

(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
2020年12月24日(24.12.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/255376 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/02 (2006.01) H01L 27/12 (2006.01)
B23K 20/00 (2006.01) H01L 29/80 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/024725

(22) 国際出願日: 2019年6月21日(21.06.2019)

(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:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 西村 邦彦 (NISHIMURA Kunihiko); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 仲村

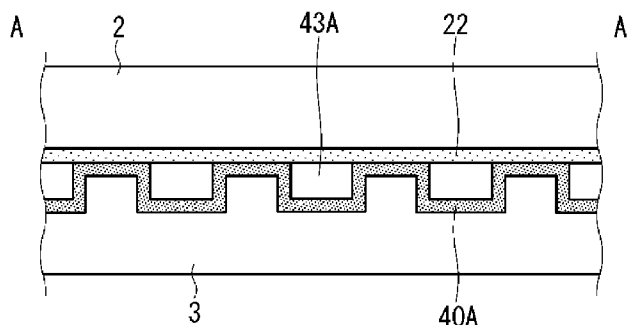
恵右(NAKAMURA Keisuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤川 正洋(FUJIKAWA Masahiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 檜座 秀一(HIZA Shuichi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 品川 友宏(SHINAGAWA Tomohiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 柳生 栄治(YAGYU Eiji); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 吉竹 英俊, 外(YOSHITAKE Hidetoshi et al.); 〒5400001 大阪府大阪市中央区域見

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING COMPOSITE SUBSTRATE, AND COMPOSITE SUBSTRATE

(54) 発明の名称: 複合基板の製造方法、および、複合基板

〔図2〕



(57) Abstract: The present invention facilitates the removal of substrates from a composite substrate and suppresses the peeling of the composite substrate in an unintended step. This method for manufacturing a composite substrate includes: forming a first adhesion material on a first surface of a first substrate; forming, on the first surface, at least one depression positioned inside of outer edge sections in the plan view of the first substrate; forming the first adhesion material on the inside walls of the depressions; forming a second adhesion material on a second surface of a second substrate without filling in the spaces surrounded by the inside walls of the depressions; and adhering the first adhesion material and the second adhesion material together in regions excluding the depressions.

(57) 要約: 複合基板におけるそれぞれの基板を取り外しやすく、意図しない工程において複合基板が剥離することを抑制する。複合基板の製造方法は、第1の基板の第1の表面に第1の接合材を形成し、第1の表面には、第1の基板の平面視における外縁部よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成され、第1の接合材は、くぼみの内壁に沿って形成され、くぼみの内壁に囲まれる空間には充填されず、第2の基板の第2の表面に第2の接合材を形成し、第1の接合材と第2の接合材とをくぼみを除く領域において接合する。

1 丁目 4 番 7 0 号 住 友 生 命 O B P プ ラ
ザビル 1 0 階 Osaka (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, 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：複合基板の製造方法、および、複合基板

技術分野

[0001] 本願明細書に開示される技術は、複合基板の製造方法、および、複合基板に関するものである。

背景技術

[0002] 高出力および高周波のトランジスタとして、窒化ガリウム（GaN）膜を活性層として用いる高電子移動度トランジスタ（high electron mobility transistor、すなわち、HEMT）が実用化されている（たとえば、特許文献1を参照）。

[0003] 上記において、ダイヤモンドを基材とするGaNトランジスタを採用する場合、成膜、写真製版またはエッチングなどのトランジスタ作製工程を適用するために、薄くまた湾曲する多結晶ダイヤモンド基板に対して、無機接着剤を用いて支持ダイヤモンド基板を貼り付ける。そして、多結晶ダイヤモンド基板と支持ダイヤモンド基板とによって、平坦で適度の厚さを有する複合基板を形成する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2015-52213号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記の複合基板を用いる場合、多結晶ダイヤモンド基板から支持ダイヤモンド基板を取り外すために、複合基板を、無機接着剤を溶解可能な薬液に浸す。

[0006] しかしながら、当該接着剤を溶解させるには比較的長い時間を要する。また、トランジスタ作製工程において類似の薬液を用いる工程があると、無機接着剤に当該薬液に浸透して、支持ダイヤモンド基板がGaNオンドイヤモ

ンド基板から不用意に剥離する恐れがあり、安定的にトランジスタ作製工程を実施することができない。

[0007] 本願明細書に開示される技術は、以上に記載されたような問題を鑑みてなされたものであり、複合基板におけるそれぞれの基板を取り外しやすく、かつ、意図しない工程において複合基板が剥離することを抑制する技術を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0008] 本願明細書に開示される技術の第1の態様は、第1の基板の第1の表面に、第1の接合材を形成し、前記第1の表面には、前記第1の基板の平面視における外縁部よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成され、前記第1の接合材は、前記くぼみの内壁に沿って形成され、かつ、前記くぼみの前記内壁に囲まれる空間には充填されず、第2の基板の第2の表面に、第2の接合材を形成し、前記第1の接合材と前記第2の接合材とを、前記くぼみを除く領域において接合する。

[0009] 本願明細書に開示される技術の第2の態様は、第1の表面を有する第1の基板と、第2の表面を有する第2の基板と、前記第1の表面に形成される第1の接合材と、前記第2の表面に形成され、かつ、前記第1の接合材と接合される第2の接合材とを備え、前記第1の表面には、前記第1の基板の平面視における外縁部よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成され、前記第1の接合材は、前記くぼみの内壁に沿って形成され、かつ、前記くぼみの前記内壁に囲まれる空間には充填されず、前記第1の接合材と前記第2の接合材とは、前記くぼみを除く領域において接合される。

発明の効果

[0010] 本願明細書に開示される技術の第1の態様は、第1の基板の第1の表面に、第1の接合材を形成し、前記第1の表面には、前記第1の基板の平面視における外縁部よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成され、前記第1の接合材は、前記くぼみの内壁に沿って形成され、かつ、前記くぼみの前記内壁に囲まれる空間には充填されず、第2の基板の第2の表面に、第

2の接合材を形成し、前記第1の接合材と前記第2の接合材とを、前記くぼみを除く領域において接合する。このような構成によれば、くぼみの内壁に囲まれる空間に溶解液が浸入することによって、第1および第2の接合材の溶解が早まるため、第1の基板の取り外しに要する時間を短くすることができる。また、くぼみが外縁部よりも内側に形成されることによって、意図しない工程において第1および第2の接合材が溶解してしまい、複合基板が剥離することを抑制することができる。

[0011] また、本願明細書に開示される技術の第2の態様は、第1の表面を有する第1の基板と、第2の表面を有する第2の基板と、前記第1の表面に形成される第1の接合材と、前記第2の表面に形成され、かつ、前記第1の接合材と接合される第2の接合材とを備え、前記第1の表面には、前記第1の基板の平面視における外縁部よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成され、前記第1の接合材は、前記くぼみの内壁に沿って形成され、かつ、前記くぼみの前記内壁に囲まれる空間には充填されず、前記第1の接合材と前記第2の接合材とは、前記くぼみを除く領域において接合される。このような構成によれば、くぼみの内壁に囲まれる空間に溶解液が浸入することによって、第1および第2の接合材の溶解が早まるため、第1の基板の取り外しに要する時間を短くすることができる。また、くぼみが外縁部よりも内側に形成されることによって、意図しない工程において第1および第2の接合材が溶解してしまい、複合基板が剥離することを抑制することができる。

[0012] また、本願明細書に開示される技術に関連する目的と、特徴と、局面と、利点とは、以下に示される詳細な説明と添付図面とによって、さらに明白となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施の形態に関する、複合基板の構成の例を示す斜視図である。

[図2]図1におけるA-A'断面を示す断面図である。

[図3]実施の形態に関する、複合基板を構成する半導体基板および支持基板の例を示す図である。

[図4]図3におけるB領域の拡大平面図である。

[図5]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程を示すフローチャートである。

[図6]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程を示すフローチャートである。

[図7]実施の形態に関する、複合基板を作製する工程を示すフローチャートである。

[図8]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程を示すフローチャートである。

[図9]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図10]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図11]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図12]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図13]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図14]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図15]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図16]実施の形態で作製されるレジストマスクパターンの例を概略的に示す平面図である。

[図17]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図18]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

態の例を示す断面図である。

[図19]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図20]実施の形態に関する、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図21]実施の形態に関する、複合基板を作製する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図22]実施の形態に関する、複合基板を作製する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図23]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図24]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図25]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図26]実施の形態に関する、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図27]比較例としての、くぼみによって形成される空間を有さない構造の例を示す断面図である。

[図28]実施の形態に関する、複合基板の構成の例を示す断面図である。

[図29]フッ酸水溶液に複合基板を浸漬した状態を示す図である。

[図30]フッ酸水溶液に複合基板を浸漬した状態を示す図である。

[図31]実施の形態に関する、複合基板を作製する工程を示すフローチャートである。

[図32]実施の形態に関する、複合基板を作製する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[図33]実施の形態に関する、複合基板を構成する半導体基板および支持基板の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0014] 以下、添付される図面を参照しながら実施の形態について説明する。以下の実施の形態では、技術の説明のために詳細な特徴なども示されるが、それらは例示であり、実施の形態が実施可能となるためにそれらすべてが必ずしも必須の特徴ではない。
- [0015] なお、図面は概略的に示されるものであり、説明の便宜のため、適宜、構成の省略、または、構成の簡略化が図面においてなされるものである。また、異なる図面にそれぞれ示される構成などの大きさおよび位置の相互関係は、必ずしも正確に記載されるものではなく、適宜変更され得るものである。また、断面図ではない平面図などの図面においても、実施の形態の内容を理解することを容易にするために、ハッチングが付される場合がある。
- [0016] また、以下に示される説明では、同様の構成要素には同じ符号を付して図示し、それらの名称と機能とについても同様のものとする。したがって、それらについての詳細な説明を、重複を避けるために省略する場合がある。
- [0017] また、以下に記載される説明において、ある構成要素を「備える」、「含む」または「有する」などと記載される場合、特に断らない限りは、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。
- [0018] また、以下に記載される説明において、「第1の」または「第2の」などの序数が用いられる場合があっても、これらの用語は、実施の形態の内容を理解することを容易にするために便宜上用いられるものであり、これらの序数によって生じ得る順序などに限定されるものではない。
- [0019] また、以下に記載される説明における、相対的または絶対的な位置関係を示す表現、たとえば、「一方向に」、「一方向に沿って」、「平行」、「直角」、「中心」、「同心」または「同軸」などは、特に断らない限りは、その位置関係を厳密に示す場合、および、公差または同程度の機能が得られる範囲において角度または距離が変位している場合を含むものとする。
- [0020] また、以下に記載される説明において、等しい状態であることを示す表現、たとえば、「同一」、「等しい」、「均一」または「均質」などは、特に

断らない限りは、厳密に等しい状態であることを示す場合、および、公差または同程度の機能が得られる範囲において差が生じている場合を含むものとする。

[0021] また、以下に記載される説明において、「上」、「下」、「左」、「右」、「側」、「底」、「表」または「裏」などの特定の位置と方向とを意味する用語が用いられる場合があっても、これらの用語は、実施の形態の内容を理解することを容易にするために便宜上用いられるものであり、実際に実施される際の方向とは関係しないものである。

[0022] また、以下に記載される説明において、「…の上面」または「…の下面」などと記載される場合、対象となる構成要素の上面自体に加えて、対象となる構成要素の上面に他の構成要素が形成された状態も含むものとする。すなわち、たとえば、「甲の上面に設けられる乙」と記載される場合、甲と乙との間に別の構成要素「丙」が介在することを妨げるものではない。

[0023] また、以下に記載される説明において、形状を示す表現、たとえば、「四角形状」または「円筒形状」などは、特に断らない限りは、厳密にその形状であることを示す場合、および、公差または同程度の機能が得られる範囲において凹凸または面取りなどが形成されている場合を含むものとする。

[0024] <第1の実施の形態>

以下、本実施の形態に関する複合基板の製造方法、および、複合基板について説明する。

[0025] 高出力および高周波のトランジスタとして実用化されているHEMTでは、活性層としてGaNを用いることで高耐電圧を実現することができ、また、HEMT構造を用いることで低抵抗を実現することができる。そのため、上記のHEMTは、大電力を投入することができる。

[0026] しかしながら、大電力を投入した際にトランジスタ部で生じるジュール熱によって、素子破壊が生じる場合がある。

[0027] 通常、高出力トランジスタにはヒートシンクと呼ばれる放熱部材が実装されるが、発熱箇所はトランジスタの中でも微小領域に限られるため、微小の

発熱箇所からヒートシンクまでの熱輸送が課題となる。

[0028] トランジスタが形成されているGaN膜は、基材であるたとえばSiC（炭化シリコン）基板を挟んでヒートシンクに接着されている。近年では、SiCの代わりに、より熱伝導率が高いダイヤモンドを基材に用いる構造が提案されている。

[0029] ダイヤモンドを基材に用いると、GaN膜における微小領域で生じた熱がダイヤモンド層を横方向に拡散する。すると、ダイヤモンド基板を挟んでGaN膜と接着されているヒートシンクの広い領域に熱が伝達されるため、結果的に発熱箇所における到達温度を低下させることができる。

[0030] GaN膜が形成される基材としてダイヤモンドが用いられる構造では、Si基板の上面またはSiC基板の上面にGaN薄膜を結晶成長させ、さらに、GaN薄膜の上面に支持基板を接着する。その後、Si基板またはSiC基板を除去する。

[0031] そして、その結果露出するGaN薄膜の下面に、窒化シリコン（SiN）膜などの保護膜を形成した後に、化学気相堆積（chemical vapor deposition、すなわち、CVD）法によって多結晶ダイヤモンド層を成膜する。

[0032] その後、支持基板を取り外すことによって、多結晶ダイヤモンド基板の上面にGaN薄膜が形成された構造を得ることができる。

[0033] さらに、GaN薄膜に対してトランジスタ作製工程を適用すると、ダイヤモンドを基材とするGaNトランジスタを得ることができる。

[0034] 以下では、多結晶ダイヤモンド基板の上面にGaN薄膜が形成された基板を、GaNオンダイヤモンド基板と呼ぶ。

[0035] ダイヤモンドを基材とするGaNトランジスタを採用する場合、成膜、写真製版またはエッチングなどのトランジスタ作製工程を適用するために、薄くまた湾曲する多結晶ダイヤモンド基板に対して、無機接着剤を用いて支持ダイヤモンド基板を貼り付ける。そして、多結晶ダイヤモンド基板と支持ダイヤモンド基板とによって、平坦で適度の厚さを有する複合基板を形成する

。

[0036] ここで、仮にCVD法によって多結晶ダイヤモンド層を厚く形成することができれば、上記のように別途支持ダイヤモンド基板を貼り付ける必要はなくなり、トランジスタ作製工程をそのまま適用することが可能となる。

[0037] しかしながら、CVD法によって多結晶ダイヤモンド層を形成する場合の成膜速度は非常に遅いため、CVD法によって多結晶ダイヤモンド層を厚く形成することは難しい。

[0038] また、仮にCVD法によって多結晶ダイヤモンド層を厚く形成することができたとしても、成膜過程における基板湾曲が大きくなり、やはりトランジスタ作製工程を適用することができない。

[0039] これらの観点から、多結晶ダイヤモンド層の厚さは熱輸送材料として機能する最小限の厚さ、たとえば、 $100\mu\text{m}$ 程度とせざるを得ず、したがって支持ダイヤモンド基板を貼り付けて複合基板を形成することが必要となる。

[0040] 上記のように作製された複合基板は、トランジスタ作製工程の熱工程での湾曲を防止するために、複合基板を構成するGaNオンダイヤモンド基板と支持ダイヤモンド基板とは、互いに近い値の熱膨張係数を有する材料を選択する必要がある。

[0041] その観点から、支持基板として別途作製されたダイヤモンド基板を用いている。また、支持基板の貼り付け方法も、貼り付け後の構造が耐熱性を有するような方法を選ぶ必要があり、たとえば、無機接着剤を用いる貼り付けが行われる。

[0042] そして、トランジスタ作製工程が完了した複合基板からは、支持ダイヤモンド基板を取り外す必要がある。ここで、GaNオンダイヤモンド基板は厚さが $100\mu\text{m}$ 程度と薄いため、基板破損を防ぐためには支持ダイヤモンド基板の取り外しに機械的な方法を用いることができない。

[0043] そこで、複合基板を薬液に浸し、さらに、多孔質の無機接着剤中に当該薬液を浸透させることによって、GaNオンダイヤモンド基板から支持ダイヤモンド基板を取り外す。

[0044] GaNオンダイヤモンド基板から支持ダイヤモンド基板を取り外すために、複合基板を、無機接着剤を溶解可能な薬液に浸す。

[0045] しかしながら、当該接着剤を溶解させるには比較的長い時間を要する。また、トランジスタ作製工程において類似の薬液を用いる工程があると、無機接着剤に当該薬液に浸透して、支持ダイヤモンド基板がGaNオンダイヤモンド基板から不用意に剥離する恐れがあり、安定的にトランジスタ作製工程を実施することができない。

[0046] <複合基板の構成について>

以下に、本実施の形態に関する複合基板について、図面を参照し説明する。

[0047] 図1は、本実施の形態に関する複合基板の構成の例を示す斜視図である。図1に例が示されるように、複合基板1は、GaNオンダイヤモンド基板2と支持ダイヤモンド基板3とを備える。

[0048] 図2は、図1におけるA-A'断面を示す断面図である。図2に例が示されるように、GaNオンダイヤモンド基板2と支持ダイヤモンド基板3との間の接合面には、SiO₂接合層22とSiO₂接合層40Aとが形成されている。さらに、これらの接合層の間には、空間43Aが形成されている。

