

(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
2022年5月12日(12.05.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/097328 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 20/00 (2006.01) H03H 3/007 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01) H03H 9/24 (2006.01)
B81C 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/025075
- (22) 国際出願日: 2021年7月2日(02.07.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-185834 2020年11月6日(06.11.2020) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所
(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/
- JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 樋口 敬之 (HIGUCHI, Yoshiyuki);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 福光 政和 (FUKUMITSU, Masakazu); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 稲葉 良幸, 外 (INABA, Yoshiyuki et al.);
〒1066123 東京都港区六本木 6-10-1 六本木ヒルズ森タワー 23 階 TMI 総合法律事務所 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,

(54) Title: RESONANCE DEVICE AND RESONANCE DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 共振装置及び共振装置製造方法

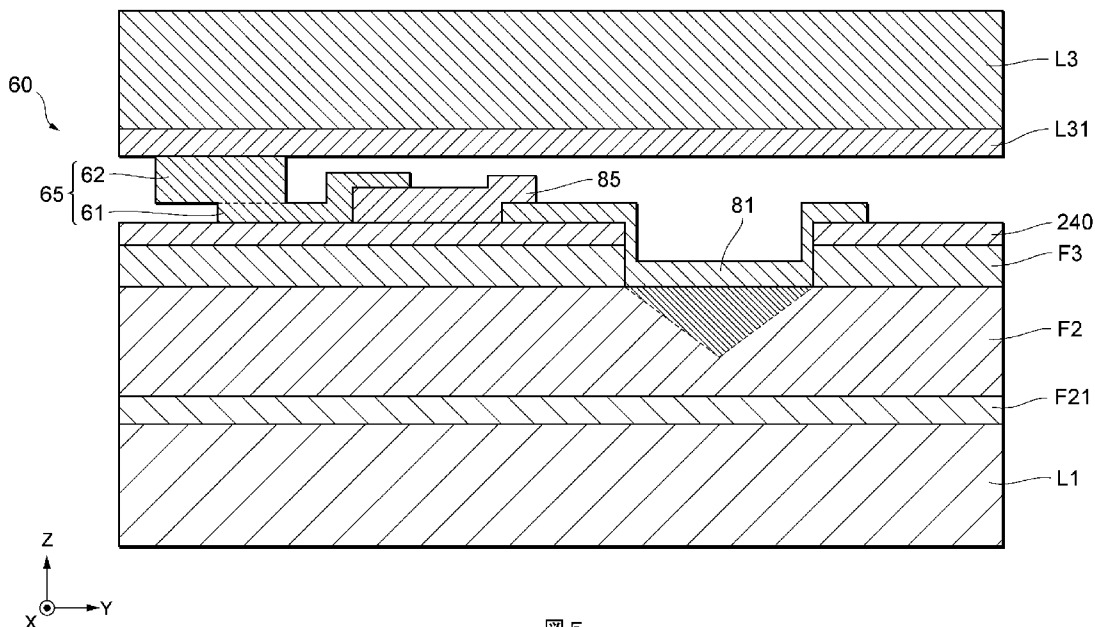


図 5

(57) Abstract: Provided are a resonance device and a resonance device manufacturing method that make it possible to suppress junction defects at a junction. The resonance device 1 comprises: a MEMS substrate 50 that includes a resonator 10; a top cover 30; and a junction 60 that is electroconductive and that joins the MEMS substrate 50 and the top cover 30. The MEMS substrate 50 further includes: a wiring layer 81 that is electrically connected to a Si substrate F2, which is a lower electrode of the resonator 10; and a diffusion prevention layer 85 that electrically connects the wiring layer

WO 2022/097328 A1

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

81 and the junction 60.

(57) 要約: 接合部の接合不良を抑制することのできる共振装置及び共振装置製造方法を提供する。共振装置1は、共振子10を含むMEMS基板50と、上蓋30と、導電性を有し、MEMS基板50と上蓋30とを接合する接合部60と、を備え、MEMS基板50は、共振子10の下部電極であるSi基板F2と電氣的に接続される配線層81と、配線層81と接合部60とを電氣的に接続する拡散防止層85と、をさらに含む。

明 細 書

発明の名称：共振装置及び共振装置製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、共振装置及び共振装置製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて製造された共振装置が普及している。このデバイスは、例えば共振子を有する下側基板に、上側基板を接合して形成される。

[0003] 例えば、特許文献1には、共振子を有する下側基板と、素子と対向して設けられた上側基板と、素子の周囲において、下側基板と上側基板とを接合する接合部と、を備え、接合部は、過共晶合金を含む領域と、共晶合金を含む領域とを有するMEMSデバイスが開示されている。このMEMSデバイスは、過共晶合金が共晶合金を覆うことで、共晶接合の接合面から金属がはみ出ることを防いでいる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2017/047663号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、接合部をグランド (GND) に接続して寄生容量 (浮遊容量) の発生を抑制することで、MEMSデバイスの特性の向上を図ることがある。この場合、接合部と共振子の下部電極とは、良好な電気接続性を有するアルミニウム (Al) の配線で接続されていた。

[0006] しかしながら、接合の際に、接合部を構成する金属、例えばゲルマニウム (Ge) がアルミニウムの配線に拡散し、共振子の下部電極側に流れ込むおそれがあった。そのため、接合部を構成する金属の比率が変化してしまい、

共晶比率（共晶比）が変化したり、共晶反応が不十分になったりすることがあった。その結果、接合部の接合強度が低下する等の接合不良が発生する場合があった。

[0007] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、接合部の接合不良を抑制することのできる共振装置及び共振装置製造方法を提供することを目的の1つとする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一側面に係る共振装置は、共振子を含む第1基板と、第2基板と、導電性を有し、第1基板と第2基板とを接合する接合部と、を備え、第1基板は、共振子の下部電極と電氣的に接続される配線層と、該配線層と接合部とを電氣的に接続する拡散防止層と、をさらに含む。

[0009] 本発明の他の一側面に係る共振装置製造方法は、第1金属層と、共振子と、該共振子の下部電極と電氣的に接続される配線層と、該配線層と第1金属層とを電氣的に接続する拡散防止層と、を含む第1基板を用意する工程と、第2金属層を含む第2基板を用意する工程と、第1基板と第2基板とを接合する工程であって、第1金属層の第1金属と第2金属層の第2金属との共晶合金を主成分とする共晶層を含む接合部を形成する、接合する工程と、を含む。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、接合部の接合不良を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係る共振装置の外観を概略的に示す斜視図である。

[図2]図2は、図1に示した共振装置の構造を概略的に示す分解斜視図である。

[図3]図3は、図2に示した共振子の構造を概略的に示す平面図である。

[図4]図4は、図1から図3に示した共振装置のⅠV-ⅠV線に沿った断面の構成を概略的に示す断面図である。

[図5]図5は、図4に示した接合部及びその周辺の構成を概略的に示す要部拡大断面図である。

[図6]図6は、一実施形態における共振装置の製造方法を示すフローチャートである。

[図7]図7は、図6に示した工程を説明するための断面図である。

[図8]図8は、図6に示した工程の第1例を説明するための要部拡大断面図である。

[図9]図9は、図6に示した工程の第2例を説明するための要部拡大断面図である。

[図10]図10は、図6に示した工程の第3例を説明するための要部拡大断面図である。

[図11]図11は、図6に示した工程の第4例を説明するための要部拡大断面図である。

[図12]図12は、図6に示した工程を説明するための要部拡大断面図である。

[図13]図13は、図6に示した工程を説明するための要部拡大平面図である。

[図14]図14は、図5に示した接合部の第3変形例を示す要部拡大断面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本発明の技術的範囲を当該実施形態に限定して解すべきではない。

[0013] <実施形態>

まず、図1及び図2を参照しつつ、本発明の一実施形態に従う共振装置の概略構成について説明する。図1は、一実施形態における共振装置1の外観を概略的に示す斜視図である。図2は、図1に示した共振装置1の構造を概

略的に示す分解斜視図である。

- [0014] 共振装置 1 は、下蓋 20 と、共振子 10（以下、下蓋 20 と共振子 10 とを合わせて「MEMS 基板 50」ともいう。）と、上蓋 30 と、を備えている。すなわち、共振装置 1 は、MEMS 基板 50 と、接合部 60 と、上蓋 30 とが、この順で積層されて構成されている。なお、MEMS 基板 50 は本発明の「第 1 基板」の一例に相当し、上蓋 30 は本発明の「第 2 基板」の一例に相当する。
- [0015] 以下において、共振装置 1 の各構成について説明する。なお、以下の説明では、共振装置 1 のうち上蓋 30 が設けられている側を上（又は表）、下蓋 20 が設けられている側を下（又は裏）、として説明する。
- [0016] 共振子 10 は、MEMS 技術を用いて製造される MEMS 振動子である。共振子 10 と上蓋 30 とは、後述する接合部 60 を介して接合されている。また、共振子 10 と下蓋 20 は、それぞれシリコン（Si）基板（以下、「Si 基板」という）を用いて形成されており、Si 基板同士が互いに接合されている。なお、MEMS 基板 50（共振子 10 及び下蓋 20）は、SOI 基板を用いて形成されてもよい。
- [0017] 上蓋 30 は XY 平面に沿って平板状に広がっており、その裏面に例えば平たい直方体形状の凹部 31 が形成されている。凹部 31 は、側壁 33 に囲まれており、共振子 10 が振動する空間である振動空間の一部を形成する。また、上蓋 30 の凹部 31 の共振子 10 側の面には、後述するゲッター層 34 が形成されている。なお、上蓋 30 は凹部 31 を有さず、平板状の構成でもよい。
- [0018] 下蓋 20 は、XY 平面に沿って設けられる矩形平板状の底板 22 と、底板 22 の周縁部から Z 軸方向、つまり、下蓋 20 と共振子 10 との積層方向、に延びる側壁 23 と、を有する。下蓋 20 には、共振子 10 と対向する面において、底板 22 の表面と側壁 23 の内面とによって形成される凹部 21 が形成されている。凹部 21 は、共振子 10 の振動空間の一部を形成する。なお、下蓋 20 は凹部 21 を有さず、平板状の構成でもよい。また、下蓋 20

の凹部21の共振子10側の面には、ゲッター層が形成されてもよい。

[0019] 次に、図3を参照しつつ、本発明の一実施形態に従う共振装置に含まれる共振子の概略構成について説明する。図3は、図2に示した共振子10の構造を概略的に示す平面図である。

[0020] 図3に示すように、共振子10は、MEMS技術を用いて製造されるMEMS振動子であり、図3の直交座標系におけるXY平面内で面外振動する。なお、共振子10は、面外屈曲振動モードを用いた共振子に限定されるものではない。共振装置1の共振子は、例えば、広がり振動モード、厚み縦振動モード、ラム波振動モード、面内屈曲振動モード、表面波振動モードを用いるものであってもよい。これらの振動子は、例えば、タイミングデバイス、RFフィルタ、デュプレクサ、超音波トランスデューサー、ジャイロセンサ、加速度センサ等に応用される。また、アクチュエーター機能を持った圧電ミラー、圧電ジャイロ、圧力センサ機能を持った圧電マイクロフォン、超音波振動センサ等に用いられてもよい。さらに、静電MEMS素子、電磁駆動MEMS素子、ピエゾ抵抗MEMS素子に適用してもよい。

[0021] 共振子10は、振動部120と、保持部140と、保持腕110と、を備える。

[0022] 保持部140は、XY平面に沿って振動部120の外側を囲むように、矩形の枠状に形成される。例えば、保持部140は、角柱形状の枠体から一体に形成されている。なお、保持部140は、振動部120の周囲の少なくとも一部に設けられていればよく、枠状の形状に限定されるものではない。

[0023] 保持腕110は、保持部140の内側に設けられ、振動部120と保持部140とを接続する。

[0024] 振動部120は、保持部140の内側に設けられており、振動部120と保持部140との間には、所定の間隔で空間が形成されている。図3に示す例では、振動部120は、基部130と4本の振動腕135A~135D（以下、まとめて「振動腕135」ともいう）と、を有している。なお、振動腕の数は、4本に限定されるものではなく、例えば1本以上の任意の数に設

定される。本実施形態において、各振動腕135A~135Dと、基部130とは、一体に形成されている。

[0025] 基部130は、平面視において、X軸方向に長辺131a、131b、Y軸方向に短辺131c、131dを有している。長辺131aは、基部130の前端の面（以下、「前端131A」ともいう）の一つの辺であり、長辺131bは基部130の後端の面（以下、「後端131B」ともいう）の一つの辺である。基部130において、前端131Aと後端131Bとは、互いに対向するように設けられている。

