

(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3月7日(07.03.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/047817 A1

(51) 国際特許分類:
H10N 60/12 (2023.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/032865

(22) 国際出願日: 2022年8月31日(31.08.2022)

(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: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED)
[JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 大伴 真名歩 (OHTOMO, Manabu);
〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 中島 淳, 外 (NAKAJIMA, Jun et al.);
〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 H K 新宿ビル7階 太陽国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, 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.

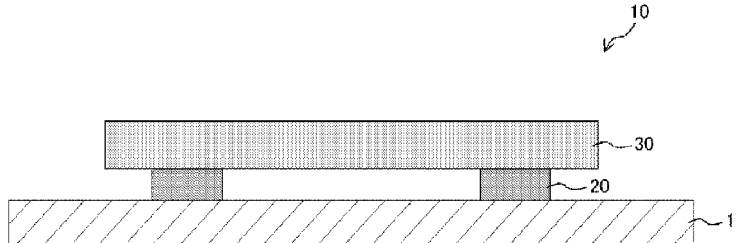
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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))

(54) Title: ELECTRONIC DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 電子デバイス及び電子デバイスの製造方法



(57) Abstract: An electronic device (10) comprises: a superconducting electrode (20) containing PdTe₂ or PdTe; and a TMD film (30) which contains a transition-metal dichalcogenide and which is layered on the superconducting electrode.

(57) 要約: 電子デバイス (10) は、PdTe₂又はPdTeを含む超伝導電極 (20) と、超伝導電極に積層された遷移金属ダイカルコゲナイトを含むTMD膜 (30) と、を有する。



WO 2024/047817 A1

明 細 書

発明の名称：電子デバイス及び電子デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 開示の技術は電子デバイスおよび電子デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 遷移金属ダイカルコゲナイトを含む電子デバイスとして、以下のものが知られている。例えば、遷移金属ダイカルコゲナイト層及び電荷誘導層を含む受光部と、遷移金属ダイカルコゲナイト層を覆う電荷誘導層と、遷移金属ダイカルコゲナイト層から離隔して配置されたトポロジカル絶縁体層を含む検出部と、を含む光電デバイスが知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：US2018/0122583号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 量子コンピューティングにおいては、例えば、量子化学計算、機械学習及び金融工学の分野において有用なアルゴリズムの研究が進む一方で、トランズモン方式をはじめとするハードウェアの研究は発展途上である。現状の少量の物理ビット数と高いエラー率では、有用な1論理ビットも準備できない。

[0005] 一方、物理学の領域では、マヨラナ粒子と呼ばれる特殊な素粒子の存在が予言されていた。この粒子の変換因子は、 2×2 のユニタリ行列となり、粒子の物理的位置の入れ替えそのものがユニタリ変換、すなわち量子演算となる。マヨラナ粒子を用いた量子コンピュータは、マヨラナ粒子を入れ替えた際の波動関数の符号変化が、量子ゲート操作と同じであることを利用した方式である。従来の量子コンピュータが、どちらかといえばアナログ的であったのに対して、マヨラナ粒子を用いた量子ビットは、粒子の相対的な位

置関係によって情報を保持し、粒子位置の入れ替えが量子ゲート操作に相当するため、デジタル的であるといえる。マヨラナ粒子は物質の幾何学的な性質に由来するため、トポロジー（幾何学的特徴量）を損ねることのないノイズに対する耐性が高い。

[0006] マヨラナ粒子を用いた量子コンピュータの課題は、未だ量子ビットをひとつも実現できていないことである。マヨラナ粒子が存在し得る物質として、特殊な超伝導体の低次元構造であるトポロジカル超伝導体が注目されている。しかしながら、トポロジカル超伝導体としての好適な候補物質は未だ発見されていない。そこで、トポロジカル絶縁体に超伝導体を接触させ、近接効果により、トポロジカル絶縁体に超伝導を誘起するという発想の研究が行われている。

[0007] トポロジカル絶縁体と超伝導体との接合によるマヨラナ量子ビットの開発において問題となるのは、トポロジカル絶縁体の安定性である。遷移金属ダイカルコゲナイトの一種である WTe_2 等のトポロジカル絶縁体は、酸化されやすいという欠点がある。また、超伝導体も酸化されやすいものが多い。例えば超伝導体として知られている Al や Nb は、表面に不働態酸化被膜を生じる。トポロジカル絶縁体と超伝導体との接合界面に酸化膜が存在すると、近接効果が弱くなるだけでなく、超伝導ギャップが緩慢となるなど、マヨラナ粒子の発現に悪影響を及ぼす。すなわち、トポロジカル絶縁体と超伝導体との接合界面における酸化膜の存在は、超伝導ギャップ内に準位を生じさせ、物質のトポロジカルな性質によるマヨラナ粒子の保護を弱め、結果として、マヨラナ粒子の寿命を短くする。上記の問題は、マヨラナ量子ビットのみならず、遷移金属ダイカルコゲナイトを用いた多くの電子デバイスで直面する問題である。

[0008] 開示の技術は、遷移金属ダイカルコゲナイトと超伝導体との界面における酸化膜の形成を抑制することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 開示の技術に係る電子デバイスは、 $PdTe_2$ 又は $PdTe$ を含む超伝導電

極と、前記超伝導電極に積層された遷移金属ダイカルコゲナイトを含むTMD膜と、を有する。

発明の効果

[0010] 開示の技術によれば、遷移金属ダイカルコゲナイトと超伝導体との界面における酸化膜の形成を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの構成の一例を示す断面図である。

[図2A]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2B]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2C]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2D]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2E]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2F]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2G]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図2H]開示の技術の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図3A]開示の技術の実施形態に係る WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。

[図3B]開示の技術の実施形態に係る WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。

[図3C]開示の技術の実施形態に係る WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。

[図3D]開示の技術の実施形態に係る WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。

[図3E]開示の技術の実施形態に係る WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。

[図4] Pd と WTe_2 膜の界面付近に超伝導体が形成される様子を示す図である。

[図5A]開示の技術の実施形態に係るMBE法又はPLD法を用いた電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図5B]開示の技術の実施形態に係るMBE法又はPLD法を用いた電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図5C]開示の技術の実施形態に係るMBE法又はPLD法を用いた電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図6]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの構成の一例を示す断面図である。

[図7A]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図7B]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図7C]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図7D]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図7E]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図7F]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの製造方法の一例を示す断面図である。

[図8A]開示の技術の他の実施形態に係る A L E 法を用いたエッチングにより $W T e_2$ 膜の部分的な薄化を行う方法の一例を示す断面図である。

[図8B]開示の技術の他の実施形態に係る A L E 法を用いたエッチングにより $W T e_2$ 膜の部分的な薄化を行う方法の一例を示す断面図である。

[図8C]開示の技術の他の実施形態に係る A L E 法を用いたエッチングにより $W T e_2$ 膜の部分的な薄化を行う方法の一例を示す断面図である。

[図8D]開示の技術の他の実施形態に係る A L E 法を用いたエッチングにより $W T e_2$ 膜の部分的な薄化を行う方法の一例を示す断面図である。

[図9A] P d · T e 交互積層膜を用いて超伝導電極を形成する場合の製造方法の一例を示す断面図である。

[図9B] P d · T e 交互積層膜を用いて超伝導電極を形成する場合の製造方法の一例を示す断面図である。

[図9C] P d · T e 交互積層膜を用いて超伝導電極を形成する場合の製造方法の一例を示す断面図である。

[図9D] P d · T e 交互積層膜を用いて超伝導電極を形成する場合の製造方法の一例を示す断面図である。

[図10]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの構成の一例を示す平面図である。

[図11]開示の技術の他の実施形態に係る電子デバイスの構成の一例を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、開示の技術の実施形態の一例を、図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において同一または等価な構成要素及び部分には同一の参照符号を付与し、重複する説明は省略する。

[第1の実施形態]

図1は、開示の技術の第1の実施形態に係る電子デバイス10の構成の一例を示す断面図である。電子デバイス10は、 $P d T e_2$ 又は $P d T e$ を含む超伝導電極20と、超伝導電極20に積層された遷移金属ダイカルコゲナイ

トを含むTMD膜30 (Transition Metal Dichalcogenide) と、を有する。電子デバイス10は、基板15上に設けられていてもよい。基板15の材料は特に限定されないが、例えばSiO₂を用いることが可能である。

[0013] TMD膜30を構成する遷移金属ダイカルコゲナイトは、トポロジカル絶縁体であってもよい。トポロジカル絶縁体は、内部は導電性を示さない絶縁体であり、表面は導電性を示す金属的性質を有する物質である。トポロジカル絶縁体は、例えばWTe₂であってもよい。TMD膜30を構成する遷移金属ダイカルコゲナイトとして、例えばWSe₂、WS₂、MoSe₂、MoS₂を用いることも可能である。TMD膜30は、単層又は多層の原子層物質によって構成されていてもよい。電子デバイス10は、TMD膜30が、超伝導電極20を覆うボトムコンタクト型のデバイスである。

