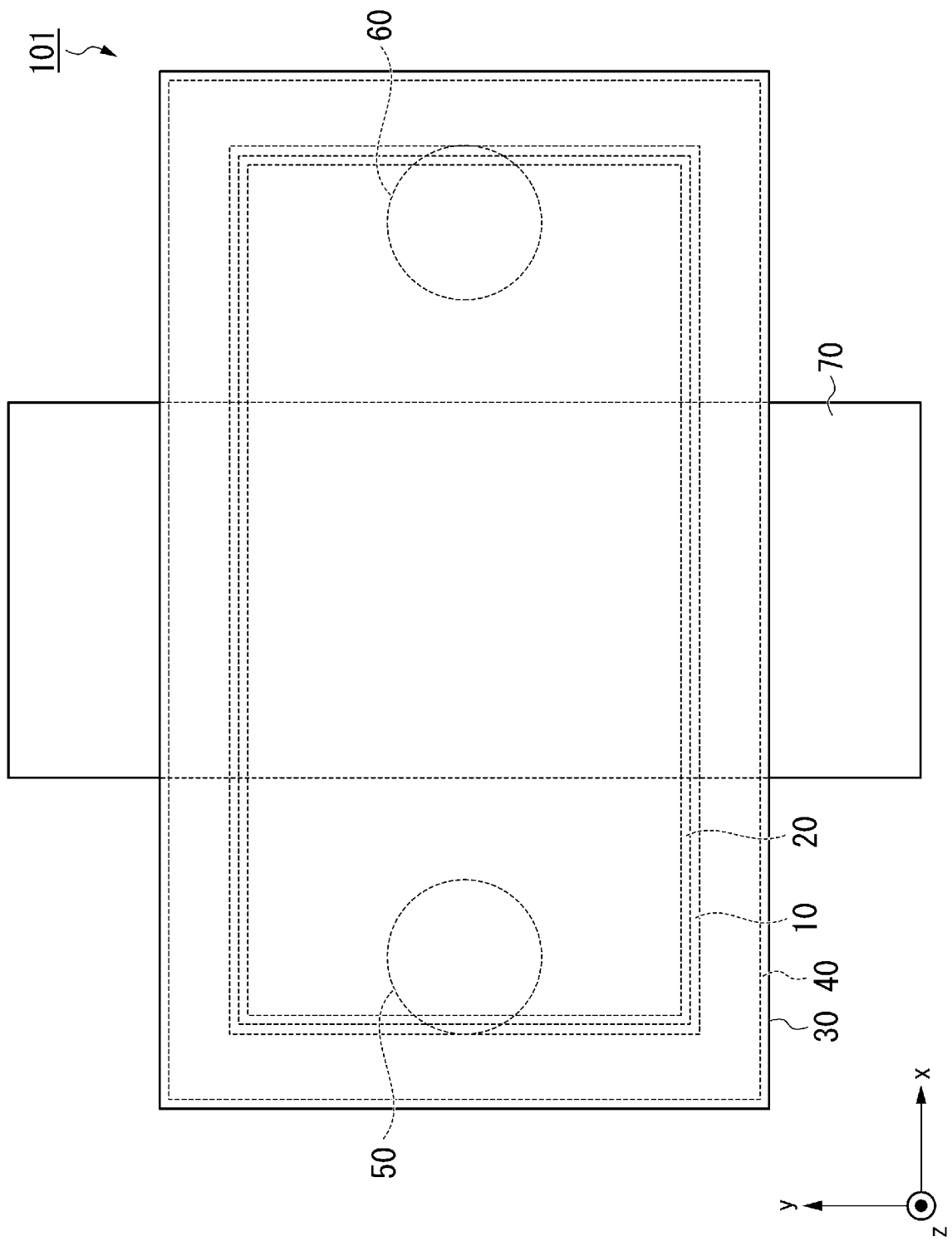
[図3]