[0026] 基部130は、前端131Aにおいて、振動腕135に接続され、後端131Bにおいて、後述する保持腕110に接続されている。なお、基部130は、図3に示す例では平面視において、略長方形の形状を有しているがこれに限定されるものではない。基部130は、長辺131aの垂直二等分線に沿って規定される仮想平面Pに対して略面对称に形成されていればよい。例えば、基部130は、長辺131bが131aより短い台形であってもよいし、長辺131aを直径とする半円の形状であってもよい。また、基部130の各面は平面に限定されるものではなく、湾曲した面であってもよい。なお、仮想平面Pは、振動部120における、振動腕135が並ぶ方向の中心を通る平面である。

[0027] 基部130において、前端131Aから後端131Bに向かう方向における、前端131Aと後端131Bとの最長距離である基部長は35 μ m程度である。また、基部長方向に直交する幅方向であって、基部130の側端同士の最長距離である基部幅は265 μ m程度である。

[0028] 振動腕135は、Y軸方向に延び、それぞれ同一のサイズを有している。振動腕135は、それぞれが基部130と保持部140との間にY軸方向に平行に設けられ、一端は、基部130の前端131Aと接続されて固定端となっており、他端は開放端となっている。また、振動腕135は、それぞれ、X軸方向に所定の間隔で、並列して設けられている。なお、振動腕135は、例えばX軸方向の幅が50 μ m程度、Y軸方向の長さが465 μ m程度

である。

[0029] 振動腕 135 は、それぞれ、例えば開放端から 150 μm 程度の部分が、振動腕 135 の他の部位よりも X 軸方向の幅が広がっている。この幅が広がった部位は、錘部 G と呼ばれる。錘部 G は、例えば、振動腕 135 の他の部位よりも、X 軸方向に沿って左右に幅が 10 μm ずつ広く、X 軸方向の幅が 70 μm 程度である。錘部 G は、振動腕 135 と同一プロセスによって一体形成される。錘部 G が形成されることで、振動腕 135 は、単位長さ当たりの重さが、固定端側よりも開放端側の方が重くなっている。従って、振動腕 135 のそれぞれが開放端側に錘部 G を有することで、各振動腕における上下方向の振動の振幅を大きくすることができる。

[0030] 振動部 120 の表面（上蓋 30 に対向する面）には、その全面を覆うように後述の保護膜 235 が形成されている。また、振動腕 135 A ~ 135 D の開放端側の先端における保護膜 235 の表面には、それぞれ、周波数調整膜 236 が形成されている。保護膜 235 及び周波数調整膜 236 によって、振動部 120 の共振周波数を調整することができる。

[0031] なお、本実施形態では、共振子 10 の表面（上蓋 30 と対向する側の面）は、その略全面が保護膜 235 によって覆われている。さらに保護膜 235 の表面は、その略全面が寄生容量低減膜 240 で覆われている。ただし、保護膜 235 は少なくとも振動腕 135 を覆っていればよく、共振子 10 の略全面を覆う構成に限定されるものではない。

[0032] 次に、図 4 を参照しつつ、本発明の一実施形態に従う共振装置 1 の積層構造について説明する。図 4 は、図 1 から図 3 に示した共振装置 1 の I-V-I 線に沿った断面の構成を概略的に示す断面図である。

[0033] 図 4 に示すように、共振装置 1 は、下蓋 20 の側壁 23 上に共振子 10 の保持部 140 が接合され、さらに共振子 10 の保持部 140 と上蓋 30 の側壁 33 とが接合される。このように下蓋 20 と上蓋 30 との間に共振子 10 が保持され、下蓋 20 と上蓋 30 と共振子 10 の保持部 140 とによって、振動腕 135 が振動する振動空間が形成される。また、上蓋 30 の上面（共

振子10と対向する面と反対側の面)には端子T4が形成されている。端子T4と共振子10とは、貫通電極V3、接続配線70、及びコンタクト電極76A、76Bによって電氣的に接続されている。

[0034] 上蓋30は、所定の厚みを有するSi基板L3により形成されている。上蓋30はその周辺部(側壁33)で後述する接合部60によって共振子10の保持部140と接合されている。上蓋30における、共振子10に対向する表面は、酸化ケイ素膜L31に覆われている。酸化ケイ素膜L31は、例えば二酸化シリコン(SiO₂)であり、Si基板L3の表面の酸化や、化学気相蒸着(CVD:Chemical Vapor Deposition)によって、Si基板L3の表面に形成される。なお、上蓋30の裏面及び貫通電極V3の側面についても、酸化ケイ素膜L31に覆われていることが好ましい。

[0035] また、上蓋30の凹部31における、共振子10と対向する側の面にはゲッター層34が形成されている。ゲッター層34は、例えばチタン(Ti)等から形成され、振動空間に発生するアウトガスを吸着する。本実施形態に係る上蓋30には、凹部31において共振子10に対向する面のほぼ全面にゲッター層34が形成されるため、振動空間の真空度の低下を抑制することができる。

[0036] また、上蓋30の貫通電極V3は、上蓋30に形成された貫通孔に導電性材料が充填されて形成される。充填される導電性材料は、例えば、不純物ドーパされた多結晶シリコン(Poly-Si)、銅(Cu)、金(Au)、不純物ドーパされた単結晶シリコン等である。貫通電極V3は、端子T4と電圧印加部141とを電氣的に接続させる配線としての役割を果たす。

[0037] 下蓋20の底板22及び側壁23は、SiウエハL1により、一体的に形成されている。また、下蓋20は、側壁23の上面によって、共振子10の保持部140と接合されている。Z軸方向に規定される下蓋20の厚みは例えば、150μm、凹部21の深さは例えば50μmである。なお、SiウエハL1は、縮退されていないシリコンから形成されており、その抵抗率は

例えば $16 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上である。

[0038] 共振子 10 における、保持部 140、基部 130、振動腕 135、及び保持腕 110 は、同一プロセスで一体的に形成される。共振子 10 は、基板の一例である Si 基板 F2 の上に、Si 基板 F2 を覆うように圧電薄膜 F3 が形成され、さらに圧電薄膜 F3 の上には、金属層 E2 が積層されている。そして、金属層 E2 の上には、金属層 E2 を覆うように圧電薄膜 F3 が積層されており、さらに、圧電薄膜 F3 の上には、金属層 E1 が積層されている。金属層 E1 の上には、金属層 E1 を覆うように保護膜 235 が積層され、保護膜 235 の上には寄生容量低減膜 240 が積層されている。保持部 140、基部 130、振動腕 135、及び保持腕 110 のそれぞれの外形は、前述した Si 基板 F2、圧電薄膜 F3、金属層 E2、金属層 E1、保護膜 235 等から構成される積層体を、例えばアルゴン (Ar) イオンビームを照射するドライエッチングによって除去加工し、パターニングすることによって形成される。

[0039] Si 基板 F2 は、例えば、厚さ $6 \mu\text{m}$ 程度の縮退した n 型シリコン (Si) 半導体から形成されていてもよい。縮退シリコン (Si) は、n 型ドーパントとしてリン (P) やヒ素 (As)、アンチモン (Sb) 等を含むことができる。Si 基板 F2 に用いられる縮退シリコン (Si) の抵抗値は、例えば $16 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 未満であり、より好ましくは $1.2 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。

[0040] このように、Si 基板 F2 が、縮退シリコン (Si) であることにより、例えば低抵抗値である縮退シリコン基板を用いることで、Si 基板 F2 自体が共振子 10 の下部電極の役割を兼ねることができる。この場合、前述した金属層 E2 は省略される。

[0041] Si 基板 F2 の下面には、温度特性補正層の一例として、例えば二酸化シリコン (SiO_2) である酸化ケイ素層 F21 が形成されている。これにより、温度特性を向上させることが可能になる。なお、酸化ケイ素層 F21 は、Si 基板 F2 の上面に形成されてもよいし、Si 基板 F2 の上面及び下面の

両方に形成されてもよい。

- [0042] また、金属層E1、E2は、例えば厚さ0.1 μ m以上0.2 μ m以下程度であり、成膜後に、エッチング等により所望の形状にパターニングされる。金属層E1、E2は、結晶構造が体心立方構造である金属が用いられている。具体的には、金属層E1、E2は、Mo（モリブデン）、タングステン（W）等を用いて形成される。
- [0043] 金属層E1は、例えば振動部120上においては、上部電極としての役割を果たすように形成される。また、金属層E1は、保持腕110や保持部140上においては、共振子10の外部に設けられた交流電源に上部電極を接続するための配線としての役割を果たすように形成される。
- [0044] 一方、金属層E2は、振動部120上においては、下部電極としての役割を果たすように形成される。また、金属層E2は、保持腕110や保持部140上においては、共振子10の外部に設けられた回路に下部電極を接続するための配線としての役割を果たすように形成される。
- [0045] 圧電薄膜F3は、印加された電圧を振動に変換する圧電体の薄膜である。圧電薄膜F3は、結晶構造がウルツ鉱型六方晶構造を持つ材質から形成されており、例えば、窒化アルミニウム（AlN）、窒化スカンジウムアルミニウム（ScAlN）、酸化亜鉛（ZnO）、窒化ガリウム（GaN）、窒化インジウム（InN）等の窒化物や酸化物を主成分とすることができる。なお、窒化スカンジウムアルミニウムは、窒化アルミニウムにおけるアルミニウムの一部がスカンジウムに置換されたものであり、スカンジウムの代わりにマグネシウム（Mg）及びニオブ（Nb）やマグネシウム（Mg）及びジルコニウム（Zr）等の2元素で置換されていてもよい。また、圧電薄膜F3は、例えば1 μ mの厚さを有するが、0.2 μ mから2 μ m程度の厚さを用いることも可能である。
- [0046] 圧電薄膜F3は、金属層E1、E2によって圧電薄膜F3に印加される電界に応じて、XY平面の面内方向すなわちY軸方向に伸縮する。この圧電薄膜F3の伸縮によって、振動腕135は、下蓋20及び上蓋30の内面に向

かってその自由端を変位させ、面外の屈曲振動モードで振動する。

[0047] 本実施形態では、外側の振動腕 135 A、135 D に印加される電界の位相と、内側の振動腕 135 B、135 C に印加される電界の位相とが互いに逆位相になるように設定される。これにより、外側の振動腕 135 A、135 D と内側の振動腕 135 B、135 C とが互いに逆方向に変位する。例えば、外側の振動腕 135 A、135 D が上蓋 30 の内面に向かって自由端を変位すると、内側の振動腕 135 B、135 C は下蓋 20 の内面に向かって自由端を変位する。

[0048] 保護膜 235 は、圧電振動用の上部電極である金属層 E 2 の酸化を防ぐ。保護膜 235 は、エッチングによる質量低減の速度が周波数調整膜 236 より遅い材料により形成されることが好ましい。質量低減速度は、エッチング速度、つまり、単位時間あたりに除去される厚みと密度との積により表される。保護膜 235 は、例えば、窒化アルミニウム (AlN)、窒化スカンジウムアルミニウム (ScAlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、窒化ガリウム (GaN)、窒化インジウム (InN) 等の圧電膜の他、窒化シリコン (SiN)、二酸化シリコン (SiO₂)、酸化アルミナ (Al₂O₃) 等の絶縁膜で形成される。保護膜 235 の厚さは、例えば 0.2 μm 程度である。

[0049] 周波数調整膜 236 は、振動部 120 の略全面に形成された後、エッチング等の加工により所定の領域のみに形成される。周波数調整膜 236 は、エッチングによる質量低減の速度が保護膜 235 より速い材料により形成される。具体的には、周波数調整膜 236 は、モリブデン (Mo) や、タングステン (W)、金 (Au)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni)、チタン (Ti) 等の金属で構成される。

[0050] なお、保護膜 235 と周波数調整膜 236 とは、質量低減速度の関係が前述の通りであれば、エッチング速度の大小関係は任意である。

[0051] 寄生容量低減膜 240 は、オルトケイ酸テトラエチル (TEOS) から形成されている。寄生容量低減膜 240 の厚さは 1 μm 程度である。引回し配線部における寄生容量を低減するとともに、異なる電位の配線がクロスする