[0014] 以下において、電子デバイス10の製造方法について説明する。図2A～図2Hは、電子デバイス10の製造方法の一例を示す断面図である。

[0015] 初めに、超伝導電極20のパターンに対応した開口部41を有するレジストマスク40を基板15上に形成する(図2A)。次に、基板15上にレジストマスク40を介してPd膜21とTe膜22とを交互に堆積させることによりPd・Te交互積層膜23を形成する(図2B)。Pd・Te交互積層膜23は、例えば、2元の蒸着機を用いて、Pd及びTeを、それぞれ数nm程度(最大10nm程度)の厚さで交互に蒸着することにより形成することができる。また、Pd及びTeの共蒸着によってPd・Te交互積層膜23を形成することも可能である。また、Pd及びTeを焼結した混合ターゲットを用いた蒸着又はスパッタによりPd・Te交互積層膜23を形成することも可能である。表面酸化を最小限に抑えるために、Pd・Te交互積層膜23の最上層は、Pd膜21であることが好ましい。これにより、Pd・Te交互積層膜23の酸化を抑制することができる。Pd・Te交互積層膜23の成膜後は、Pd・Te交互積層膜23を大気に晒したり、有機溶剤又は有機アルカリ現像液に接触させたりすることも可能である。

[0016] 次に、レジストマスク40上に堆積した余剰のPd・Te交互積層膜23

をレジストマスク40とともに除去する。すなわち、リフトオフによりPd・Teの交互積層膜23がパターンニングされる(図2C)。

[0017] 次に、Pd・Te交互積層膜23が形成された基板15とは別の基板16上に、TMD膜30を形成する(図2D)。以下において、TMD膜30が WTe_2 膜30Aである場合を例に説明するが、以下に示す方法は、TMD膜30が WTe_2 以外の遷移金属ダイカルコゲナイトによって構成される場合においても適用可能である。

[0018] 例えば、 WTe_2 単結晶の剥離片を基板16上に転写することにより、1原子層又は数原子層の WTe_2 膜30Aを基板16上に形成することができる。図3A~図3Eは、 WTe_2 単結晶の剥離片を得る方法の一例を示す図である。 WTe_2 単結晶は、 WO_3 (酸化タングステン)と、粉末のTeを石英ガラスのるつぼの中に入れて加熱することにより得られる。 WTe_2 単結晶の厚さは1~2 μ m程度である。得られた WTe_2 単結晶30Bを粘着テープ300の粘着面の端部に貼り付ける(図3A)。

[0019] 次に、粘着テープ300の、 WTe_2 単結晶30Bを貼り付けた端部と、その反対側の端部とを貼り合わせた後、剥離する処理を繰り返し行う(図3B)。これにより、粘着テープ300の粘着面に WTe_2 単結晶30Bの複数の剥離片である WTe_2 膜30Aが得られる(図3C)。次に、粘着テープ300の WTe_2 膜30Aが貼りついた部分を基板16に貼り付け、基板16の温度が60°C程度となるように加熱する(図3D)。その後、粘着テープ300を基板16から剥離する。これにより、 WTe_2 膜30Aが基板16に転写される(図3E)。

[0020] 次に、転写用治具200を用いて WTe_2 膜30Aを基板16からピックアップする(図2E)。転写用治具200は、ベース201上に設けられたドーム状の第1の樹脂層202と、第1の樹脂層202を覆う第2の樹脂層203とを有する。ベース201の材料として例えばガラスを用いることができる。第1の樹脂層202は、軟化を開始する温度が相対的に高い樹脂によって構成されている。第1の樹脂層202の材料として例えばPDMS(ポ

リジメチルシロキサン)を用いることができる。第2の樹脂層203は、軟化する温度が相対的に低い樹脂によって構成されている。第2の樹脂層203の材料として、軟化を開始する温度が80℃前後であるPS(ポリスチレン)又はPPC(ポリプロピレンカーボネート)を用いることができる。転写用治具200を用いて、 WTe_2 膜30Aをピックアップする際、転写用治具200は80℃程度で加熱される。これにより第2の樹脂層203は軟化して粘性を持つ。 WTe_2 膜30Aは第2の樹脂層203に接着され、基板16から剥離する。

[0021] 次に、転写用治具200を用いてピックアップされた WTe_2 膜30Aを超伝導電極20上に積層する(図2F、図2G)。基板16上に WTe_2 膜30Aを形成する工程(図2D)、 WTe_2 膜30Aを基板16からピックアップする工程(図2E)、及び WTe_2 膜30Aを超伝導電極20上に積層する工程(図2F、図2G)は、不活性ガスで置換したグローブボックスの中で行われる。これにより、 WTe_2 膜30Aの酸化を抑制することができる。

[0022] 超伝導電極20は、Pd・Te交互積層膜23(図2C)に180℃程度のアニール処理を施してPd膜21及びTe膜22において固相反応を生じさせることにより形成される。Pd・Te交互積層膜23の固相反応により、 $PdTe_2$ 又はPdTeを含む超伝導電極20が形成される(図2F)。アニール処理は、超伝導電極20上に WTe_2 膜30Aを積層する前に、グローブボックス内で実施される。超伝導電極20と WTe_2 膜30Aは分子間力によって接合される。

[0023] 次に、転写用治具200を100℃程度で加熱して、第2の樹脂層203を軟化させる。これにより、 WTe_2 膜30Aは、転写用治具200から分離される。加熱温度を100℃程度とすることで、超伝導電極20に含まれるPdの WTe_2 膜30Aへの拡散を回避することができ、 WTe_2 膜30Aのトポロジカル絶縁体としての特性が維持される。なお、Pdの拡散が生じる温度は150℃以上である。第2の樹脂層203を構成する樹脂の一部は、 WTe_2 膜30A側に残留する。この残留物50は、 WTe_2 膜30A及び超

伝導電極 20 の酸化を防止する保護膜として機能する (図 2 H)。なお、残留物 50 をクロロホルム等の有機溶剤を用いて除去してもよい。

[0024] 以上のように、開示の技術の実施形態に係る電子デバイス 10 は、PdTe₂ 又は PdTe を含む超伝導電極 20 と、超伝導電極 20 に積層された遷移金属ダイカルコゲナイトを含む TMD 膜 30 と、を有する。開示の技術の実施形態に係る電子デバイス 10 の製造方法は、不活性ガスの雰囲気中において、Pd 及び Te を含む膜 (Pd・Te 交互積層膜 23) にアニール処理を施して固相反応を生じさせることにより、PdTe₂ 又は PdTe を含む超伝導電極 20 を形成する工程を含む。電子デバイス 10 の製造方法は、不活性ガスの雰囲気中において、遷移金属ダイカルコゲナイトを含む TMD 膜 30 と、超伝導電極 20 とを積層する工程を含む。

[0025] 本発明者は、トポロジカル絶縁体に超伝導体を接触させた構造を実現するために、WTe₂ と Pd の固相反応に着目した。WTe₂ と Pd の接合により超伝導が発現することは知られていたが、そのメカニズムは明らかになっていなかった。これまでの本発明者の研究により、図 4 に示すように、Pd 膜 21 上に WTe₂ 膜 30A を積層し、180℃ 程度のアニール処理を行うことにより、Pd が WTe₂ に拡散して固相反応を生じ、Pd 膜 21 と WTe₂ 膜 30A の界面付近に PdTe 又は PdTe₂ を含む超伝導体 20X が形成されることが明らかとなった。このように、トポロジカル絶縁体 (WTe₂) と超伝導体 (PdTe 又は PdTe₂) とが接触した構造を得ることができる。しかしながら、この方法によれば、WTe₂ 膜 30A 上に超伝導体 20X が形成される際に WTe₂ 膜 30A と Pd 膜 21 との界面における Pd の拡散により、WTe₂ 膜 30A のトポロジカル絶縁体としての特性が損なわれる。

[0026] 開示の技術の実施形態に係る電子デバイス 10 及びその製造方法によれば、PdTe 又は PdTe₂ を含む超伝導電極 20 に含まれる Te は、Pd・Te 交互積層膜 23 から供給される。これにより、TMD 膜から Pd 膜への Te の引き抜きを抑制することができる。すなわち、TMD 膜 30 のトポロジカル絶縁体としての特性を損なうことなく、トポロジカル絶縁体と超伝導体

とが接触した構造を実現することができる。

[0027] また、Pd・Te交互積層膜23の最表面をPdとすることにより、Pd・Te交互積層膜23の酸化を抑制することができる。また、基板16上に WTe_2 膜30Aを形成する工程(図2D)、 WTe_2 膜30Aを基板16からピックアップする工程(図2E)、及び WTe_2 膜30Aを超伝導電極20上に積層する工程(図2F、図2G)は、不活性ガスで置換したグローブボックスの中で行われる。これにより、 WTe_2 膜30Aの酸化を抑制することができる。すなわち、本実施形態に係る電子デバイス10の製造方法によれば、TMD膜30と超伝導電極20との界面における酸化膜の形成を抑制することができる。

[0028] 以上の説明では、 WTe_2 単結晶の剥離片を転写することにより WTe_2 膜30A(TMD膜30)を超伝導電極20上に積層する場合を例示したが、開示の技術はこの態様に限定されるものではない。例えば、MBE法(Molecular Beam Epitaxy)又はPLD法(Pulsed Laser Deposition)を用いて WTe_2 膜30A(TMD膜)を超伝導電極20上に積層することも可能である。MBE法は、物理蒸着法の一つであり、真空下で電子線により原料を加熱し、発生した分子線を基板に到達させて結晶成長を行う方法である。PLD法は、真空下でターゲットに高パワー密度を持つパルスレーザーを照射し、ターゲット成分をアブレーション蒸発させて薄膜を形成する方法である。

[0029] 図5A~図5Cは、MBE法又はPLD法を用いた電子デバイス10の製造方法の一例を示す断面図である。Pd・Te交互積層膜23が形成された基板15を、MBE装置又はPLD装置の真空チャンバ内に収容する(図5A)。次に、真空チャンバ内で、Pd・Te交互積層膜23に180℃程度のアニール処理を施して固相反応を生じさせることにより、 $PdTe_2$ 又はPdTeを含む超伝導電極20を形成する。その後、 WTe_2 膜30Aのパターンに応じた開口を有するマスク45を真空チャンバ内に設置する(図5B)。次に、MBE法又はPLD法を用いて超伝導電極20上に WTe_2 膜30Aを形成する(図5C)。必要に応じて、超伝導電極20及び WTe_2 膜30A

