

(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
2024年4月18日(18.04.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/079783 A1

(51) 国際特許分類:
H01G 7/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/037856

(22) 国際出願日: 2022年10月11日(11.10.2022)

(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: 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). 柴田 竜

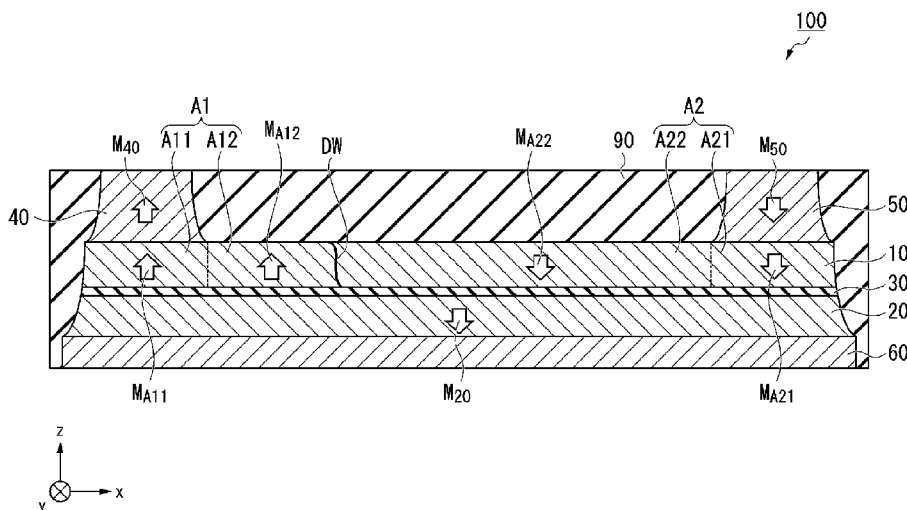
雄(SHIBATA Tatsuo); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP). 中田 勝之(NAKADA Katsuyuki);
〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(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,

(54) Title: VARIABLE CAPACITOR AND INTEGRATED CIRCUIT

(54) 発明の名称: 可変コンデンサ及び集積回路



(57) Abstract: This variable capacitor has a first conductive layer, a second conductive layer, and a capacitance layer sandwiched between the first conductive layer and the second conductive layer. The first conductive layer and the second conductive layer are each a ferromagnetic layer including a ferromagnetic body. The first conductive layer has a first magnetic domain and a second magnetic domain that has magnetization oriented in a direction different from that of the first magnetic domain. The variable capacitor is configured such that a magnetic wall, which is the boundary between the

KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, 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, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

first magnetic domain and the second magnetic domain, can be moved in a region of the first conductive layer overlapping at least the capacitance layer in the lamination direction, in a first direction of the in-plane of the first conductive layer.

(57) 要約: 可変コンデンサは、第1導電層と、第2導電層と、前記第1導電層と前記第2導電層とに挟まれるキャパシタンス層と、を有する。前記第1導電層と前記第2導電層とはそれぞれ、強磁性体を含む強磁性層である。前記第1導電層は、第1磁区と、前記第1磁区と異なる方向に磁化が配向した第2磁区と、を有する。可変コンデンサは、前記第1磁区と前記第2磁区との境界である磁壁が、少なくとも前記第1導電層の前記キャパシタンス層と積層方向に重なる領域を、前記第1導電層の面内の第1方向に移動できるように構成されている。

明 細 書

発明の名称：可変コンデンサ及び集積回路

技術分野

[0001] 本発明は、可変コンデンサ及び集積回路に関する。

背景技術

[0002] 可変コンデンサは、静電容量を連続的に変化させることができるコンデンサである。例えば、特許文献1には、金属板の対向面積を機械的に変化させることで、静電容量が連続的に変化する可変コンデンサが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平8－8142号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載の可変コンデンサは、機械的動作を行う機構が必要であり、可変コンデンサを小型化することが難しい。小型の可変コンデンサは、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おり、このような環境下でも目的の特性を示す素子が求められている。

[0005] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、小型で極端な環境下でも動作できる可変コンデンサ及び集積回路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

[0006] (1) 第1の態様に係る可変コンデンサは、第1導電層と、第2導電層と、前記第1導電層と前記第2導電層とに挟まれるキャパシタンス層と、を有する。前記第1導電層と前記第2導電層とはそれぞれ、強磁性体を含む強磁性層である。前記第1導電層は、第1磁区と、前記第1磁区と異なる方向に磁化が配向した第2磁区と、を有する。この可変コンデンサは、前記第1磁区と前記第2磁区との境界である磁壁が、少なくとも前記第1導電層の前記キャパシタンス層と積層方向に重なる領域を、前記第1導電層の面内の第1方

向に移動できるように構成されている。

- [0007] (2) 上記態様に係る可変コンデンサは、第1電極と第2電極とをさらに有してもよい。前記第1電極は、前記第1導電層の前記第1磁区と接する。前記第2電極は、前記第1導電層の前記第2磁区と接する。
- [0008] (3) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記第1電極は、強磁性層である。前記第1電極の磁化は、前記第1磁区の磁化と同じ方向に配向している。
- [0009] (4) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記第2電極は、強磁性層である。前記第2電極の磁化は、前記第2磁区の磁化と同じ方向に配向している。
- [0010] (5) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記キャパシタンス層は、酸化マグネシウム、酸化アルミニウム、酸化チタン、チタン酸バリウム、アルミン酸マグネシウム、酸化シリコン、チタン酸マグネシウム、酸化ハフニウムからなる群から選択されるいずれかを含んでもよい。
- [0011] (6) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記キャパシタンス層は、窒化アルミニウム又は窒化アルミニウムにカルシウム、ストロンチウム、チタン、カリウムからなる群から選択されるいずれかが添加されたものを含んでもよい。
- [0012] (7) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記キャパシタンス層は、チタン酸鉛、チタン酸ストロンチウム、ジルコン酸鉛、ハフニウム酸鉛、リラクサー強誘電体からなる群から選択されるいずれかを含んでもよい。
- [0013] (8) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記第1導電層又は前記第2導電層は、ホイスラー合金、CoPt合金、CoNi合金、TbFeCo合金、CoFe合金、これらの合金のうちの一部が置換されたものからなる群から選択されるいずれかを含んでもよい。
- [0014] (9) 上記態様に係る可変コンデンサは、基板をさらに有し、前記第1導電層、前記キャパシタンス層、前記第2導電層のうちの少なくとも一つは、前記基板からエピタキシャル成長していてもよい。

- [0015] (10) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記キャパシタンス層の格子定数と前記第1導電層の格子定数との差を前記第1導電層の格子定数で割って求められる格子整合度が、10%以上でもよい。
- [0016] (11) 上記態様に係る可変コンデンサにおいて、前記第1導電層は、前記積層方向から見て、前記第1方向と直交する第2方向の幅が一定ではなくてもよい。前記幅は、前記第1導電層の第1端から第2端に向かって、徐々に広がる又は徐々に狭まる。
- [0017] (12) 上記態様に係る可変コンデンサは、10K以下又は1000K以上の温度領域において、キャパシタンスの最小値が1pF以上でもよい。
- [0018] (13) 第2の態様に係る可変コンデンサは、第1導電層と、第2導電層と、前記第1導電層と前記第2導電層とに挟まれるキャパシタンス層と、を有する。前記第1導電層と前記第2導電層とはそれぞれ、強磁性体を含む強磁性層である。この可変コンデンサは、前記第1導電層の面内の一方向に電気信号を印加することによって、キャパシタンス量がアナログに変化する。
- [0019] (14) 第2の態様に係る集積回路は、第1可変コンデンサと、第2可変コンデンサと、を備える。前記第1可変コンデンサと前記第2可変コンデンサとはそれぞれ、上記態様に係る可変コンデンサである。前記第1可変コンデンサと前記第2可変コンデンサとは並列接続されている。
- [0020] (15) 上記態様に係る集積回路において、前記第1可変コンデンサと前記第2可変コンデンサとは、キャパシタンスが異なってもよい。