際の絶縁層としての機能と、振動空間を広げるためのスタンドオフとしての機能と、を有する。

[0052] 接続配線70は、貫通電極V3を介して端子T4に電氣的に接続されるとともに、コンタクト電極76A、76Bに電氣的に接続される。

[0053] コンタクト電極76Aは、共振子10の金属層E1に接触するように形成され、接続配線70と共振子10とを電氣的に接続する。コンタクト電極76Bは、共振子10の金属層E2に接触するように形成され、接続配線70と共振子10とを電氣的に接続する。具体的には、コンタクト電極76Aと金属層E1との接続にあたり、金属層E1が露出するように、金属層E1上に積層された圧電薄膜F3、保護膜235、及び寄生容量低減膜240の一部が除去され、ビアV1が形成される。形成されたビアV1の内部にコンタクト電極76Aと同様の材料が充填され、金属層E1とコンタクト電極76Aとが接続される。同様に、コンタクト電極76Bと金属層E2との接続にあたり、金属層E2が露出するように、金属層E2上に積層された圧電薄膜F3及び寄生容量低減膜240の一部が除去され、ビアV2が形成される。形成されたビアV2の内部にコンタクト電極76Bが充填され、金属層E2とコンタクト電極76Bとが接続される。コンタクト電極76A、76Bは、例えばアルミニウム(A1)、金(Au)、錫(Sn)等の金属で構成される。なお、金属層E1とコンタクト電極76Aとの接続箇所、及び金属層E2とコンタクト電極76Bとの接続箇所は、振動部120の外側の領域であることが好ましく、本実施形態では保持部140で接続されている。

[0054] 接合部60は、共振子10における振動部120の周囲、例えば保持部140上において、MEMS基板50(共振子10及び下蓋20)と上蓋30との間に、XY平面に沿って矩形の環状に形成される。接合部60は、共振子10の振動空間を封止するように、MEMS基板50と上蓋30とを接合する。これにより、振動空間は気密に封止され、真空状態が維持される。

[0055] 本実施形態では、接合部60は、MEMS基板50に形成される第1金属層61と、上蓋30に形成される第2金属層62とを含み、第1金属層61

と第2金属層62とを共晶接合させることで、MEMS基板50と上蓋30とが接合している。

[0056] なお、本実施形態では、接合部60は、共振子10における振動部120の周囲全体に設けられ、共振子10の振動空間を封止する例を説明したが、これに限定されるものではない。接合部60がMEMS基板50と上蓋30とを接合する限り、例えば、接合部60は、共振子10における振動部120の周囲の一部に形成されていてもよい。

[0057] 次に、図5を参照しつつ、本発明の一実施形態に従う共振装置の接合部及びその周辺の構成について説明する。図5は、図4に示した接合部60及びその周辺の構成を概略的に示す要部拡大断面図である。なお、図5は図4に示した断面とX座標の位置が異なるZY平面の断面である。また、以下の説明において、特に明記する場合を除き、Si基板F2は縮退シリコン(Si)であり、Si基板F2自体が共振子10の下部電極の役割を兼ねるものとする。そのため、前述した金属層E1は、含まないものとする。

[0058] 図5に示すように、接合部60は、共晶合金を主成分とする共晶層65を含んでいる。共晶層65の共晶合金は、例えば、アルミニウム(Al)を主成分とする第1金属層61と、ゲルマニウム(Ge)の第2金属層62との共晶合金である。

[0059] 図5に示す例では、第1金属層61と、第2金属層62とは、それぞれ独立した層として記載しているが、実際には、これらの界面は共晶接合している。すなわち、共晶層65は、アルミニウム(Al)を主成分とする第1金属と、ゲルマニウム(Ge)の第2金属との共晶合金を主成分として構成されている。このように、接合部60が、アルミニウム(Al)を主成分とする第1金属層61の第1金属と、ゲルマニウム(Ge)である第2金属層62の第2金属との共晶合金を主成分とする共晶層65を含むことにより、導電性を有し、接合強度の高い接合部60を容易に実現することができる。

[0060] 第1金属層61の第1金属は、例えば、アルミニウム(Al)、アルミニウム-銅合金(AlCu合金)、又は、アルミニウム-シリコン-銅合金(

A l S i C u合金)で構成される。アルミニウム又はアルミニウム合金は、第2金属層62のゲルマニウム(Ge)と容易に共晶接合させることができるとともに、共振装置等において、例えば配線等によく用いられる金属であるため、共振装置1の製造工程を簡素化することができ、MEMS基板50と上蓋30とを接合する接合部60を容易に形成することができる。

[0061] 以下の説明において、特に明記する場合を除き、第1金属層61の第1金属はアルミニウム(A l)であり、第2金属層62の第2金属はゲルマニウム(Ge)であり、共晶層65は、アルミニウム-ゲルマニウムを主成分とするものとする。この場合、共晶層65には、アルミニウム-ゲルマニウム以外に、アルミニウム(A l)、ゲルマニウム(Ge)を含み得る。

[0062] 接合部60の周辺において、寄生容量低減膜240の上に配線層81が設けられている。配線層81は、導電性を有し、共振子10の下部電極としての機能を有するS i基板F2と電氣的に接続されるように構成されている。配線層81の形成は、まず、寄生容量低減膜240及び圧電薄膜F3の一部を除去し、孔が形成される。そして、当該孔に導電性材料が充填され、S i基板F2と電氣的に接続される。

[0063] また、寄生容量低減膜240の上には、拡散防止層85が設けられている。拡散防止層85は、導電性を有し、配線層81と接合部60とを電氣的に接続するように構成されている。拡散防止層85は、接合部60を構成する金属の拡散を遮断して防止する機能を有する。

[0064] このように、MEMS基板50(共振子10及び下蓋20)が、共振子10の下部電極であるS i基板F2と電氣的に接続される配線層81を含むことにより、拡散防止層85を介して接合部60の電位を共振装置1の基準電位(GND)に落とすことができ、寄生容量(浮遊容量)の発生を抑制することができる。また、MEMS基板50(共振子10及び下蓋20)が、配線層81と接合部60とを電氣的に接続する拡散防止層85を含むことにより、上蓋30とMEMS基板50とを接合する際に、接合部60を構成する金属が配線層81に拡散するのを拡散防止層85によって防止することができ

きる。従って、拡散による接合部60の金属比率の変化を減少させることができ、接合部60の接合不良を抑制することができる。

[0065] また、配線層81は、接合部60の端部から距離を空けた位置に形成されている。言い換えれば、配線層81は、MEMS基板50（共振子10及び下蓋20）において、接合部60の端部から距離を空けて配置されている。これにより、接合部60と配線層81との間に拡散防止層85を配置することが可能となる。従って、後述する接合部60の直下に拡散防止層85を形成する場合と比較して、拡散防止層85を薄くすることができ、共振装置1の製品コストを削減することができる。

[0066] 配線層81の材料は、アルミニウム（Al）を主成分とする金属であることが好ましい。アルミニウム（Al）を主成分とする金属は、例えば、アルミニウム（Al）、アルミニウム-銅合金（AlCu合金）、又は、アルミニウム-シリコン-銅合金（AlSiCu合金）である。これにより、相対的に低い温度、例えば450℃の熱処理で、共振子10の下部電極であるSi基板F2の表面に形成される酸化膜を除去（還元）することができる。

[0067] なお、配線層81の材料は、アルミニウムを主成分とする金属である場合に限定されるものではない。例えば、配線層81の材料は、チタン（Ti）等の金属であってもよい。

[0068] 配線層81がアルミニウムを主成分とする金属で構成される場合、図5において破線で示すように、配線層81とSi基板F2との界面において、アルミニウム（Al）とケイ素（Si）とが相互拡散する、いわゆるアロイスパイクが発生し得る。この場合、Si基板F2のケイ素は、接合部60に溶け出しやすい状態になり、接合部60との間にある拡散防止層85の役割は、さらに重要となる。

[0069] 拡散防止層85は、接合部60の金属に対して拡散性の低い金属で構成される。拡散防止層85の材料は、例えばモリブデン（Mo）又はタングステン（W）であることが好ましい。これにより、共晶層65のアルミニウム（Al）及びゲルマニウム（Ge）の拡散を容易に遮断することができる。

- [0070] 以下の説明において、特に明記する場合を除き、配線層 81 の材料はアルミニウム (Al) であり、拡散防止層 85 の材料はモリブデン (Mo) であるものとする。
- [0071] 次に、図 6 から図 13 を参照しつつ、本発明の一実施形態に従う共振装置製造方法について説明する。図 6 は、一実施形態における共振装置 1 の製造方法を示すフローチャートである。図 7 は、図 6 に示した工程 S301 を説明するための断面図である。図 8 は、図 6 に示した工程 S302 の第 1 例を説明するための要部拡大断面図である。図 9 は、図 6 に示した工程 S302 の第 2 例を説明するための要部拡大断面図である。図 10 は、図 6 に示した工程 S302 の第 3 例を説明するための要部拡大断面図である。図 11 は、図 6 に示した工程 S302 の第 4 例を説明するための要部拡大断面図である。図 12 は、図 6 に示した工程 S303 を説明するための要部拡大断面図である。図 13 は、図 6 に示した工程 S304 を説明するための要部拡大断面図である。なお、図 7 から図 13 では、便宜上、製造方法によって製造される複数の共振装置 1 のうち 1 つの共振装置 1 を示して説明する。
- [0072] 図 6 に示すように、最初に、MEMS 基板 50 及び上蓋 30 を用意する (S301)。具体的には、図 7 に示すように、前述した、共振子 10 を含む MEMS 基板 50 と、上蓋 30 と、を用意する。但し、貫通電極 V3 と共振子 10 とを接続するための、図 4 に示した接続配線 70 は、未だ形成されていない。また、図 5 に示した接合部 60、配線層 81、及び拡散防止層 85 についても、同様に、未だ形成されていない。
- [0073] なお、工程 S301 において、MEMS 基板 50 及び上蓋 30 を用意する例を示したが、これに限定されるものではない。例えば、MEMS 基板 50 を用意する工程と、上蓋 30 を用意する工程とに分けて、MEMS 基板 50 及び上蓋 30 を、それぞれ用意してもよい。
- [0074] 図 6 に戻り、次に、第 1 金属層 61、配線層 81、及び拡散防止層 85 を、工程 S301 で用意した MEMS 基板 50 に形成する (S302)。
- [0075] 具体的には、図 8 に示すように、用意した MEMS 基板 50 (共振子 10

）において、まず、エッチング等によって、所定の位置における寄生容量低減膜240及び圧電薄膜F3を除去して孔を形成し、Si基板F2と電氣的に接続されるように、アルミニウム（Al）を形成された孔に充填することで、配線層81が形成される。次に、寄生容量低減膜240及び配線層81の端部の上にモリブデン（Mo）を積層し、エッチング等によって、積層されたモリブデン（Mo）を所望の形状にすることで、拡散防止層85が形成される。そして、寄生容量低減膜240及び拡散防止層85の端部の上にアルミニウム（Al）を積層し、エッチング等によって、積層されたアルミニウム（Al）を所望の形状にすることで、第1金属層61が形成される。

[0076] 第1金属層61を形成した後、MEMS基板50に対して脱ガスのための加熱処理を高温、例えば435℃程度で行ってもよい。アルミニウム（Al）を主成分とする第1金属層61は、高温で加熱処理を行っても熱拡散による影響が少ない。

[0077] 図8では、第1金属層61、配線層81、及び拡散防止層85が、配線層81、拡散防止層85、第1金属層61の順で、MEMS基板50に形成される例を示したが、これに限定されるものではない。例えば、図9に示すように、用意したMEMS基板50（共振子10）において、まず、寄生容量低減膜240の上にモリブデン（Mo）を積層して拡散防止層85を形成し、次に、寄生容量低減膜240の所定の位置に孔を形成して当該孔にアルミニウム（Al）を充填するとともに、寄生容量低減膜240及び拡散防止層85の端部の上にアルミニウム（Al）を積層することで、配線層81及び第1金属層61を形成してもよい。

[0078] また、例えば、図10に示すように、用意したMEMS基板50（共振子10）において、まず、寄生容量低減膜240の所定の位置に孔を形成して当該孔にアルミニウム（Al）を充填するとともに、寄生容量低減膜240の上にアルミニウム（Al）を積層することで、配線層81及び第1金属層61を形成し、次に、寄生容量低減膜240、配線層81の端部、及び第1金属層61の端部の上にモリブデン（Mo）を積層して拡散防止層85を形

成してもよい。

[0079] このように、拡散防止層 85 の形成前又は形成後に、第 1 金属層 61 及び配線層 81 を形成することにより、拡散防止層 85 の上層又は下層に第 1 金属層 61 及び配線層 81 を形成することができる。従って、第 1 金属層 61 及び配線層 81 の形成プロセスを減少させ、製造コストを削減することができる。