[0049] なお、SiO₂接合層40Aの断面形状および空間43Aの断面形状は、図2に例が示されるものに限られるものではなく、たとえば、後述されるように、支持ダイヤモンド基板3の上面におけるくぼみの側面が曲面形状であり、当該側面に形成されたSiO₂接合層も曲面形状であってもよい。

[0050] 図3は、本実施の形態に関する複合基板を構成する半導体基板および支持基板の例を示す図である。図3に例が示されるように、支持ダイヤモンド基板3の、GaNオンダイヤモンド基板2との間の接合面には、加工くぼみ35が形成されている。

[0051] 図4は、図3におけるB領域の拡大平面図である。図4に例が示されるように、加工くぼみ35は支持ダイヤモンド基板3の外縁部10に到達せずに途切れており、加工くぼみ35内の空間は、支持ダイヤモンド基板3とGa

Nオンダイヤモンド基板2との間の接合面内で閉塞している。

[0052] <複合基板の製造方法について>

次に、本実施の形態に関する複合基板の製造方法について説明する。

[0053] 本実施の形態における複合基板の製造プロセスは大きく分けて、次の4工程、すなわち、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程と、支持ダイヤモンド基板を準備する工程と、複合基板を作製する工程と、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程とから成る。

[0054] 図5は、上記のうちのGaNオンダイヤモンド基板を準備する工程を示すフローチャートである。

[0055] 図6は、上記のうちの支持ダイヤモンド基板を準備する工程を示すフローチャートである。

[0056] 図7は、上記のうちの複合基板を作製する工程を示すフローチャートである。

[0057] 図8は、上記のうちのGaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程を示すフローチャートである。

[0058] 本実施の形態に関する複合基板は、図7に示される複合基板を作製する工程を経て完成する。また、図8に示されるGaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程は、本実施の形態に関する複合基板を用いる後半工程の説明にすぎない。

[0059] しかしながら、本実施の形態に関する複合基板は後半工程を実施する際に効果を発揮するため、本実施の形態で詳しく説明する。

[0060] <GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程について>

はじめに、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程について、図5、図9、図10、図11、図12および図13を参照しつつ説明する。

[0061] ここで、図9、図10、図11、図12および図13は、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[0062] まず、図9に例が示されるような、GaNオンSi基板15を作製する。

[0063] 詳細工程は次のようになる。まず、たとえば2インチのSi基板11に対

して、 AlN （窒化アルミニウム）膜または AlGaIn （窒化ガリウムアルミニウム）膜などからなるバッファ層 12 と、 GaN 膜 13 と、 AlGaIn 膜 14 とをその順で連続的にエピタキシャル成長させる。

[0064] バッファ層 12 は、下面に接触する Si 基板 11 と上面に接触する GaN 膜 13 との格子不整合を緩和させるように、さらに、 GaN 膜 13 が内包する応力を緩和させるように、その組成比または膜厚などが調整されている。

[0065] バッファ層 12 は単層の場合もあるし、組成比の異なる複数の層が積層されて成る場合もある。バッファ層 12 の厚さは、たとえば $0.7 \mu\text{m}$ である。

[0066] また、 AlGaIn 膜 14 は、 GaN 膜 13 の上面に連続的にエピタキシャル成長されることで、 AlGaIn の自発分極効果とピエゾ分極効果とによって GaN 膜 13 内の AlGaIn 膜 14 との間の界面付近に 2 次元電子ガスと呼ばれる高濃度の電子層を発生させる。

[0067] この電子層は、不純物添加によって形成される電子層とは異なり、電子がイオン散乱を受けにくく、非常に高い電子移動度を示す。

[0068] なお、図 9 には示されていないが、 AlGaIn 膜 14 のさらに上面に GaN 膜からなるキャップ層を形成する場合もあるし、 GaN 膜 13 の一部に、 Fe または C （炭素）などの不純物が添加された層を挟む場合もある。このようにして、 GaN オン Si 基板 15 が作製される。

[0069] 次に、図 10 に例が示されるように、 GaN オン Si 基板 15 のうちの AlGaIn 膜 14 の上面に支持基板接着層 16 を形成する。そして、支持基板接着層 16 の上面に、さらに支持基板 17 を接着させる。

[0070] その後、 Si 基板 11 およびバッファ層 12 を除去することによって、 GaN 転写基板 18 を得る。

[0071] GaN 転写基板 18 は、このあと高温工程へ投入されるため、支持基板接着層 16 および支持基板 17 には高温耐性が必要である。

[0072] 本実施の形態では、支持基板接着層 16 として、 SiN 膜と SiO_2 膜との

積層膜を適用する。このうちS i N膜をA l G a N膜14に近い側に配置することによって、高温工程においてA l G a N膜14またはG a N膜13から窒素(N)が離脱することを抑制する効果がある。

[0073] また、支持基板接着層16としての積層膜におけるS i O₂膜は、支持基板17との間で強い接着を実現する効果がある。当該S i O₂膜は、T E O S (テトラエトキシシラン)を用いるC V D法によって、たとえば1.5 μmの膜厚で成膜される。その後、たとえば700℃でアニール処理され、さらに表面平坦化処理がなされる。そして、支持基板17であるS i基板と直接接合法で接着される。

[0074] 直接接合法を用いることによって、S i O₂膜と支持基板17であるS i基板との間で、高温工程にも耐え得る接着力を得ることができる。また、接合界面においてアウトガスも発生しない。

[0075] 支持基板接着層16としては、ほかにも、アルミナまたはシリカを主成分とする無機接着剤などを用いることもできる。

[0076] 次に、S i基板11およびバッファ層12を除去することで、G a N転写基板18が作製されるが、S i基板11の除去は、たとえば機械研磨によって行うことができる。

[0077] 一方で、A l G a Nなどから構成されるバッファ層12は、機械研磨速度が非常に遅い。

[0078] そのため、S i基板11がすべて除去されてバッファ層12が露出した時点で、いったん機械研磨を停止させる。

[0079] その後、研磨条件をA l G a N研磨用に変更して、低速で研磨を行うことによってバッファ層12を除去する。そして、G a N膜13を露出させる。

[0080] 本実施の形態では、S i基板11の除去およびバッファ層12の除去に機械研磨を用いたが、反応性イオンエッチング(reactive ion etching、すなわち、R I E)法によって気相エッチングを用いることもできる。機械研磨およびR I E法は、ともに被加工面のみが除去され

るため、本実施の形態のように反対側の面にもS i基板である支持基板17が配置された状態でのS i基板11の除去には好適である。

[0081] 仮に、支持基板17の材料として、S iの代わりに、たとえば、サファイアなどを用いれば、S i基板11の除去にフッ硝酸などの薬液処理を適用することができる。薬液処理を用いることができれば、S i基板11とバッファ層12との除去速度の比（すなわち、選択比）が非常に大きくなるため、バッファ層12が露出した時点で確実に除去を停止させることができる。

[0082] 本実施の形態では、支持基板接着層16としてS i N膜とS i O₂膜との積層膜が用いられたが、材料はこれに限られるものではなく、ほかの膜種が用いられてもよいし、アルミナまたはシリカなどを主成分とする無機接着剤が用いられてもよい。

[0083] 次に、図11に例が示されるように、G a N転写基板18のG a N膜13の下面に、保護層19を形成する。その後に、保護層19の下面に多結晶ダイヤモンド膜20を形成することによって、多結晶ダイヤモンド成膜基板21を作製する。

[0084] 保護層19を形成する目的は、多結晶ダイヤモンド膜20の成膜時に、保護層19によってG a N膜13を保護することである。本実施の形態では、保護層19はアモルファスS i薄膜であり、たとえば、プラズマCVD法で成膜される。

[0085] 保護層19の膜厚は、G a N膜13を保護するために必要な分だけの膜厚であるが、保護層19の膜厚が厚すぎると、保護層19がG a N膜13と多結晶ダイヤモンド膜20との間の熱伝導の妨げとなってしまう。

[0086] 本実施の形態では、膜厚が20nmであるアモルファスS iを保護層19として形成する。

[0087] なお、保護層19は、アモルファスS iである場合に限られず、他の膜種であってもよいし、G a N膜13の損傷が無視することができるのであれば、保護層19が形成されなくてもよい。

- [0088] 多結晶ダイヤモンド膜20の形成には、たとえば、メタンガスと水素とを用いるマイクロ波プラズマCVD法を適用する。マイクロ波プラズマCVD法による多結晶ダイヤモンド膜の成膜では、基板温度が850℃で結晶性の高い多結晶ダイヤモンド膜を得ることができる。
- [0089] この温度よりも高くても低くても、多結晶ダイヤモンド膜の結晶性は低下してしまい、グラファイト成分が増加してくる。
- [0090] 本実施の形態では、基板温度が850℃となるようにステージの冷却条件およびプラズマ電力を調整し、膜厚が100μmである多結晶ダイヤモンド膜20を成膜する。
- [0091] 多結晶ダイヤモンド膜20の表面は、結晶粒に対応して高低差10μmの凹凸形状が形成される。そのため、機械研削によって、当該高低差が0.5μmとなるまで平坦化する。
- [0092] 本実施の形態では、多結晶ダイヤモンド膜20はCVD法で成膜されたが、多結晶ダイヤモンド膜を成膜する方法はこれに限られるものではない。
- [0093] たとえば、別途作製された多結晶ダイヤモンド基板を接着する方法であってもよい。多結晶ダイヤモンド基板を接着する場合には、GaN膜13の表面を保護する必要があるため、保護層19は不要となる。そのため、熱伝達の観点では有利である。
- [0094] 一方で、多結晶ダイヤモンド基板の接着力を増加させるために、保護層19の代わりに接着層の挿入が必要であれば、それが熱伝導の妨げになるため注意が必要である。
- [0095] 次に、図12に例が示されるように、支持基板17および支持基板接着層16を除去することによって、GaNオンダイヤモンド基板2を得る（図5におけるステップST11）。
- [0096] 本実施の形態では、支持基板17の除去および支持基板接着層16の除去には、フッ酸と硝酸との混合液にこれらを浸漬することで溶解させて除去する方法を用いる。
- [0097] この場合、多結晶ダイヤモンド膜20は、成膜面である保護層19の下面

だけでなく、GaN転写基板18の側面および上面（すなわち、支持基板17の上面）にまで回り込んで成膜されているため、フッ酸および硝酸による溶解除去の後も、多結晶ダイヤモンド膜がGaN転写基板18の側面および上面に残存してしまう。

[0098] これを防ぐために、上記の溶解除去を行う前に、レーザー加工機などを用いて基板端部をトリミング（すなわち、端部の切断）することで、余分な多結晶ダイヤモンド膜を除去する工程を追加することができる。

[0099] 支持基板17の除去および支持基板接着層16の除去は、フッ酸と硝酸との混合液による溶解除去に限られるものではない。たとえば、機械研磨による除去、または、RIEなどのドライエッチングによる除去であってもよい。

[0100] ただし、機械研磨による除去の場合は、前述のように基板端部をレーザーでトリミングしても、支持基板17の上面には多結晶ダイヤモンド膜が残存して研磨の妨げとなる場合があるため、注意が必要である。

[0101] さらに、機械研磨およびドライエッチングのいずれの場合であっても、除去が完了する時点で、露出しているAlGaN膜14を損傷しないよう注意が必要である。

[0102] また、図12には示されていないが、AlGaN膜14を保護するために、AlGaN膜14の上面に、100nm程度の膜厚のSiN膜を成膜する工程を追加してもよい。

[0103] 次に、図13に例が示されるように、多結晶ダイヤモンド膜20の下面に、TEOSを用いるプラズマCVD法によってSiO₂接合層22をたとえば2μmの膜厚で形成する（図5におけるステップST12）。

[0104] そして、窒素雰囲気中で700℃の熱処理を経た後、SiO₂接合層22の表面を平坦化する（図5におけるステップST13）。

[0105] 上記の熱処理は、ダイヤモンドの酸化を防止するためにイナート炉での処理が必要である。

[0106] また、SiO₂接合層22は、高低差0.5μm程度の表面凹凸を有する多

結晶ダイヤモンド膜20の下面に形成されるため、SiO₂接合層22の表面にも同様の表面凹凸が形成される。

[0107] したがって、熱処理を経た後の平坦化処理は、たとえば、定盤を用いた機械研磨による平坦化処理を行った後に、化学機械研磨（chemical mechanical polishing、すなわち、CMP）法を用いる平滑化処理を組み合わせることができる。

[0108] このようにして、SiO₂接合層22が形成された状態のGaNオンダイヤモンド基板2が完成する（図5におけるステップST14）。

[0109] なお、平滑化処理の後に、SiO₂接合層22の表面形状を原子間力顕微鏡（atomic force microscope、すなわち、AFM）を用いて計測したところ、粗さRa=0.3nmであった。

[0110] <支持ダイヤモンド基板を準備する工程について>

次に、支持ダイヤモンド基板を準備する工程について、図6、図14、図15、図16、図17、図18、図19および図20を参照しつつ説明する。

[0111] ここで、図14、図15、図17、図18、図19および図20は、支持ダイヤモンド基板を準備する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[0112] まず、図14に例が示されるように、ダイヤモンドウエハを準備する（図6におけるステップST21）。

[0113] 具体的には、直径2インチで、板厚が300μmである多結晶ダイヤモンドウエハ23を準備する。

[0114] 多結晶ダイヤモンドウエハ23は、上下面の両面とも鏡面研磨されている。特に、多結晶ダイヤモンドウエハ23の上面である研磨面24は、CMP法によって精密に平滑化処理が行われているものとする。

[0115] なお、平滑化処理後の研磨面24の表面形状をAFMで評価したところ、粗さRa=0.5nmであった。

[0116] 次に、保護SiN膜25を形成する（図6におけるステップST22）。そして、図15に例が示されるように、当該構造に対して写真製版を行う（

図6におけるステップST23)。

[0117] 具体的には、多結晶ダイヤモンドウエハ23の研磨面24に、プラズマCVD法を用いてSiN膜(すなわち、保護SiN膜25)をたとえば400nmの膜厚で成膜する。

[0118] その後、保護SiN膜25の上面にフォトリソを形成し、パターン露光および現像などの一般的な写真製版の工程を実施する。そして、保護SiN膜25の上面に、レジストマスク26を形成する。

[0119] 図16は、本実施の形態で作製されるレジストマスクパターンの例を概略的に示す平面図である。

[0120] 図16に例が示されるように、レジストマスクは、マスク部28と開口部27とを備える。そして、レジストマスクパターンは、多結晶ダイヤモンドウエハ23のオリフラ(オリエンテーションフラット)32に直交するストライプパターンと、多結晶ダイヤモンドウエハ23の外縁部10に沿う円周パターンとを備える。

[0121] 図16では、説明の便宜のために、それぞれの寸法の相対比率とストライプ本数とは実際とは異なって示されているが、本実施の形態では、レジストマスクパターンの開口部幅29は $10\mu\text{m}$ とし、マスク部幅30は $50\mu\text{m}$ とし、外縁部マスク部幅31は $200\mu\text{m}$ とする。

[0122] 次に、レジストマスク26を介して保護SiN膜25のエッチングを行う(図6におけるステップST24)。

[0123] 本実施の形態では、 CF_4 と O_2 との混合ガスを用いるRIE法で上記のエッチングを行う。その後、レジストマスク26を除去することによって、図17に例が示されるような、SiNマスク開口部33が形成され、かつ、SiNマスク部34が形成される保護SiN膜25のパターンを、多結晶ダイヤモンドウエハ23の上面において得ることができる。

[0124] RIE法を用いるエッチングでは、膜厚方向だけでなくサイドエッチによるパターン幅変化も考慮する必要があるが、本実施の形態で用いる条件では、SiNマスク開口部33の幅およびSiNマスク部34の幅は、それぞれ

レジストパターンの幅と同じ $10\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ であった。

[0125] さらに、RIE法を用いるエッチングでは、SiNマスク開口部33の底面において露出する多結晶ダイヤモンドウエハ23の上面もわずかに損傷を受けるが、この部位は、後の工程でエッチング加工される部位であるため、ここでの損傷は問題とはならない。

[0126] なお、上記では、保護SiN膜25のエッチングにはRIE法が用いられたが、これに限られるものではなく、たとえばウェットエッチング法などが用いられてもよい。

[0127] 次に、図18に例が示されるように、保護SiN膜25をマスクとして多結晶ダイヤモンドウエハ23の上面をエッチングすることによって、支持ダイヤモンド基板3を得る（図6におけるステップST25）。本実施の形態では、 O_2 を用いるRIE法を適用する。

[0128] 上記のエッチングによって、SiNマスク開口部33の下部には加工くぼみ35が形成される。加工くぼみ35は、支持ダイヤモンド基板3の平面視における外縁部10よりも内側に位置する。加工くぼみ35の加工深さ36は、たとえば、 $10\ \mu\text{m}$ である。

[0129] 本実施の形態では、保護SiN膜25と多結晶ダイヤモンドウエハ23とのエッチング速度比を大きく保つために（すなわち、エッチング速度の差を大きく保つために）、ガス圧を比較的高くしてエッチング面のイオン衝撃成分を抑制する条件で実施する。

[0130] そのため、保護SiN膜25の下部に位置する多結晶ダイヤモンドウエハ23には、横方向に $5\ \mu\text{m}$ 程度までサイドエッチが進行し、加工くぼみ35の加工幅37は、くぼみ35の長手方向における90%以上の領域で、SiNマスク開口部33の幅よりも広い、たとえば、 $20\ \mu\text{m}$ となる。