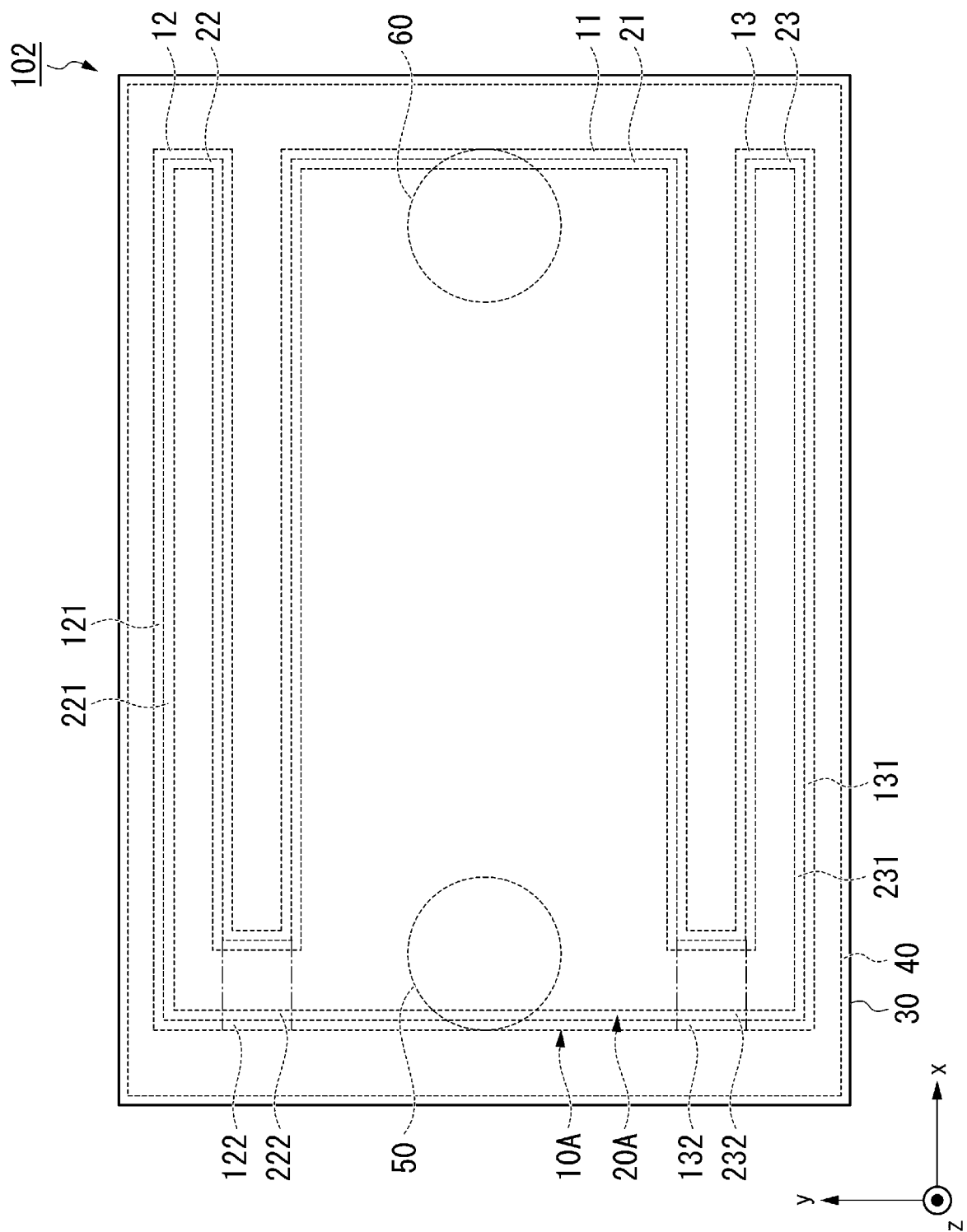
[図4]



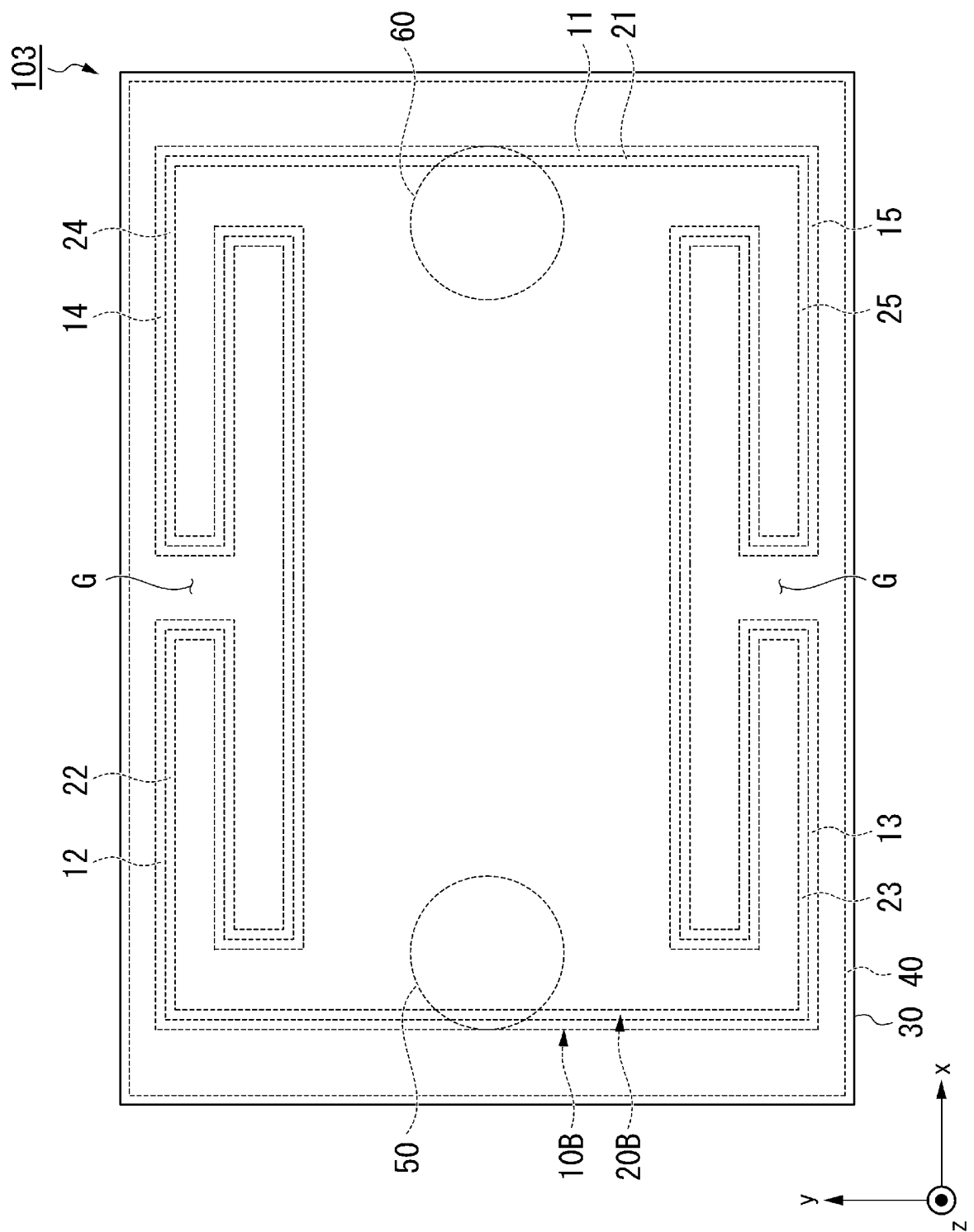
[図5]