[0080] さらに、例えば、図 11 に示すように、拡散防止層 85 は 2 層以上で構成されていてもよい。この場合、圧電薄膜 F3 の上にモリブデン (Mo) を積層し、共振子 10 の上部電極としての機能を有する金属層 E1 と、拡散防止層 85 の第 1 層 85 a とを形成する。次に、圧電薄膜 F3 の上に金属層 E1 を覆うように寄生容量低減膜 240 を積層し、寄生容量低減膜 240 の所定の位置に保護膜 235 を積層する。次に、保護膜 235 の所定の位置に及び第 1 層 85 a の上にモリブデン (Mo) を積層し、周波数調整膜 236 と、拡散防止層 85 の第 2 層 85 b とを形成する。そして、寄生容量低減膜 240 の所定の位置に孔を形成して当該孔にアルミニウム (Al) を充填するとともに、寄生容量低減膜 240 及び拡散防止層 85 の端部の上にアルミニウム (Al) を積層することで、配線層 81 及び第 1 金属層 61 を形成する。

[0081] このように、拡散防止層 85 の第 1 層 85 a を形成し、第 1 層 85 a の上に拡散防止層 85 の第 2 層 85 b を形成することにより、拡散防止層 85 を厚くすることができ、接合部 60 を構成する金属の拡散を遮断する遮断性を向上させることができる。

[0082] なお、工程 S302 は、工程 S301 と分けて行う場合に限定されるものではない。例えば、第 1 金属層 61、配線層 81、及び拡散防止層 85 の形成は、工程 S301 の一部として行ってもよいし、工程 S301 から分けられた、MEMS 基板 50 を用意する工程の一部として行ってもよい。

[0083] 図 6 に戻り、次に、第 2 金属層 62 を工程 S301 で用意した上蓋 30 に形成する (S303)。

[0084] 具体的には、図 12 に示すように、上蓋 30 の裏面における酸化ケイ素膜

L 3 1 の表面に、ゲルマニウム (Ge) を積層して所定の位置に第 2 金属層 6 2 を形成する。第 2 金属層 6 2 が形成される所定の位置は、例えば、MEMS 基板 5 0 の表面と上蓋 3 0 の裏面とを対向させたときに、上蓋 3 0 の裏面において、MEMS 基板 5 0 に形成された第 1 金属層 6 1 に対向又は略対向する位置である。

[0085] 第 2 金属層 6 2 を形成した後、上蓋 3 0 に対して脱ガスのための加熱処理を高温、例えば 4 3 5 °C 程度で行う。これにより、上蓋 3 0 及び第 2 金属層 6 2 に含まれるガスを十分に放出 (蒸発) させることができ、アウトガスの発生を低減することができる。

[0086] なお、工程 S 3 0 3 は、工程 S 3 0 1 と分けて行う場合に限定されるものではない。例えば、第 2 金属層 6 2 の形成は、工程 S 3 0 1 の一部として行ってもよいし、工程 S 3 0 1 から分けられた、上蓋 3 0 を用意する工程の一部として行ってもよい。

[0087] 図 6 に戻り、次に、工程 S 3 0 2 において第 1 金属層 6 1、配線層 8 1、及び拡散防止層 8 5 が形成された MEMS 基板 5 0 と、工程 S 3 0 3 において第 2 金属層 6 2 が形成された上蓋 3 0 とを接合する (S 3 0 4)。この工程 S 3 0 4 は、アルミニウム (Al) を主成分とする第 1 金属とゲルマニウム (Ge) の第 2 金属との共晶合金を主成分とする共晶層 6 5 を含む接合部 6 0 を形成することを含む。

[0088] 具体的には、第 1 金属層 6 1 と第 2 金属層 6 2 とが一致するように、MEMS 基板 5 0 と上蓋 3 0 との位置を合わせる。位置合わせをした後、ヒータ等によって MEMS 基板 5 0 と上蓋 3 0 とが挟み込まれ、共晶反応のための加熱処理が行われる。このとき、上蓋 3 0 は、MEMS 基板 5 0 に向かって移動させられる。この結果、図 1 3 に示すように、第 2 金属層 6 2 は第 1 金属層 6 1 に接触する。

[0089] 共晶接合のための加熱処理における温度は、共焦点の温度以上アルミニウム (Al) 単体の場合の融点未満、すなわち、4 2 4 °C 以上 6 2 0 °C 未満程度であることが好ましい。また、加熱時間は、1 0 分以上 2 0 分以下程度で

あることが好ましい。本実施形態では、430℃以上500℃以下の温度で15分程度の加熱処理が行われる。

[0090] 加熱時には、上蓋30及びMEMS基板50は、図13に黒矢印で示すように、上蓋30からMEMS基板50へと押圧される。押圧される圧力は、5MPa以上25MPa以下程度であることが好ましい。

[0091] また、共晶接合のための加熱処理後は、例えば自然放冷によって冷却処理が行われる。なお、冷却処理は自然放冷に限らず、接合部60において共晶層65を形成できればよく、その冷却温度や冷却スピードは種々選択可能である。

[0092] 図6に示す工程S304を行った結果、図5に示したように、第1金属と第2金属との共晶合金を主成分とする共晶層65を含む接合部60が形成される。

[0093] また、第1金属層61を形成する際にMEMS基板50の所定の位置にアルミニウム(A1)膜を形成し、第2金属層62を形成する際に上蓋30の所定の位置にゲルマニウム(Ge)膜を形成し、これらを共晶接合させることで、貫通電極V3と共振子10とを接続するための、図4に示した接続配線70を設けるようにしてもよい。

[0094] 本実施形態では、配線層81がMEMS基板50において接合部60の端部から距離を空けて配置される例を示したが、これに限定されるものではない。配線層81が形成され、配置される位置は、適宜変更することが可能である。

[0095] (変形例)

図14は、図5に示した接合部60及びその周辺の構成の変形例を概略的に示す要部拡大断面図である。なお、変形例において、図5に示した接合部60と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を適宜省略する。また、同様の構成による同様の作用効果については、逐次言及しない。

[0096] 図14に示すように、配線層81A及び拡散防止層85Aは、それぞれ、接合部60の下に設けられていてもよい。

この場合、配線層 8 1 A は、共振子 1 0 における振動部 1 2 0 の周囲の一部に形成される。配線層 8 1 A の上には、当該配線層 8 1 A を覆うように拡散防止層 8 5 A が形成される。そして、拡散防止層 8 5 A の上に第 1 金属層 6 1 が形成される。このように MEMS 基板 5 0 に形成された拡散防止層 8 5 A 上の第 1 金属層 6 1 と、上蓋 3 0 の裏面に形成された第 2 金属層 6 2 とを共晶接合することにより、共晶層 6 5 を含む接合部 6 0 が形成される。

[0097] 以上、本発明の例示的な実施形態について説明した。一実施形態に従う共振装置において、MEMS 基板は、共振子の下部電極と電氣的に接続される配線層を含む。これにより、拡散防止層を介して接合部の電位を共振装置の基準電位 (GND) に落とすことができ、寄生容量 (浮遊容量) の発生を抑制することができる。また、MEMS 基板は、配線層と接合部とを電氣的に接続する拡散防止層を含む。これにより、上蓋と MEMS 基板とを接合する際に、接合部を構成する金属が配線層に拡散するのを拡散防止層によって防止することができる。従って、拡散による接合部の金属比率の変化を減少させることができ、接合部の接合不良を抑制することができる。

[0098] また、前述した共振装置において、接合部は、アルミニウム (Al) を主成分とする第 1 金属層の第 1 金属と、ゲルマニウム (Ge) である第 2 金属層の第 2 金属との共晶合金を主成分とする共晶層を含む。これにより、導電性を有し、接合強度の高い接合部を容易に実現することができる。

[0099] また、前述した共振装置において、拡散防止層の材料は、モリブデン (Mo) 又はタングステン (W) である。これにより、共晶層のアルミニウム (Al) 及びゲルマニウム (Ge) の拡散を容易に遮断することができる。

[0100] また、前述した共振装置において、Si 基板の材料は、縮退シリコン (Si) である。これにより、例えば低抵抗値である縮退シリコン基板を用いることで、Si 基板自体が共振子の下部電極の役割を兼ねることができる。

[0101] また、前述した共振装置において、配線層の材料は、アルミニウム (Al) を主成分とする金属である。これにより、相対的に低い温度、例えば 450°C の熱処理で、共振子の下部電極である Si 基板の表面に形成される酸化

膜を除去（還元）することができる。

- [0102] また、前述した共振装置において、配線層は、MEMS基板において、接合部の端部から距離を空けて配置されている。これにより、接合部と配線層との間に拡散防止層を配置することが可能となる。従って、接合部の直下に拡散防止層を形成する場合と比較して、拡散防止層を薄くすることができ、共振装置の製品コストを削減することができる。
- [0103] 一実施形態に従う共振装置製造方法において、第1金属層と、共振子と、該共振子の下部電極であるSi基板と電氣的に接続される配線層と、該配線層と第1金属層とを電氣的に接続する拡散防止層と、を含むMEMS基板を用意する工程を含む。これにより、拡散防止層を介して接合部の電位を共振装置の基準電位（GND）に落とすことができ、寄生容量（浮遊容量）の発生を抑制することができる。また、MEMS基板は、配線層と接合部とを電氣的に接続する拡散防止層を含む。これにより、上蓋とMEMS基板とを接合する際に、接合部を構成する金属が配線層に拡散するのを拡散防止層によって防止することができる。従って、拡散による接合部の金属比率の変化を減少させることができ、接合部の接合不良を抑制することができる。
- [0104] また、前述した共振装置製造方法において、MEMS基板を用意する工程は、拡散防止層の形成前又は形成後に、第1金属層及び配線層を形成することを含む。これにより、拡散防止層の上層又は下層に第1金属層及び配線層を形することができる。従って、第1金属層及び配線層の形成プロセスを減少させ、製造コストを削減することができる。
- [0105] また、前述した共振装置製造方法において、MEMS基板を用意する工程は、拡散防止層の第1層を形成することと、第1層の上に拡散防止層の第2層を形成することと、を含む。これにより、拡散防止層を厚くすることができ、接合部を構成する金属の拡散を遮断する遮断性を向上させることができる。
- [0106] また、前述した共振装置製造方法において、MEMS基板を用意する工程は、MEMS基板において、接合部の端部から距離を空けて位置に配線層を

形成することを含む。これにより、接合部と配線層との間に拡散防止層を配置することが可能となる。従って、接合部の直下に拡散防止層を形成する場合と比較して、拡散防止層を薄くすることができ、共振装置の製品コストを削減することができる。

[0107] また、前述した共振装置製造方法において、第1金属層の第1金属はアルミニウム（Al）を主成分とする金属であり、第2金属層の第2金属はゲルマニウム（Ge）である。これにより、導電性を有し、接合強度の高い接合部を容易に実現することができる。

[0108] また、前述した共振装置製造方法において、拡散防止層の材料は、モリブデン（Mo）又はタングステン（W）である。これにより、共晶層のアルミニウム（Al）及びゲルマニウム（Ge）の拡散を容易に遮断することができる。

[0109] また、前述した共振装置製造方法において、Si基板の材料は、縮退シリコン（Si）である。これにより、例えば低抵抗値である縮退シリコン基板を用いることで、Si基板自体が共振子の下部電極の役割を兼ねることができる。

[0110] また、前述した共振装置製造方法において、配線層の材料は、アルミニウム（Al）を主成分とする金属である。これにより、相対的に低い温度、例えば450℃の熱処理で、共振子の下部電極であるSi基板の表面に形成される酸化膜を除去（還元）することができる。

[0111] なお、以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。すなわち、各実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、実施形態が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、実施形態は例示であり、異なる実施形態で示した構成の部分的な置換又は組み

合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

符号の説明

[0112] 1…共振装置、10…共振子、20…下蓋、21…凹部、22…底板、23…側壁、30…上蓋、31…凹部、33…側壁、34…ゲッター層、50…MEMS基板、60…接合部、61…第1金属層、62…第2金属層、65…共晶層、70…接続配線、76A…コンタクト電極、76B…コンタクト電極、81, 81A…配線層、85, 85A…拡散防止層、85a…第1層、85b…第2層、110…保持腕、120…振動部、130…基部、131a…長辺、131A…前端、131b…長辺、131B…後端、131c…短辺、131d…短辺、135, 135A, 135B, 135C, 135D…振動腕、140 保持部、141…電圧印加部、235…保護膜、236…周波数調整膜、240…寄生容量低減膜、E1…金属層、E2…金属層、F2…Si基板、F3…圧電薄膜、F21…酸化ケイ素層、G…錘部、L1…Siウエハ、L3…Si基板、L31…酸化ケイ素膜、P…仮想平面、T4…端子、V1…ビア、V2…ビア、V3…貫通電極。