発明の効果

- [0021] 上記態様にかかる可変コンデンサ及び集積回路は、小型で極端な環境でも動作する。

図面の簡単な説明

- [0022] [図1]第1実施形態に係る可変コンデンサの平面図である。
[図2]第1実施形態に係る可変コンデンサの断面図である。
[図3]第1実施形態に係る集積回路の一部の回路図である。
[図4]第1実施形態に係る集積回路の一部の断面図である。

[図5]第2実施形態に係る可変コンデンサの平面図である。

[図6]第1実施形態に係る可変コンデンサのキャパシタンス変化を示す図である。

[図7]第2実施形態に係る可変コンデンサのキャパシタンス変化を示す図である。

[図8]第3実施形態に係る可変コンデンサの平面図である。

[図9]第3実施形態に係る可変コンデンサの断面図である。

発明を実施するための形態

[0023] 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、本発明の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、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明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。

[0024] まず方向について定義する。x方向及びy方向は、後述する基板Sub（例えば、図4参照）の一面と略平行な方向である。x方向は、例えば、第1強磁性層の長軸方向である。y方向は、x方向と直交する方向である。z方向は、基板Subから可変コンデンサへ向かう方向である。本明細書において、+z方向を「上」、-z方向を「下」として表す場合があるが、これら表現は便宜上のものであり、重力方向を規定するものではない。また本明細書で「x方向に延びる」とは、例えば、x方向、y方向、及びz方向の各寸法のうち最小の寸法よりもx方向の寸法が大きいことを意味する。他の方向に延びる場合も同様である。また本明細書で「接続する」とは、直接接続する場合に限られず、間に他の物体を介して接続される場合を含む。

[0025] 「第1実施形態」

図1は、第1実施形態に係る可変コンデンサ100の平面図である。図2は、第1実施形態に係る可変コンデンサ100の断面図である。図2は、図1のA-A線に沿って切断した断面である。

- [0026] 可変コンデンサ100は、第1導電層10と第2導電層20とキャパシタンス層30と第1電極40と第2電極50と第3電極60とを有する。可変コンデンサ100は、キャパシタンス層30を挟む第1導電層10と第2導電層20の磁化の変化に伴い、コンダクタンスが変化する。
- [0027] 可変コンデンサ100の周囲は、例えば、絶縁層90で覆われている。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、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、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) 等である。
- [0028] 第1導電層10は、キャパシタンス層30に接する。第1導電層10は、z方向から見て、x方向の長さがy方向の長さより長い。第1導電層10のx方向の長さを長くすることで、磁壁DWの移動範囲を広くできる。
- [0029] 第1導電層10は、強磁性体を含む強磁性層である。第1導電層10は、強磁性体からなる強磁性層でもよい。
- [0030] 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でもよい。強磁性体は、例えば、CoPt合金、CoNi合金、TbFeCo合金、CoFe合金、これらの合金のうちの一部が置換されたものからなる群から選択されるいずれかを含んでもよい。強磁性体は、例えば、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Feである。
- [0031] 強磁性体は、例えば、ホイスラー合金でもよい。ホイスラー合金はハーフメタルであり、高いスピン分極率を有する。ホイスラー合金は、XYZ又は X_2YZ の化学組成をもつ金属間化合物であり、Xは周期表上でCo、Fe、Ni、あるいはCu族の遷移金属元素または貴金属元素であり、YはMn、V、CrあるいはTi族の遷移金属又はXの元素種であり、ZはIII族からV族の典型元素である。ホイスラー合金として例えば、 Co_2FeSi 、C

Co_2FeGe 、 Co_2FeGa 、 Co_2MnSi 、 $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ 、 $\text{Co}_2\text{FeGe}_{1-c}\text{Ga}_c$ 等が挙げられる。

[0032] 第1導電層10は、第1磁区A1と第2磁区A2とを有する。第1磁区A1と第2磁区A2との境界には磁壁DWがある。

[0033] 磁壁DWは、少なくとも第1導電層10のキャパシタンス層30と積層方向に重なる領域を、第1導電層10の面内の第1方向に移動できるように構成されている。例えば、磁壁DWは、第1導電層10内をx方向に移動できるように構成されている。

[0034] 磁壁DWは、第1電極40と第2電極50との電位差を変えることで、x方向に移動する。磁壁DWは、例えば、第1導電層10のx方向に書き込み電流（例えば、電流パルス）を印加すること、第1導電層10に外部磁場を印加すること等によって移動する。例えば、第1電極40と第2電極50との間に書き込みパルスを印加すると、磁壁DWが移動する。

[0035] 第1磁区A1は、第1領域A11と第2領域A12とを有する。第1磁区A1内の磁化は、同じ方向に配向している。第1領域A11の磁化 M_{A11} と第2領域A12の磁化 M_{A12} とは同じ方向に配向している。

[0036] 第1領域A11は、z方向から見て第1電極40と重なる領域であり、磁化 M_{A11} が固定された領域である。磁化が固定されているとは、可変コンデンサ100の通常の動作（想定を超える外力が印加されていない）において、磁化が反転しないことをいう。第1領域A11は、第1磁化固定領域と言われる。

[0037] 第2領域A12は、第1磁区A1内の第1領域A11以外の領域である。第2領域A12は、磁壁DWが動くことで体積が変化する。

[0038] 第2磁区A2は、第3領域A21と第4領域A22とを有する。第2磁区A2内の磁化は、同じ方向に配向している。第2磁区A2内の磁化は、第1磁区A1内の磁化と異なる方向に配向している。第3領域A21の磁化 M_{A21} と第4領域A22の磁化 M_{A22} とは同じ方向に配向している。

[0039] 第3領域A21は、z方向から見て第2電極50と重なる領域であり、磁

化 M_{A21} が固定された領域である。第3領域A21は、第2磁化固定領域と言われる。

[0040] 第4領域A22は、第2磁区A2内の第3領域A21以外の領域である。

第4領域A22は、磁壁DWが動くことで体積が変化する。

[0041] 第2領域A12と第4領域A22は合わせて、磁壁移動領域と言われる。

磁壁移動領域は、第1磁化固定領域と第2磁化固定領域とに挟まれる。

[0042] 第2導電層20は、キャパシタンス層30に接する。第1導電層10と第2導電層20とは、キャパシタンス層30を挟む。

[0043] 第2導電層20は、強磁性体を含む強磁性層である。第2導電層20は、強磁性体からなる強磁性層でもよい。第2導電層20には、第1導電層10を構成する材料と同様の材料を用いることができる。第2導電層20を構成する材料と第1導電層10を構成する材料は同じでも異なってもよい。

[0044] 第2導電層20の磁化 M_{20} は、第1導電層10の磁化より反転しにくい。第2導電層20は、例えば、第1導電層10より後述する基板Subの近くにある。このような素子構造は、ボトムピン構造と言われる。

[0045] 第2導電層20は、例えば、z方向から見て、第1導電層10を内包する。第2導電層20の面積が第1導電層10の面積より大きいと、第1導電層10の平坦性が向上し、磁壁DWの移動がスムーズになる。

[0046] キャパシタンス層30は、第1導電層10と第2導電層20とに挟まれる。キャパシタンス層30は、誘電体層である。キャパシタンス層30は絶縁性を有し、キャパシタンス層30を挟む第1導電層10と第2導電層20のそれぞれに電荷が蓄積される。