を覆う保護膜（図示せず）を形成してもよい。

[0030] [第2の実施形態]

図6は、開示の技術の第2の実施形態に係る電子デバイス10Aの構成の一例を示す断面図である。本実施形態に係る電子デバイス10Aは、超伝導電極20がTMD膜30上に設けられたトップコンタクト型のデバイスである。超伝導電極20がPdTe₂又はPdTeを含み、TMD膜30が遷移金属ダイカルコゲナイトを含む点は、第1の実施形態に係る電子デバイス10と同様である。遷移金属ダイカルコゲナイトは、トポロジカル絶縁体であってもよく、例えばWTe₂であってもよい。TMD膜30を構成する遷移金属ダイカルコゲナイトは、例えばWSe₂、WS₂、MoSe₂、MoS₂であってもよい。

[0031] TMD膜30は、超伝導電極20が接触する部分である第1の部分P1における厚さが、第1の部分以外の部分である第2の部分P2の厚さよりも厚い。TMD膜30の第2の部分P2の厚さは、例えば、原子層2層～4層分の厚さである。TMD膜30の表面は、大気に晒されて酸化され、酸化膜60によって覆われる。TMD膜30の第2の部分P2において酸化されるのは、2層～4層の原子層のうちの表層のみである。TMD膜30の第2の部分P2の厚さを、原子層2層～4層分の厚さとすることで、最下層を含む少なくとも1層は未酸化状態に維持される。超伝導電極20の表面はPd膜21によって覆われていてもよい。

[0032] 以下において、電子デバイス10Aの製造方法について説明する。図7A～図7Fは、電子デバイス10Aの製造方法の一例を示す断面図である。

[0033] はじめに、多層のTMD膜30を基板15上に形成する。以下において、TMD膜30がWTe₂膜30Aである場合を例に説明するが、以下に示す方法は、TMD膜30がWTe₂以外の遷移金属ダイカルコゲナイトによって構成される場合においても適用可能である。多層のWTe₂膜30Aは、第1の実施形態と同様、WTe₂単結晶の剥離片の転写によって形成することが可能であり、MBE法又はPLD法によって形成することも可能である（図7A

)。

[0034] 次に、リフトオフ法を用いて、 WTe_2 膜30Aの表面にPd膜21を形成する。リフトオフにより、Pd膜21は所望の形状にパターニングされる(図7B)。次に、Pd膜21をマスクとして、 WTe_2 膜30Aをエッチングすることにより、 WTe_2 膜30Aを部分的に薄化する(図7C)。 WTe_2 膜30AのPd膜21で覆われた部分(第1の部分P1)以外の部分(第2の部分P2)が、原子層2層~4層分の厚さになるまで薄化される。 WTe_2 膜30Aのエッチング手法として、アルゴンミリング又は原子層エッチング(ALE: Atomic Layer Etching)を用いることが可能である。

[0035] 図8A~図8Dは、ALE法を用いたエッチングにより WTe_2 膜30Aの部分的な薄化を行う方法の一例を示す断面図である。初めに、Pd膜21をマスクとして、 WTe_2 膜30AにUVオゾン処理を施す。これにより、 WTe_2 膜30Aの最表面の1層が酸化され、 WTe_2 膜30Aの表面に酸化膜61が形成される(図8A)。 WTe_2 膜30Aは紫外光照射によってダメージを受けるため、紫外光が WTe_2 膜30Aに直接照射されないように遮光することが好ましい。

[0036] 次に、KOHエタノール溶液を用いて、 WTe_2 膜30Aの表面に形成された酸化膜61を除去する。これにより、 WTe_2 膜30Aは、原子層1層分の厚さだけ薄化される(図8B)。ここで、酸化膜61を除去するためにKOH水溶液を用いることも考えられるが、 WTe_2 膜30Aは水溶液によって酸化される。 WTe_2 膜30Aの表面に形成された酸化膜61の除去は、無水環境で行う必要があることから、KOHエタノール溶液を用いることが好ましい。

[0037] 次に、酸化膜61が除去された WTe_2 膜30Aの表面をUVオゾン処理により再度酸化させ、 WTe_2 膜30Aの表面に酸化膜61を再度形成する(図8C)。その後、KOHエタノール溶液を用いて、 WTe_2 膜30Aの表面に形成された酸化膜61を除去する(図8D)。 WTe_2 膜30Aの表面に酸化膜61を形成する処理と、酸化膜61を除去する処理を、 WTe_2 膜30Aの

Pd膜21で覆われた部分（第1の部分P1）以外の部分（第2の部分P2）の厚さが原子層2層～4層分の厚さになるまで繰り返す。

[0038] WTe₂膜30Aの部分的な薄化が完了した後、Pd膜21及びWTe₂膜30Aに180℃程度のアニール処理を施す。これにより、Pd膜21に含まれるPdがWTe₂膜30Aに拡散し、固相反応によりPd膜21とWTe₂膜30Aとの界面付近に、PdTe又はPdTe₂を含む超伝導電極20が形成される。未反応のPd膜21は、超伝導電極20上に残留する（図7D）。WTe₂膜30Aは酸化されやすいため、アニール処理前の段階において、Pd膜21とWTe₂膜30Aとの間に酸化膜が存在している可能性がある。しかしながら、Pd膜21は、WTe₂膜30Aとの間に存在する酸化膜を透過してWTe₂膜30Aに拡散することが可能である。Pd膜21の拡散によって形成されるPdTe又はPdTe₂を含む超伝導電極20と、WTe₂膜30Aの界面には、酸化膜が形成されることはない。また、WTe₂膜30AのPd膜21の直下は、Pdの拡散によって破壊され得る。しかしながら、WTe₂膜30Aの薄化された部分（第2の部分P2）にまでPdが拡散することはないので、WTe₂膜30Aのトポロジカル絶縁体としての特性が維持される。

[0039] その後、WTe₂膜30Aは大気に晒されることにより最表層が酸化され、酸化膜60が形成される。しかしながら、WTe₂膜30Aの最下層を含む少なくとも1層は未酸化状態に維持される（図7E）。

[0040] なお、超伝導電極20を形成した後、WTe₂膜30Aを大気に晒す前に、Pd膜21、超伝導電極20及びWTe₂膜30Aを覆うキャップ膜55を形成してもよい（図7F）。キャップ膜55は、例えば六方晶窒化ホウ素を材料とするものであってもよい。キャップ膜55を設けることで、WTe₂膜30Aの酸化を防止することが可能となる。キャップ膜55を含む構成においては、WTe₂膜30Aの酸化を想定することが不要となり、WTe₂膜30AのPd膜21で覆われた部分（第1の部分P1）以外の部分（第2の部分P2）の厚さを、原子層1層分の厚さとすることができる。

- [0041] 以上のように、開示の技術の第2の実施形態に係る電子デバイス10Aは、超伝導電極20がTMD膜30上に設けられたトップコンタクト型のデバイスである。TMD膜30の、超伝導電極20が接触する部分である第1の部分P1における厚さが、TMD膜30の第1の部分P1以外の部分である第2の部分P2の厚さよりも厚い。
- [0042] 開示の技術の第2の実施形態に係る電子デバイス10Aの製造方法は、Teを含む多層のTMD膜30の表面にPd膜21を形成する工程と、Pd膜21をマスクとしてTMD膜30をエッチングすることにより、TMD膜30を部分的に薄化する工程と、を含む。電子デバイス10Aの製造方法は、Pd膜21及びTMD膜30にアニール処理を施して固相反応を生じさせることにより、Pd膜21とTMD膜30との界面付近にPdTe₂又はPdTeを含む超伝導電極を形成する工程を含む。
- [0043] 本実施形態に係る電子デバイス10A及びその製造方法によれば、WTe₂膜30Aの、Pd膜21の直下は、Pd膜21の拡散によって破壊され得る。しかしながら、WTe₂膜30Aの薄化された部分（第2の部分P2）にまでPdが拡散することはないので、WTe₂膜30Aのトポロジカル絶縁体としての特性が維持される。また、Pd膜21の拡散によって形成されるPdTe又はPdTe₂を含む超伝導電極20と、WTe₂膜30Aの界面には、酸化膜が形成されることはない。すなわち、本実施形態に係る電子デバイス10Aの製造方法によれば、TMD膜30（WTe₂）と超伝導電極20（PdTe又はPdTe₂）との界面における酸化膜の形成を抑制することができる。
- [0044] 以上の説明では、WTe₂膜30Aの表面に形成されたPd膜21を用いて、PdTe又はPdTe₂を含む超伝導電極20を形成する場合を例示したが、Pd膜21に代えてPd・Te交互積層膜を用いてもよい。図9A～図9Dは、Pd・Te交互積層膜23を用いて超伝導電極20を形成する場合の製造方法の一例を示す断面図である。
- [0045] リフトオフ法を用いて、WTe₂膜30Aの表面にPd・Te交互積層膜2

3を形成する。表面酸化を最小限に抑えるために、Pd・Te交互積層膜23の最上層は、Pdであることが好ましい。また、WTe₂膜30AへのPdの拡散を促進させるために、Pd・Te交互積層膜23の最下層もPdであることが好ましい。リフトオフにより、Pd・Te交互積層膜23は所望の形状にパターニングされる(図9A)。