[0131] その結果、エッチングがなされない領域、すなわち、初期のダイヤモンド研磨面の維持された面（テラス部38と呼ぶ）の幅であるテラス部幅39は、たとえば、 $40\ \mu\text{m}$ となる。すなわち、隣接するくぼみ35間の間隔は、くぼみ35の長手方向における90%以上の領域で、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上、かつ

、 $100\mu\text{m}$ 以下である。また、図4および図16より外縁部10の厚さは $200\mu\text{m}$ となるため、外縁部10の厚さは、加工くぼみの加工幅37の2倍以上となる。

[0132] なお、本実施の形態では、多結晶ダイヤモンドウエハ23のエッチングに O_2 を用いるRIE法が適用されたが、エッチング方法はこれに限られるものではない。

[0133] 次に、図19に例が示されるように、図18に示された構造をフッ酸水溶液に浸漬して、保護SiN膜25を除去する（図6におけるステップST26）。

[0134] ここで、テラス部38の表面形状は、図6におけるステップST21で得られた多結晶ダイヤモンドウエハ23の研磨面24と同一であるため、たとえば、粗さ $R_a = 0.5\text{nm}$ が維持されている。

[0135] 次に、図20に例が示されるように、くぼみ加工が施された支持ダイヤモンド基板3の上面に、TEOSを用いるCVD法によって膜厚が $1\mu\text{m}$ である SiO_2 接合層40を成膜する（図6におけるステップST27）。そして、 700°C の窒素雰囲気中で熱処理する。

[0136] ここで、熱処理後のテラス部41の表面形状を測定したところ、たとえば、粗さ $R_a = 0.5\text{nm}$ に維持されていた。

[0137] 上記の SiO_2 の成膜条件または熱処理条件によっては、テラス部41の表面粗さが悪化することも考えられる。その場合は、図6におけるステップST28として示されるように、 SiO_2 接合層40のテラス部41の上面を、CMP法によって精密研磨することもできる。

[0138] このようにして、 SiO_2 接合層40が形成された状態の支持ダイヤモンド基板3が完成する（図6におけるステップST29）。なお、 SiO_2 接合層40は、加工くぼみ35の内壁に沿って形成され、かつ、加工くぼみ35の内壁に囲まれる空間43には充填されない。

[0139] <複合基板を作製する工程について>

次に、複合基板を作製する工程について、図7、図21および図22を参

照しつつ説明する。

[0140] ここで、図21および図22は、複合基板を作製する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[0141] まず、図21に例が示されるように、GaNオンダイヤモンド基板2の上面に形成されたSiO₂接合層22と、支持ダイヤモンド基板3の上面に形成されたSiO₂接合層40とを、酸素プラズマ42で処理する（図7におけるステップST31）。

[0142] これにより、SiO₂接合層の表面が活性化し、さらに、大気中の水分を吸着して親水性となる。

[0143] なお、本実施の形態では酸素プラズマ処理が実施されたが、アルゴンまたは窒素などの不活性ガスによるプラズマ処理が実施されてもよいし、親水化処理をより完全に行うために、酸素プラズマ処理の後にSiO₂接合層の表面を純水で洗浄してもよい。

[0144] 次に、図22に例が示されるように、ステップST31において親水化されたSiO₂接合層の表面同士を大気中で接触させて接合する（図7におけるステップST32）。このとき、SiO₂接合層40とSiO₂接合層22とは、加工くぼみ35を除く領域において接合される。

[0145] このように大気中でSiO₂接合層同士を接触させると、表面に吸着された水分子を介する水素結合によって、GaNオンダイヤモンド基板2と支持ダイヤモンド基板3とが互いに固定される。

[0146] このとき、接触面積が接着力に影響を及ぼすため、接着力を高めるためには接触させる両表面を平滑にする必要がある。本実施の形態では、接触させるSiO₂接合層の粗さは、それぞれRa=0.3nm、Ra=0.5nmであり、接合には十分な平滑度を有している。

[0147] 本実施の形態では、GaNオンダイヤモンド基板2および支持ダイヤモンド基板3がともに可視光に対して透明である。そのため、目視観察によって、適切に接合されている領域（すなわち、接合領域）と接合されていない領域（SiO₂接合層同士の間に空隙が形成されてしまっている領域、すなわち

、非接合領域）とのコントラストの差を確認することができる。

[0148] 上述の目視観察によれば、大気中で SiO_2 接合層同士を接触させると、両層が最初に接触した箇所を起点として自発的に接合領域が広がっていく様子を観察することができる。

[0149] 上記の接合有無に起因するコントラスト差は、複数の透明膜からなる積層構造によって判別しづらくなる場合がある。また、上記のコントラスト差は、周期的な溝構造で非接合領域が形成されることでも、判別しづらくなる場合がある。しかしながら、本実施の形態では十分に判別可能なコントラスト差を観察することができた。

[0150] なお、 GaN オンダイヤモンド基板2または支持ダイヤモンド基板3のいずれかに反りがある場合、接合領域が自発的に広がらない場合がある。

[0151] その場合は、ローラーなどを用いて当該基板の外側から圧力を加えることによって、強制的に SiO_2 接合層同士を接触させて接合させることもできる。

[0152] 一般的に大気中で基板同士を接合する場合、接合面に大気が挟まれて孤立状態になり、閉じ込められて抜けないことがある。これは未接合領域（いわゆるボイド）として接合不良となる。

[0153] しかしながら、本実施の形態では周期的に加工くぼみ35によって形成される空間43が存在するため、当該空間43に大気が逃げることができ、接合面内には大気が孤立しない利点がある。

[0154] 挟まれる大気量に対して空間43の容積は十分に大きいので、内部の大気圧の上昇が接合を引きはがすこともない。

[0155] 次に、接合された両基板を 400°C の窒素雰囲気中で熱処理する（図7におけるステップST33）。

[0156] これによって、接合界面の水素結合部から水分子が離脱し、酸素原子を介するシロキサン結合へと変化する。したがって、接着力が大幅に改善する。

[0157] なお、熱処理後に空間43内に封入された大気が膨張して圧力が高まるが、接着を引きはがすことはない。

- [0158] 以上の工程を経て、本実施の形態に関する複合基板 1 が完成する（図 7 におけるステップ S T 3 4）。なお、図 2 2 に示された複合基板 1 は、図 1 および図 2 に示された複合基板 1 と同様のものである。
- [0159] なお、上記においては、図 7 におけるステップ S T 3 2 と図 7 におけるステップ S T 3 3 とで、親水化処理を伴う基板接合方法が説明されたが、図 1 0 における支持基板接着層 1 6 と支持基板 1 7 との間の接合方法にも、親水化処理を伴う基板接合方法を適用することができる。
- [0160] ただし、支持基板接着層 1 6 と支持基板 1 7 とはいずれもくぼみなどが形成されていない平坦基板であるため、大気中での接合では、大気を挟むことに起因して接合不良個所が生じる恐れがあるため、注意が必要である。
- [0161] また、S i 基板 1 1 と支持基板 1 7 とは、いずれも可視光に対して不透明であるため、目視観察によって接合領域を評価する際には、近赤外光を用いる必要がある。
- [0162] たとえば、ハロゲンランプを光源として、その透過光を、赤外カットフィルターを排除する C C D カメラで撮影すると、コントラスト差で接合不良個所の有無が確認することができる。
- [0163] <G a N オンダイアモンドトランジスタを形成する工程について>
次に、G a N オンダイアモンドトランジスタを形成する工程について、図 8、図 2 3、図 2 4、図 2 5 および図 2 6 を参照しつつ説明する。
- [0164] ここで、図 2 3、図 2 4、図 2 5 および図 2 6 は、G a N オンダイアモンドトランジスタを形成する工程途中の状態の例を示す断面図である。
- [0165] まず、図 2 3 に例が示されるように、複合基板 1 に対してトランジスタ工程を適用する（図 8 におけるステップ S T 4 1）。ここでは、トランジスタ工程の内容については詳述しないが、トランジスタ工程は、たとえば、素子分離のためのイオン注入工程、金属薄膜電極の形成工程、オーミックコンタクト形成のための熱処理工程、表面保護 S i N 膜の成膜工程、パターン形成のための写真製版工程、パターン形成のためのウェットエッチング工程またはドライエッチング工程など含む。

[0166] 図23では、複合基板1の上面であるAlGa_N膜14およびGa_N膜13に対してトランジスタを構成する電極44が形成された状態が模式的に示されている。

[0167] 次に、図24に例が示されるように、トランジスタが形成された複合基板1に支持サファイアガラス45を接着する（図8におけるステップST42）。

[0168] 複合基板1に支持サファイアガラス45を接着する目的は、複合基板1における支持ダイヤモンド基板3を取り外す際の基板保持である。

[0169] 本実施の形態では、図24に例が示されるように、熱可塑性のワックス46を用いて、複合基板1よりも大きな直径（たとえば、3インチ径）を有する支持サファイアガラス45を接着する。

[0170] ここで、サファイアガラスを使用する理由は、後工程でのフッ酸水溶液への浸漬で損傷を受けないためである。

[0171] 次に、図25に例が示されるように、支持サファイアガラス45に接着された複合基板1をフッ酸水溶液47中に浸漬して、支持ダイヤモンド基板3を取り外す（図8におけるステップST43）。

[0172] SiO₂接合層22およびSiO₂接合層40はともにフッ酸水溶液47に可溶であるため、当該工程によって、図26に例が示されるようにこれらの接合層が溶解除去される。

[0173] 図26に例が示されるように、複合基板1は、支持サファイアガラス45が取り付けられた状態のGa_Nオンダイヤモンド基板2と、SiO₂接合層40が除去された状態の支持ダイヤモンド基板3とに分離される。

[0174] この後、支持サファイアガラス45をホットプレート上で加熱することによってワックス46を軟化させ、支持サファイアガラス45からGa_Nオンダイヤモンドトランジスタ（すなわち、Ga_Nオンダイヤモンド基板2の上面にトランジスタを構成する電極44などが形成された構造）を取り外す。

[0175] その後、アセトンを用いてGa_Nオンダイヤモンドトランジスタに付着しているワックス46を完全に除去する。このようにして、Ga_Nオンダイヤ

モンドトランジスタが完成する（図8におけるステップST44）。

[0176] <空間について>

次に、本実施の形態に関する複合基板1における、加工くぼみ35によって形成される空間43の意義について説明する。

[0177] 図27は、比較例としての、くぼみによって形成される空間を有さない構造、すなわち、薄膜の接合層を介して2枚の基板が接着された複合基板の構成の例を示す断面図である。

[0178] 具体的には、上方に位置するSi基板49と下方に位置するSi基板50とは、SiO₂接合層51を挟んで接合されている。SiO₂接合層51の膜厚52は、2μmである。

[0179] 図27は、濃度が50重量%であるフッ酸水溶液に一定時間浸漬された後のSi基板49とSi基板50との複合基板を示している。よって、図27においては、SiO₂接合層51は、複合基板の端部からエッチング距離53だけエッチングされている。なお、エッチング距離53は、浸漬1時間あたり100μmであった。これは、一般的に知られているSiO₂のエッチング速度（濃度が50重量%であるフッ酸水溶液に対して1.5μm/分）と齟齬がない値である。この値からは、2インチ基板、すなわち、直径が50mmである基板を脱離させるためにエッチング距離25mmとするための処理には、単純計算で280時間を要することになることが分かる。この時間長さは、産業上有効ではない。

[0180] 一方で、図28は、本実施の形態に関する支持ダイヤモンド基板3とGaNオンダイヤモンド基板2とを含む複合基板の構成の例を示す断面図である。図28は、濃度が50重量%であるフッ酸水溶液に一定時間浸漬された後の複合基板を示している。

[0181] 加工くぼみ35によって形成される空間43にフッ酸水溶液が充填されれば、エッチング距離54の進行速度は、図27に示された比較例のエッチング距離53の進行速度と等しくなる。

[0182] 本実施の形態では、支持ダイヤモンド基板3をGaNオンダイヤモンド基

板 2 から取り外すためには、テラス部幅 39 に対応する SiO_2 接合層 40 および SiO_2 接合層 22 をエッチングすればよい。本実施の形態では、テラス部幅 39 は $40\ \mu\text{m}$ であるため、その半分の幅である $20\ \mu\text{m}$ をエッチングすればよく、単純計算では 13 分でエッチングが完了して支持ダイヤモンド基板 3 を GaN オンダイヤモンド基板 2 から取り外すことができる。

[0183] ここで、加工くぼみ 35 によって形成される空間 43 にフッ酸水溶液が充填されるためには、当該空間 43 が、支持ダイヤモンド基板 3 の端部まで延在する流路として機能する必要がある。

[0184] なお、本実施の形態では、テラス部幅が $40\ \mu\text{m}$ に対して空間 43 の幅を $20\ \mu\text{m}$ とするが、それぞれの寸法はこれに限られるものではない。

[0185] すなわち、テラス部幅を狭くすると支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しのために要する時間が短縮されるが、テラス部幅を狭くしすぎるとテラス部が倒れて破損しやすくなる。

[0186] 一方で、テラス部幅を広くすると GaN オンダイヤモンド基板 2 と支持ダイヤモンド基板 3 との間の接合力が増すが、テラス部幅が $100\ \mu\text{m}$ よりも広がっても接合力はあまり改善されないにも関わらず、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しのために要する時間が長くなるだけである。以上を鑑みて、テラス部幅は $0.1\ \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $100\ \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

[0187] 加工くぼみ 35 によって形成される空間 43 には薬液であるフッ酸水溶液が浸入する必要があるが、空間 43 の幅が狭いとフッ酸水溶液が十分に浸入しないことが確認された。本実施の形態では、空間 43 の幅が $1\ \mu\text{m}$ よりも狭いとフッ酸水溶液が浸入しなかった。

[0188] 一方で、空間 43 の幅を広げすぎると、複合基板を構成する GaN オンダイヤモンド基板 2 と支持ダイヤモンド基板 3 とがそれぞれ湾曲し、空間 43 に中ほどで GaN オンダイヤモンド基板 2 と支持ダイヤモンド基板 3 とが張り付いてしまう問題が発生する。以上を鑑みて、空間 43 の幅は $1\ \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1\ \text{mm}$ 以下とすることが望ましい。

- [0189] 上記のように、空間４３が流路として機能しフッ酸水溶液が空間４３に充填されれば、支持ダイヤモンド基板３の取り外しが容易となるはずである。しかしながら、本実施の形態では、支持ダイヤモンド基板３の取り外しに要する浸漬時間は、想定よりも大幅に長い時間となる場合があった。
- [0190] 流路として機能する比較的狭い空間４３にフッ酸水溶液が浸入するには、加工くぼみ３５の壁面の濡れ性、および、先に空間４３に充填されている空気と後から空間４３に充填されるフッ酸水溶液との入れ替えが課題となると推定することができる。
- [0191] 本実施の形態では、上記の課題のうちの加工くぼみ３５の壁面の濡れ性を改善するため、フッ酸水溶液に非イオン性の界面活性剤を０．１重量％添加する。
- [0192] また、空間４３に対するフッ酸水溶液の充填を促進するために、浸漬容器を減圧環境下に設置する。減圧環境下では、流路として機能する空間４３に充填されていた空気は空間４３の外部へ放出される。したがって、空間４３内にフッ酸水溶液が容易に充填される。
- [0193] なお、本実施の形態では界面活性剤の添加と、減圧下での浸漬とを双方実施するが、どちらか一方の実施であってもよいし、双方とも実施しなくてもよい。また、添加する界面活性剤の種類も、上記のものに限られるものではない。
- [0194] さらに、上記のように界面活性剤を添加した場合であっても、支持ダイヤモンド基板３の取り外しに要する浸漬時間が想定よりも長い場合もあることが分かった。特に、浸漬容器を減圧環境下に設置しない場合に顕著である。
- [0195] 図２９は、フッ酸水溶液４７に複合基板５６を浸漬した状態を示す図である。図２９では、理解を助けるために基板面に流路が示されているが、実際には流路は基板間に挟まれているため、複合基板５６の外側から確認することはできない。
- [0196] 図２９では、流路がフッ酸水溶液４７の液面に直交する向きに延在する状態で、複合基板５６が浸漬されている。

- [0197] 一方で、図30は、フッ酸水溶液47に複合基板57を浸漬した状態を示す図である。図30においても、理解を助けるために基板面に流路が示されているが、実際には流路は基板間に挟まれているため、複合基板57の外側から確認することはできない。
- [0198] 図30では、流路がフッ酸水溶液47の液面に平行に延在する状態で、複合基板57が浸漬されている。
- [0199] 発明者らの実験では、図30に示されるように流路がフッ酸水溶液47の液面と平行に延在する状態で複合基板57が浸漬される場合、支持ダイヤモンド基板3の取り外しが大幅に遅れる、すなわち、支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する浸漬時間が想定よりも長くなることが分かった。
- [0200] 複合基板の設置方向の違いによって支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する時間に差が生じる理由は、流路への薬液侵入が、薬液と空気との密度差に由来していることである。
- [0201] すなわち、薬液よりも空気の方が低密度であるため、図29では、空気が流路上部からフッ酸水溶液47中に抜け出て、代わりに流路下部（すなわち、図29におけるオリフラ部）からフッ酸水溶液47が浸入する。その結果、支持ダイヤモンド基板3の取り外しは複合基板56の下部から進行する。
- [0202] 発明者らの実験では、支持ダイヤモンド基板3の取り外しの途中で浸漬を中断し、複合基板56を赤外透過光で観察すると、複合基板56の下部では接合が乖離していることを確認することができた。
- [0203] これに対し、図30では、フッ酸水溶液47と空気との密度差があっても流路の両端に高低差（フッ酸水溶液47の液面からの深さの差）がないため、空気の離脱およびフッ酸水溶液47の浸入が起こりにくい。よって、支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する時間が長くなる。
- [0204] 発明者らの実験では、支持ダイヤモンド基板3の取り外しの途中で浸漬を中断し、複合基板57を赤外透過光で観察すると、接合の乖離がほとんど進行しないことを確認することができた。
- [0205] 上記の現象を鑑みると、短時間で支持ダイヤモンド基板3の取り外しを行