[0047] キャパシタンス層30は、例えば、酸化マグネシウム (MgO)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化チタン (TiO_2)、チタン酸バリウム ($BaTiO_3$)、アルミン酸マグネシウム ($MgAl_2O_4$)、酸化シリコン (SiO_2)、チタン酸マグネシウム ($MgTiO_3$)、酸化ハフニウム (HfO_2) からなる群から選択されるいずれかを含む。これらの酸化物において各元素の組成比は化学量論組成に限らない。キャパシタンス層30がこれらの材料

を含むと、可変コンデンサ100のキャパシタンスの変化幅が大きくなる。

[0048] キャパシタンス層30は、例えば、窒化アルミニウム (AlN) 又は窒化アルミニウムにカルシウム、ストロンチウム、チタン、カリウムからなる群から選択されるいずれかが添加されたものを含んでもよい。キャパシタンス層30がこれらの材料を含むと、キャパシタンスが増大するという効果がある。また、キャパシタンス層30がこれらの材料を含むと、キャパシタンス層30の電気伝導性が向上し、通電による発熱を抑制できる。その結果、使用中に可変コンデンサ100の温度が大きく変化することを抑制できる。これは極限環境で用いる場合に重要な特性である。

[0049] キャパシタンス層30は、チタン酸鉛 (PbTiO_3)、チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3)、ジルコン酸鉛 (PbZrO_3)、ハフニウム酸鉛 (PbHfO_3)、リラクサー強誘電体からなる群から選択されるいずれかを含んでもよい。キャパシタンス層30がこれらの材料を含むと、キャパシタンス層30の誘電率が大きくなり、可変コンデンサ100のキャパシタンスが大きくなる。

[0050] なお、リラクサー誘電体は、 $\text{A}(\text{B}'\text{B}'')\text{O}_3$ で表される複合ペロブスカイト酸化物である。例えば、 $\text{A}(\text{B}'^{2+}_{1/3}\text{B}''^{5+}_{2/3})\text{O}_3$ 、 $\text{A}(\text{B}'^{3+}_{1/2}\text{B}''^{5+}_{1/2})\text{O}_3$ は、リラクサー誘電体の一例である。 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3$ は、リラクサー誘電体の具体例である。

[0051] キャパシタンス層30の厚さは、例えば、35 Å以上であり、好ましくは100 Å以上である。キャパシタンス層30の厚みが十分厚いと、キャパシタンス層30の絶縁性が確保され、可変コンデンサ100が安定的に機能する。

[0052] キャパシタンス層30の電気抵抗は、例えば、1 MΩ以上であり、好ましくは10 MΩ以上である。キャパシタンス層30の絶縁性が確保されると、可変コンデンサ100が安定的に機能する。

[0053] キャパシタンス層 30 と第 1 導電層 10 との格子整合度は、例えば、10%未満であり、好ましくは 5%以下である。キャパシタンス層 30 と第 2 導電層 20 との格子整合度は、例えば、10%未満であり、好ましくは 5%以下である。

[0054] 格子整合度は、値が大きいほど隣接する層が格子整合していないことを示し、値が小さいほど隣接する層が格子整合していることを示す。格子整合するとは、隣接する層の界面において、原子が積層方向に連続的に配列していることを意味する。キャパシタンス層 30 と隣接する層とが格子整合すると、可変コンデンサ 100 のキャパシタンスの変化幅が大きくなる。

[0055] 格子整合度は、キャパシタンス層 30 の格子定数と隣接する層（第 1 導電層 10 又は第 2 導電層 20）の格子定数との差を、隣接する層（第 1 導電層 10 又は第 2 導電層 20）の格子定数で割って求められる値である。

[0056] 例えば、キャパシタンス層 30 と第 1 導電層 10 との格子整合度は、以下の式で求められる。

$$\text{「格子整合度」} = \left(\text{「キャパシタンス層 30 の格子定数」} - \text{「第 1 導電層 10 の格子定数」} \right) / \left(\text{「第 1 導電層 10 の格子定数」} \times 100 \right)$$

[0057] 第 1 導電層 10、キャパシタンス層 30、第 2 導電層 20 のうちの少なくとも一つは、基板 Sub からエピタキシャル成長していることが好ましい。これらの層がエピタキシャル成長していると、可変コンデンサ 100 のキャパシタンスの変化幅が大きくなる。

[0058] キャパシタンス層 30 と第 1 導電層 10 との格子整合度は、例えば、10%以上でもよい。キャパシタンス層 30 と第 2 導電層 20 との格子整合度は、例えば、10%以上でもよい。この場合、キャパシタンス層 30 と隣接する層とは格子整合しておらず、これらの層の界面で原子の一部は連続的に配列していない。すなわち、キャパシタンス層 30 は、基板 Sub からエピタキシャル成長していない。

[0059] キャパシタンス層 30 は、第 1 導電層 10 と第 2 導電層 20 との間の絶縁性を維持できればよく、これらの界面は格子整合していなくてもよい。キャ

パシタンス層 30 が隣接する層と格子整合しない場合、これらの界面の接触抵抗が大きくなり、可変コンデンサ 100 のキャパシタンスが大きくなる。またキャパシタンス層 30 と第 1 導電層 10 又は第 2 導電層 20 とのうちいずれかがアモルファスで、キャパシタンス層 30 と第 1 導電層 10 又は第 2 導電層 20 との界面において、格子整合が生じていなくてもよい。キャパシタンス層 30 と隣接する層との間が格子整合していないと、各層が隣接する層の影響を受けにくくなり、複数のデバイス間でデバイスの特性バラつきが小さくなる。

[0060] 第 1 電極 40 は、第 1 導電層 10 の一部と直接または間接的に接する。間接的に接するとは、第 1 電極 40 と第 1 導電層 10 との間に他の層を挟むことを意味する。第 1 電極 40 は、例えば、第 1 導電層 10 の第 1 端と接する。第 1 電極 40 は、例えば、第 1 導電層 10 の第 1 磁区 A1 と接する。

[0061] 第 1 電極 40 は、例えば、強磁性層である。第 1 電極 40 には、例えば、第 1 導電層 10 及び第 2 導電層 20 と同様の材料を適用できる。第 1 電極 40 の磁化 M_{40} は、例えば、第 1 領域 A11 の磁化 M_{A11} と同じ方向に配向し、第 1 領域 A11 の磁化 M_{A11} を固定する。

[0062] 第 1 電極 40 は、強磁性層で無くてもよい。第 2 領域 A12 から第 1 領域 A11 に至る位置で第 1 導電層 10 を流れる電流の電流密度は急激に低下する。第 1 導電層 10 を流れる電流の電流密度が急激に低下すると磁壁 DW は第 1 領域 A11 に侵入できなくなるため、第 1 電極 40 は強磁性体で無くてもよい。

[0063] 第 2 電極 50 は、第 1 導電層 10 の一部と直接または間接的に接する。第 2 電極 50 は、例えば、第 1 導電層 10 の第 2 端と接する。第 2 電極 50 と第 1 電極 40 とは、x 方向に離間している。第 2 電極 50 は、例えば、第 1 導電層 10 の第 2 磁区 A2 と接する。

[0064] 第 2 電極 50 は、例えば、強磁性層である。第 2 電極 50 には、例えば、第 1 電極 40 と同様の材料を適用できる。第 2 電極 50 の磁化 M_{50} は第 3 領域 A21 の磁化 M_{A21} を固定する。第 2 電極 50 は、第 1 電極 40 と同様に、

強磁性層に限られない。

[0065] 第3電極60は、第2導電層20に接する。第3電極60は、導体である。

[0066] 可変コンデンサ100は、上述の層以外の層を有してもよい。例えば、可変コンデンサ100は、第2導電層20のキャパシタンス層30と接する面と反対側の面に接する非磁性層と、第2導電層20と共に非磁性層を挟む強磁性層と、を有してもよい。第2導電層20と非磁性層と強磁性層とは、シンセティック反強磁性構造（SAF構造）である。SAF構造は第2導電層20の保磁力を高める。