[0046] 次に、Pd・Te交互積層膜23をマスクとして、WTe₂膜30Aをエッチングすることにより、WTe₂膜30Aを部分的に薄化する(図9B)。WTe₂膜30AのPd・Te交互積層膜23で覆われた部分(第1の部分P1)以外の部分(第2の部分P2)が、原子層2層~4層分の厚さになるまで薄化される。WTe₂膜30Aのエッチング手法として、アルゴンミリング又は原子層エッチング(ALE)を用いることが可能である。

[0047] WTe₂膜30Aの部分的な薄化が完了した後、Pd・Te交互積層膜23及びWTe₂膜30Aに180℃程度のアニール処理を施す。これにより、Pd・Te交互積層膜23内において固層反応を生じ、PdTe又はPdTe₂が形成される。PdはWTe₂膜30A内にも拡散し、固相反応によりPd・Te交互積層膜23とWTe₂膜30Aとの界面付近にもPdTe又はPdTe₂が形成される。固層反応により生じたPdTe又はPdTe₂によって超伝導電極20が形成される(図9C)。Pdの拡散によって形成されるPdTe又はPdTe₂を含む超伝導電極20とWTe₂膜30Aの界面には、酸化膜が形成されることはない。また、WTe₂膜30Aの、Pd・Te交互積層膜23の直下は、Pdの拡散によって破壊され得る。しかしながら、WTe₂膜30Aの薄化された部分(第2の部分P2)にまでPdが拡散することはないので、WTe₂膜30Aのトポロジカル絶縁体としての特性が維持される。

[0048] その後、WTe₂膜30Aは大気に晒されることにより最表層が酸化され、酸化膜60が形成される。しかしながら、WTe₂膜30Aの最下層を含む少なくとも1層は未酸化状態に維持される(図9D)。

[0049] [第3の実施形態]

図10は、開示の技術の第3の実施形態に係る電子デバイス10Bの構成の一例を示す平面図である。電子デバイス10Bは、マヨラナ粒子を用いた量子ビット素子として機能する。電子デバイス10Bは、第1のTMD膜30P、第2のTMD膜30Q、超伝導電極20A、20B、20C及び磁性体70A、70B、70C、70Dを有する。第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qは、トポロジカル絶縁体によって構成されており、例えば単層の WTe_2 膜であってもよい。超伝導電極20A~20Cは、 $PdTe_2$ 又は $PdTe$ を含む超伝導体によって構成されている。

[0050] 第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qは、それぞれ、矩形状にパターニングされている。第1のTMD膜30Pは、長手方向が横向きとなるように配置されている。第2のTMD膜30Qは、長手方向が縦向きとなるように配置されており、第1のTMD膜30Pに対して交差しつつ第1のTMD膜30Pに積層されている。第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1と、第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2とが交差している。

[0051] 超伝導電極20A及び20Bは、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1に接して設けられている。超伝導電極20Cは、第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2に接して設けられている。超伝導電極20A~20Cは、それぞれ矩形状にパターニングされており、これらの方の短辺エッジが、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1と第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2との交差部の近傍に位置している。超伝導電極20Aは、第1のTMD膜30Pの、第2のTMD膜30Qと接する角部を形成するエッジに接して設けられている。電子デバイス10Bは、超伝導電極20A~20Cの上に第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qが積層されたボトムコンタクト型である。

[0052] 磁性体70Aは、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1に接しており、超伝導電極20Aの他方の短辺エッジの近傍に設けられている。磁性体70Bは、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1に接しており、超伝導電極20Bの他方の短辺エッジの近傍に設けられている。磁性体70Cは、第2の

TMD膜30Qの長辺エッジE2に接しており、超伝導電極20Cの他方の短辺エッジの近傍に設けられている。磁性体70Dは、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1と第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2との交差部の近傍に設けられている。磁性体70A~70Dとして、例えば、Ni、Co又はFeを用いることが可能である。

[0053] 超伝導電極20A、20B、20Cには、それぞれ、超伝導配線71A、71B、71Cが接続されている。超伝導配線71A、71B、71Cは、それぞれ、超伝導電極20A、20B、20Cと同様、PdTe₂又はPdTeを含む超伝導体によって構成されていてもよい。また、超伝導配線71A、71B、71Cは、例えば、PdTe₂とAlとが積層された2層構造又はNbTe₂とNbとが積層された2層構造であってもよい。超伝導配線71A、71B、71Cのそれぞれの経路上には、スイッチ72A、72B、72Cが設けられている。スイッチ72A、72B、72Cは、ジョセフソン接合素子であってもよい。スイッチ72A、72B、72Cは、それぞれ接地電位に接続されている。

[0054] 本実施形態に係る電子デバイス10Bによれば、第1のTMD膜30Pの長辺エッジE1における、超伝導電極20Aと磁性体70Aとの間、第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2との交差部及び超伝導電極20Bと磁性体70Bとの間の位置にそれぞれマヨラナ粒子100が発生する。また、第2のTMD膜30Qの長辺エッジE2における、超伝導電極20Cと磁性体70Cとの間の位置にマヨラナ粒子100が発生する。磁性体70A~70Dによってマヨラナ粒子100を局在化させることができる。スイッチ72A、72B、72Cをオンオフして、超伝導電極20A、20B及び20Cを地絡又はフローティングにすることで、各部位に発生するマヨラナ粒子100を相互に交換することが可能となる。

[0055] [第4の実施形態]

図11は、開示の技術の第4の実施形態に係る電子デバイス10Cの構成の一例を示す平面図である。電子デバイス10Cは、マヨラナ粒子を用いた

量子ビット素子として機能する。電子デバイス10Cは、第1のTMD膜30P、第2のTMD膜30Q、超伝導電極20A、20B、20C及び磁性体70A、70B、70C、70Dを有する。第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qは、トポロジカル絶縁体によって構成されており、例えば単層の WTe_2 膜であってもよい。超伝導電極20A~20Cは、 $PdTe_2$ 又は $PdTe$ を含む超伝導体によって構成されている。

[0056] 第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qは、それぞれ、四角形にパターニングされている。なお、第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qは、少なくとも1つの角部を有していればよく、四角形以外の多角形又はその他の形状を有していてもよい。第2のTMD膜30Qの1つの角部は、第1のTMD膜30Pの1つの角部に接している。超伝導電極20Aは、第1のTMD膜30Pの、第2のTMD膜30Qと接する角部を形成するエッジに接して設けられている。超伝導電極20Bは、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する一方のエッジに接して設けられている。超伝導電極20Cは、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する他方のエッジに接して設けられている。電子デバイス10Cは、第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qの上に、超伝導電極20A~20Cが積層されたトップコンタクト型である。

[0057] 磁性体70Aは、第1のTMD膜30Pの、第2のTMD膜30Qと接する角部を形成するエッジに接しており、超伝導電極20Aの近傍に設けられている。磁性体70Bは、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する一方のエッジに接しており、超伝導電極20Bの近傍に設けられている。磁性体70Cは、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する他方のエッジに接しており、超伝導電極20Cの近傍に設けられている。磁性体70Dは、第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qが互いに接する角部の近傍に設けられている。

[0058] 超伝導電極20A、20B、20Cには、それぞれ、超伝導配線71A、

71B、71Cが接続されている。超伝導配線71A、71B、71Cは、それぞれ、超伝導電極20A、20B、20Cと同様、PdTe₂又はPdTeを含む超伝導体によって構成されていてもよい。また、超伝導配線71A、71B、71Cは、例えば、PdTe₂とAlとが積層された2層構造又はNbTe₂とNbとが積層された2層構造であってもよい。超伝導配線71A、71Bのそれぞれの経路上には、スイッチ72A、72Bが設けられている。スイッチ72A、72Bは、ジョセフソン接合素子であってもよい。スイッチ72A、72B及び超伝導配線71Cは、それぞれ接地電位に接続されている。

[0059] 本実施形態に係る電子デバイス10Cによれば、第1のTMD膜30Pの、第2のTMD膜30Qと接する角部を形成するエッジにおける、超伝導電極20Aと磁性体70Aとの間の位置にマヨラナ粒子100が発生する。また、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する一方のエッジにおける超伝導電極20Bと磁性体70Bとの間にマヨラナ粒子100が発生する。また、第2のTMD膜30Qの、第1のTMD膜30Pと接する角部を形成する他方のエッジにおける超伝導電極20Cと磁性体70Cとの間にマヨラナ粒子100が発生する。また、第1のTMD膜30P及び第2のTMD膜30Qが接する互いに接する角部にマヨラナ粒子100が発生する。磁性体70A～70Dによってマヨラナ粒子100を局在化させることができる。スイッチ72A、72Bをオンオフして、超伝導電極20A及び20Bを地絡又はフローティングにすることで、各部位に発生するマヨラナ粒子100を相互に交換することが可能となる。

符号の説明

[0060] 10、10A、10B、10C 電子デバイス
20、20A、20B、20C 超伝導電極
30 TMD膜
30P 第1のTMD膜
30Q 第2のTMD膜