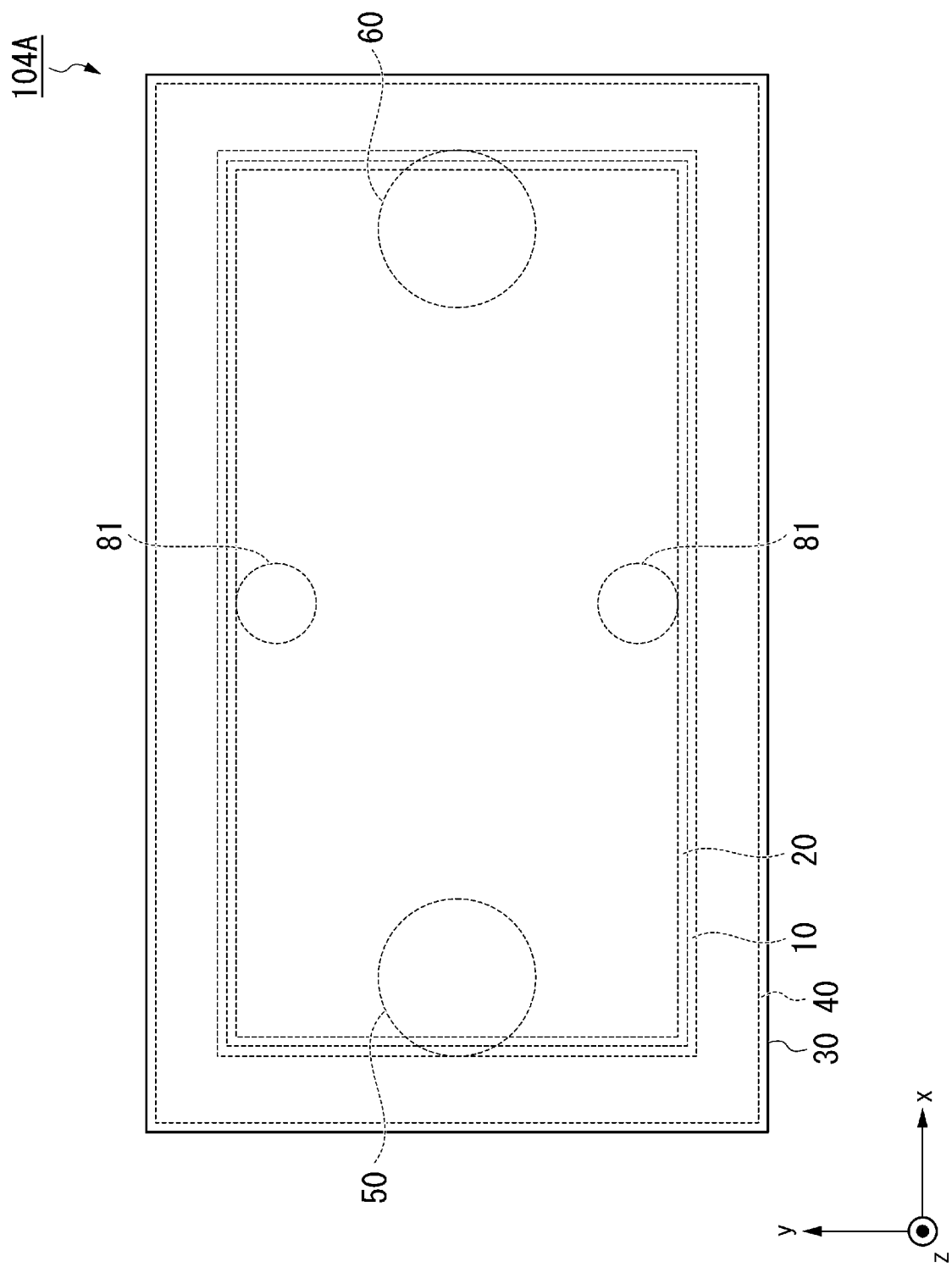
[図6]