うためには、図 29 に示されるように、流路がフッ酸水溶液 47 の液面に直交する向きに延在する状態で、複合基板を浸漬させることが重要である。

[0206] または、流路を 1 方向に延在させるのではなく、2 方向の流路を交差させた形状（すなわち、格子状）に配置することで、流路がどの方向に延在した状態で浸漬しても、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しに要する時間を短くすることができることが分かった。

[0207] 図 33 は、本実施の形態に関する、複合基板を構成する半導体基板および支持基板の他の例を示す図である。

[0208] 図 33 に例が示されるように、支持ダイヤモンド基板 3A の、Ga N オンダイヤモンド基板 2 との間の接合面には、加工くぼみ 35A と、加工くぼみ 35A と交差する方向に延びる加工くぼみ 35B とが形成されている。ここで、加工くぼみ 35A の延びる方向と加工くぼみ 35B の延びる方向とがなす角は、たとえば、 10° 以上、かつ、 90° 以下である。

[0209] 2 つの加工くぼみによって 2 方向の流路を交差させた形状（格子状）とすることで、流路がどの方向に延在した状態で浸漬してもいずれかの流路の両端で高低差が生じるため、フッ酸水溶液 47 が流路下部から浸入することができる。

[0210] なお、流路を交差させた形状の他に、たとえば、放射状の流路が形成されていてもよいし、複数の点状のテラス部で接合され、残りが流路として機能する接合部であってもよい。

[0211] <テラス部について>

本実施の形態では、図 16 に例が示されたレジストマスクパターンを用いて加工くぼみ 35 を形成するため、支持ダイヤモンド基板 3 の外縁部 10 の全周に渡ってテラス部が形成される。そして、外縁部 10 の全周に渡るテラス部によって、空間 43 が閉塞されている。以下では、全周に渡るテラス部の意義について説明する。

[0212] 図 8 のステップ S T 43 に示されたように、フッ酸水溶液 47 を用いて支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しが実施されるが、その工程よりも前に、図

8におけるステップS T 4 1のトランジスタ工程でも同様にフッ酸水溶液が用いられる。

[0213] この際、短時間で支持ダイヤモンド基板3を取り外すことができる構造である場合、図8におけるステップS T 4 1で意図せずに支持ダイヤモンド基板3が取り外されてしまい、支持基板としての役割を果たせなくなる可能性がある。

[0214] このような事態を避けるため、本実施の形態では、取り外し開始の時期を調整するために外縁部10の全周に渡るテラス部を形成している。そして、当該テラス部によって、空間43内にフッ酸水溶液が浸入するタイミングを遅らせている。

[0215] 本実施の形態では、基板の外縁部10に形成されたテラス部の径方向の幅を200 μ mと設定する。そうすると、フッ酸水溶液が空間43内に浸入することをおよそ120分遅らせることができる。

[0216] なお、本実施の形態ではテラス部の径方向の幅を200 μ mとしたが、テラス部の径方向の幅はこの値に限られるものではなく、必要に応じて変更してもよい。

[0217] また、本実施の形態では、テラス部は基板の（最）外縁部10に沿って形成されたが、基板の最外縁部から内側に一定幅だけ移動した位置に形成されてもよい。

[0218] 一般的に、基板の端部は写真製版の際に用いられるレジスト膜の膜厚が不安定であるなどの影響によって、パターン形状が乱れる場合がある。そのため、これを避けるために、基板の端部からたとえば1mm程度内側において、全周に渡るテラス部が形成されてもよい。

[0219] <第2の実施の形態>

本実施の形態に関する複合基板の製造方法、および、複合基板について説明する。なお、以下の説明においては、以上に記載された実施の形態で説明された構成要素と同様の構成要素については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

[0220] <複合基板の構成について>

本実施の形態に関する複合基板は、第1の実施の形態に示された複合基板、すなわち、図1、図2および図22に示された複合基板と同一の形状であるが、流路内が真空である。

[0221] <複合基板の製造方法について>

次に、本実施の形態に関する複合基板の製造方法について説明する。

[0222] 本実施の形態では、全体の4工程、すなわち、GaNオンダイヤモンド基板を準備する工程と、支持ダイヤモンド基板を準備する工程と、複合基板を作製する工程と、GaNオンダイヤモンドトランジスタを形成する工程とのうち、複合基板を作製する工程のみが第1の実施の形態に示されたものとは異なる。そのため、当該違いについて特に詳細に説明する。

[0223] <複合基板を作製する工程について>

複合基板を作製する工程について、図31および図32を参照しつつ説明する。

[0224] ここで、図31は、複合基板を作製する工程を示すフローチャートである。また、図32は、複合基板を作製する工程途中の状態の例を示す断面図である。

[0225] まず、高真空に保たれた接合装置チャンバー58内に、GaNオンダイヤモンド基板2と支持ダイヤモンド基板3とを、互いに離間させつつ互いの接合面を対向させて配置する（図31におけるステップST51）。

[0226] そして、両基板の接合面、すなわち、SiO₂接合層22およびSiO₂接合層40を、それぞれイオンガン59から発射されるイオンビーム60で活性化処理する（図31におけるステップST52）。

[0227] 本実施の形態では、表面活性化処理には、アルゴンイオンビームを用いる。ここでのアルゴンイオンビーム処理の目的は、接合面の表面における付着物または汚染などを除去すること、および、接合面の表面に未結合手（ダングリングボンド）を生成させることである。

[0228] アルゴンイオンビームの照射が完了した後、接合装置チャンバー58内が

高真空中に保たれたままの状態、両基板を接触させ、さらに加圧する。そうすることによって、両基板を接合させる（図 3 1 におけるステップ S T 5 3）。

[0229] 上記の表面活性化処理と接合処理とは高真空中で連続的に行われる。そのため、接合面の表面に形成された未結合手は終端されない状態に、接触する相手側の接合面における未結合手と結合する。よって、両基板間で強固な接合が形成される。

[0230] 本実施の形態によれば、接合面同士が接合された後に形成される空間 4 3 内が接合装置チャンバー 5 8 内と同程度の高真空となる。そのため、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しの際に、空間 4 3 内に薬液を素早く浸入させることができる。すなわち、浸漬薬液自体を減圧環境下におかずに、空間 4 3 内の減圧を実現することができる。これによって、短時間での支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しが可能となる。

[0231] なお、本実施の形態では、空間 4 3 内は高真空とされたが、必ずしも高真空である必要はなく、大気圧よりも負圧であればよく、空間 4 3 内が、たとえば 0. 0 5 M P a 程度とされた場合であっても十分に効果が得られる。

[0232] なお、空間 4 3 内を真空にするために、第 1 の実施の形態で用いられた親水化処理を伴う接合法を減圧環境下で実施することは、接合性の観点で好ましくない。なぜなら、図 2 1 では、接合面の表面における水分子を介する水素結合で固定される必要があることが示されたが、減圧環境下では、接合面の表面における水分の大半が離脱してしまうため、十分な水素結合が得られない。したがって、空間 4 3 内を真空にするには、図 3 2 に示された方法によって接合を行うことが望ましい。

[0233] さらに、図 3 2 に例が示されたように、真空中での接合は、後工程であるトランジスタ工程での高温工程または真空工程においても、接合界面のボイド（未接合部）または空間 4 3 内に封入された気体の膨張に起因する接合剥がれのリスクを抑制することができる。

[0234] このように本実施の形態によれば、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しに

要する時間を短くしつつ複合基板を作製することができる（図31におけるステップST54）。

[0235] <以上に記載された実施の形態によって生じる効果について>

次に、以上に記載された実施の形態によって生じる効果の例を示す。なお、以下の説明においては、以上に記載された実施の形態に例が示された具体的な構成に基づいて当該効果が記載されるが、同様の効果が生じる範囲で、本願明細書に例が示される他の具体的な構成と置き換えられてもよい。

[0236] また、当該置き換えは、複数の実施の形態に跨ってなされてもよい。すなわち、異なる実施の形態において例が示されたそれぞれの構成が組み合わされて、同様の効果が生じる場合であってもよい。

[0237] 以上に記載された実施の形態によれば、複合基板の製造方法において、第1の基板の第1の表面に、第1の接合材を形成する。ここで、第1の基板は、たとえば、支持ダイヤモンド基板3に対応するものである。また、第1の接合材は、たとえば、 SiO_2 接合層40に対応するものである。そして、第1の表面には、支持ダイヤモンド基板3の平面視における外縁部10よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみが形成される。ここで、くぼみは、たとえば、加工くぼみ35に対応するものである。そして、 SiO_2 接合層40は、加工くぼみ35の内壁に沿って形成される。また、 SiO_2 接合層40は、加工くぼみ35の内壁に囲まれる空間43には充填されない。そして、第2の基板の第2の表面に、第2の接合材を形成する。ここで、第2の基板は、たとえば、GaNオンダイヤモンド基板2に対応するものである。また、第2の接合材は、たとえば、 SiO_2 接合層22に対応するものである。そして、 SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22とを、加工くぼみ35を除く領域において接合する。

[0238] このような構成によれば、加工くぼみ35の内壁に囲まれる空間43に溶解液が浸入することによって、 SiO_2 接合層40および SiO_2 接合層22の溶解が早まるため、支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する時間を短くすることができる。また、加工くぼみ35が外縁部10よりも内側に形成

されることによって、意図しない工程において SiO_2 接合層40および SiO_2 接合層22が溶解してしまい、複合基板が剥離することを抑制することができる。

[0239] なお、本願明細書に例が示される他の構成のうちの少なくとも1つを、以上に記載された構成に適宜追加した場合、すなわち、以上に記載された構成としては言及されなかった本願明細書に例が示される他の構成が適宜追加された場合であっても、同様の効果を生じさせることができる。

[0240] また、特段の制限がない場合には、それぞれの処理が行われる順序は変更することができる。

[0241] また、以上に記載された実施の形態によれば、 SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22との接合は、 SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22とを酸素プラズマを用いて活性化させた後で行われる。このような構成によれば、活性化された SiO_2 接合層40と活性化された SiO_2 接合層22とを接合させることによって、複合基板1を形成することができる。

[0242] また、以上に記載された実施の形態によれば、 SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22との接合は、真空環境下において SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22とをイオンビームを用いて活性化させた後で行われる。このような構成によれば、接合後の複合基板1において形成される空間43内が真空状態となるため、空間43に溶解液が浸入しやすくなる。

[0243] また、以上に記載された実施の形態によれば、 SiO_2 接合層40と SiO_2 接合層22とが接合された状態の複合基板1を、溶解液に浸漬させる。このような構成によれば、溶解液によって SiO_2 接合層22および SiO_2 接合層40を溶解させることによって、GaNオンダイヤモンド基板2から支持ダイヤモンド基板3を取り外すことができる。

[0244] また、以上に記載された実施の形態によれば、溶解液は、フッ酸水溶液47である。このような構成によれば、フッ酸水溶液47によって SiO_2 接合層22および SiO_2 接合層40を溶解させることによって、GaNオンダイヤモンド基板2から支持ダイヤモンド基板3を取り外すことができる。

- [0245] また、以上に記載された実施の形態によれば、複合基板 1 の溶解液への浸漬は、減圧環境下において行われる。このような構成によれば、流路として機能する空間 4 3 に充填されていた空気は空間 4 3 の外部へ放出されやすくなるため、空間 4 3 内にフッ酸水溶液 4 7 が容易に充填される。
- [0246] また、以上に記載された実施の形態によれば、加工くぼみ 3 5 が、第 1 の表面における第 1 の方向に延びて形成される。そして、複合基板 1 の溶解液への浸漬は、第 1 の方向が溶解液の液面と交差するように複合基板 1 を配置して行われる。このような構成によれば、支持ダイヤモンド基板 3 の外縁部 1 0 から浸入した溶解液が、支持ダイヤモンド基板 3 の中央部に到達するために要する時間が短くなるため、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しに要する時間を短くすることができる。
- [0247] 以上に記載された実施の形態によれば、複合基板は、第 1 の表面を有する支持ダイヤモンド基板 3 と、第 2 の表面を有する GaN オンダイヤモンド基板 2 と、第 1 の表面に形成される SiO₂ 接合層 4 0 と、第 2 の表面に形成され、かつ、SiO₂ 接合層 4 0 と接合される SiO₂ 接合層 2 2 とを備える。そして、第 1 の表面には、支持ダイヤモンド基板 3 の平面視における外縁部 1 0 よりも内側に位置する少なくとも 1 つの加工くぼみ 3 5 が形成される。また、SiO₂ 接合層 4 0 は、加工くぼみ 3 5 の内壁に沿って形成され、かつ、加工くぼみ 3 5 の内壁に囲まれる空間 4 3 には充填されない。また、SiO₂ 接合層 4 0 と SiO₂ 接合層 2 2 とは、加工くぼみ 3 5 を除く領域において接合される。
- [0248] このような構成によれば、加工くぼみ 3 5 の内壁に囲まれる空間 4 3 に溶解液が浸入することによって、SiO₂ 接合層 4 0 および SiO₂ 接合層 2 2 の溶解が早まるため、支持ダイヤモンド基板 3 の取り外しに要する時間を短くすることができる。また、加工くぼみ 3 5 が外縁部 1 0 よりも内側に形成されることによって、意図しない工程において SiO₂ 接合層 4 0 および SiO₂ 接合層 2 2 が溶解してしまい、複合基板が剥離することを抑制することができる。

- [0249] なお、本願明細書に例が示される他の構成のうちの少なくとも1つを、以上に記載された構成に適宜追加した場合、すなわち、以上に記載された構成としては言及されなかった本願明細書に例が示される他の構成が適宜追加された場合であっても、同様の効果を生じさせることができる。
- [0250] また、以上に記載された実施の形態によれば、空間43は、第1の表面に沿って少なくとも2方向に延びる空間である。そして、空間43が延びる2方向の間のなす角が、 10° 以上、かつ、 90° 以下である。このような構成によれば、複合基板をフッ酸水溶液47に浸漬させる際の向きによらず、空間43内にフッ酸水溶液47が浸入しやすくなるため、支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する時間が長くなることがない。
- [0251] また、以上に記載された実施の形態によれば、外縁部10の幅は、加工くぼみ35間の間隔の2倍以上である。このような構成によれば、支持ダイヤモンド基板3の取り外し工程以外の薬液を用いる工程においても、不用意に支持ダイヤモンド基板3が剥離することを効果的に抑制することができる。
- [0252] また、以上に記載された実施の形態によれば、加工くぼみ35の幅は、 $1\mu\text{m}$ 以上、かつ、 1mm 以下である。このような構成によれば、加工くぼみ35内の空間43に効果的に溶解液を浸入させることができるため、支持ダイヤモンド基板3の取り外しに要する時間を短くすることができる。
- [0253] また、以上に記載された実施の形態によれば、加工くぼみ35は複数備えられる。そして、隣接する加工くぼみ35間の間隔は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、かつ、 $100\mu\text{m}$ 以下である。このような構成によれば、加工くぼみ35間の間隔が $100\mu\text{m}$ 以下であるため、空隙部分、すなわち、下支えのないGa₂Nオンダイヤモンド基板2の部分が撓んで支持ダイヤモンド基板3との平行度に変化してしまうことを抑制することができる。そのため、接合された支持ダイヤモンド基板3とGa₂Nオンダイヤモンド基板2との間の平行度を保つことができる。
- [0254] また、以上に記載された実施の形態によれば、支持ダイヤモンド基板3は、ダイヤモンド基板である。このような構成によれば、支持ダイヤモンド基

板3によって支持することによって、Ga Nオンダイヤモンド基板2を湾曲させずにGa Nオンダイヤモンド基板2にトランジスタ工程を適用することが可能となる。

[0255] <以上に記載された実施の形態における変形例について>

以上に記載された実施の形態では、それぞれの構成要素の材質、材料、寸法、形状、相対的配置関係または実施の条件などについても記載する場合があるが、これらはすべての局面においてひとつの例であって、本願明細書に記載されたものに限られることはないものとする。

[0256] したがって、例が示されていない無数の変形例、および、均等物が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。たとえば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの実施の形態における少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態における構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

[0257] また、矛盾が生じない限り、以上に記載された実施の形態において「1つ」備えられるものとして記載された構成要素は、「1つ以上」備えられていてもよいものとする。

[0258] さらに、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素は概念的な単位であって、本願明細書に開示される技術の範囲内には、1つの構成要素が複数の構造物から成る場合と、1つの構成要素がある構造物の一部に対応する場合と、さらには、複数の構成要素が1つの構造物に備えられる場合とを含むものとする。

[0259] また、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素には、同一の機能を発揮する限り、他の構造または形状を有する構造物が含まれるものとする。