71 A、71 B、71 C 超伝導配線

72 A、72 B、72 C スイッチ

請求の範囲

- [請求項1] PdTe₂又はPdTeを含む超伝導電極と、
前記超伝導電極に積層された遷移金属ダイカルコゲナイト膜と、
を有する電子デバイス。
- [請求項2] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜はトポロジカル絶縁体膜である
請求項1に記載の電子デバイス。
- [請求項3] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜はWTe₂膜である
請求項2に記載の電子デバイス。
- [請求項4] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜は、単層又は多層の原子層物質
からなる膜である
請求項1に記載の電子デバイス。
- [請求項5] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜は、前記超伝導電極が接触する
部分である第1の部分における厚さが、前記第1の部分以外の部分で
ある第2の部分の厚さよりも厚い
請求項1に記載の電子デバイス。
- [請求項6] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜は、第1遷移金属ダイカルコゲ
ナイト膜と、前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜に対して交差し
つつ前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜に積層された第2遷移金
属ダイカルコゲナイト膜と、を含み、
複数の前記超伝導電極が、前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜
及び前記第2遷移金属ダイカルコゲナイト膜の互いに交差するエッジ
に接して設けられている
請求項1に記載の電子デバイス。
- [請求項7] 前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜は、少なくとも1つの角部を有
する第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜と、少なくとも1つの角部を
有し、1つの角部が前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜の1つ角
部と接して設けられた第2遷移金属ダイカルコゲナイト膜と、を含み
、

複数の前記超伝導電極が、前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜の、前記第2遷移金属ダイカルコゲナイト膜と接する角部を形成するエッジ及び前記第2遷移金属ダイカルコゲナイト膜の前記第1遷移金属ダイカルコゲナイト膜と接する角部を形成するエッジに接して設けられている

請求項1に記載の電子デバイス。

[請求項8] 複数の前記超伝導電極にそれぞれ接続された超伝導配線と、前記超伝導配線の各々の経路上に設けられたスイッチと、を更に含む

請求項6又は請求項7に記載の電子デバイス。

[請求項9] $PdTe_2$ 又は $PdTe$ を含む超伝導電極を形成する工程と、遷移金属ダイカルコゲナイト膜と前記超伝導電極とを積層する工程と、

を含む電子デバイスの製造方法。

[請求項10] 前記超伝導電極を形成する工程は、 Te 膜を形成する工程と、前記 Te 膜に接する Pd 膜を形成する工程と、前記 Te 膜と前記 Pd 膜にアニール処理を施して固相反応を生じさせることにより実行される請求項9に記載の電子デバイスの製造方法。

[請求項11] 前記アニール処理は真空中又は不活性ガスの雰囲気中において実行され、

前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜と前記超伝導電極とを積層する工程は真空中又は不活性ガスの雰囲気中において実行される

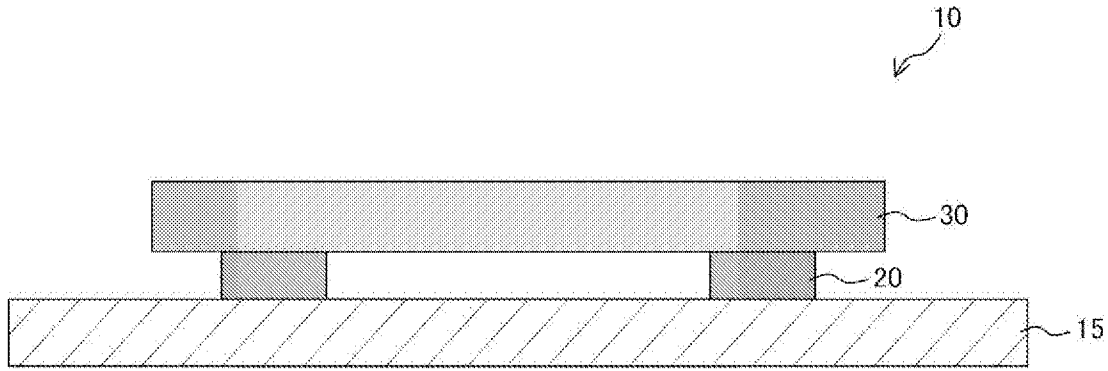
請求項10に記載の電子デバイスの製造方法。

[請求項12] Te を含む多層の遷移金属ダイカルコゲナイト膜の表面に Pd 膜を形成する工程と、

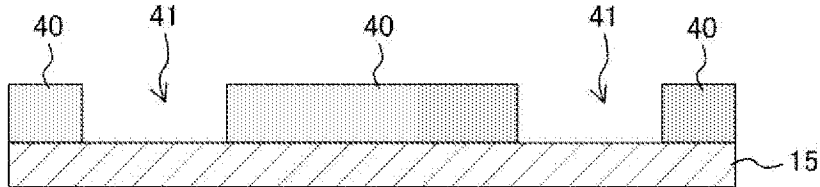
前記 Pd 膜をマスクとして前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜をエッチングすることにより、前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜を部分的に薄化する工程と、

前記Pd膜及び前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜にアニール処理を施して固相反応を生じさせることにより、前記Pd膜と前記遷移金属ダイカルコゲナイト膜との界面にPdTe₂又はPdTeを含む超伝導電極を形成する工程と、
含む電子デバイスの製造方法。

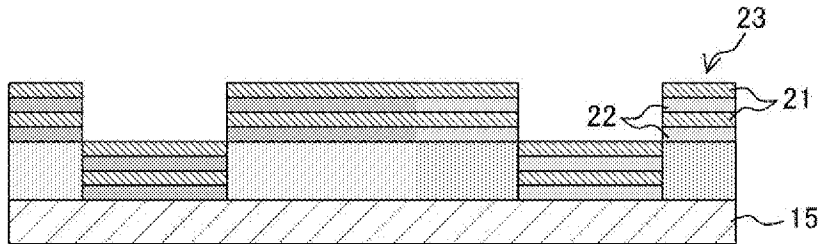
[図1]



[図2A]



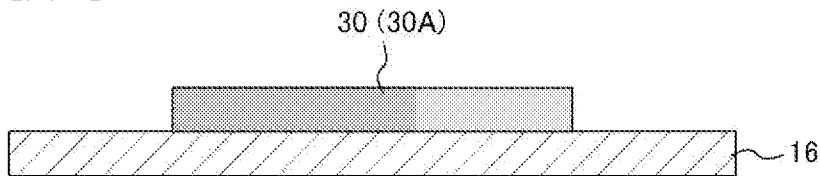
[図2B]



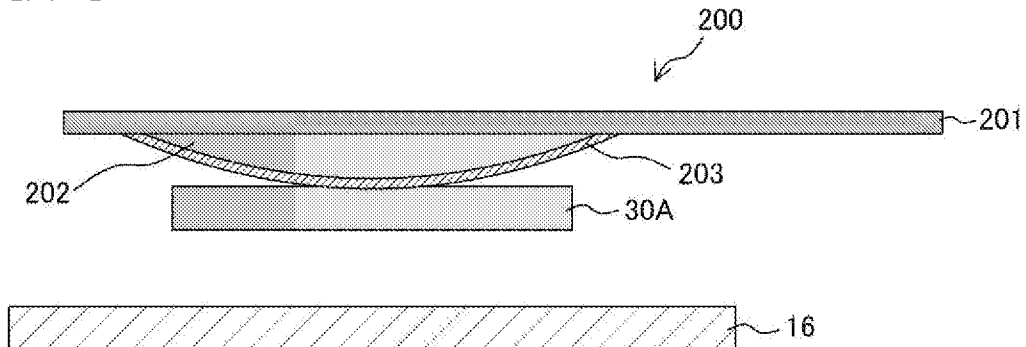
[図2C]



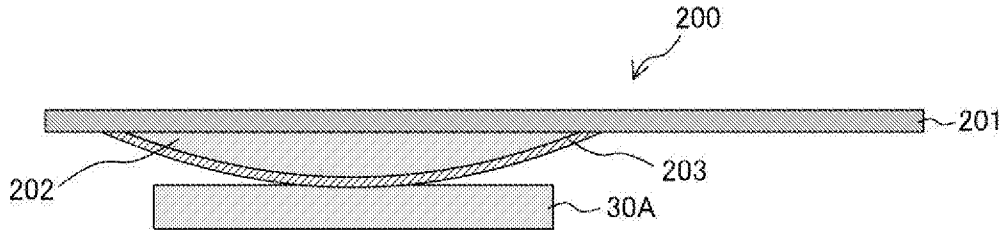
[図2D]



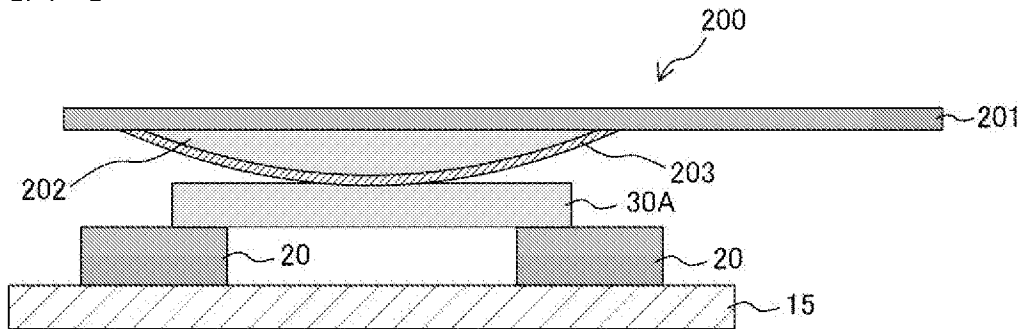
[図2E]



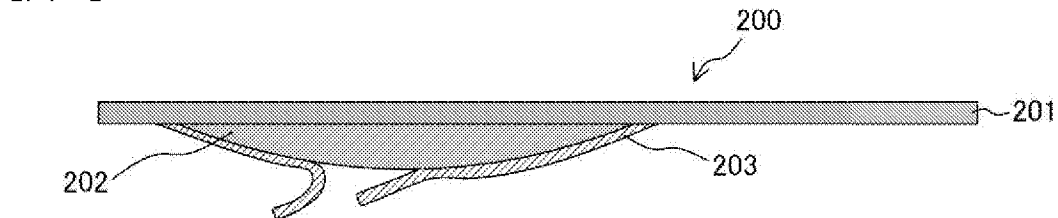
[図2F]