請求の範囲

- [請求項1] 共振子を含む第1基板と、
第2基板と、
導電性を有し、前記第1基板と前記第2基板とを接合する接合部と、
を備え、
前記第1基板は、前記共振子の下部電極と電氣的に接続される配線層と、該配線層と前記接合部とを電氣的に接続する拡散防止層と、をさらに含む、
共振装置。
- [請求項2] 前記接合部は、アルミニウムを主成分とする第1金属と、ゲルマニウムの第2金属との共晶合金を主成分とする共晶層を含む、
請求項1に記載の共振装置。
- [請求項3] 前記拡散防止層の材料は、モリブデン又はタングステンである、
請求項2に記載の共振装置。
- [請求項4] 前記下部電極の材料は、縮退シリコンである、
請求項1から3のいずれか一項に記載の共振装置。
- [請求項5] 前記配線層の材料は、アルミニウムを主成分とする金属である、
請求項4に記載の共振装置。
- [請求項6] 前記配線層は、前記第1基板において、前記接合部の端部から距離を空けて配置される、
請求項1から5のいずれか一項に記載の共振装置。
- [請求項7] 第1金属層と、共振子と、該共振子の下部電極と電氣的に接続される配線層と、該配線層と前記第1金属層とを電氣的に接続する拡散防止層と、を含む第1基板を用意する工程と、
第2金属層を含む第2基板を用意する工程と、
前記第1基板と前記第2基板とを接合する工程であって、前記第1金属層の第1金属と前記第2金属層の第2金属との共晶合金を主成分とする共晶層を含む接合部を形成する、接合する工程と、を含む、

共振装置製造方法。

- [請求項8] 前記第1基板を用意する工程は、
前記拡散防止層の形成前又は形成後に、前記第1金属層及び前記配線層を形成することと、を含む、
請求項7に記載の共振装置製造方法。
- [請求項9] 前記第1基板を用意する工程は、
前記拡散防止層の第1層を形成することと、
該第1層の上に前記拡散防止層の第2層を形成することと、を含む
、
請求項7又は8に記載の共振装置製造方法。
- [請求項10] 前記第1基板を用意する工程は、
前記第1基板において、前記第1金属層の端部から距離を空けた位置に前記配線層を形成することを含む、
請求項7から9のいずれか一項に記載の共振装置製造方法。
- [請求項11] 前記第1金属は、アルミニウムを主成分とする金属であり、
前記第2金属は、ゲルマニウムである、
請求項7から10のいずれか一項に記載の共振装置製造方法。
- [請求項12] 前記拡散防止層の材料は、モリブデン又はタングステンである、
請求項11に記載の共振装置製造方法。
- [請求項13] 前記下部電極の材料は、縮退シリコンである、
請求項7から12のいずれか一項に記載の共振装置製造方法。
- [請求項14] 前記配線層の材料は、アルミニウムを主成分とする金属である、
請求項13に記載の共振装置製造方法。

[図1]

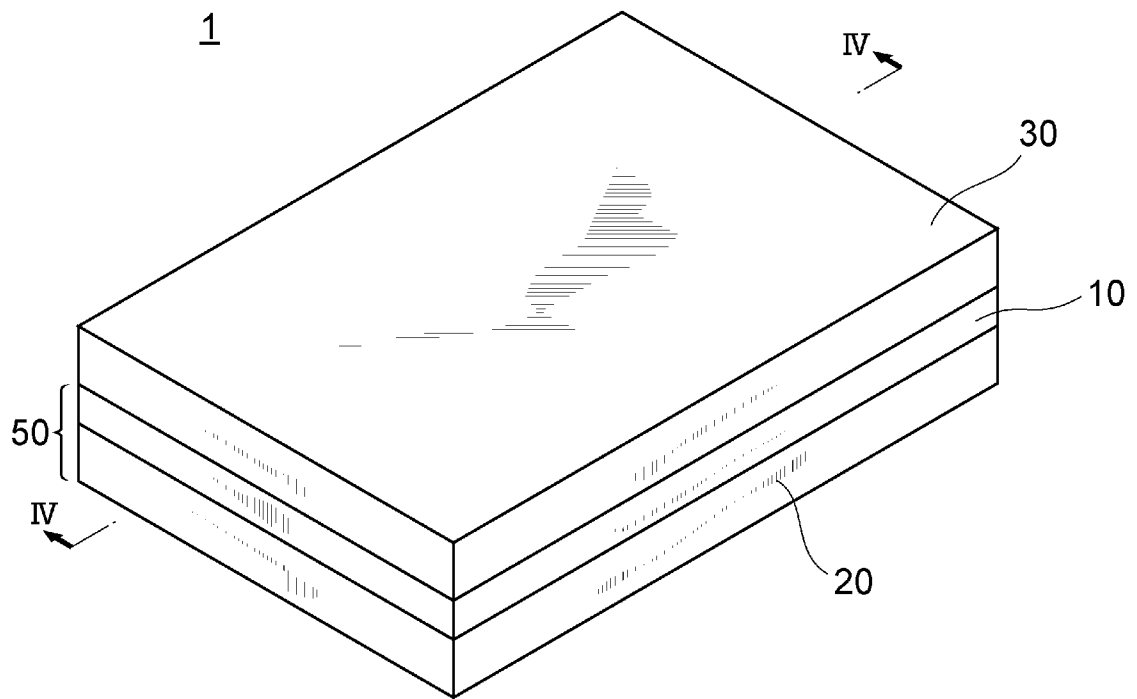
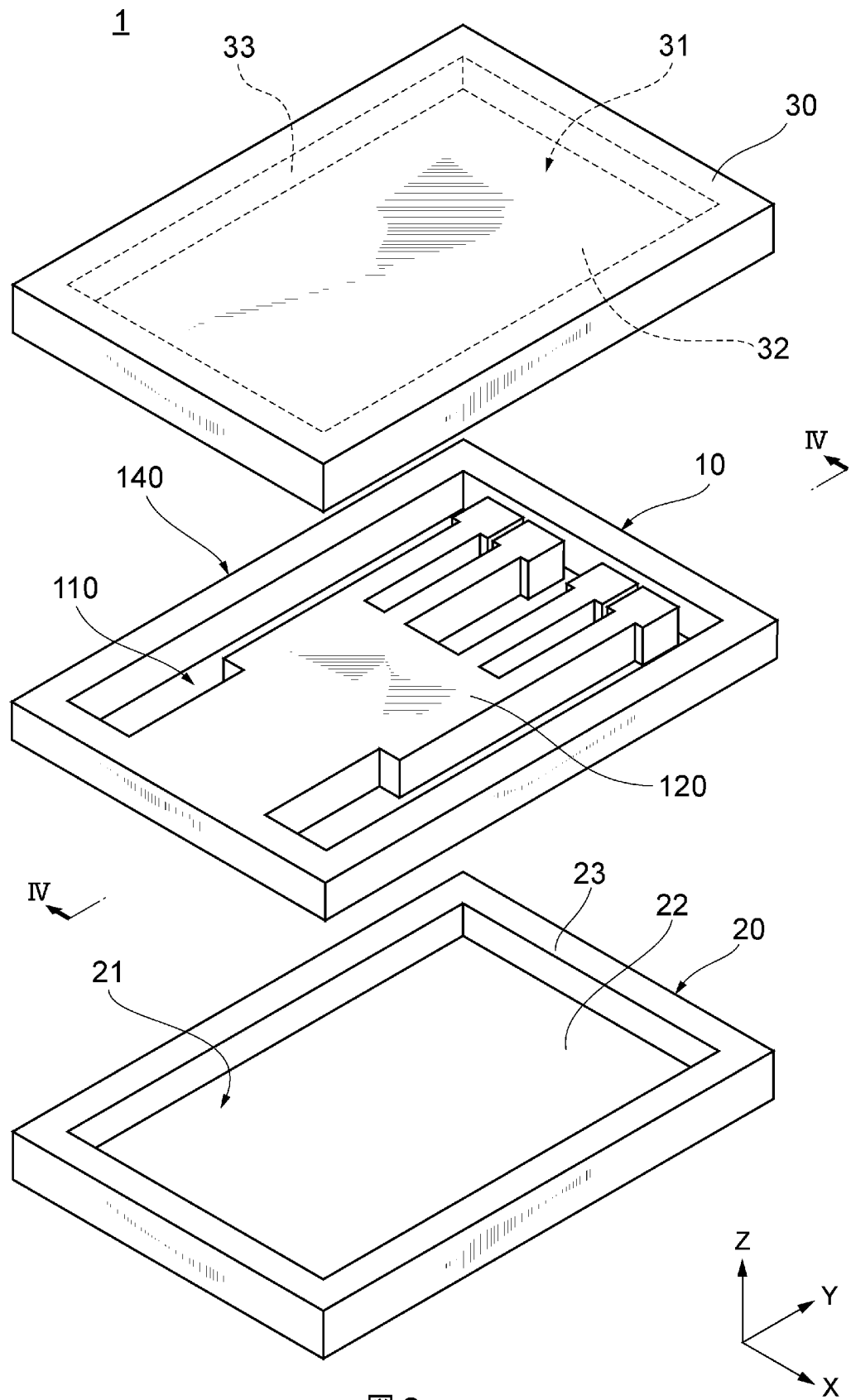


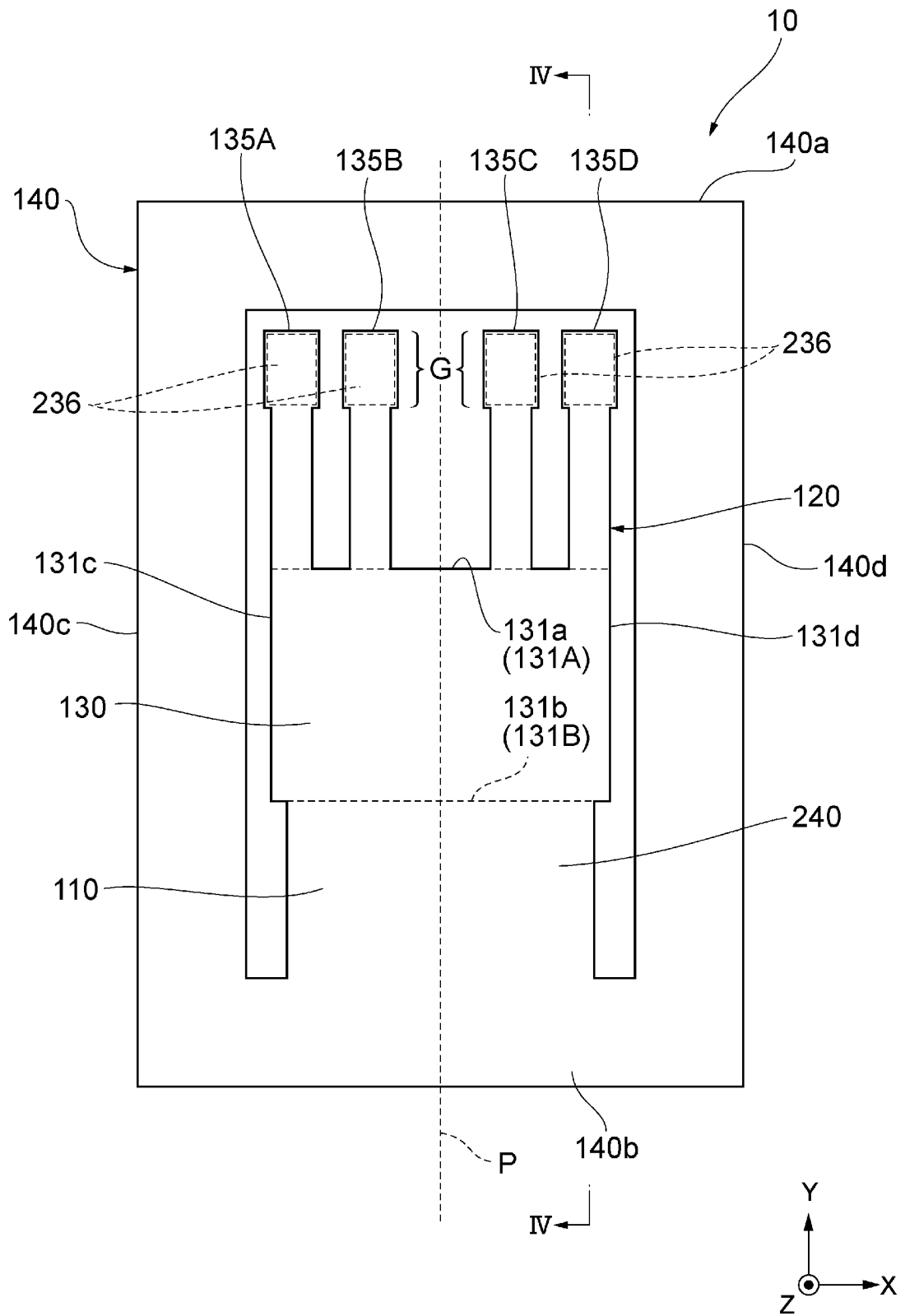
図 1

[図2]