[0260] また、本願明細書における説明は、本技術に関連するすべての目的のために参照され、いずれも、従来技術であると認めるものではない。

[0261] また、以上に記載された実施の形態において、特に指定されずに材料名な

どが記載された場合は、矛盾が生じない限り、当該材料に他の添加物が含まれた、たとえば、合金などが含まれるものとする。

符号の説明

[0262] 1, 56, 57 複合基板、2 GaNオンダイヤモンド基板、3, 3A 支持ダイヤモンド基板、10 外縁部、11, 49, 50 Si基板、12 バッファー層、13 GaN膜、14 AlGaN膜、15 GaNオンSi基板、16 支持基板接着層、17 支持基板、18 GaN転写基板、19 保護層、20 多結晶ダイヤモンド膜、21 多結晶ダイヤモンド成膜基板、22, 40, 40A, 51 SiO₂接合層、23 多結晶ダイヤモンドウエハ、24 研磨面、25 保護SiN膜、26 レジストマスク、27 開口部、28 マスク部、29 開口部幅、30 マスク部幅、31 外縁部マスク部幅、33 SiNマスク開口部、34 SiNマスク部、35 加工くぼみ、36 加工深さ、37 加工幅、38, 41 テラス部、39 テラス部幅、42 酸素プラズマ、43, 43A 空間、44 電極、45 支持サファイアガラス、46 ワックス、47 フッ酸水溶液、52 膜厚、53, 54 エッチング距離、58 接合装置チャンバー、59 イオンガン、60 イオンビーム。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の基板（3）の第1の表面に、第1の接合材（40）を形成し、
- 、
- 前記第1の表面には、前記第1の基板（3）の平面視における外縁部（10）よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみ（35）が形成され、
- 前記第1の接合材（40）は、前記くぼみ（35）の内壁に沿って形成され、かつ、前記くぼみ（35）の前記内壁に囲まれる空間（43）には充填されず、
- 第2の基板（2）の第2の表面に、第2の接合材（22）を形成し、
- 、
- 前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）とを、前記くぼみ（35）を除く領域において接合する、
- 複合基板の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の複合基板の製造方法であり、
- 前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）との接合は、前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）とを酸素プラズマを用いて活性化させた後で行われる、
- 複合基板の製造方法。
- [請求項3] 請求項1に記載の複合基板の製造方法であり、
- 前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）との接合は、真空環境下において前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）とをイオンビームを用いて活性化させた後で行われる、
- 複合基板の製造方法。
- [請求項4] 請求項1から3のうちのいずれか1つに記載の複合基板の製造方法であり、
- 前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）とが接合された状態の複合基板（1）を、溶解液（47）に浸漬させる、

複合基板の製造方法。

[請求項5]

請求項4に記載の複合基板の製造方法であり、
前記溶解液は、フッ酸水溶液である、
複合基板の製造方法。

[請求項6]

請求項4または5に記載の複合基板の製造方法であり、
前記複合基板（1）の前記溶解液（47）への浸漬は、減圧環境下
において行われる、
複合基板の製造方法。

[請求項7]

請求項4から6のうちのいずれか1つに記載の複合基板の製造方法
であり、
前記くぼみ（35）が、前記第1の表面における第1の方向に延び
て形成され、
前記複合基板（1）の前記溶解液（47）への浸漬は、前記第1の
方向が前記溶解液（47）の液面と交差するように前記複合基板（1）
を配置して行われる、
複合基板の製造方法。

[請求項8]

第1の表面を有する第1の基板（3）と、
第2の表面を有する第2の基板（2）と、
前記第1の表面に形成される第1の接合材（40）と、
前記第2の表面に形成され、かつ、前記第1の接合材（40）と接
合される第2の接合材（22）とを備え、
前記第1の表面には、前記第1の基板（3）の平面視における外縁
部（10）よりも内側に位置する少なくとも1つのくぼみ（35）が
形成され、
前記第1の接合材（40）は、前記くぼみ（35）の内壁に沿って
形成され、かつ、前記くぼみ（35）の前記内壁に囲まれる空間（4
3）には充填されず、
前記第1の接合材（40）と前記第2の接合材（22）とは、前記

くぼみ（３５）を除く領域において接合される、
複合基板（１）。

[請求項9] 請求項８に記載の複合基板（１）であり、
前記空間（４３）は、前記第１の表面に沿って少なくとも２方向に
延びる空間であり、
前記空間（４３）が延びる２方向の間のなす角が、 10° 以上、か
つ、 90° 以下である、
複合基板（１）。

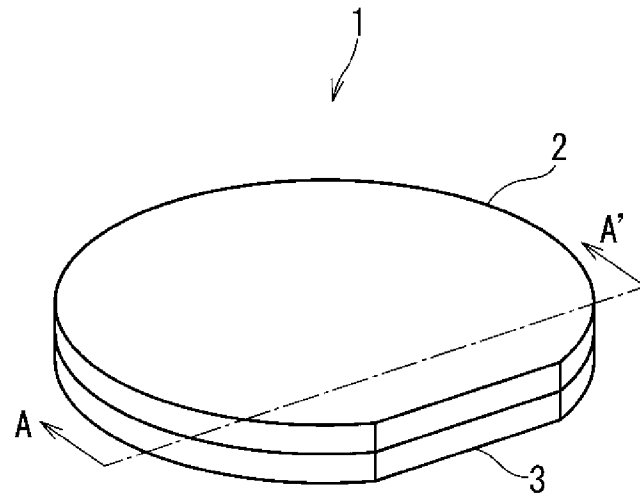
[請求項10] 請求項８または９に記載の複合基板（１）であり、
前記外縁部（１０）の幅は、前記くぼみ（３５）間の間隔の２倍以
上である、
複合基板（１）。

[請求項11] 請求項８から１０のうちのいずれか１つに記載の複合基板（１）で
あり、
前記くぼみ（３５）の幅は、 $1\mu\text{m}$ 以上、かつ、 1mm 以下である
、
複合基板（１）。

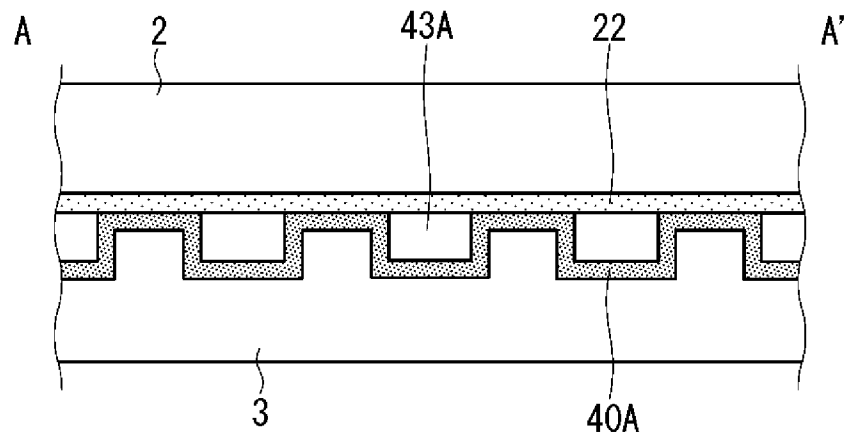
[請求項12] 請求項８から１１のうちのいずれか１つに記載の複合基板（１）で
あり、
前記くぼみ（３５）は複数備えられ、
隣接する前記くぼみ（３５）間の間隔は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、かつ、
 $100\mu\text{m}$ 以下である、
複合基板（１）。

[請求項13] 請求項８から１２のうちのいずれか１つに記載の複合基板（１）で
あり、
前記第１の基板（３）は、ダイヤモンド基板である、
複合基板（１）。

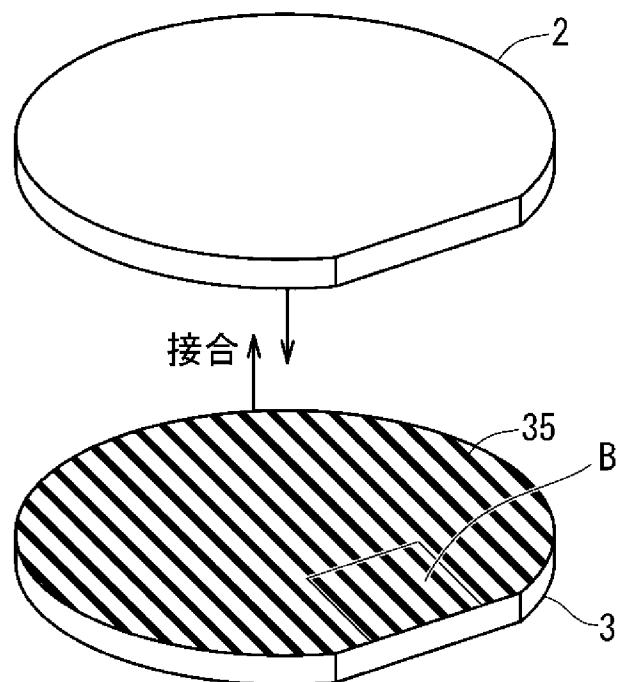
[図1]



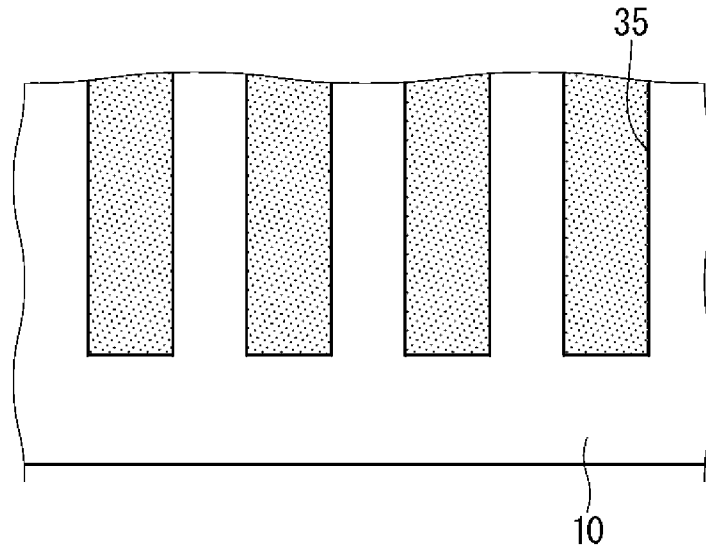
[図2]



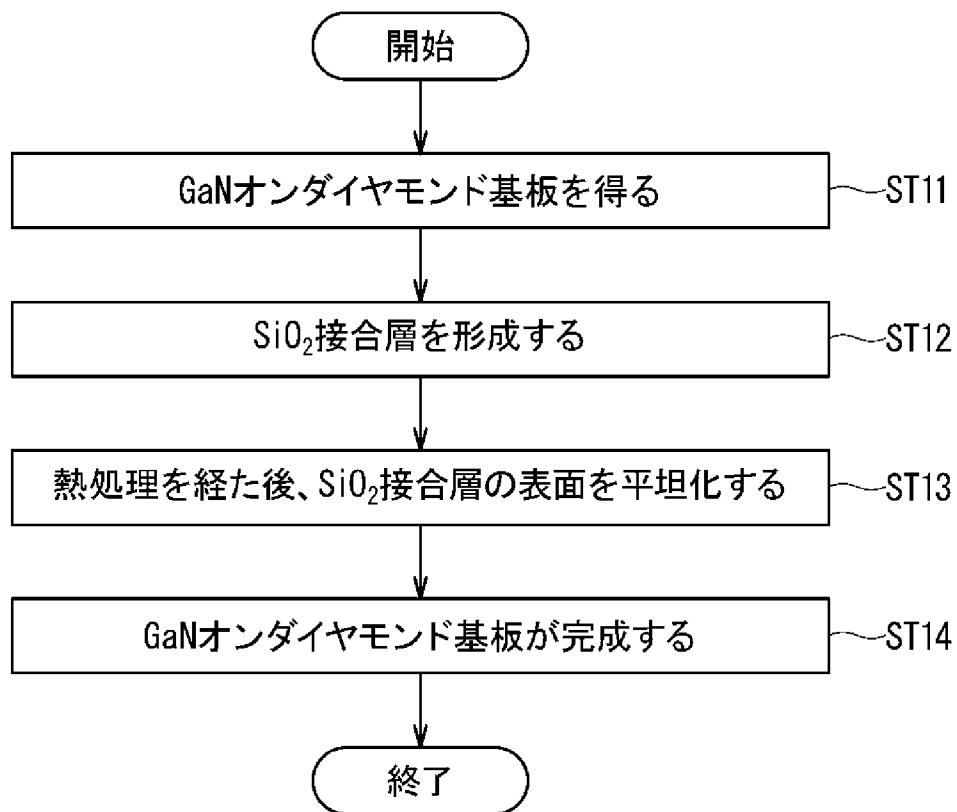
[図3]



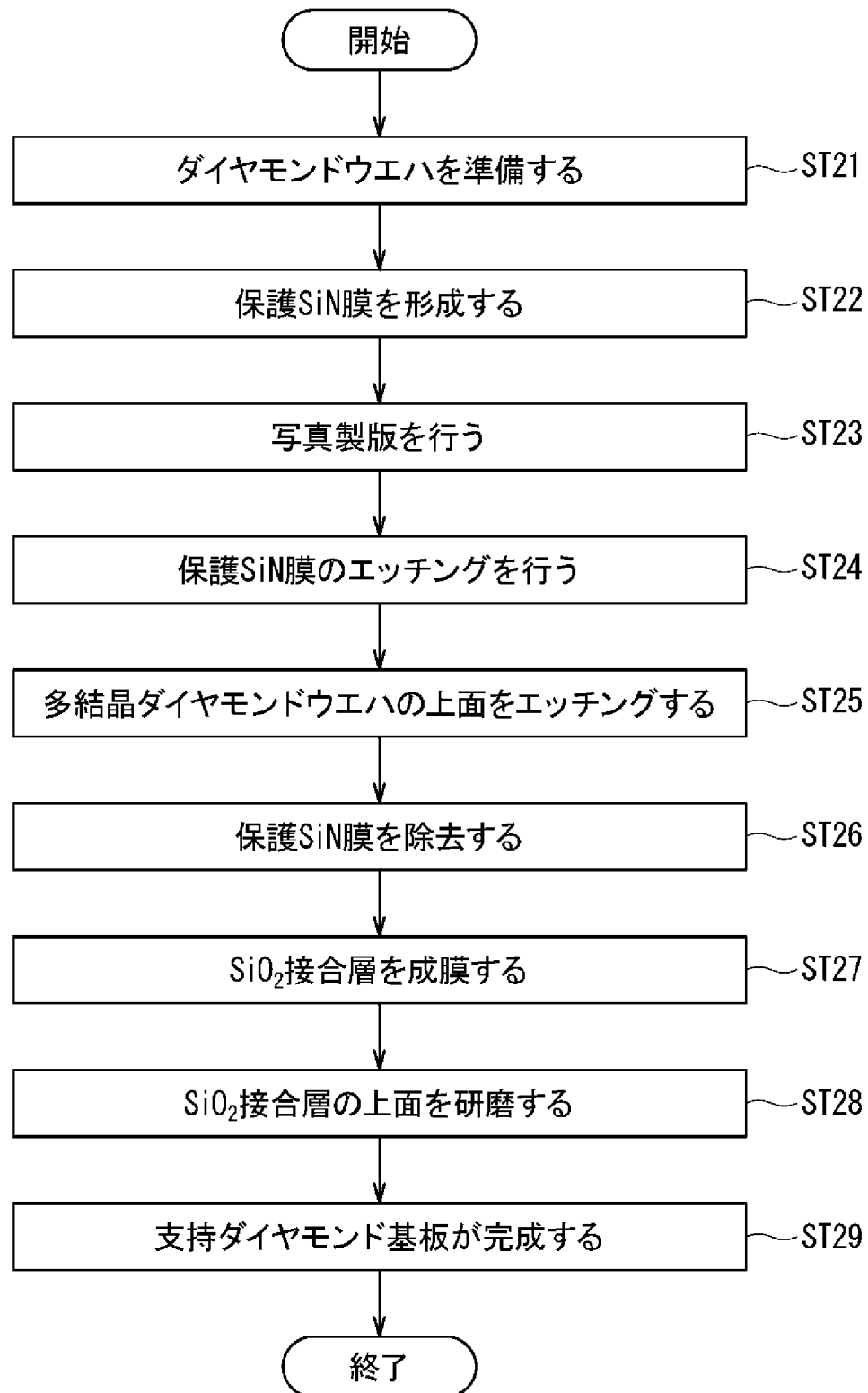
[図4]



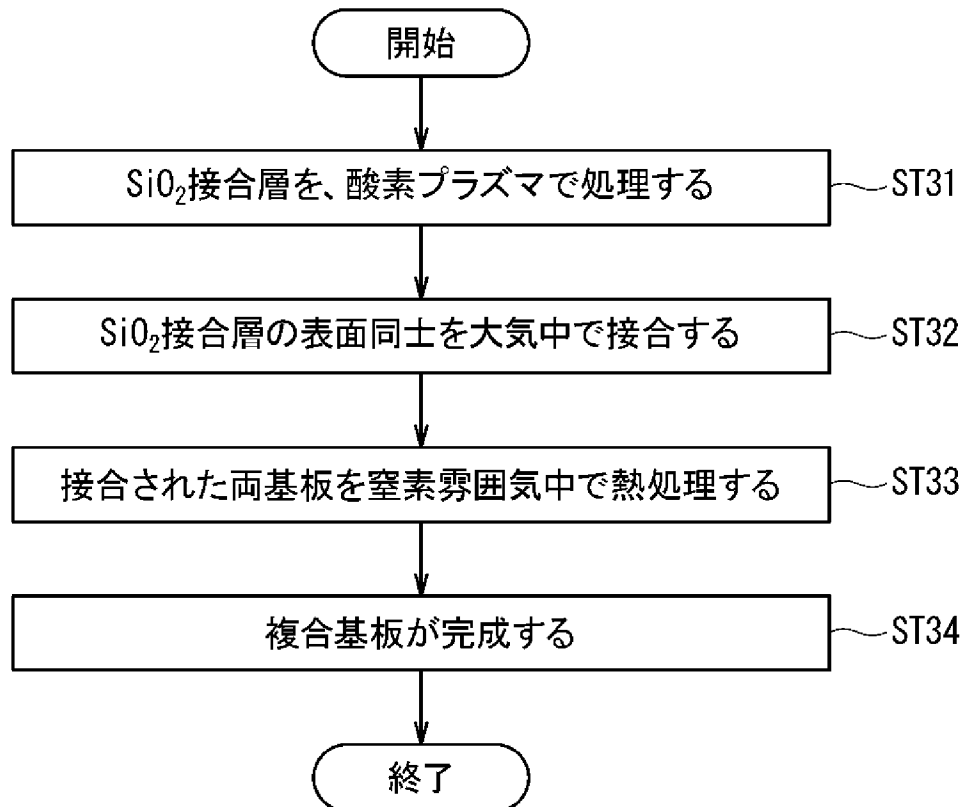
[図5]