[0067] 可変コンデンサ100の各層の磁化の向きは、例えば磁化曲線を測定することにより確認できる。磁化曲線は、例えば、MOKE（Magneto Optical Kerr Effect）を用いて測定できる。MOKEによる測定は、直線偏光を測定対象物に入射させ、その偏光方向の回転等が起こる磁気光学効果（磁気Kerr効果）を用いることにより行う測定方法である。

[0068] 可変コンデンサ100は、各層の積層工程と、各層の一部を所定の形状に加工する加工工程により形成される。各層の積層は、スパッタリング法、化学気相成長（CVD）法、電子ビーム蒸着法（EB蒸着法）、原子レーザデポジション法等を用いることができる。各層の加工は、フォトリソグラフィおよびエッチング（例えば、Arエッチング）等を用いて行うことができる。

[0069] 次いで、可変コンデンサ100の機能について説明する。可変コンデンサは、容量調整処理と、電荷蓄積処理と、を行う。

[0070] 可変コンデンサ100の容量調整処理について説明する。容量調整処理では、第1電極40と第2電極50との電位差与え、書き込み電流（書き込みパルス）を第1導電層10に印加する。可変コンデンサ100は、第1導電層10の面内の一方向に電気信号を印加することによって、キャパシタンス量がアナログに変化する。

[0071] 書き込み電流（書き込みパルス）は、第1導電層10内の磁壁DWを動か

す。磁壁DWの位置は、書き込み電流（書き込みパルス）の大きさに応じて変化する。

[0072] 可変コンデンサ100のキャパシタンスは、第2導電層20と磁化 M_{20} と第1導電層10の磁化とが反平行な関係となる領域が広がるほど大きくなり、第2導電層20と磁化 M_{20} と第1導電層10の磁化とが平行な関係となる領域が広がるほど小さくなる。図2に示す可変コンデンサ100では、第1磁区A1が広がるほど、可変コンデンサ100のキャパシタンスは大きくなり、第2磁区A2が広がるほど、可変コンデンサ100のキャパシタンスは小さくなる。

[0073] 次いで、可変コンデンサ100の電荷蓄積処理について説明する。電荷蓄積処理では、第2電極50と第3電極60との電位差を印加する。第2電極50と第3電極60の間に電位差を印加すると、第1導電層10と第2導電層20のそれぞれに電荷が蓄積される。可変コンデンサ100の静電容量は、容量調整処理で決定されており、可変コンデンサ100は当該静電容量に応じた電荷を蓄積し、通常のコンデンサとして機能する。

[0074] 可変コンデンサ100は、キャパシタンス層30を挟む二つの強磁性層の磁化状態によってキャパシタンスは決まるため、原理的に極端環境下でもキャパシタンスが変化する。例えば、可変コンデンサ100は、10K以下又は1000K以上の極端な温度領域において、キャパシタンスの最小値が1pF以上である。

[0075] 上述のように、可変コンデンサ100は、薄膜の積層体からなり小型である。また本実施形態に係る可変コンデンサ100は、キャパシタンスを変えるのに機械的な動作機構が不要であり、小型化が可能である。また本実施形態に係る可変コンデンサ100は、機械的な動作ではなく、電気信号によってキャパシタンス量がアナログに変化する。

[0076] 図3は、第1実施形態に係る集積回路200の一部の回路図である。図4は、第1実施形態に係る集積回路200の一部の断面図である。

[0077] 集積回路200は、第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ1

00Bとを備える。第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bとは、それぞれ上述の可変コンデンサ100である。

[0078] 第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bのそれぞれは、第1スイッチング素子SW1及び第3スイッチング素子SW3をONにして、書き込み配線WLと共通配線CLとの間の電位を調整することで容量調整処理を行う。

[0079] 第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bのそれぞれは、第2スイッチング素子SW2及び第3スイッチング素子SW3をONにして、読出し配線RLと共通配線CLとの間の電位を調整することで電荷蓄積処理を行う。読出し配線RLと共通配線CLとの間で、第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bとは、並列接続されている。第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bとを並列接続することで、2つの可変コンデンサの合成キャパシタンスの最大値を大きくできる。

[0080] 第1スイッチング素子SW1、第2スイッチング素子SW2及び第3スイッチング素子SW3はそれぞれ、電流の流れを制御する素子である。第1スイッチング素子SW1、第2スイッチング素子SW2及び第3スイッチング素子SW3はそれぞれ、例えば、トランジスタ、オボニック閾値スイッチ（OTS：Ovonic Threshold Switch）のように結晶層の相変化を利用した素子、金属絶縁体転移（MIT）スイッチのようにバンド構造の変化を利用した素子、ツェナーダイオード及びアバランシェダイオードのように降伏電圧を利用した素子、原子位置の変化に伴い伝導性が変化する素子である。

[0081] スwitchング素子と可変コンデンサとの間は、ビア配線Vw及び面内配線IPwで電氣的に接続されている。

[0082] 第1可変コンデンサ100Aと第2可変コンデンサ100Bのキャパシタンスは同じでも異なってもよい。例えば、第1可変コンデンサ100Aのキャパシタンスを第2可変コンデンサ100Bのキャパシタンスより大きくしてもよい。この場合、2つの可変コンデンサの合成キャパシタンスを第1可変コンデンサ100Aで粗調整し、第2可変コンデンサ100Bで微調

整することができる。

[0083] 「第2実施形態」

図5は、第2実施形態に係る可変コンデンサ101の平面図である。第2実施形態に係る可変コンデンサ101の断面図は、図2と同様である。可変コンデンサ101において、可変コンデンサ100と同様の構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0084] 可変コンデンサ101は、第1導電層11と第2導電層21とキャパシタンス層31とを有する。第1導電層11は、平面視形状を除き、第1導電層10に対応する。第2導電層21は、平面視形状を除き、第2導電層20に対応する。キャパシタンス層31は、平面視形状を除き、キャパシタンス層30に対応する。

[0085] 第1導電層11、第2導電層21及びキャパシタンス層31はそれぞれ、z方向から見て、y方向の幅が一定ではない。図5において、これらの層の幅は、x方向の第1端から第2端に向かって徐々に広がっている。例えば、第1導電層11は、第1導電層11の第1端から第2端に向かって徐々に広がっている。これらの層の幅は、x方向の第1端から第2端に向かって徐々に狭まっていてもよい。

[0086] 図6は、第1実施形態に係る可変コンデンサ100のキャパシタンス変化を示す図である。図7は、第2実施形態に係る可変コンデンサ101のキャパシタンス変化を示す図である。横軸は、容量調整処理において印加するエネルギーの強度であり、例えば書き込み電圧、書き込みパルスの印加回数等である。縦軸は、可変コンデンサ100のキャパシタンスである。

[0087] 図6に示すように、第1導電層10のy方向の幅が一定の場合は、可変コンデンサ100のキャパシタンスは単調変化する。これに対し、図7に示すように、第1導電層11のy方向の幅が単調増加する場合は、可変コンデンサ101のキャパシタンスの変化幅が段階的に大きくなる。

[0088] 第2実施形態に係る可変コンデンサ101は、第1実施形態に係る可変コンデンサ100と同様の効果を奏する。また第1導電層11のy方向の幅が

一定ではないことで、可変コンデンサ 101 のキャパシタンスの変化の状態を自由に設定できる。可変コンデンサ 101 は、上述の集積回路 200 の第 1 可変コンデンサ 100A 及び第 2 可変コンデンサ 100B に適用できる。