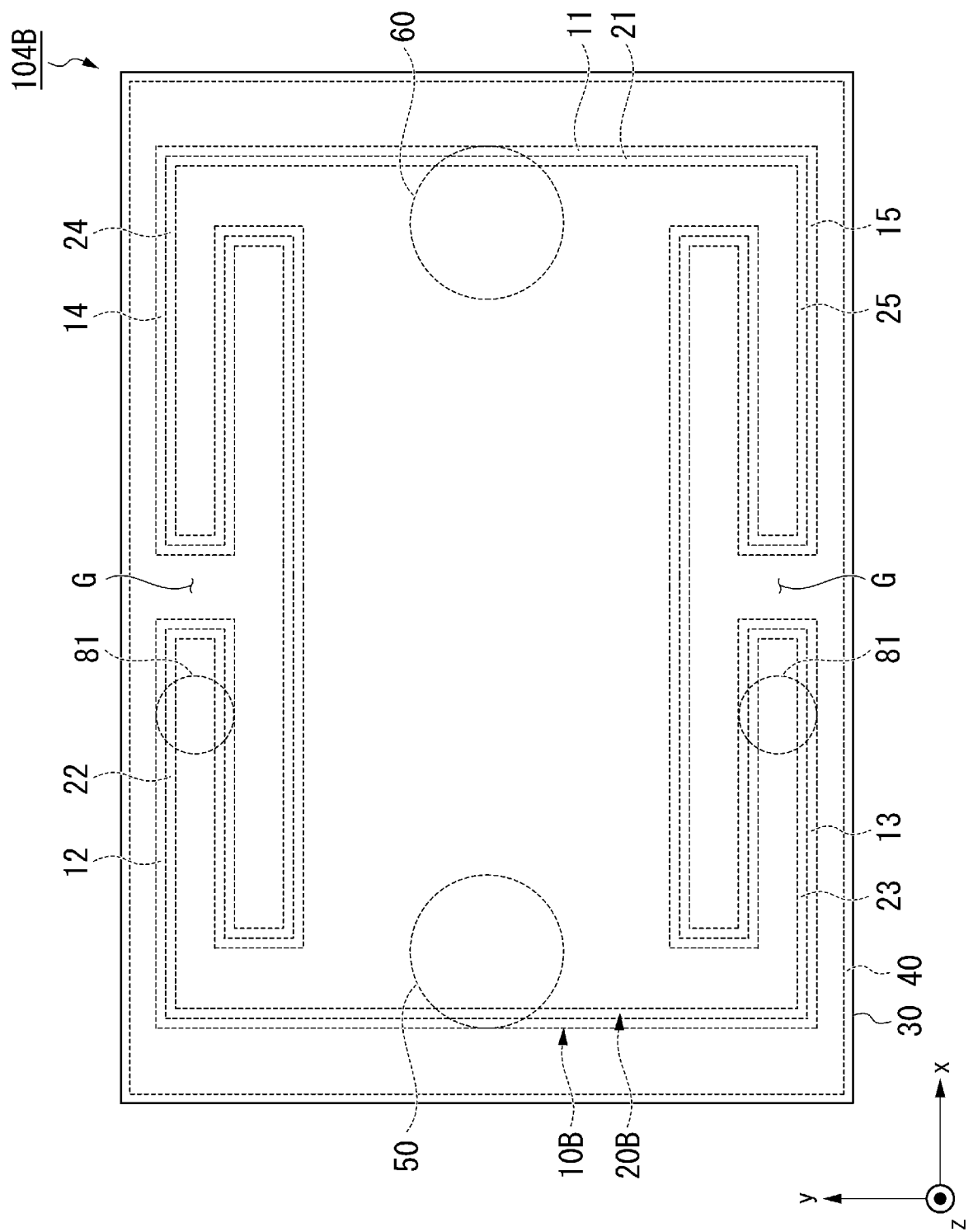
[図7]



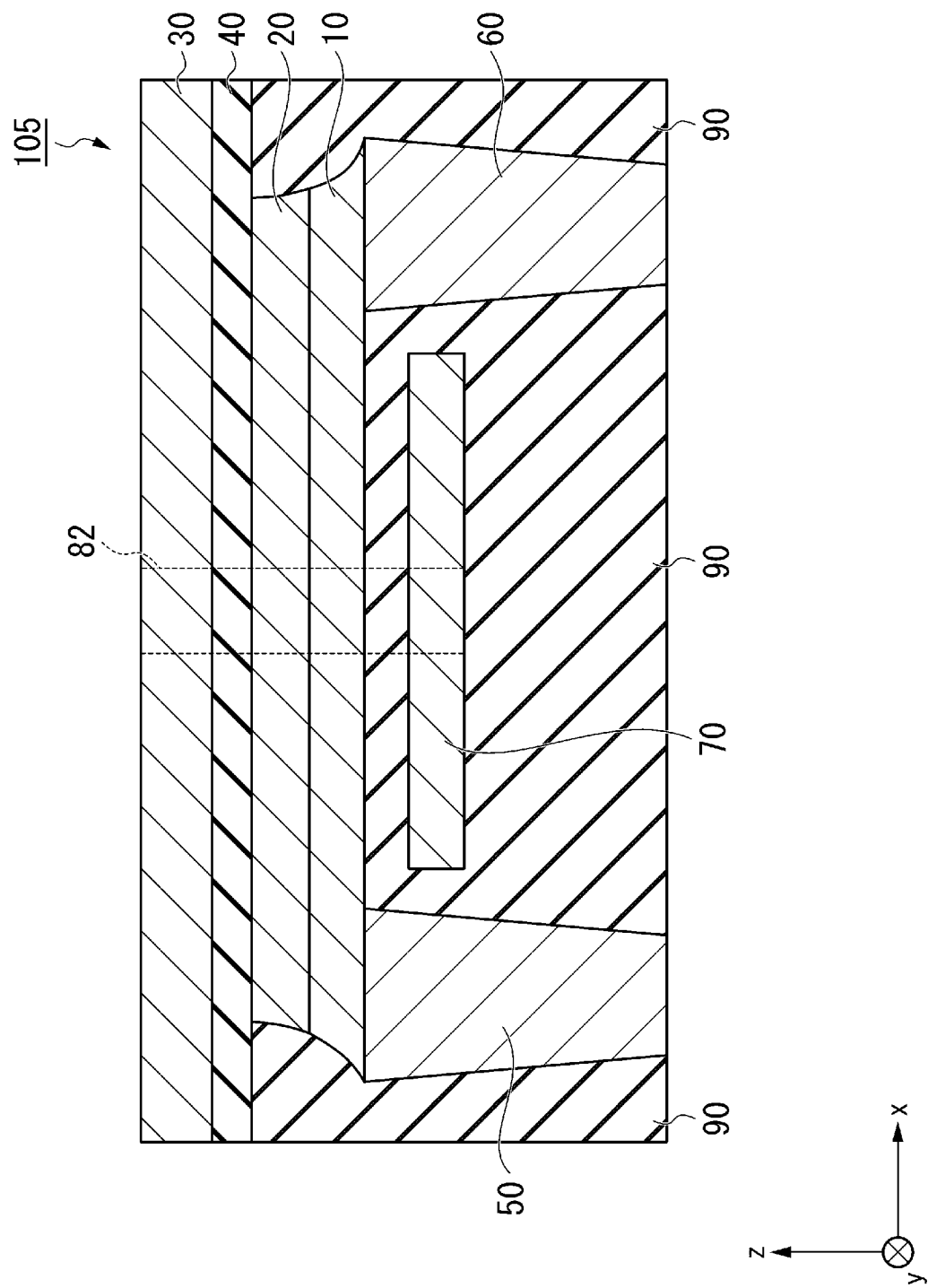
[図10]