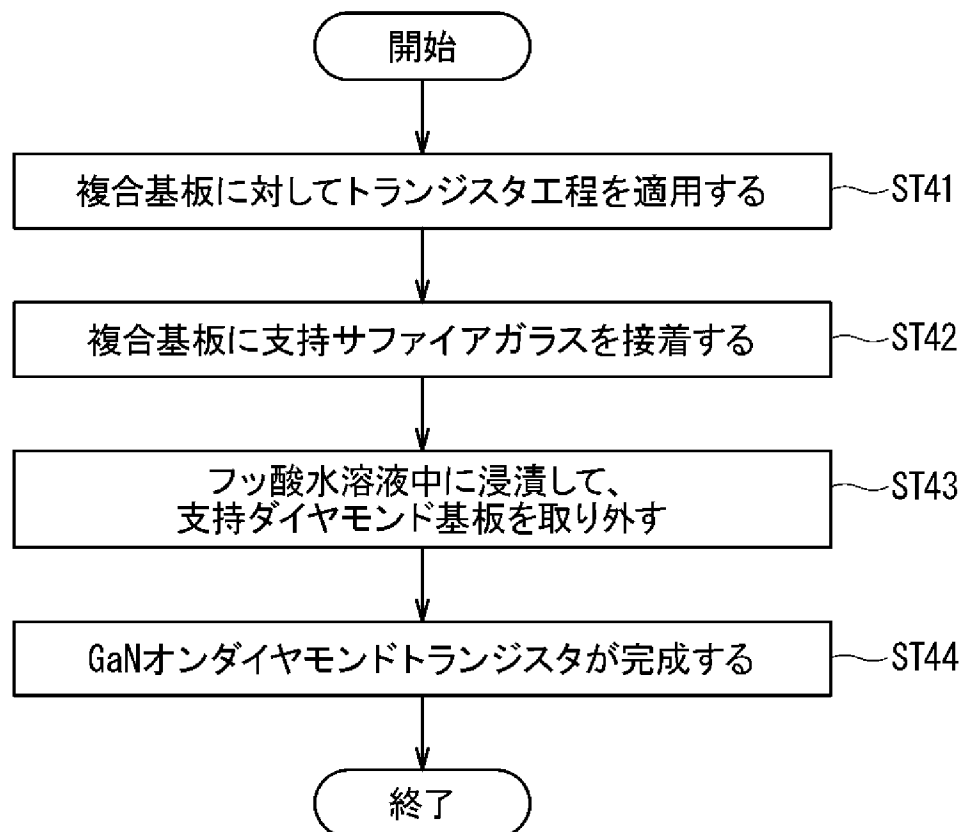
[図6]



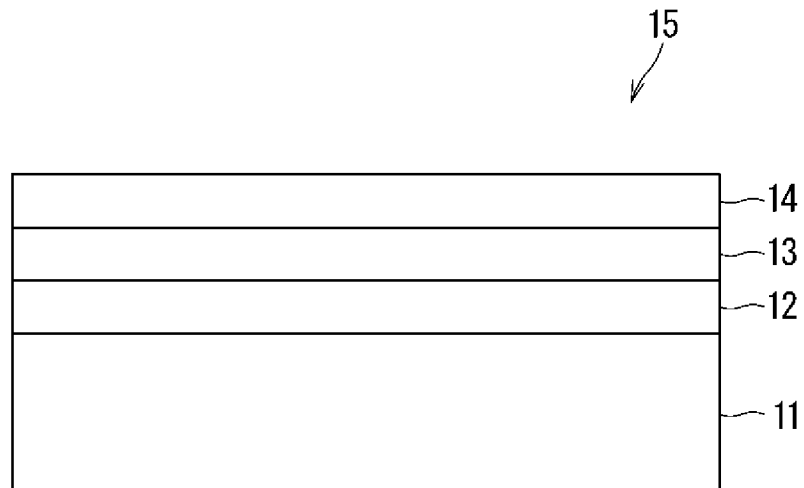
[図7]



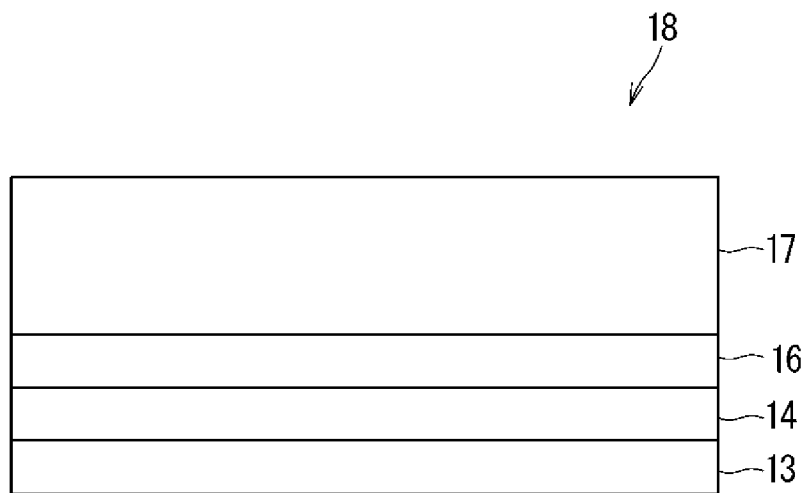
[図8]



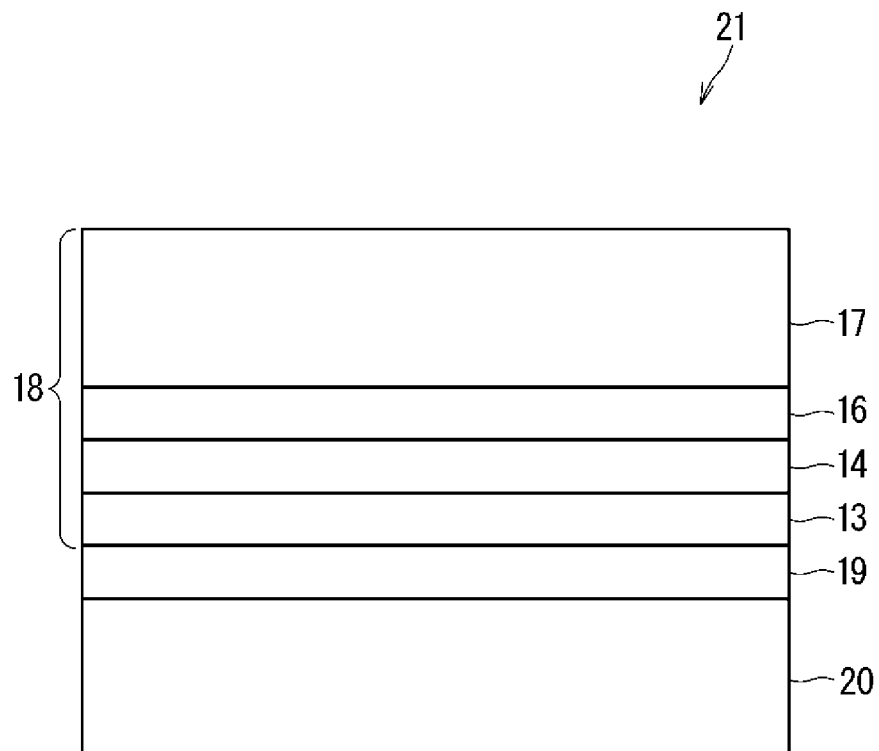
[図9]



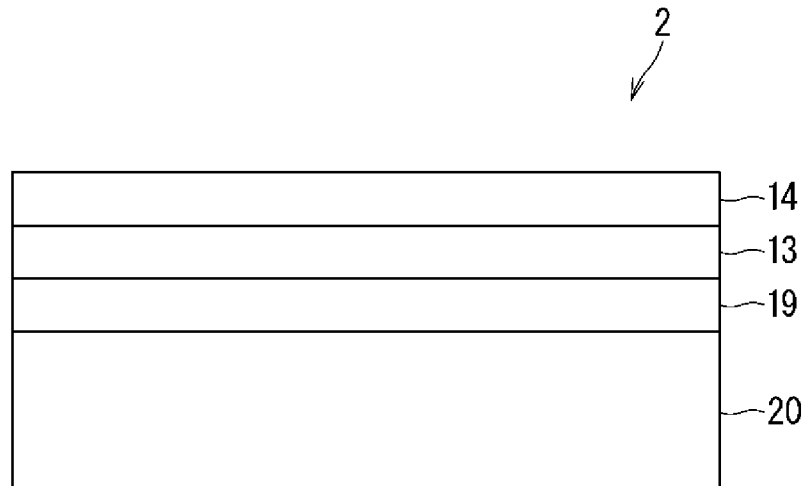
[図10]



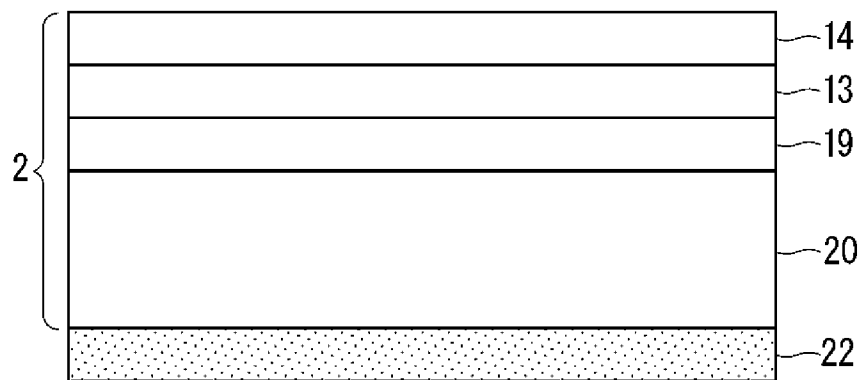
[図11]



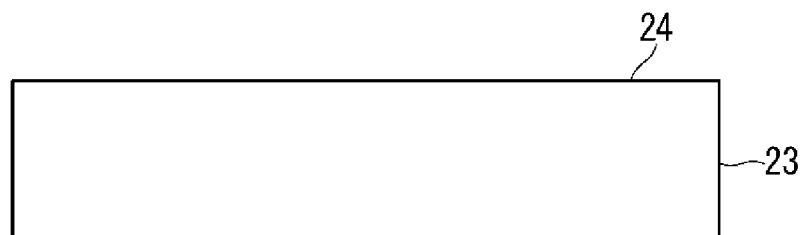
[図12]



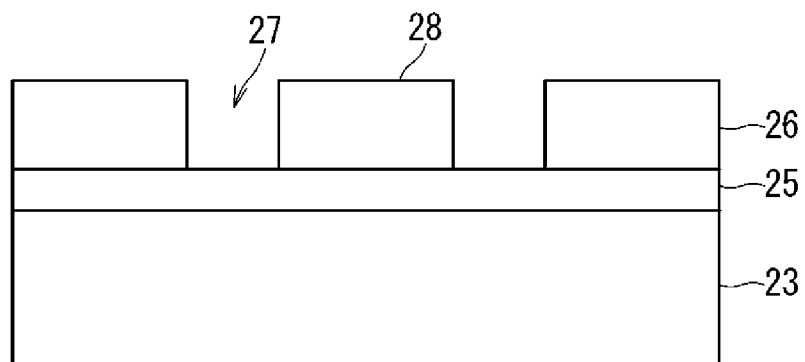
[図13]



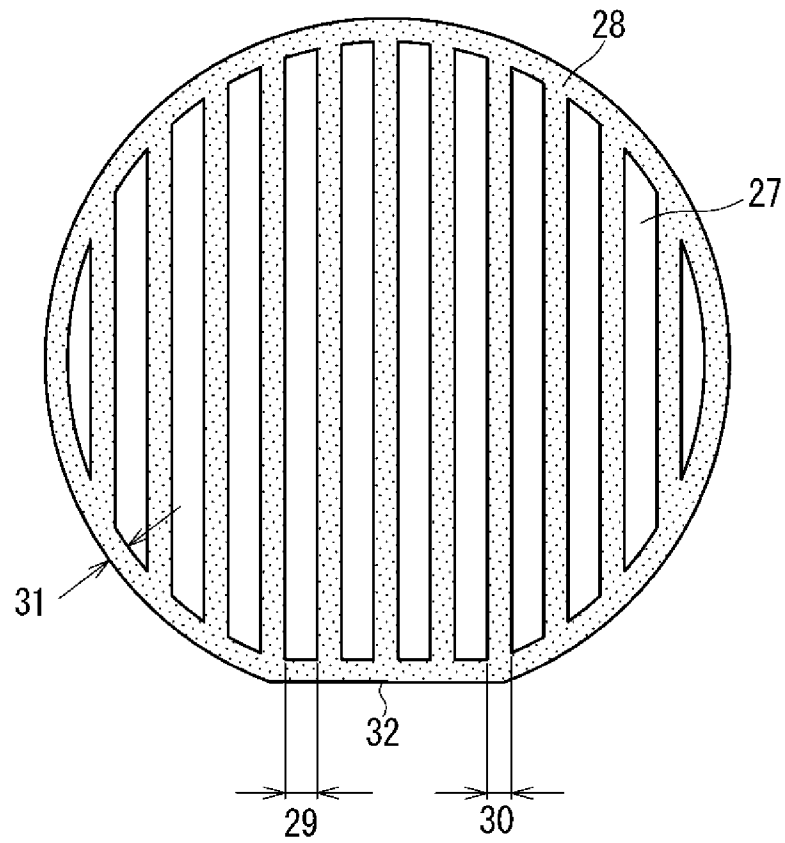
[図14]



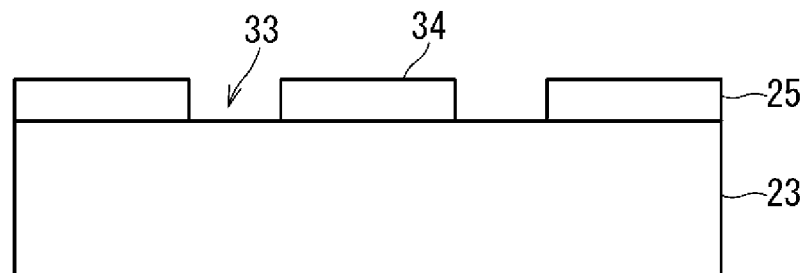
[図15]



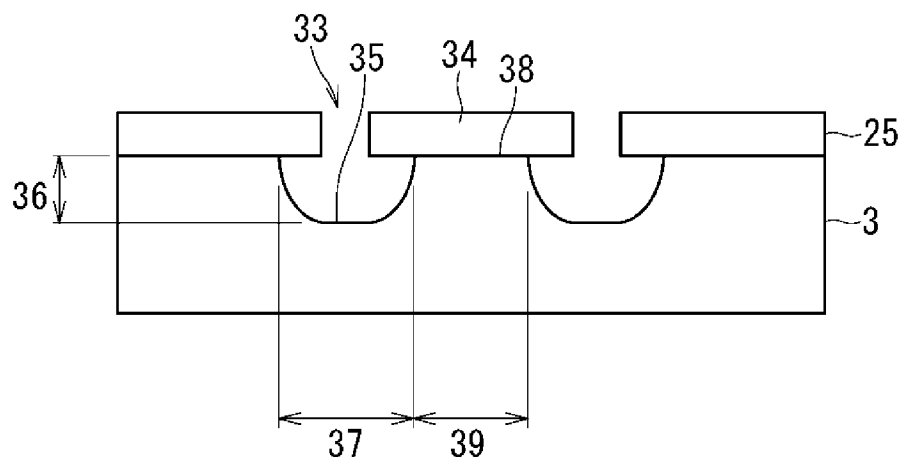
[図16]



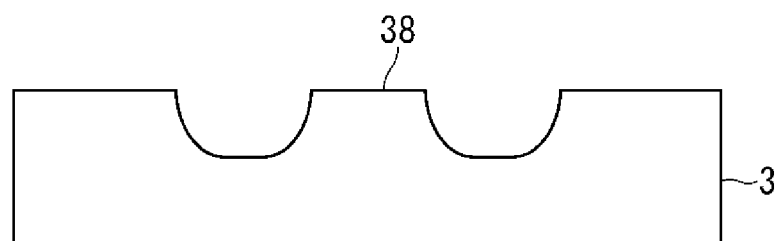
[図17]



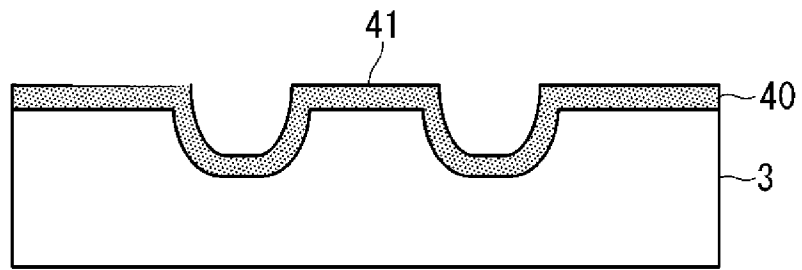
[図18]