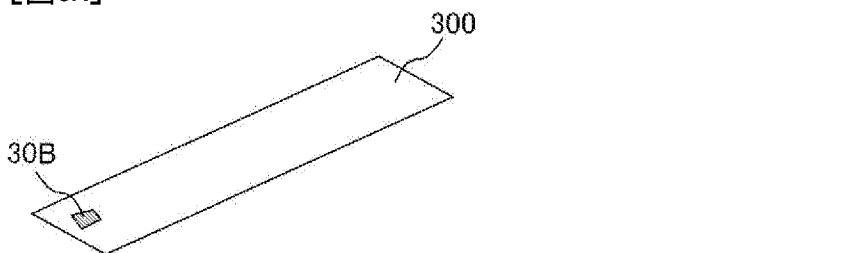
[図2G]



[図2H]

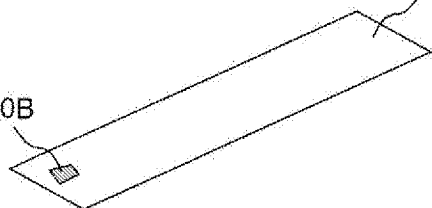


[図3A]

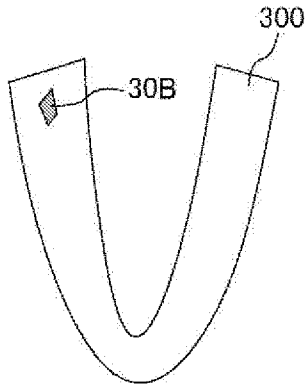


30B

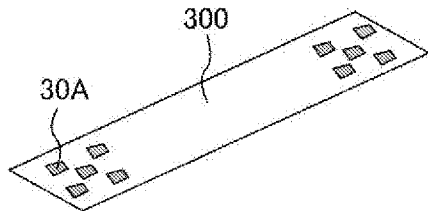
300



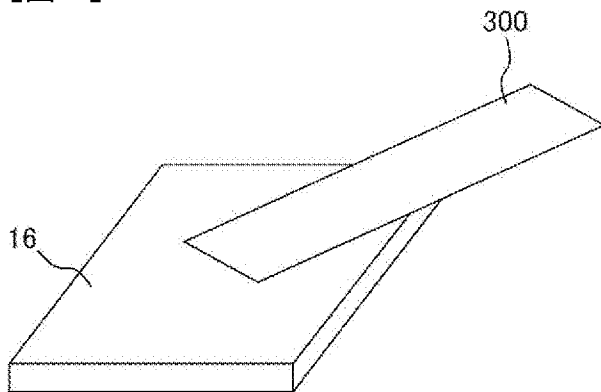
[図3B]



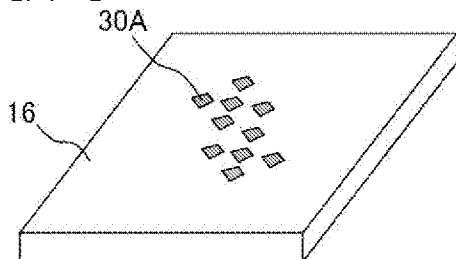
[図3C]



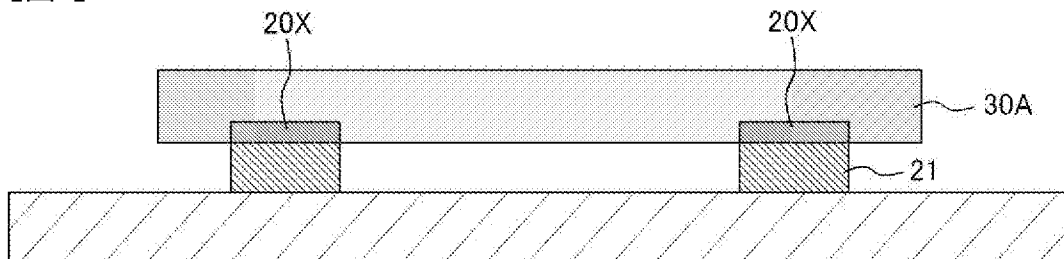
[図3D]



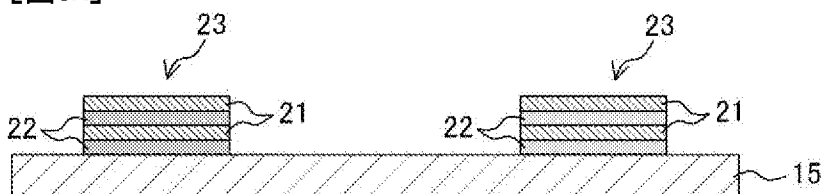
[図3E]



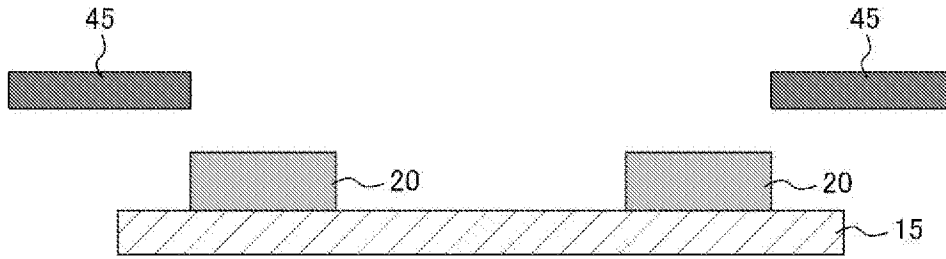
[図4]



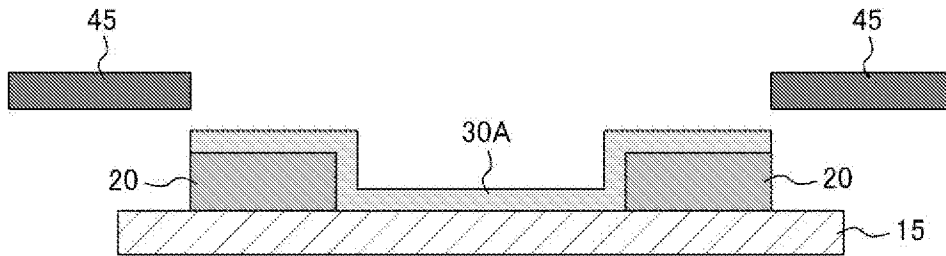
[図5A]



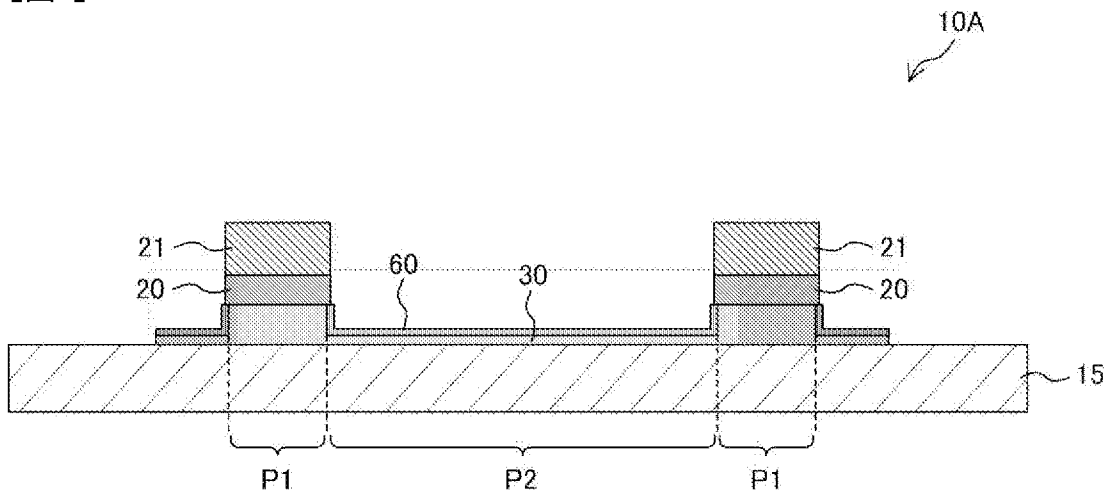
[図5B]



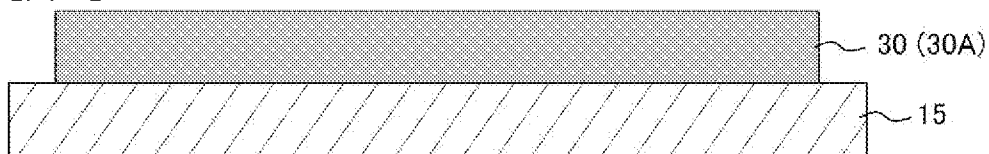
[図5C]



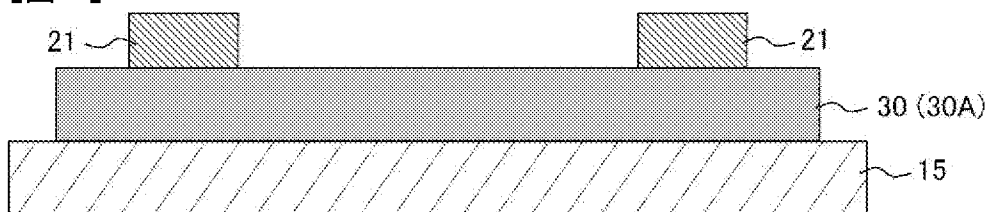
[図6]