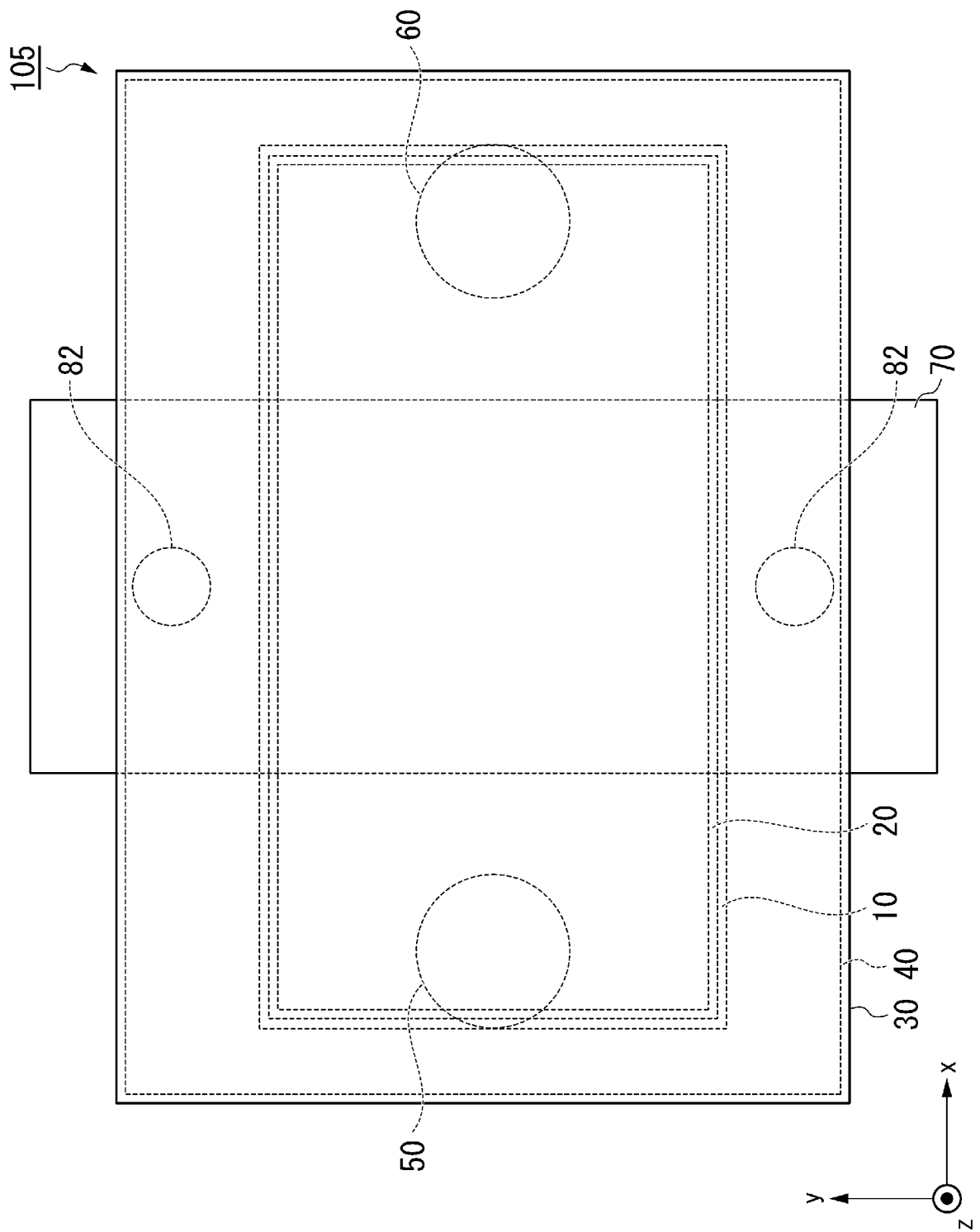
[図11]