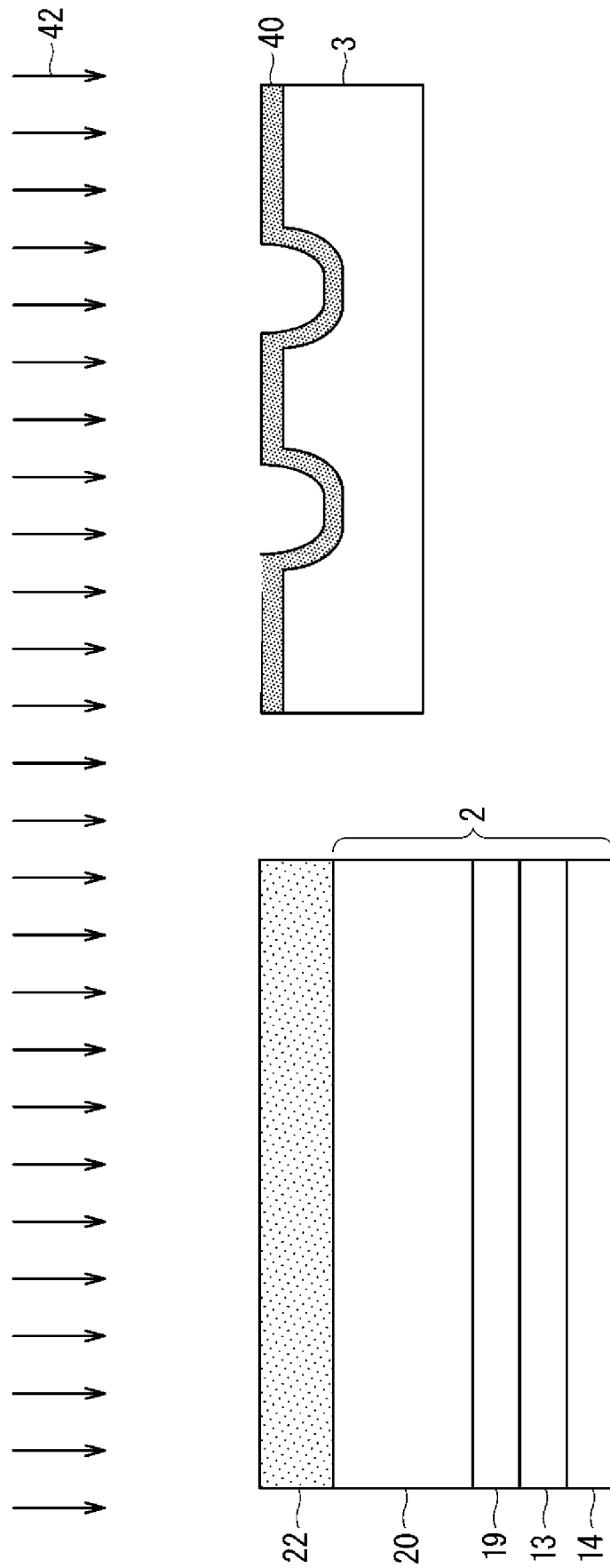
[図19]



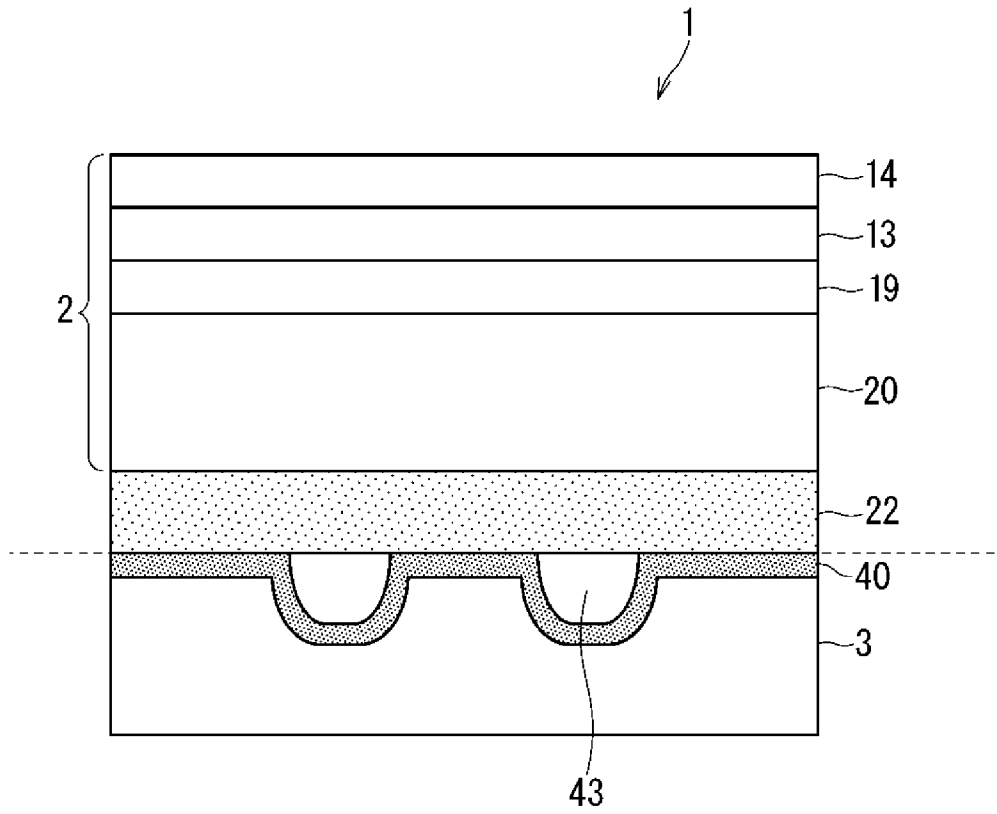
[図20]



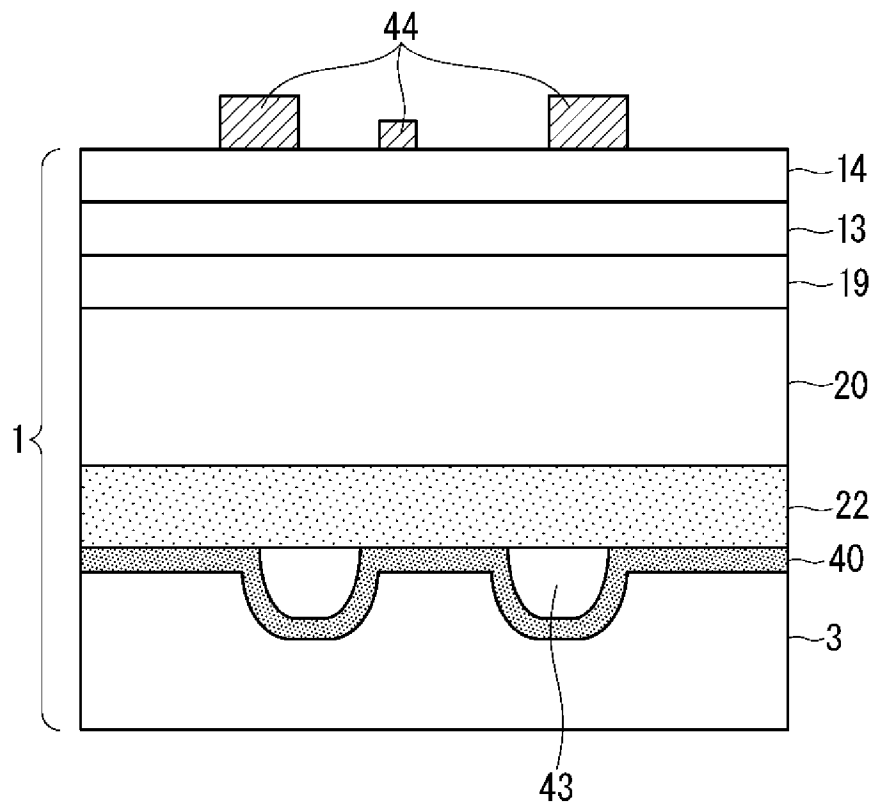
[図21]



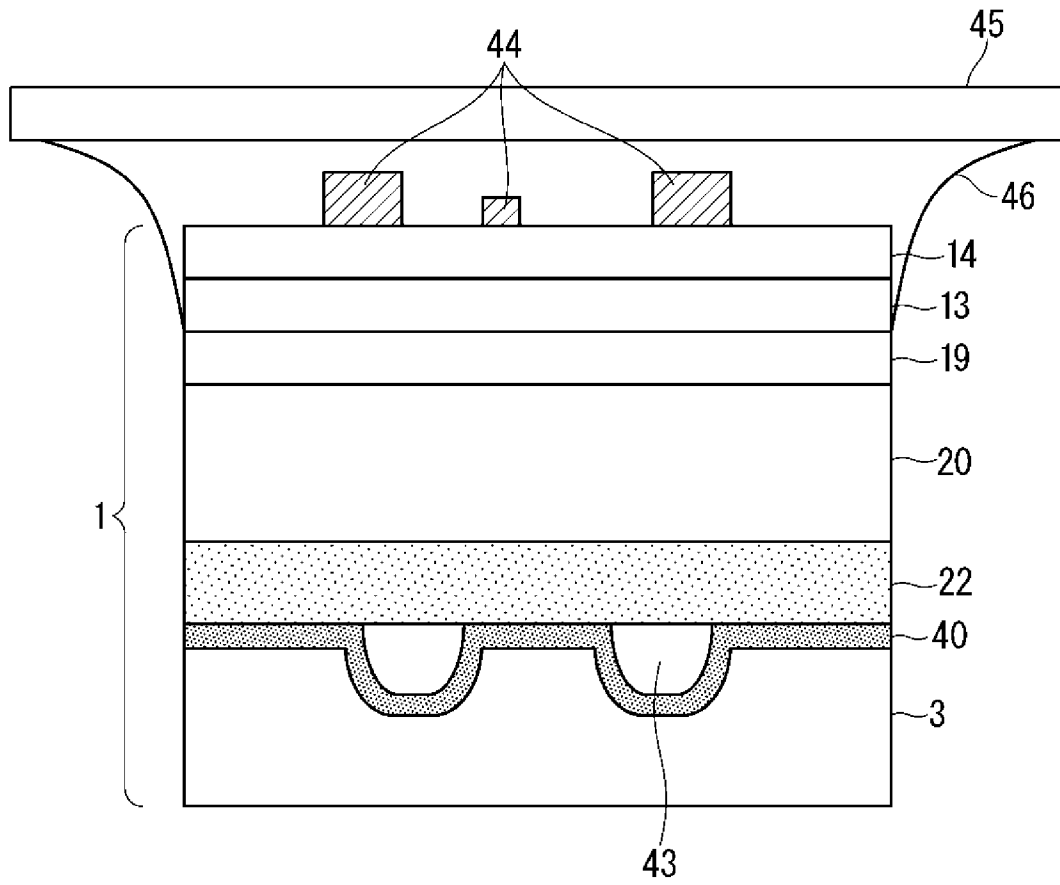
[図22]



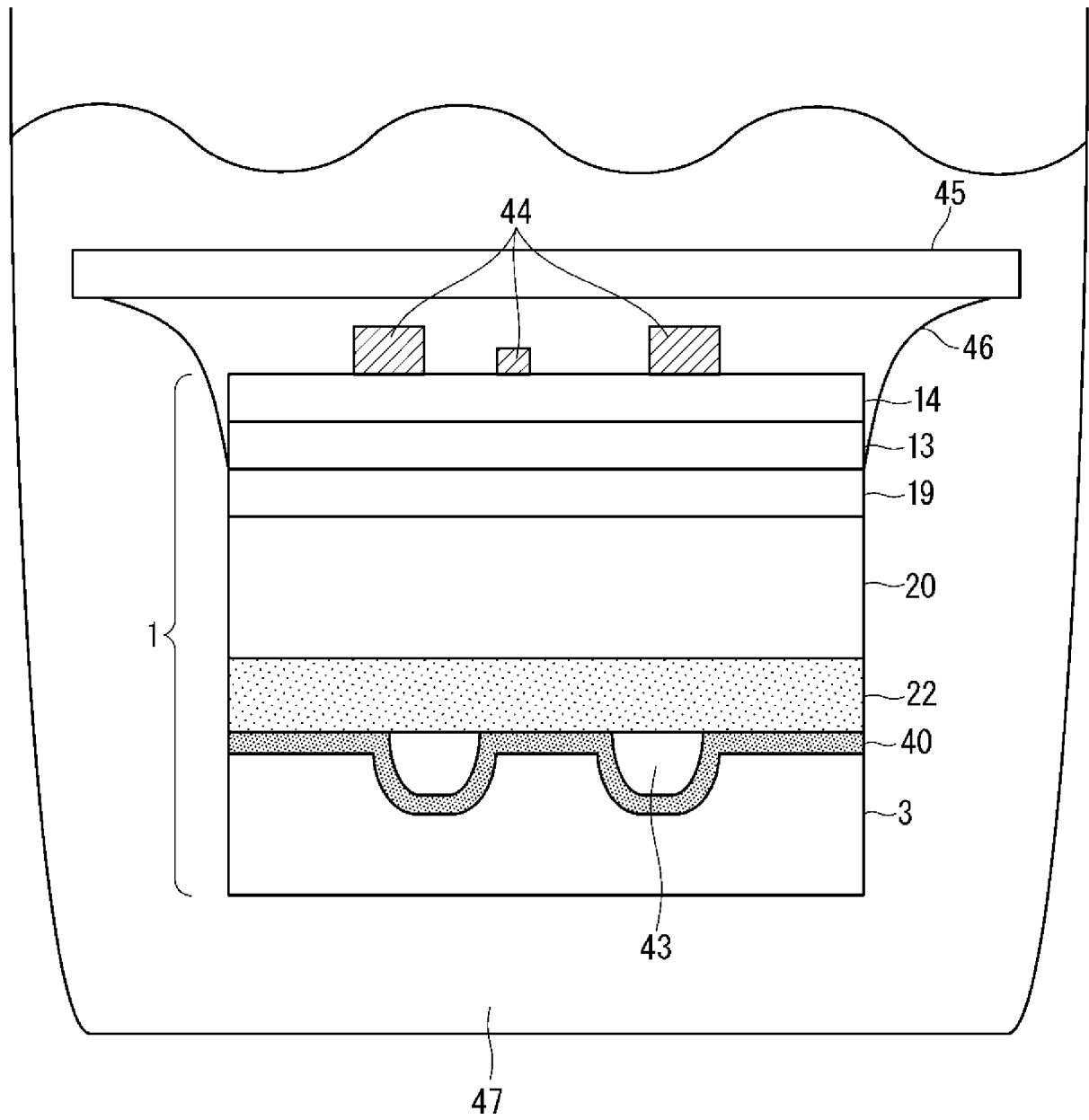
[図23]



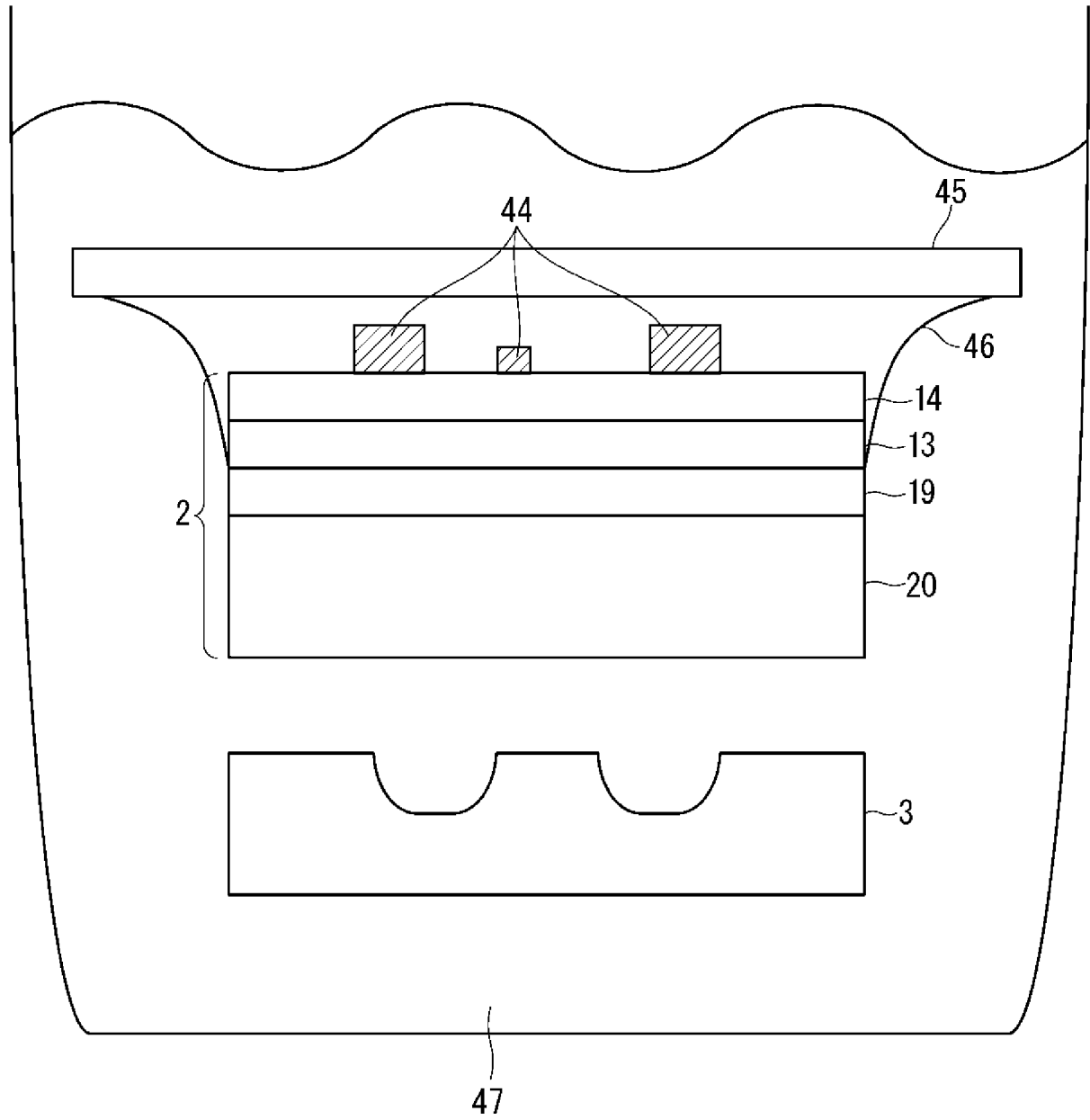
[図24]