[0089] 「第 3 実施形態」

図 8 は、第 3 実施形態に係る可変コンデンサ 102 の平面図である。図 9 は、第 3 実施形態に係る可変コンデンサ 102 の断面図であり、図 8 の A-A 線に沿って切断した断面である。可変コンデンサ 102 において、可変コンデンサ 100 と同様の構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0090] 可変コンデンサ 102 は、第 1 導電層 10 と第 2 導電層 20 との位置関係が、可変コンデンサ 100 と異なる。可変コンデンサ 102 は、第 2 導電層 20 が基板 Sub から離れた位置にあり、トップピン構造と言われる。

[0091] 第 3 実施形態に係る可変コンデンサ 102 は、第 1 実施形態に係る可変コンデンサ 100 と同様の効果を奏する。また可変コンデンサ 102 は、上述の集積回路 200 の第 1 可変コンデンサ 100A 及び第 2 可変コンデンサ 100B に適用できる。

[0092] 以上、本発明のいくつかの実施形態について詳述したが、本発明はこれらの実施形態に限られるものではない。

符号の説明

[0093] 10, 11…第 1 導電層、20, 21…第 2 導電層、30, 31…キャパシタンス層、40…第 1 電極、50…第 2 電極、60…第 3 電極、90…絶縁層、100, 101, 102…可変コンデンサ、100A…第 1 可変コンデンサ、100B…第 2 可変コンデンサ、200…集積回路、A1…第 1 磁区、A2…第 2 磁区、A11…第 1 領域、A12…第 2 領域、A21…第 3 領域、A22…第 4 領域

請求の範囲

- [請求項1] 第1導電層と、第2導電層と、前記第1導電層と前記第2導電層とに挟まれるキャパシタンス層と、を有し、
前記第1導電層と前記第2導電層とはそれぞれ、強磁性体を含む強磁性層であり、
前記第1導電層は、第1磁区と、前記第1磁区と異なる方向に磁化が配向した第2磁区と、を有し、
前記第1磁区と前記第2磁区との境界である磁壁が、少なくとも前記第1導電層の前記キャパシタンス層と積層方向に重なる領域を、前記第1導電層の面内の第1方向に移動できるように構成されている、可変コンデンサ。
- [請求項2] 第1電極と第2電極とをさらに有し、
前記第1電極は、前記第1導電層の前記第1磁区と接し、
前記第2電極は、前記第1導電層の前記第2磁区と接する、請求項1に記載の可変コンデンサ。
- [請求項3] 前記第1電極は、強磁性層であり、
前記第1電極の磁化は、前記第1磁区の磁化と同じ方向に配向している、請求項2に記載の可変コンデンサ。
- [請求項4] 前記第2電極は、強磁性層であり、
前記第2電極の磁化は、前記第2磁区の磁化と同じ方向に配向している、請求項2に記載の可変コンデンサ。
- [請求項5] 前記キャパシタンス層は、酸化マグネシウム、酸化アルミニウム、酸化チタン、チタン酸バリウム、アルミン酸マグネシウム、酸化シリコン、チタン酸マグネシウム、酸化ハフニウムからなる群から選択されるいずれかを含む、請求項1に記載の可変コンデンサ。
- [請求項6] 前記キャパシタンス層は、窒化アルミニウム又は窒化アルミニウムにカルシウム、ストロンチウム、チタン、カリウムからなる群から選択されるいずれかが添加されたものを含む、請求項1に記載の可変コ

ンデンサ。

[請求項7] 前記キャパシタンス層は、チタン酸鉛、チタン酸ストロンチウム、ジルコン酸鉛、ハフニウム酸鉛、リラクサー強誘電体からなる群から選択されるいずれかを含む、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項8] 前記第1導電層又は前記第2導電層は、ホイスラー合金、CoPt合金、CoNi合金、TbFeCo合金、CoFe合金、これらの合金のうちの一部が置換されたものからなる群から選択されるいずれかを含む、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項9] 基板をさらに有し、

前記第1導電層、前記キャパシタンス層、前記第2導電層のうちの少なくとも一つは、前記基板からエピタキシャル成長している、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項10] 前記キャパシタンス層の格子定数と前記第1導電層の格子定数との差を前記第1導電層の格子定数で割って求められる格子整合度が、10%以上である、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項11] 前記第1導電層は、前記積層方向から見て、前記第1方向と直交する第2方向の幅が一定ではなく、

前記幅は、前記第1導電層の第1端から第2端に向かって、徐々に広がる又は徐々に狭まる、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項12] 10K以下又は1000K以上の温度領域において、キャパシタンスの最小値が1pF以上である、請求項1に記載の可変コンデンサ。