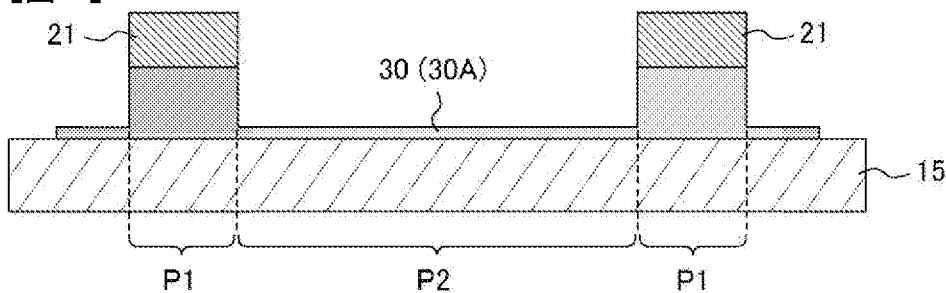
[図7A]



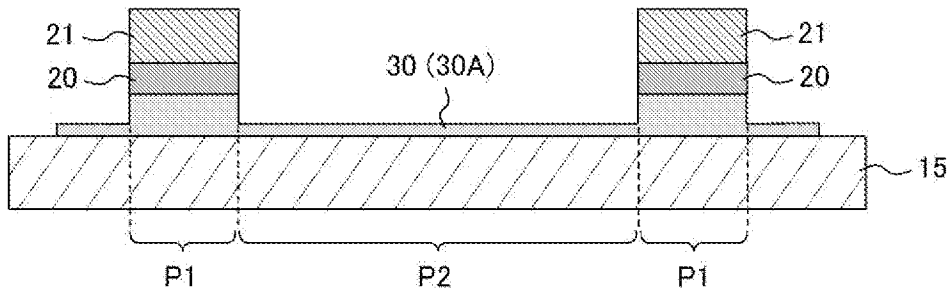
[図7B]



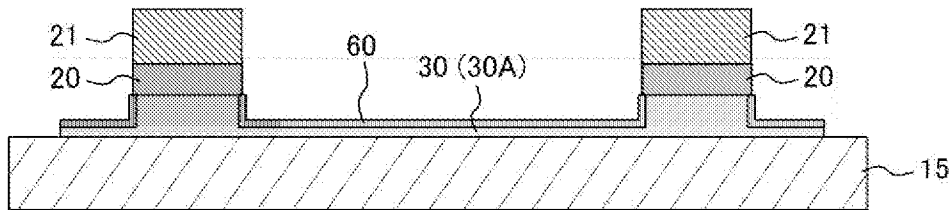
[図7C]



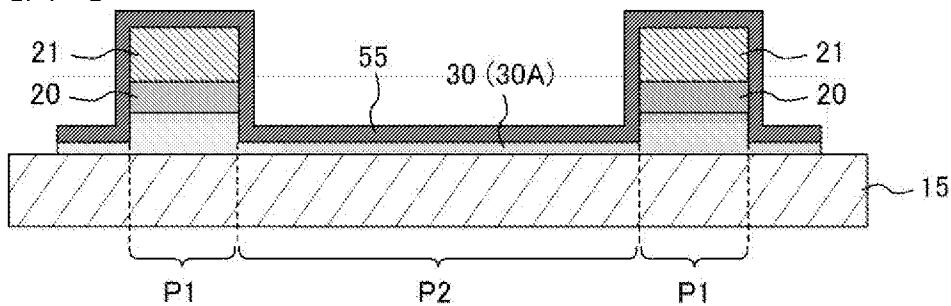
[図7D]



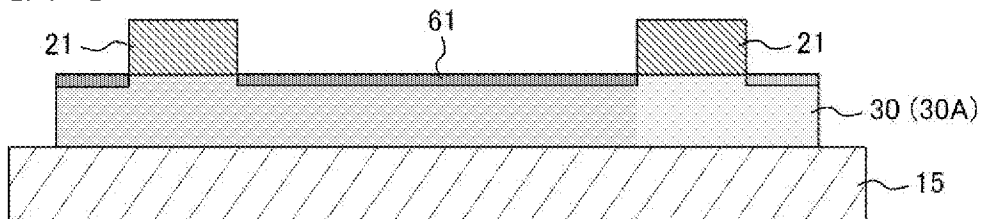
[図7E]



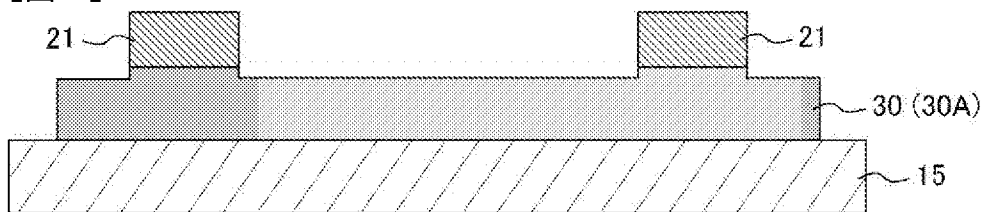
[図7F]



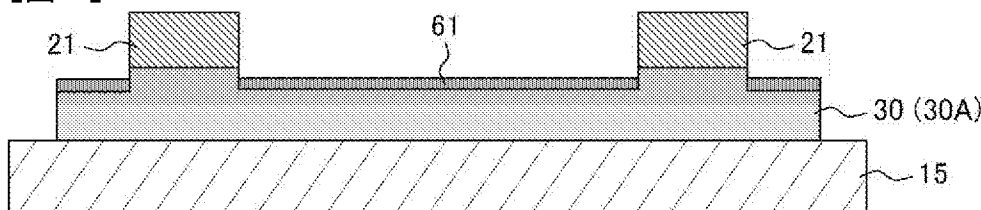
[図8A]



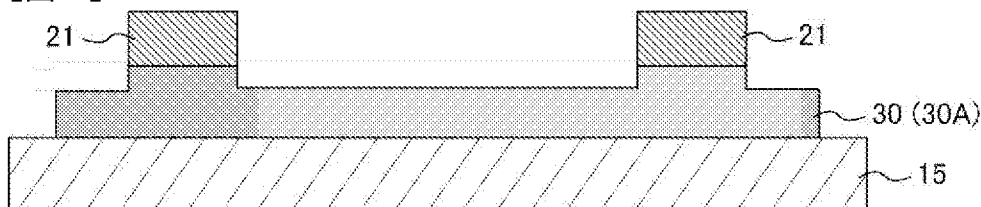
[図8B]



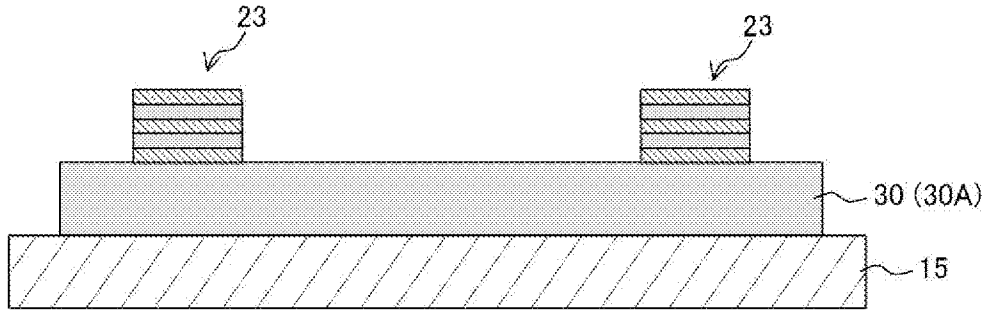
[図8C]



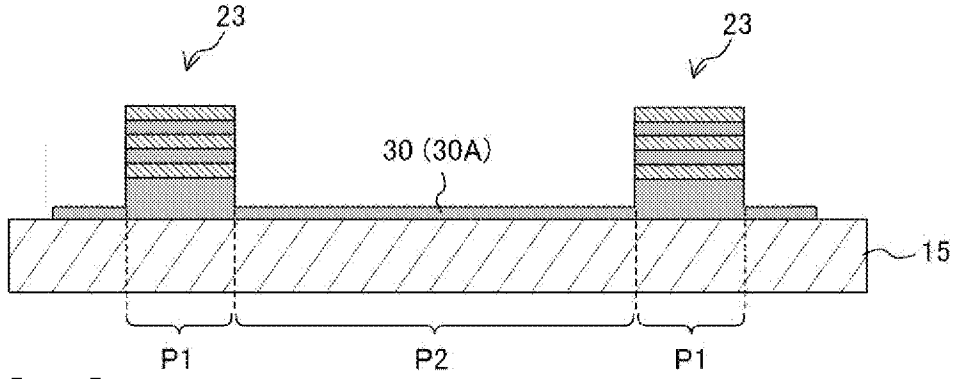
[図8D]



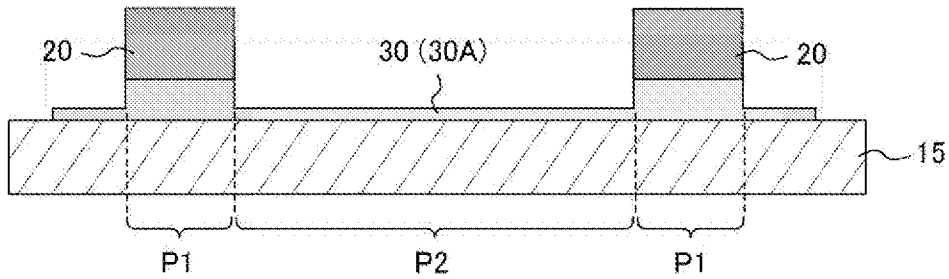
[図9A]