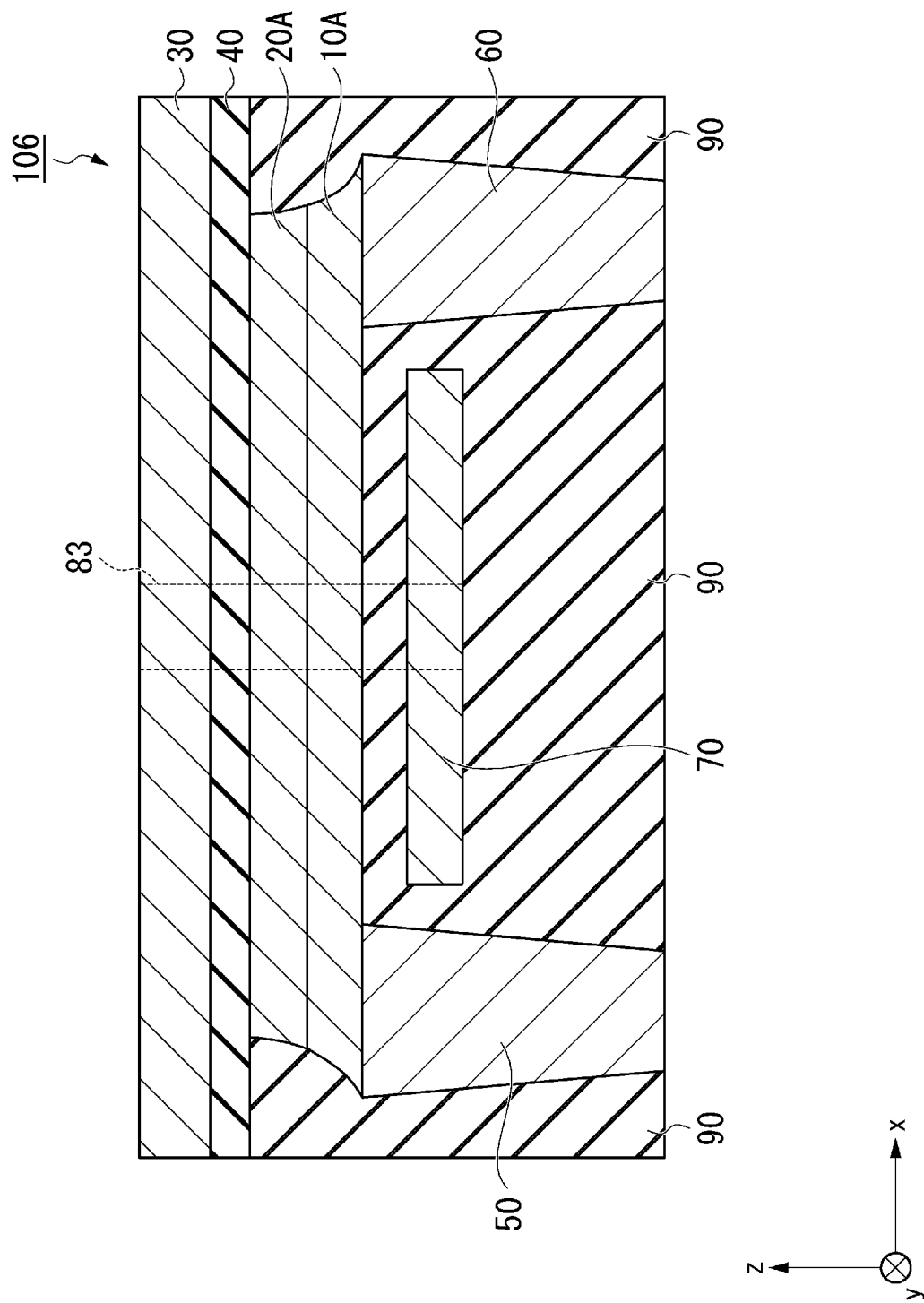
[図12]



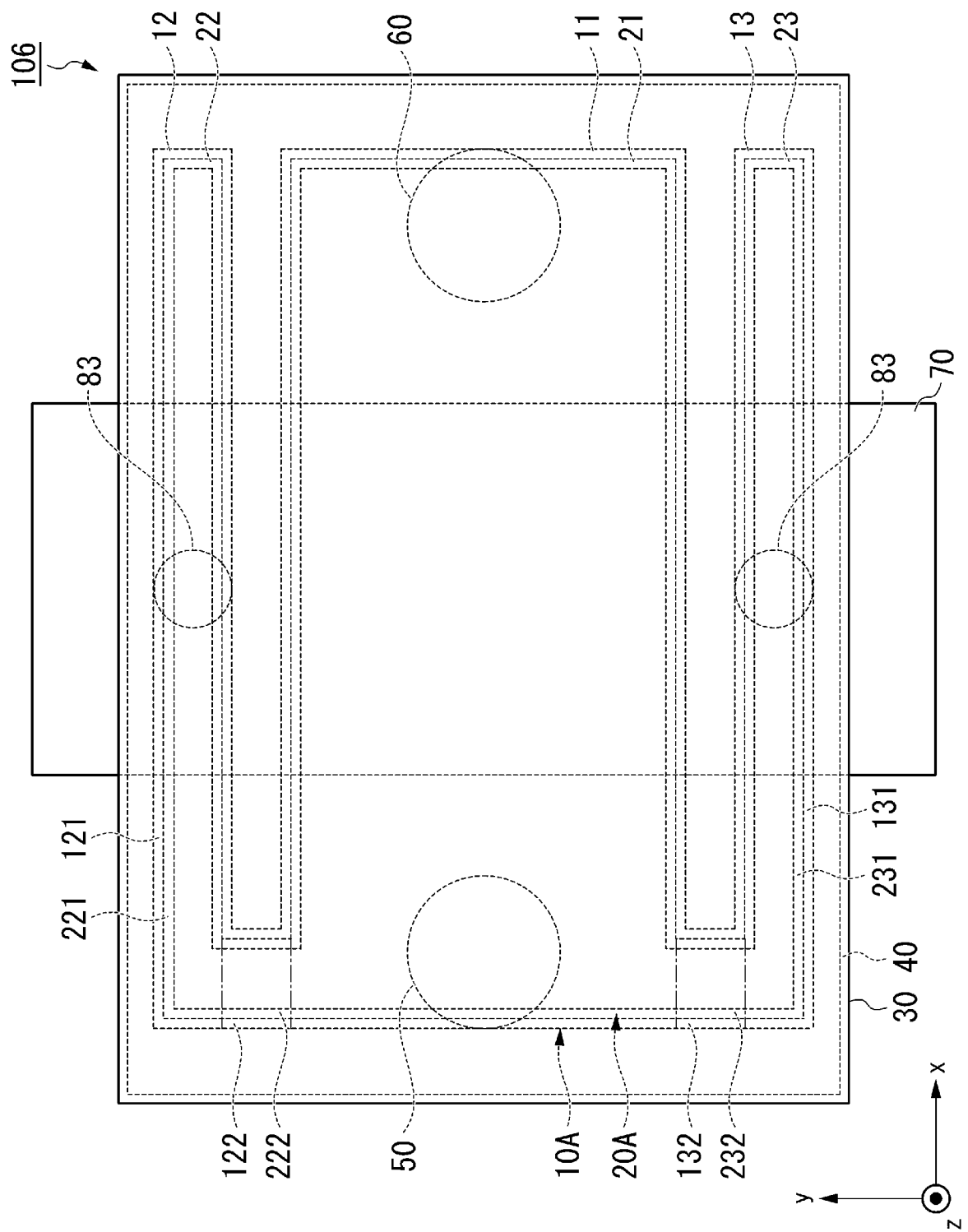
[図13]