[請求項13] 第1導電層と、第2導電層と、前記第1導電層と前記第2導電層とに挟まれるキャパシタンス層と、を有し、

前記第1導電層と前記第2導電層とはそれぞれ、強磁性体を含む強磁性層であり、

前記第1導電層の面内の一方向に電気信号を印加することによって、キャパシタンス量がアナログに変化する、可変コンデンサ。

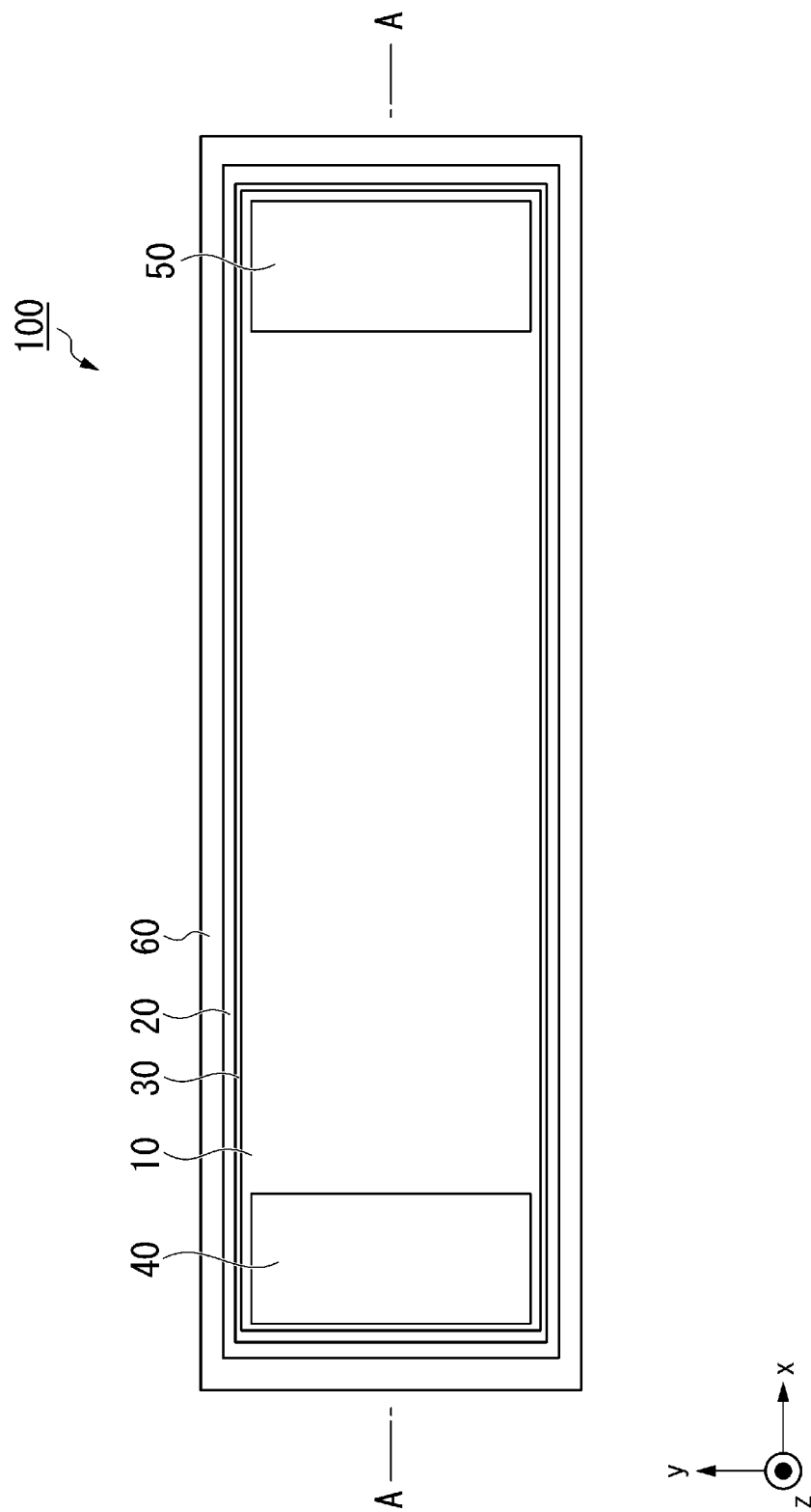
[請求項14] 第1可変コンデンサと、第2可変コンデンサと、を備え、

前記第 1 可変コンデンサと前記第 2 可変コンデンサとはそれぞれ、請求項 1 に記載の可変コンデンサであり、

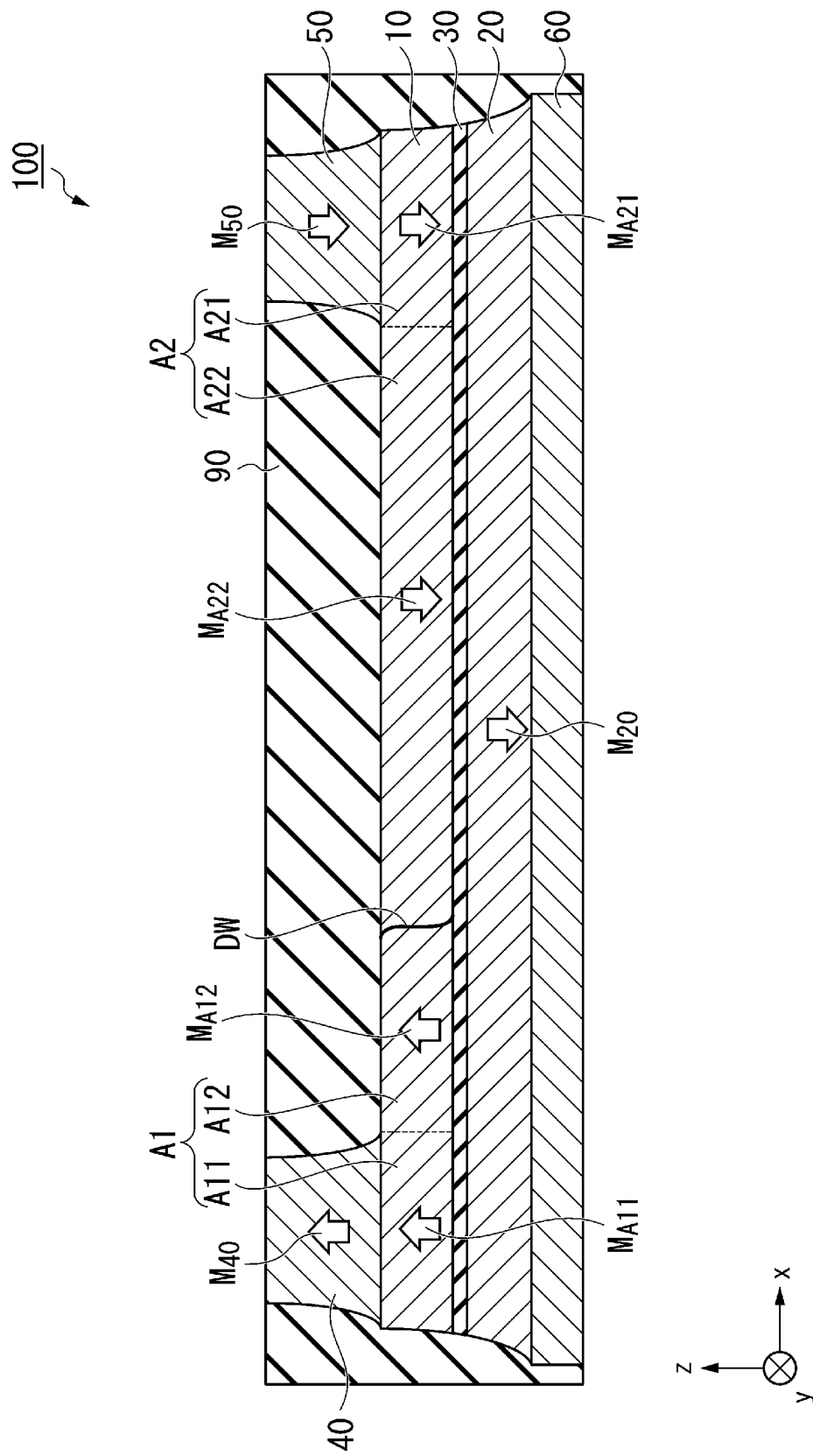
前記第 1 可変コンデンサと前記第 2 可変コンデンサとは並列接続されている、集積回路。

[請求項15] 前記第 1 可変コンデンサと前記第 2 可変コンデンサとは、キャパシタンスが異なる、請求項 1 3 に記載の集積回路。

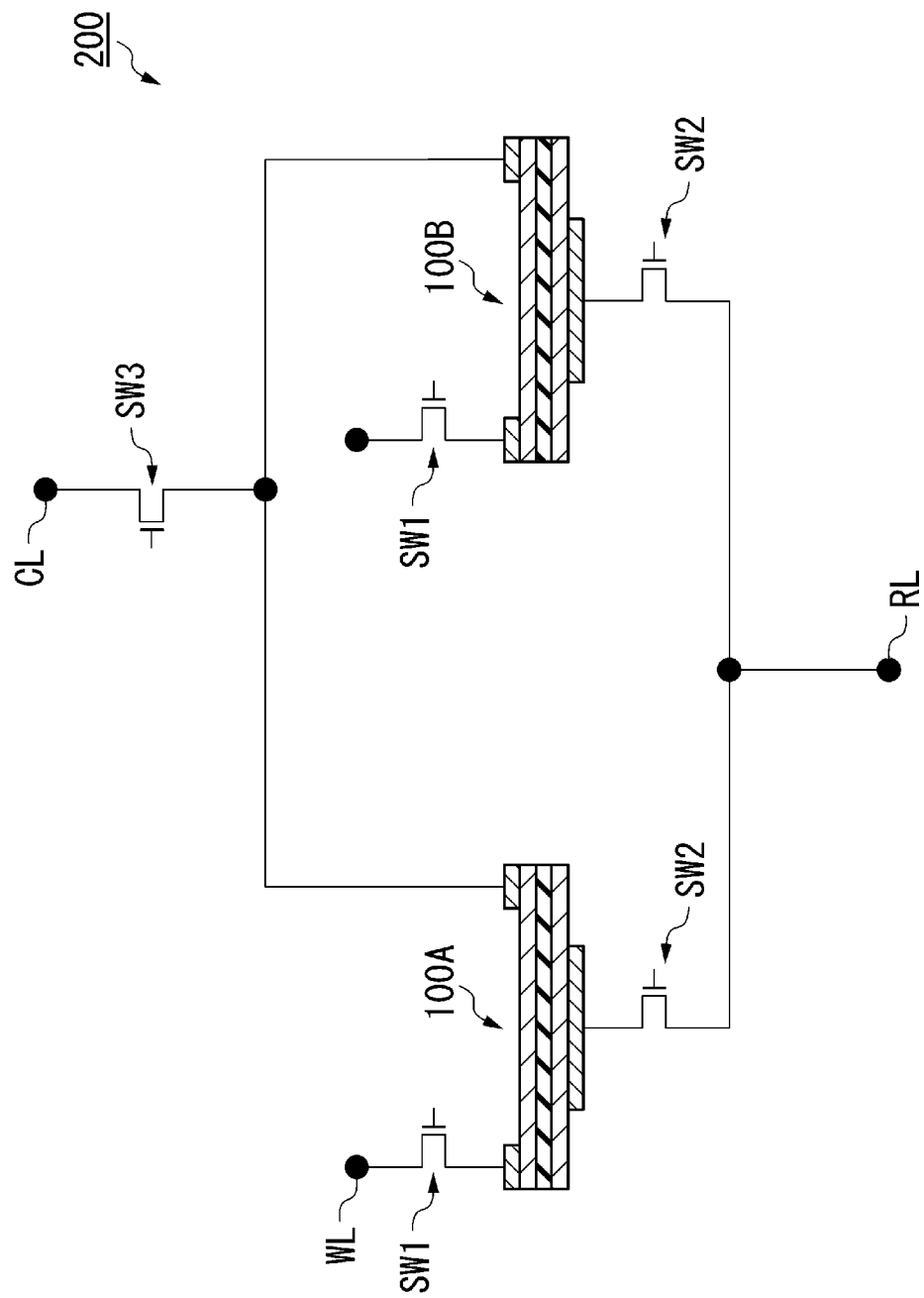
[図1]