[図2]

[図3]



[図3]

[図4]

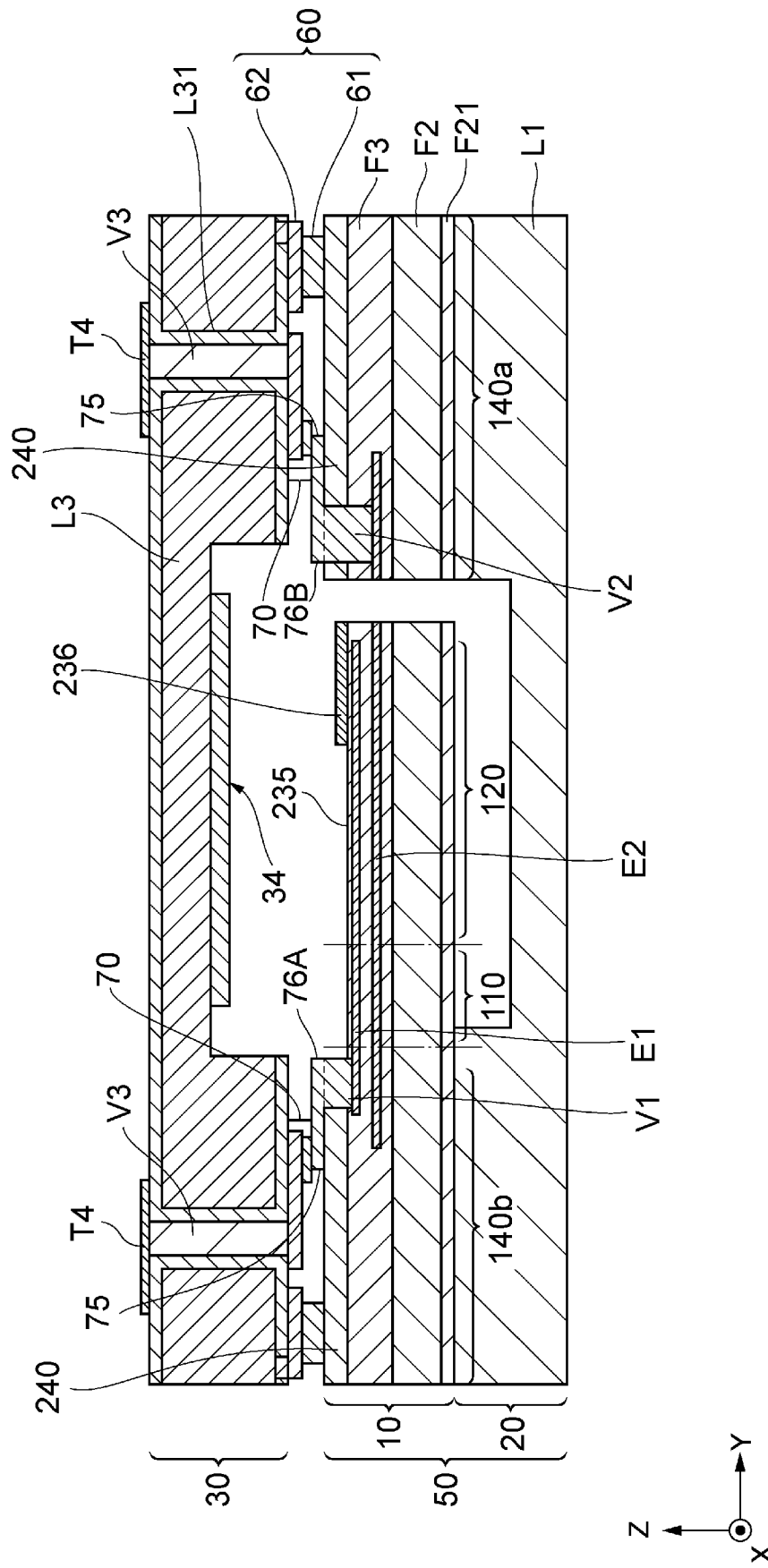
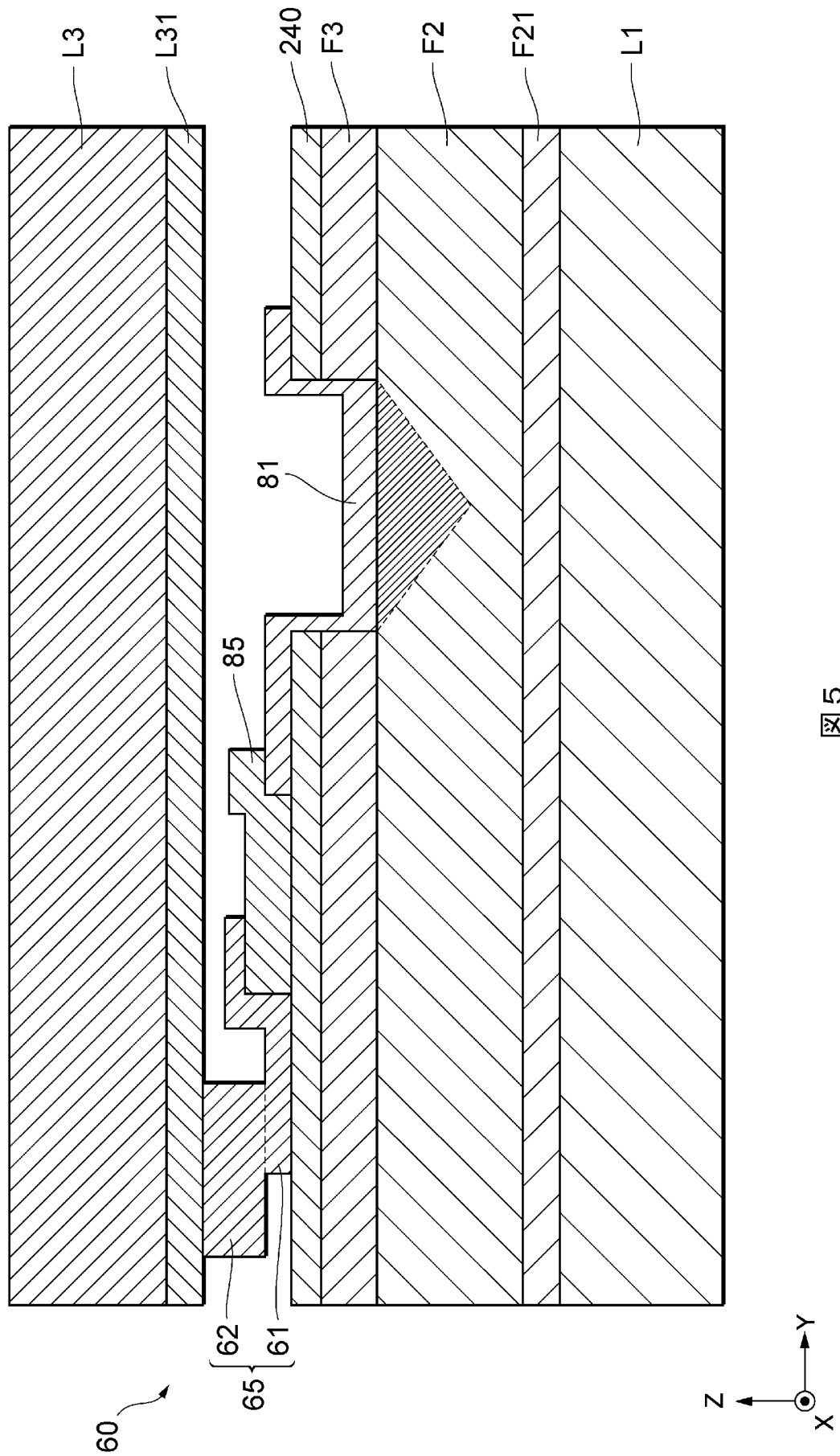


図4

[図5]



[図5]

[図6]

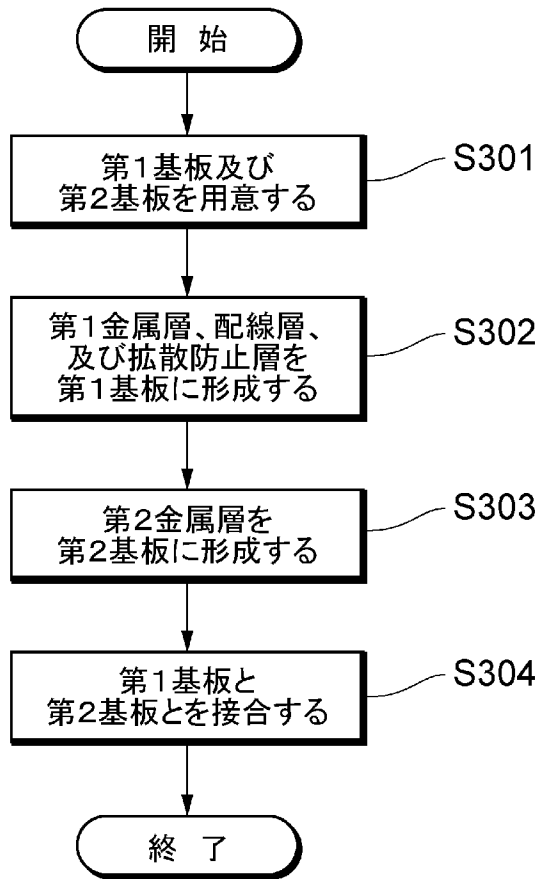
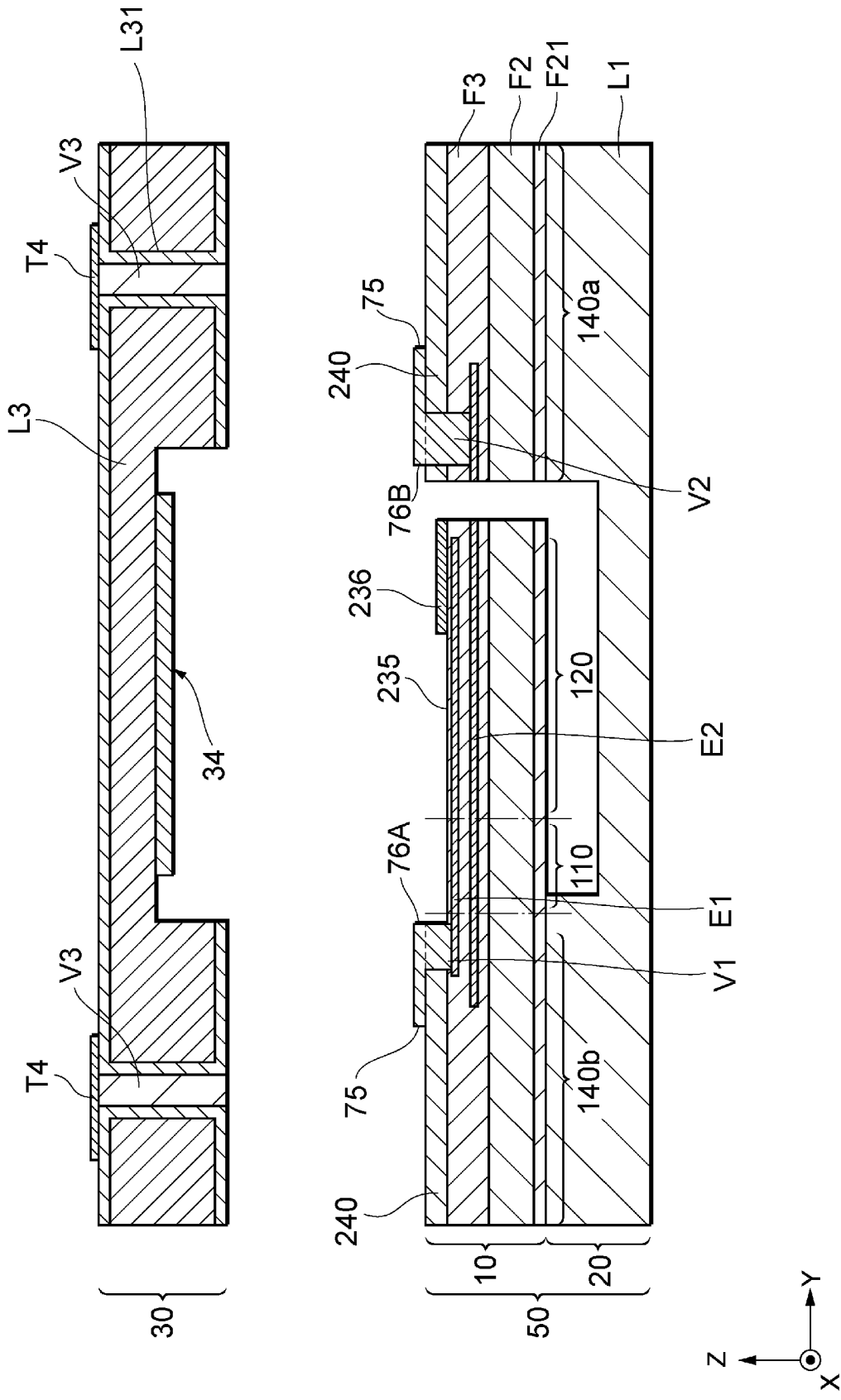
S300