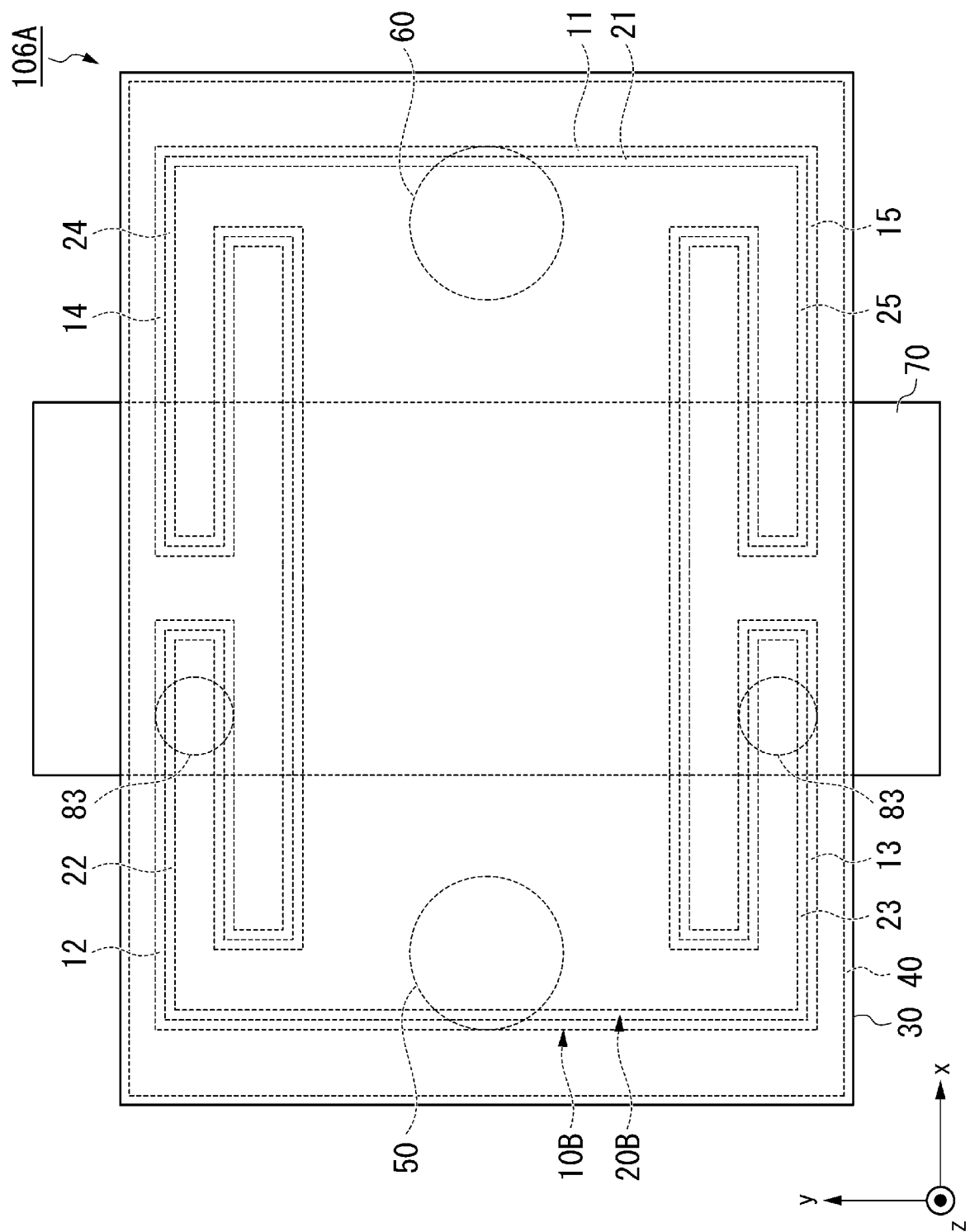
[図14]