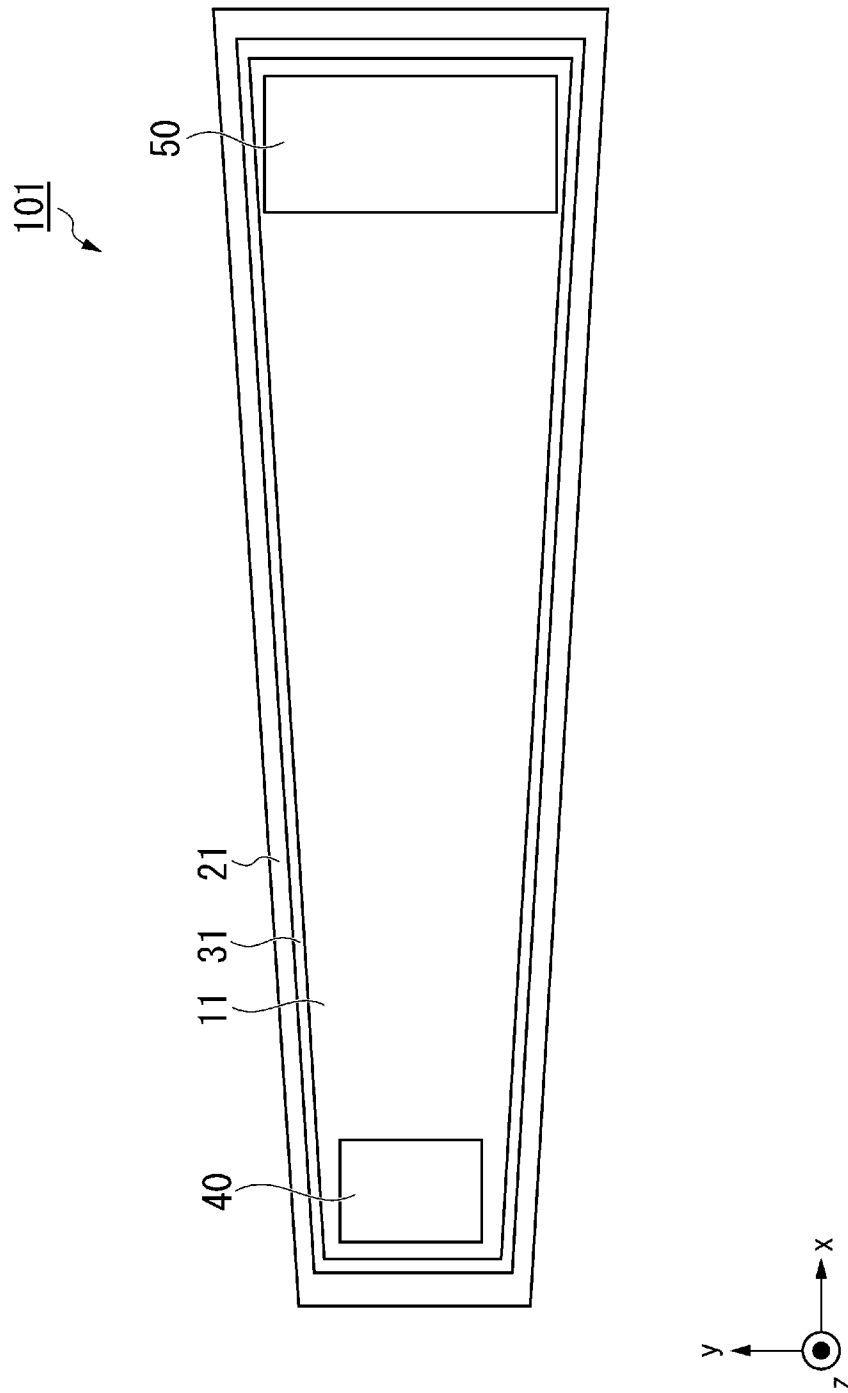
[図2]



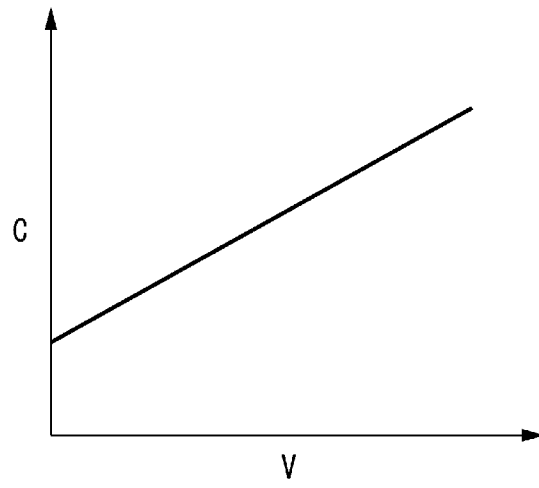
[図3]



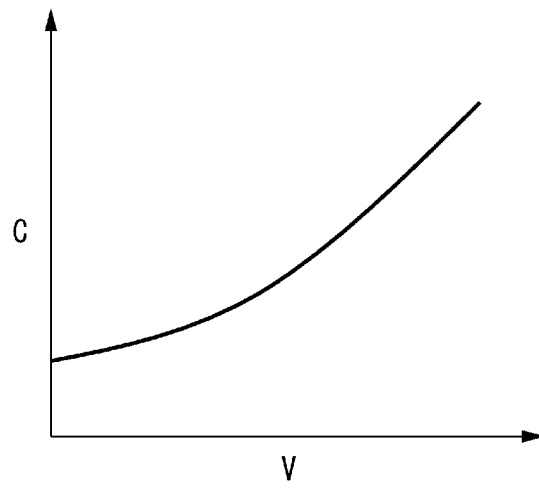
[図5]