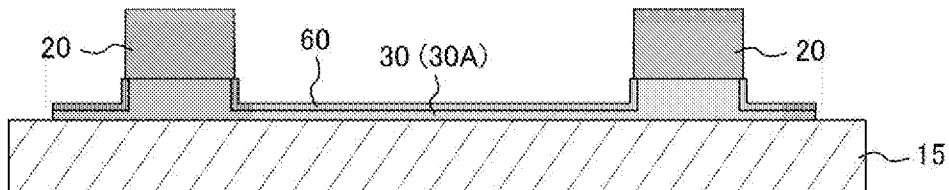
[図9B]



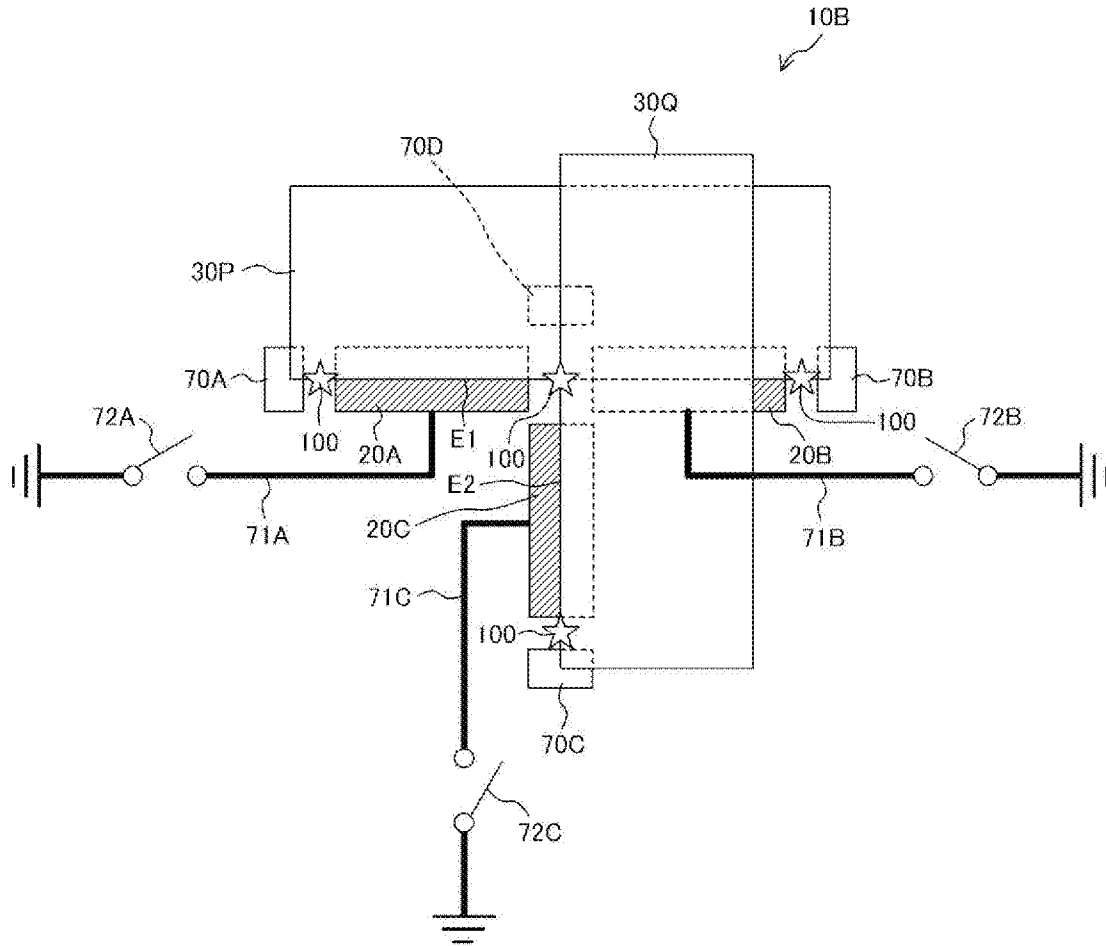
[図9C]



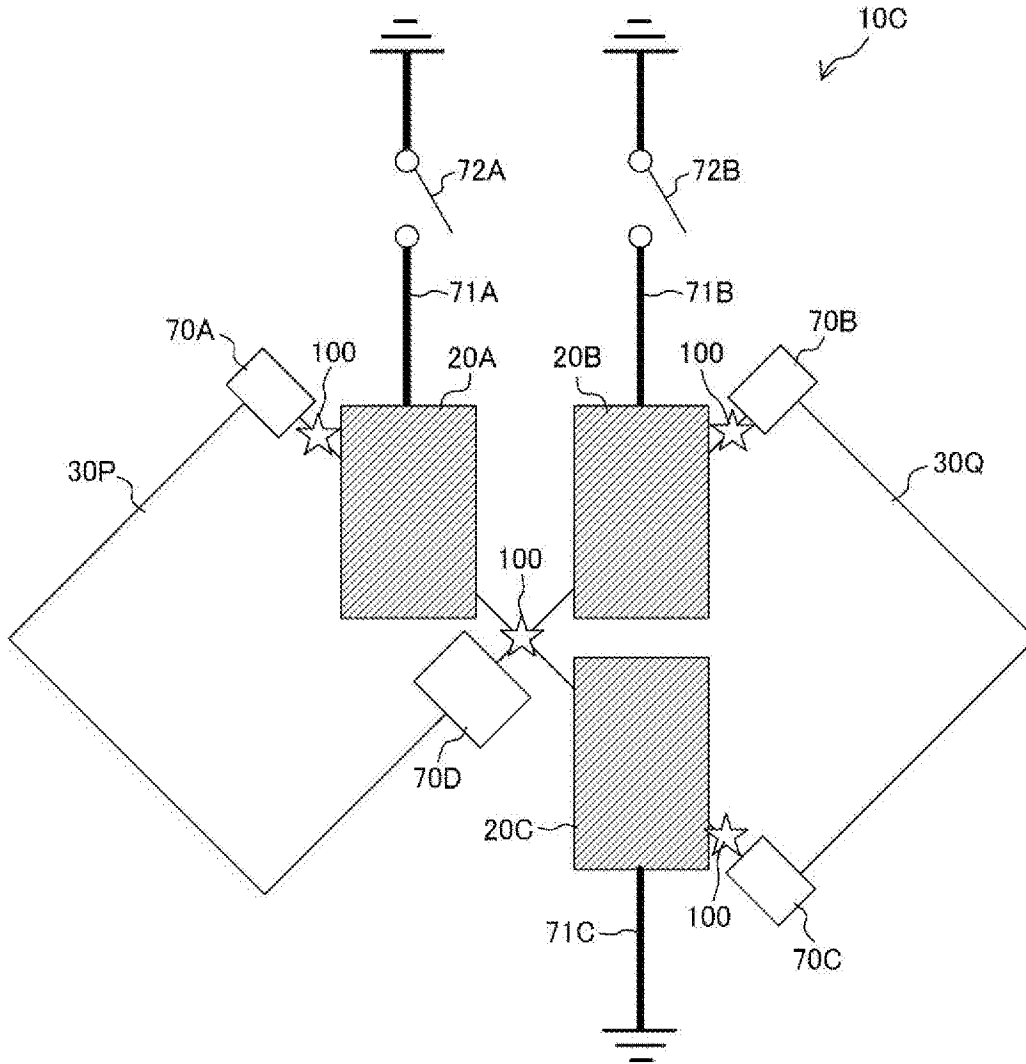
[図9D]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/032865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H10N 60/12</i> (2023.01) FI: H01L39/22 A		
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) H01L39/22		
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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	OHTOMO, Manabu et al. Josephson junctions of Weyl semimetal WTe ₂ induced by spontaneous nucleation of PdTe superconductor. Applied Physics Express, 21 June 2022, 15, pp. 075003-1 to 075003-5, DOI:10.35848/1882-0786/ac75a8, Supplementary information pp. 1-15 pp. 075003-1 to 075003-5	1-4, 9
A	pp. 075003-1 to 075003-5	5-8, 10-12
A	US 2020/0111944 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 09 April 2020 (2020-04-09) entire text, all drawings	1-12
<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 07 November 2022		Date of mailing of the international search report 15 November 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
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/032865

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2020/0111944 A1	09 April 2020	WO 2019/060829 A2	
----- entire text, all drawings -----			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H10N 60/12(2023.01)i FI: H01L39/22 A		
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）） H01L39/22 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 1971-2022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		
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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
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	OHTOMO, Manabu et al., Josephson junctions of Weyl semimetal WTe2 induced by spontaneous nucleation of PdTe superconductor, Applied Physics Express, 2022.06.21, 15, pp. 075003-1-075003-5, DOI:10.35848/1882-0786/ac75a8, Supplementary information pp. 1-15 pp. 075003-1-075003-5	1-4, 9
A	pp. 075003-1-075003-5	5-8, 10-12
A	US 2020/0111944 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 09.04.2020 (2020-04-09) 全文、全図	1-12
<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	国際調査報告の発送日	
07.11.2022	15.11.2022	
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） 上田 智志 5F 3664 電話番号 03-3581-1101 内線 3514	

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/JP2022/032865

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2020/0111944 A1	09.04.2020	WO 2019/060829 A2 全文、全図	