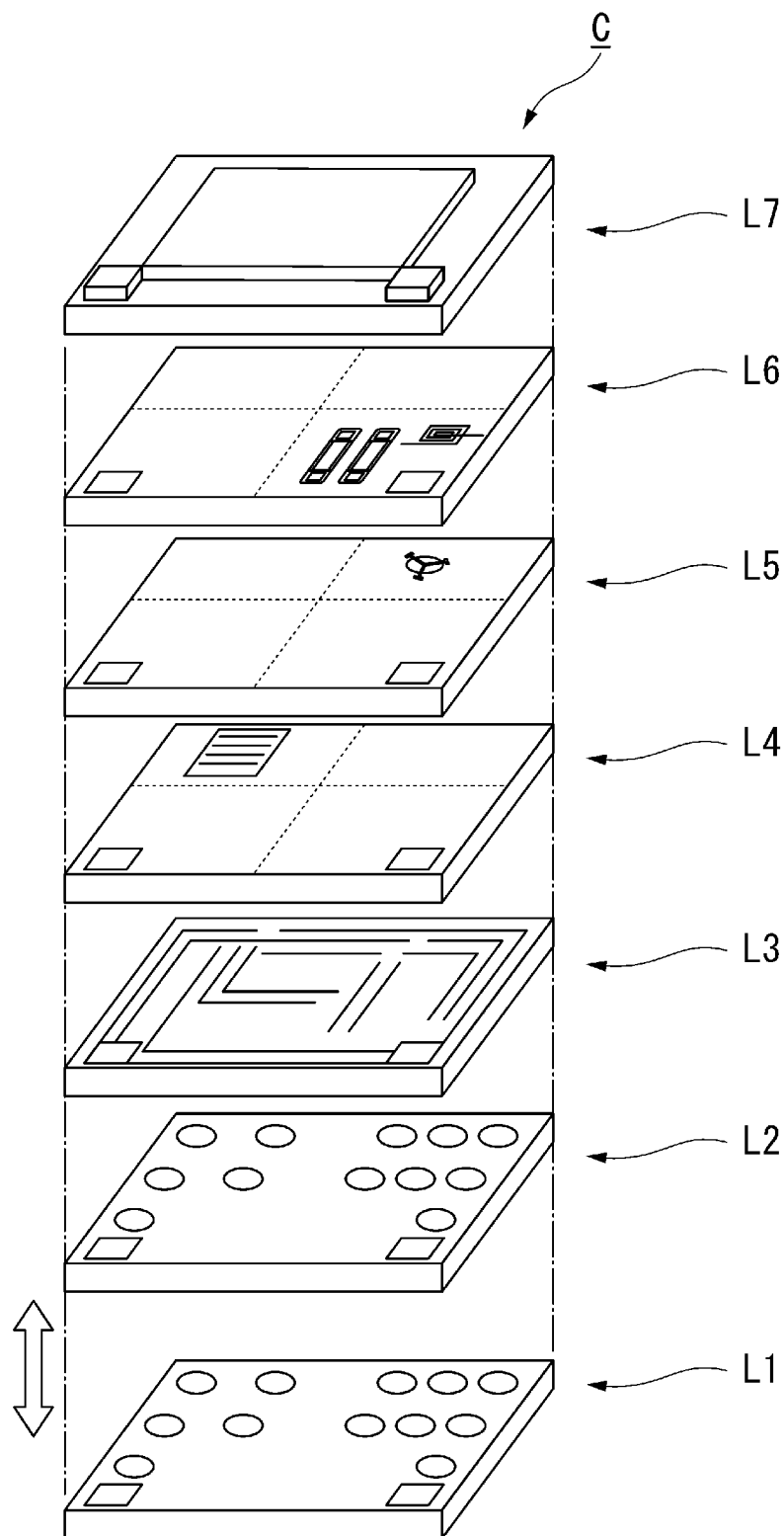
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01F 17/00**(2006.01)i

FI: H01F17/00 Z

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)

H01F17/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2022/181069 A1 (JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) 01 September 2022 (2022-09-01)	1-3, 14-15
Y	paragraphs [0014], [0016], [0021], [0027]-[0028], fig. 3	4-13
Y	JP 2019-46993 A (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 22 March 2019 (2019-03-22) paragraph [0071]	4-13



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

06 September 2023

Date of mailing of the international search report

19 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/025134

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2022/181069	A1	01 September 2022	TW 202240610 A paragraphs [0014], [0016], [0021], [0027]-[0028], fig. 3	
JP	2019-46993	A	22 March 2019	US 2019/0074125 A1 paragraph [0088]	
				CN 109427461 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01F 17/00(2006.01)i FI: H01F17/00 Z		
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）） H01F17/00 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
X	WO 2022/181069 A1（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）01.09.2022 (2022 - 09 - 01) 0014, 0016, 0021, 0027-0028段落、図3	1-3, 14-15
Y		4-13
Y	JP 2019-46993 A（株式会社村田製作所）22.03.2019（2019 - 03 - 22） 0071段落	4-13
☐ 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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 06.09.2023		国際調査報告の発送日 19.09.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 後藤 嘉宏 5D 3660 電話番号 03-3581-1101 内線 3551

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/025134

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/181069	A1	01.09.2022	TW	202240610	A	
				0014, 0016, 0021, 0027-0028			
				段落、図3			
JP	2019-46993	A	22.03.2019	US	2019/0074125	A1	
				0088段落			
				CN	109427461	A	