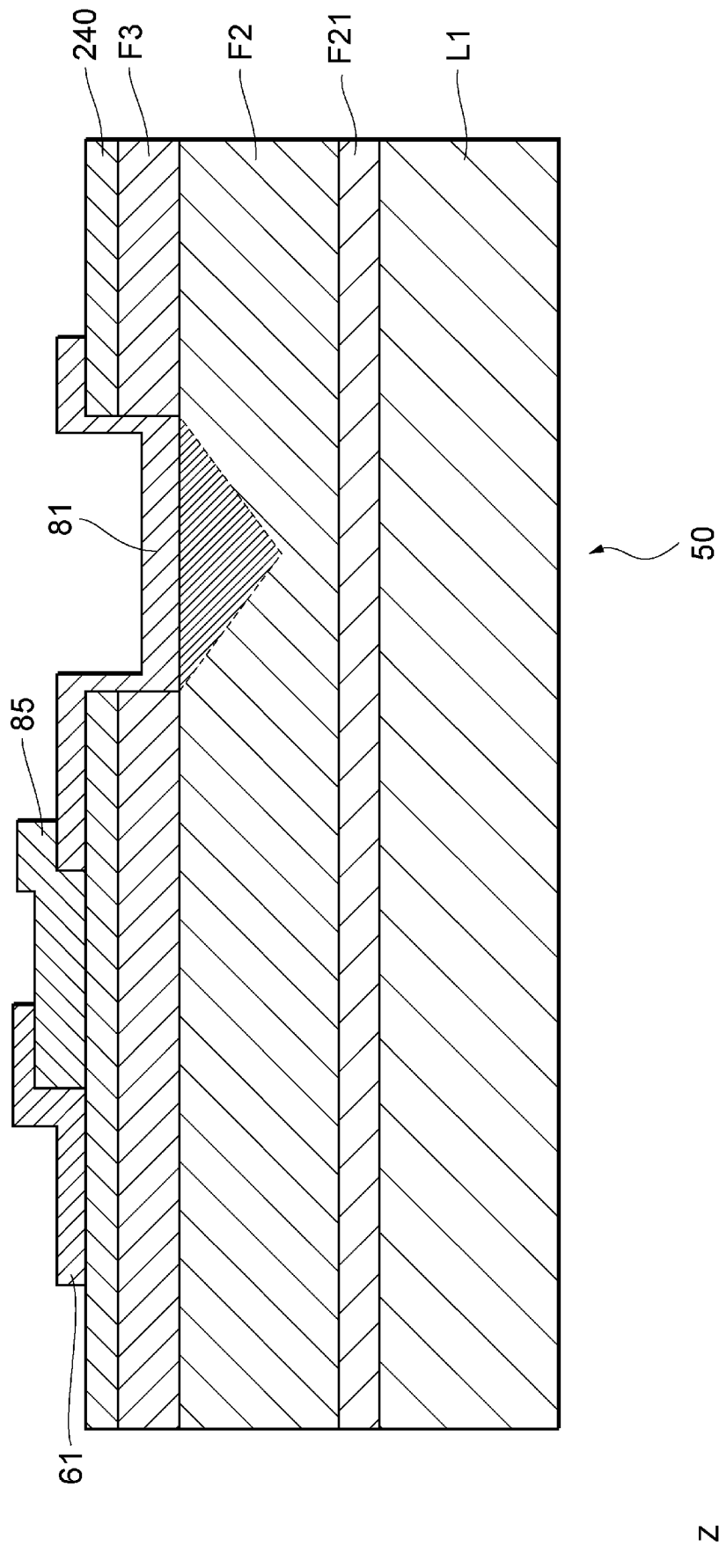
図 6

[図7]



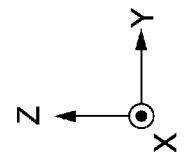
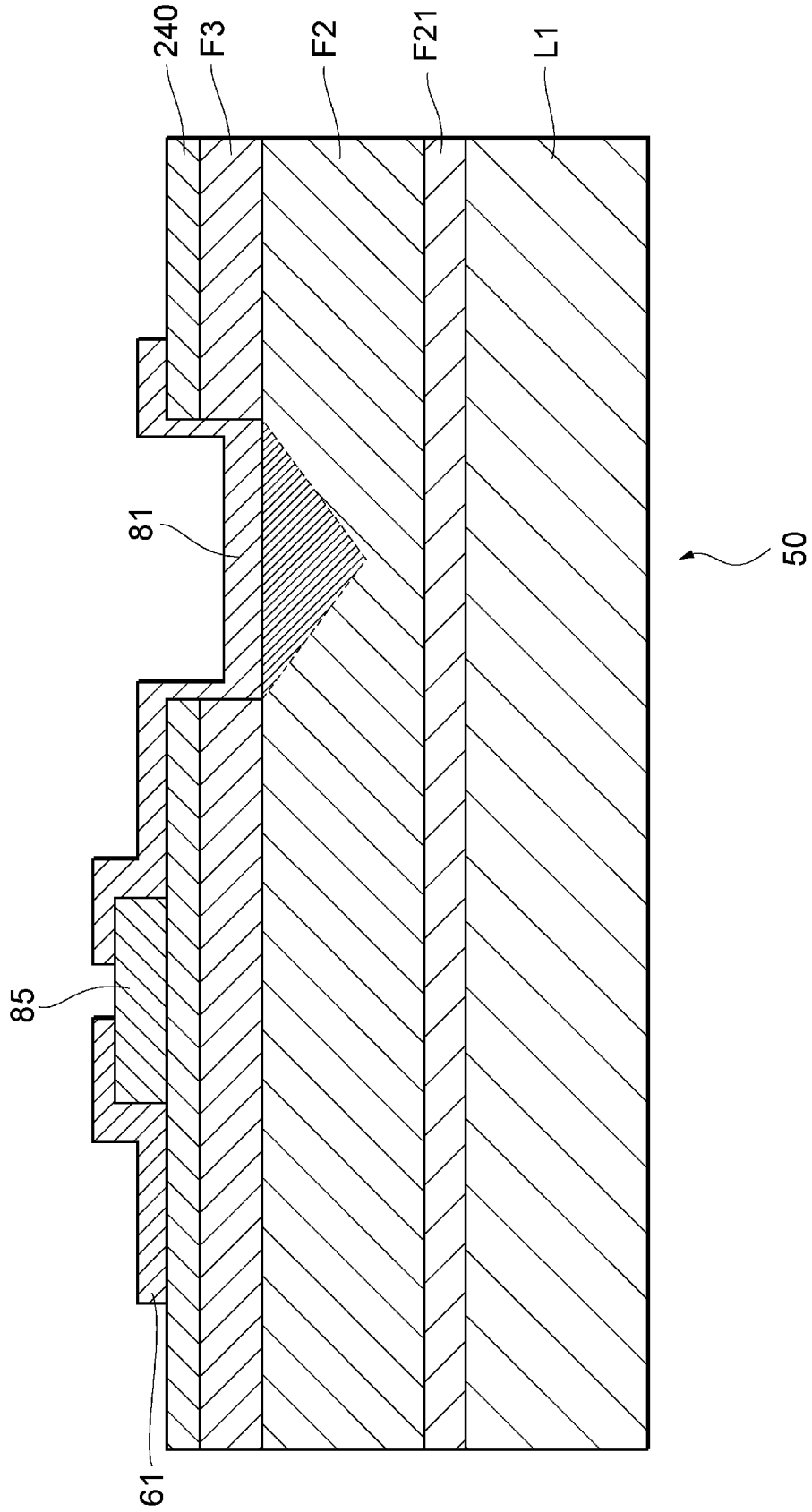
[図7]

[図8]



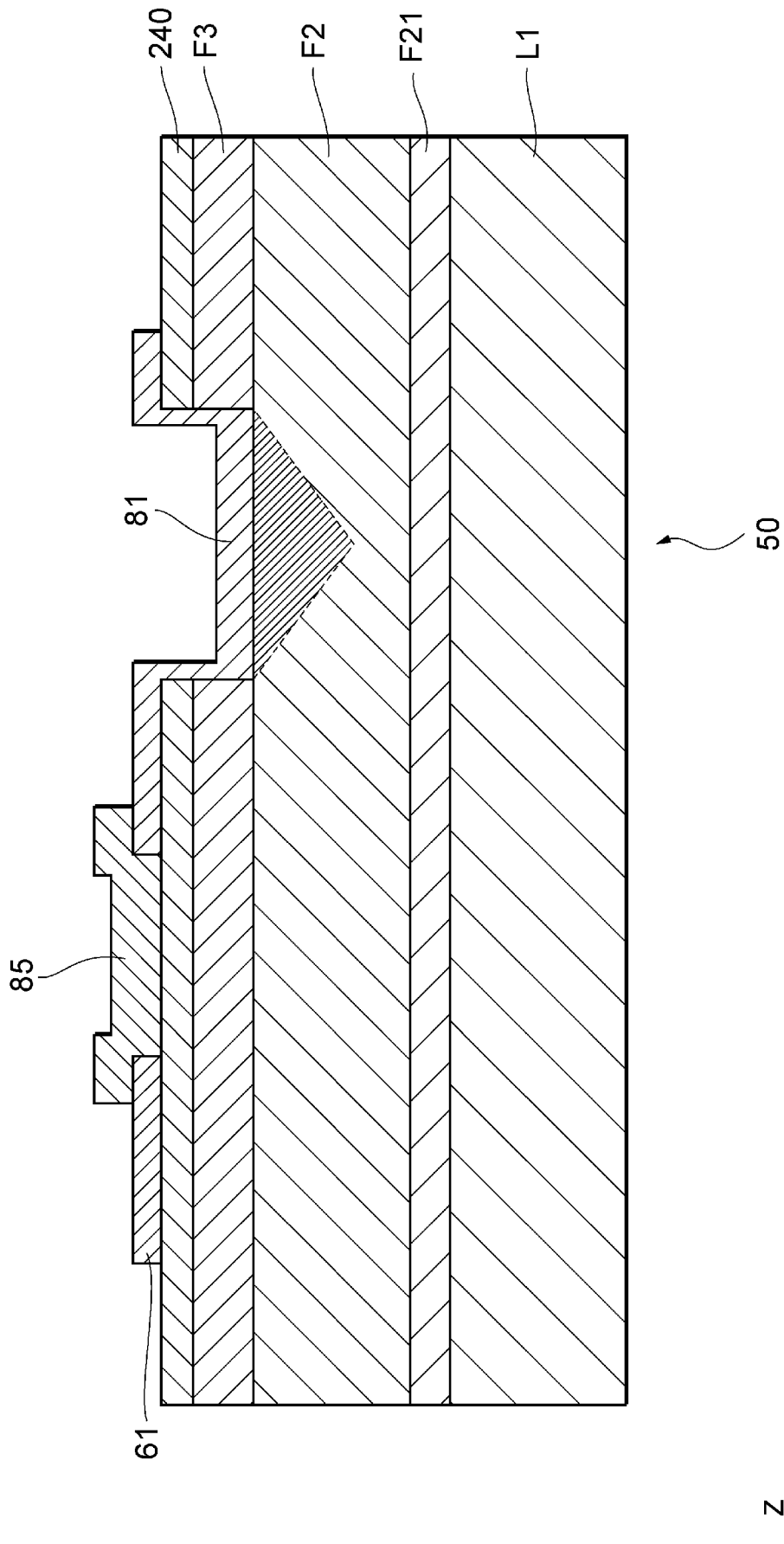
[図8]

[図9]