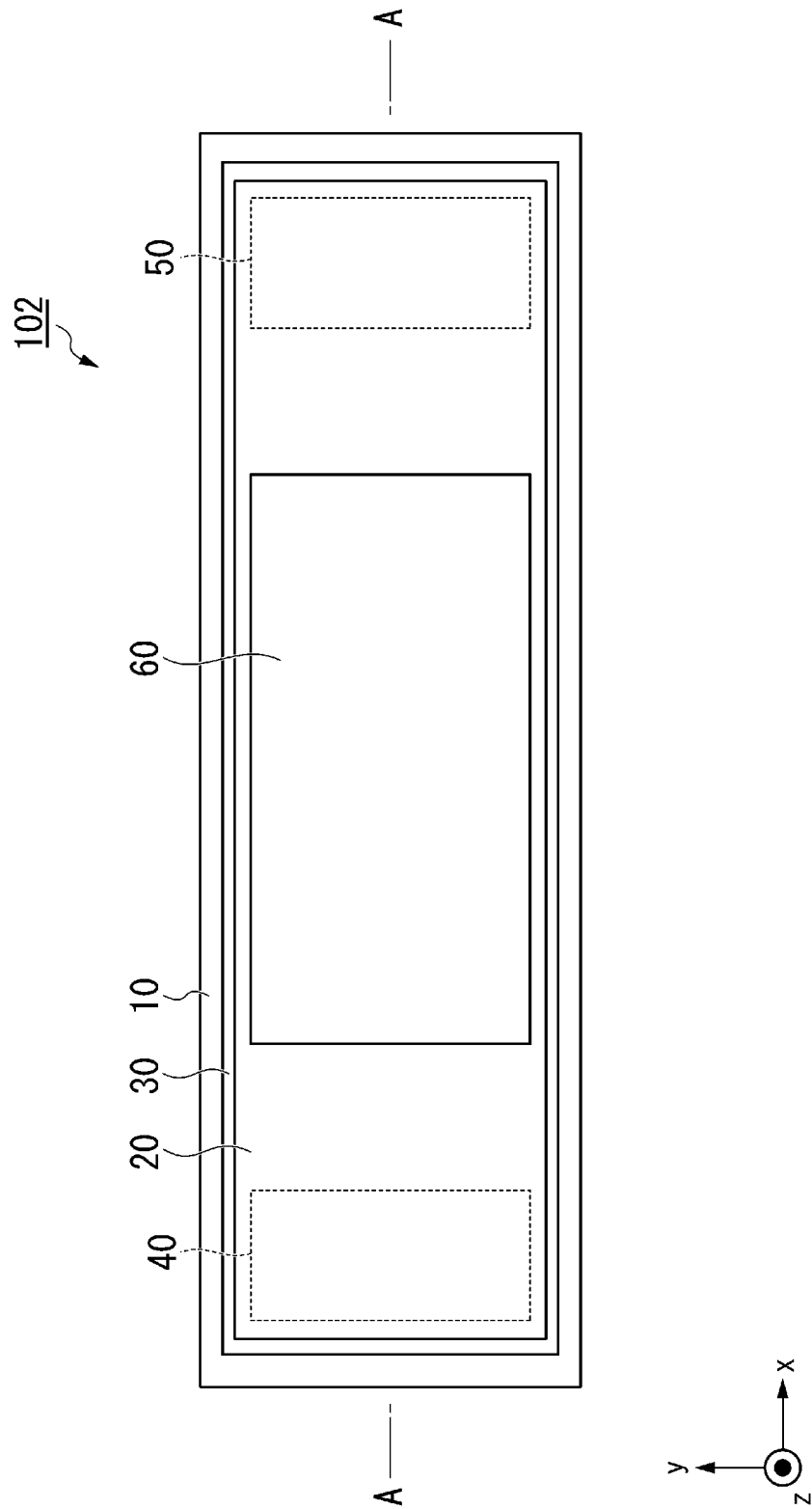
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/037856

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01G 7/00**(2006.01)i

FI: H01G7/00 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)

H01G7/00

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 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
Y A	WO 2021/199233 A1 (TDK CORPORATION) 07 October 2021 (2021-10-07) paragraphs [0029]-[0030], [0033]-[0034], [0073]-[0078], fig. 8	1-10, 12-15 11
Y A	US 2014/0313637 A1 (SHUKH, Alexander Mikhailovich) 23 October 2014 (2014-10-23) paragraphs [0037]-[0038], fig. 3	1-10, 12-15 11
Y A	US 2011/0051313 A1 (HWANG, Wein-Kuen) 03 March 2011 (2011-03-03) paragraph [0040], fig. 3b	1-10, 12-15 11
Y A	US 2015/0179345 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ALABAMA FOR AND ON BEHALF OF THE UNIVERSITY OF ALABAMA) 25 June 2015 (2015-06-25) fig. 7	9-10, 12, 14-15 11



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

15 November 2022

Date of mailing of the international search report

06 December 2022

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

International application No.

PCT/JP2022/037856**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/001914 A1 (KYOCERA CORPORATION) 03 January 2008 (2008-01-03)	14, 15
A	specification, page 6, lines 3-26, page 8, lines 19-21, fig. 1-4	11
Y	JP 2015-73047 A (TAIYO YUDEN COMPANY, LIMITED) 16 April 2015 (2015-04-16)	14, 15
A	paragraphs [0067]-[0068], fig. 4, 15, 16	11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/037856

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/199233	A1	07 October 2021	US 2021/0304940 A1 paragraphs [0042]-[0043], [0046]-[0047], [0082]-[0084], fig. 8	
US	2014/0313637	A1	23 October 2014	(Family: none)	
US	2011/0051313	A1	03 March 2011	TW 201110168 A	
US	2015/0179345	A1	25 June 2015	WO 2013/177543 A1	
WO	2008/001914	A1	03 January 2008	US 2009/0310275 A1 paragraphs [0033], [0045], fig. 1-4	
JP	2015-73047	A	16 April 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01G 7/00(2006.01)i FI: H01G7/00 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）） H01G7/00 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2022年									
日本国実用新案登録公報	1996-2022年									
日本国登録実用新案公報	1994-2022年									
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								
Y A	WO 2021/199233 A1 (TDK株式会社) 07.10.2021 (2021-10-07) 段落0029-0030, 0033-0034, 0073-0078, 図8	1-10, 12-15 11								
Y A	US 2014/0313637 A1 (SHUKH ALEXANDER MIKHAILOVICH) 23.10.2014 (2014-10-23) 段落0037-0038, 図3	1-10, 12-15 11								
Y A	US 2011/0051313 A1 (HWANG WEIN-KUEN) 03.03.2011 (2011-03-03) 段落0040, 図3b	1-10, 12-15 11								
Y A	US 2015/0179345 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ALABAMA FOR AND ON BEHALF OF THE UNIVERSITY OF ALABAMA) 25.06.2015 (2015-06-25) 図7	9-10, 12, 14-15 11								
☒ 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。										
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>										
国際調査を完了した日 15.11.2022		国際調査報告の発送日 06.12.2022								
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） 木下 直哉 5D 3858 電話番号 03-3581-1101 内線 3551								

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
Y	WO 2008/001914 A1 (京セラ株式会社) 03.01.2008 (2008 - 01 - 03)	14, 15
A	明細書第6頁第3-26行, 第8頁第19-21行, 図1-4	11
Y	JP 2015-73047 A (太陽誘電株式会社) 16.04.2015 (2015 - 04 - 16)	14, 15
A	段落0067-0068, 図4, 15, 16	11

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/JP2022/037856

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/199233	A1	07.10.2021	US 2021/0304940 A1 段落 0042-0043, 0046-0047, 0082-0084, 図8	
US	2014/0313637	A1	23.10.2014	(ファミリーなし)	
US	2011/0051313	A1	03.03.2011	TW 201110168 A	
US	2015/0179345	A1	25.06.2015	WO 2013/177543 A1	
WO	2008/001914	A1	03.01.2008	US 2009/0310275 A1 段落0033, 0045, 図1-4	
JP	2015-73047	A	16.04.2015	(ファミリーなし)	