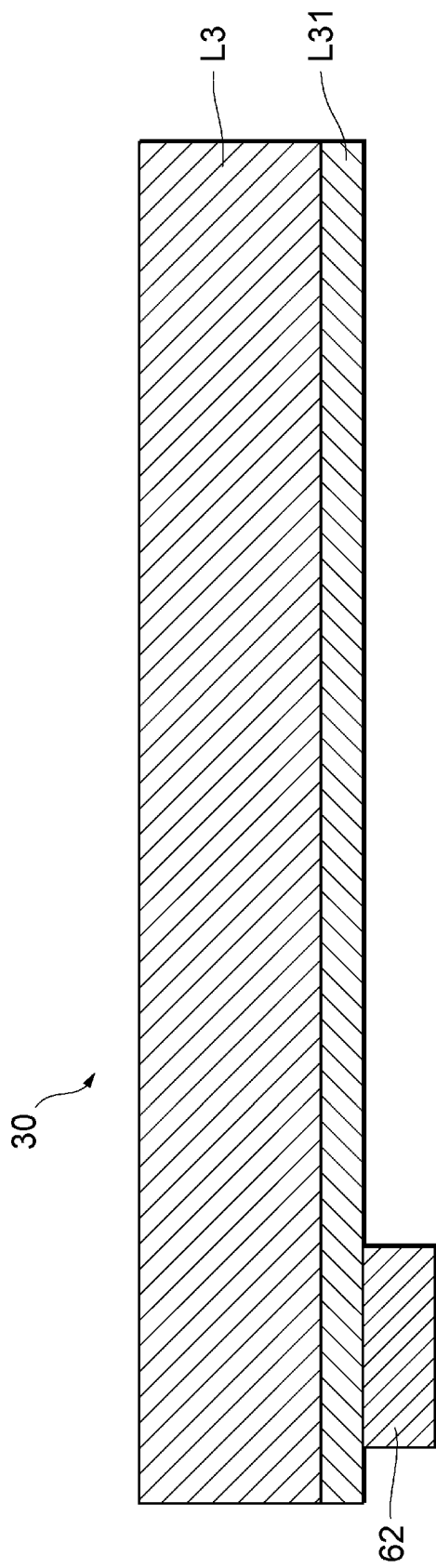
[図9]

[図10]

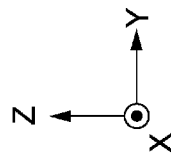


[図10]

[図12]



[図12]



[圖13]

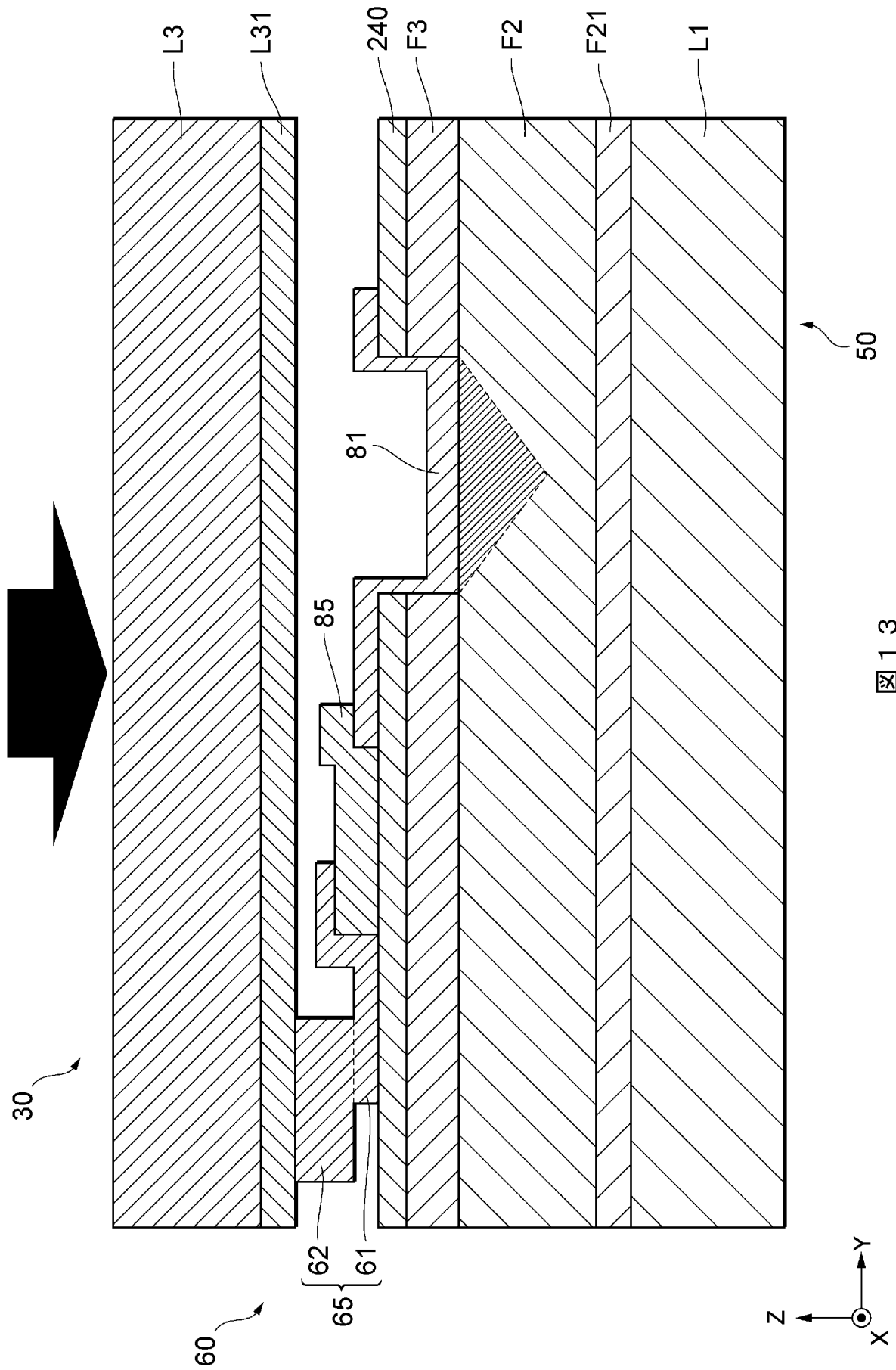


圖 13

[図14]

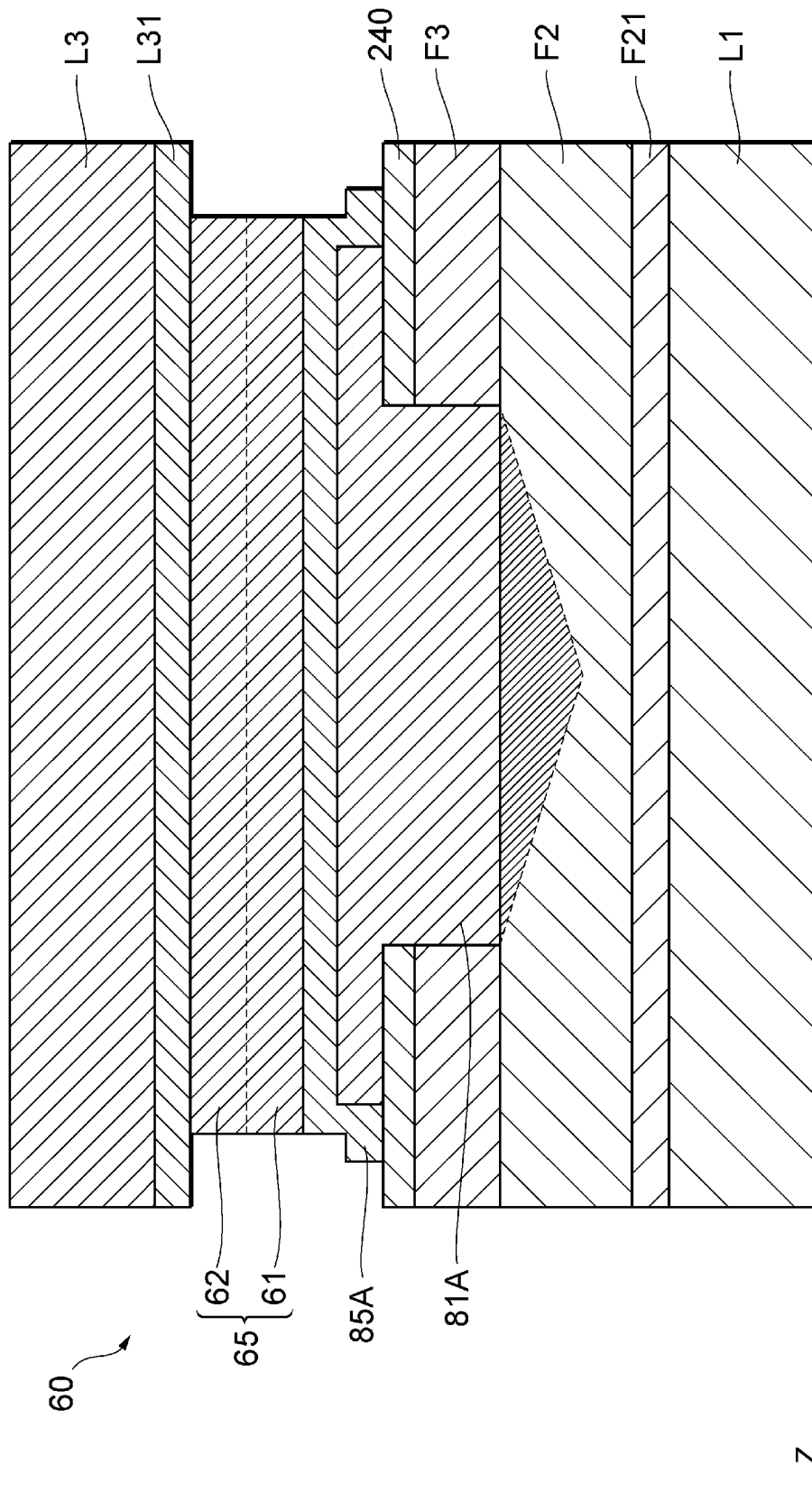


図14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/025075

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B23K 20/00</i> (2006.01)i; <i>B81B 3/00</i> (2006.01)i; <i>B81C 3/00</i> (2006.01)i; <i>H03H 3/007</i> (2006.01)i; <i>H03H 9/24</i> (2006.01)i FI: H03H9/24 B; H03H3/007 Z; B81B3/00; B81C3/00; B23K20/00 310L; B23K20/00 310H		
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) B23K20/00; B81B3/00; B81C3/00; H03H3/007; H03H9/24		
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 1971-2021 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021		
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	WO 2019/155663 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 15 August 2019 (2019-08-15) paragraphs [0045]-[0048], fig. 1-4	1-14
A	WO 2011/111541 A1 (ALPS ELECTRIC CO., LTD.) 15 September 2011 (2011-09-15) entire text, all drawings	1-14
A	WO 2020/085188 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 30 April 2020 (2020-04-30) paragraph [0056]	4, 13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 10 September 2021		Date of mailing of the international search report 28 September 2021
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/JP2021/025075

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2019/155663 A1	15 August 2019	(Family: none)	
WO 2011/111541 A1	15 September 2011	CN 102792168 A entire text, all drawings	
WO 2020/085188 A1	30 April 2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 20/00(2006.01)i; B81B 3/00(2006.01)i; B81C 3/00(2006.01)i; H03H 3/007(2006.01)i; H03H 9/24(2006.01)i FI: H03H9/24 B; H03H3/007 Z; B81B3/00; B81C3/00; B23K20/00 310L; B23K20/00 310H		
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）） B23K20/00; B81B3/00; B81C3/00; H03H3/007; H03H9/24 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 - 2021年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2021年		
国際調査で使用了電子データベース（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	WO 2019/155663 A1 (株式会社村田製作所) 15.08.2019 (2019 - 08 - 15) [0045]-[0048], 図1-4	1-14
A	WO 2011/111541 A1 (アルプス電気株式会社) 15.09.2011 (2011 - 09 - 15) 全文, 全図	1-14
A	WO 2020/085188 A1 (株式会社村田製作所) 30.04.2020 (2020 - 04 - 30) [0056]	4, 13
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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 10.09.2021	国際調査報告の発送日 28.09.2021	
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） 橋本 和志 5W 4183 電話番号 03-3581-1101 内線 3576	

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/JP2021/025075

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2019/155663 A1	15.08.2019	(ファミリーなし)	
WO 2011/111541 A1	15.09.2011	CN 102792168 A 全文, 全図	
WO 2020/085188 A1	30.04.2020	(ファミリーなし)	