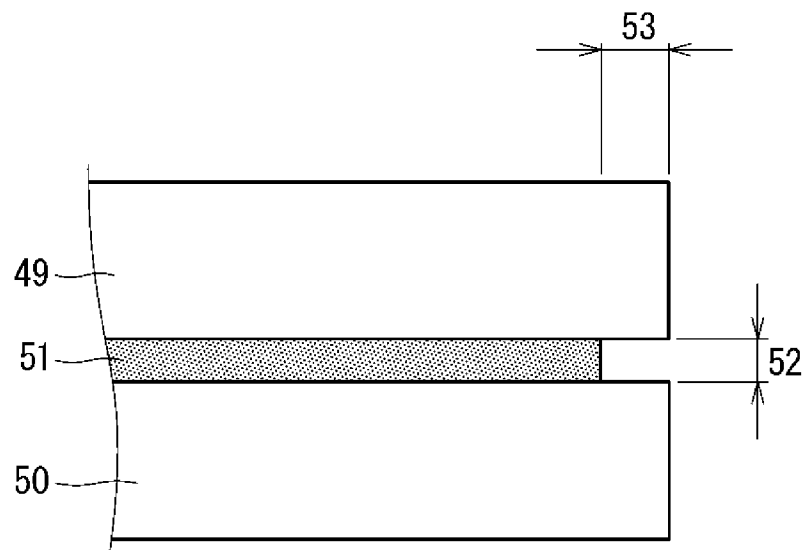
[図25]



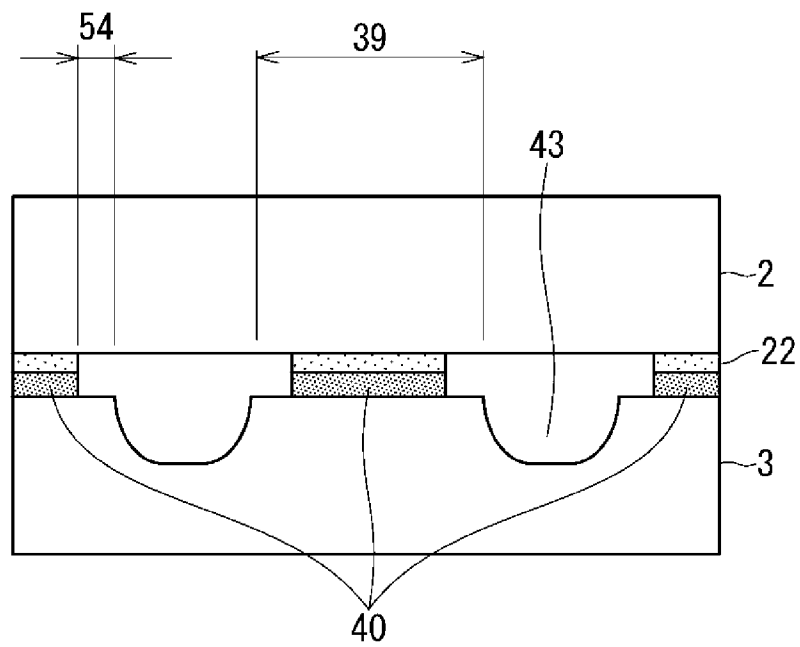
[図26]



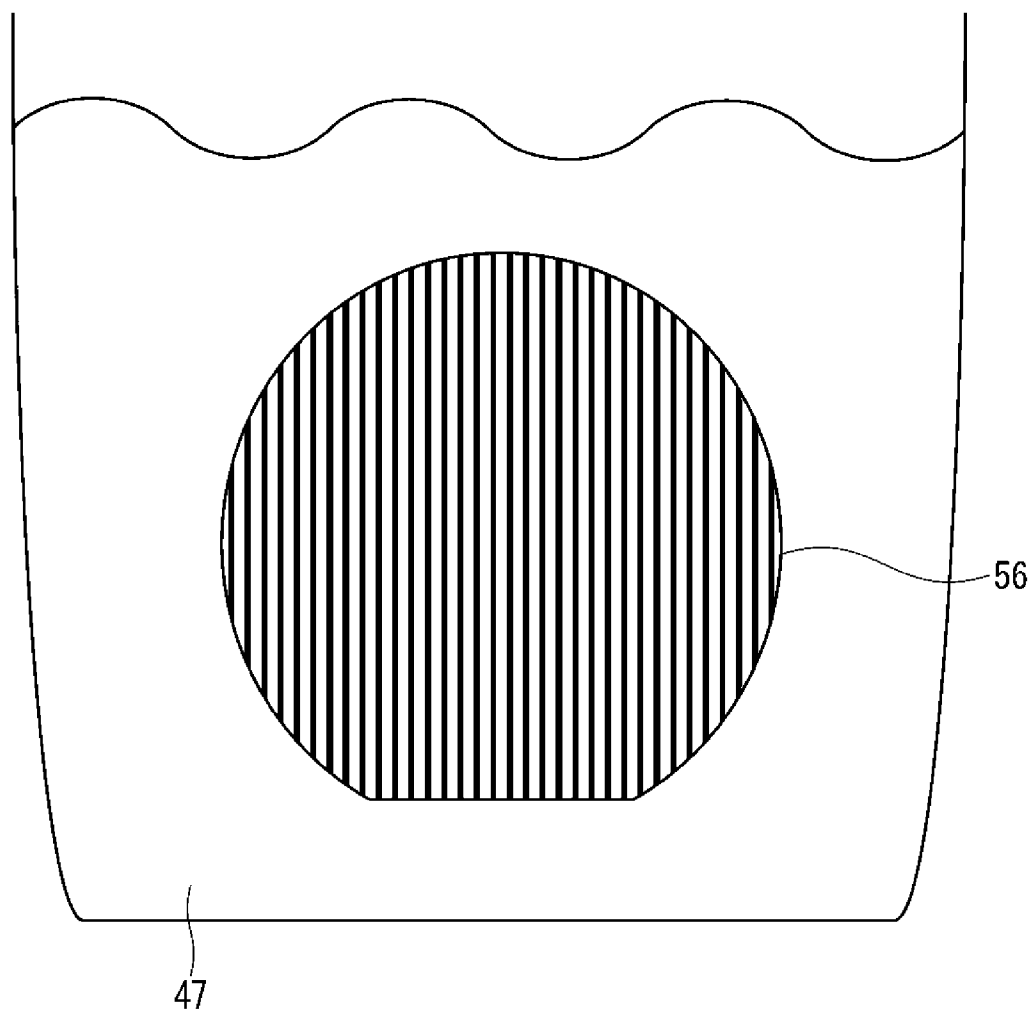
[図27]



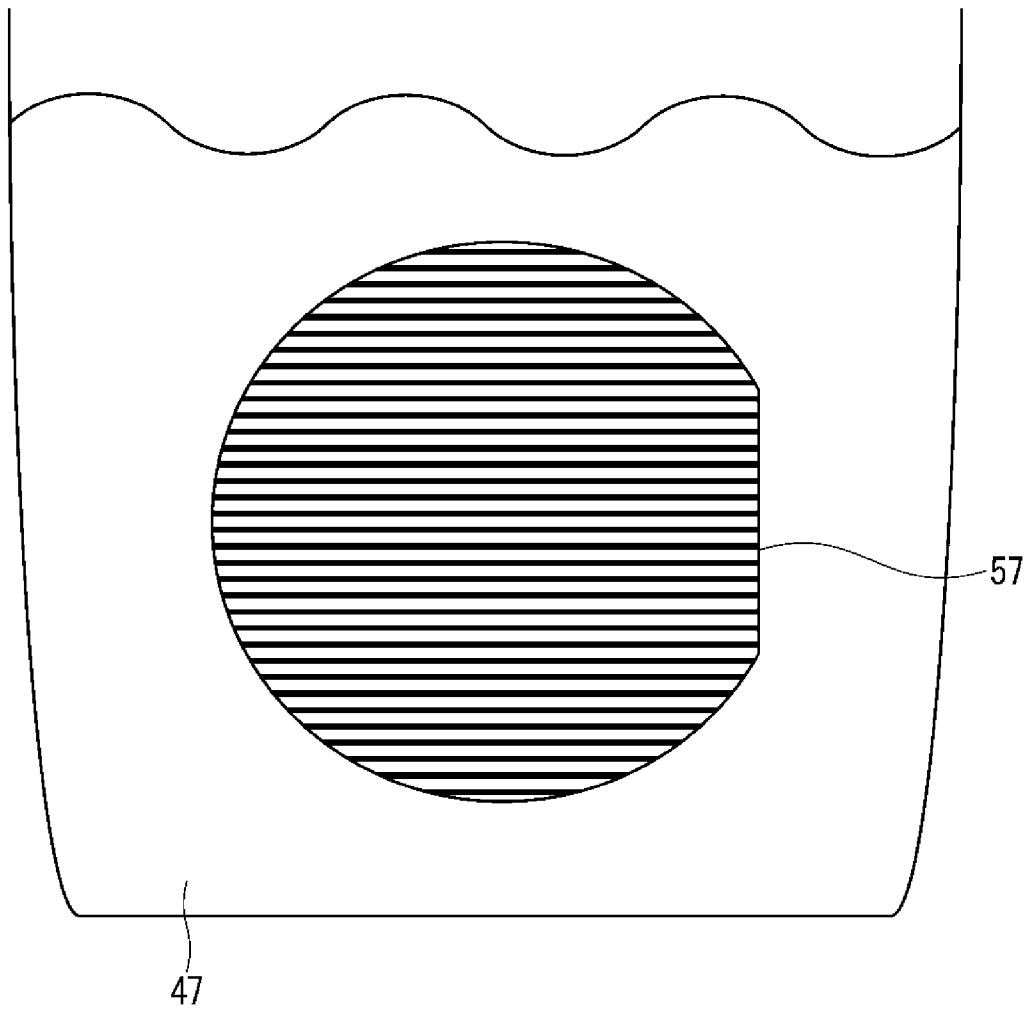
[図28]



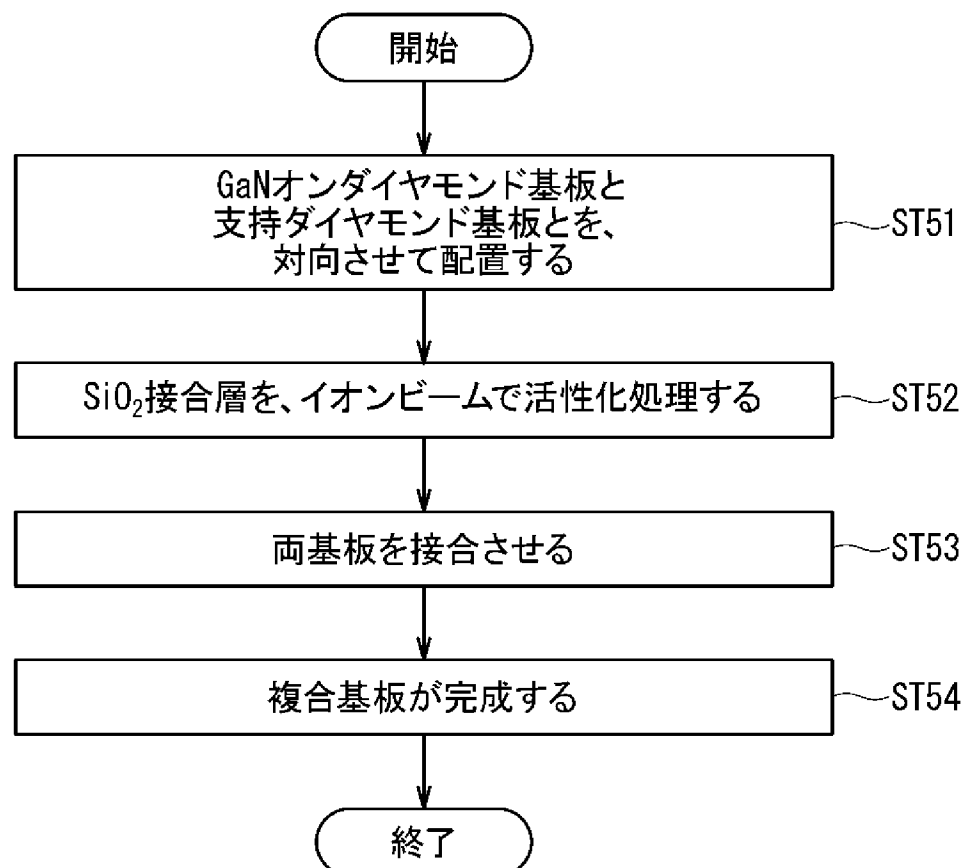
[図29]



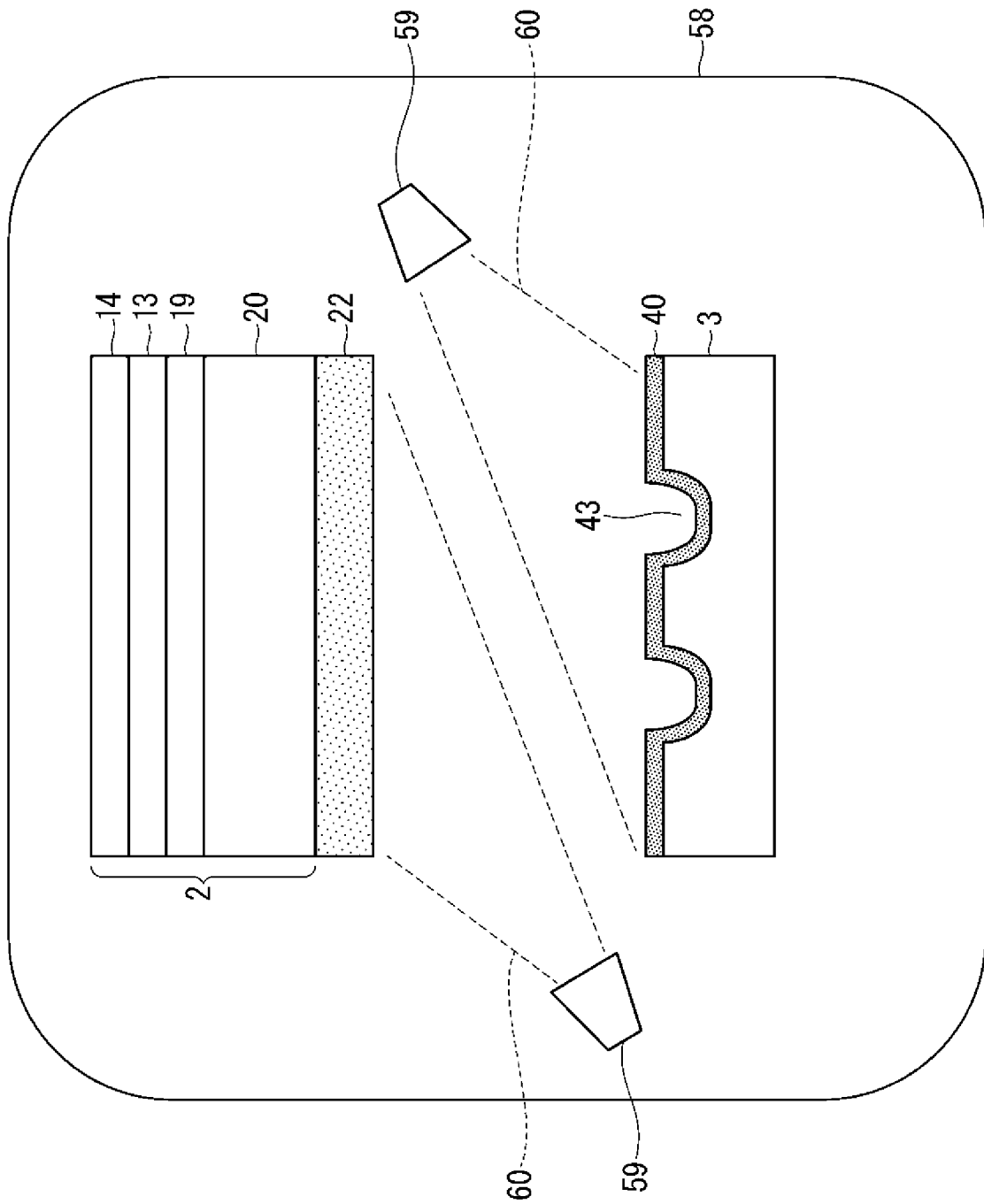
[図30]



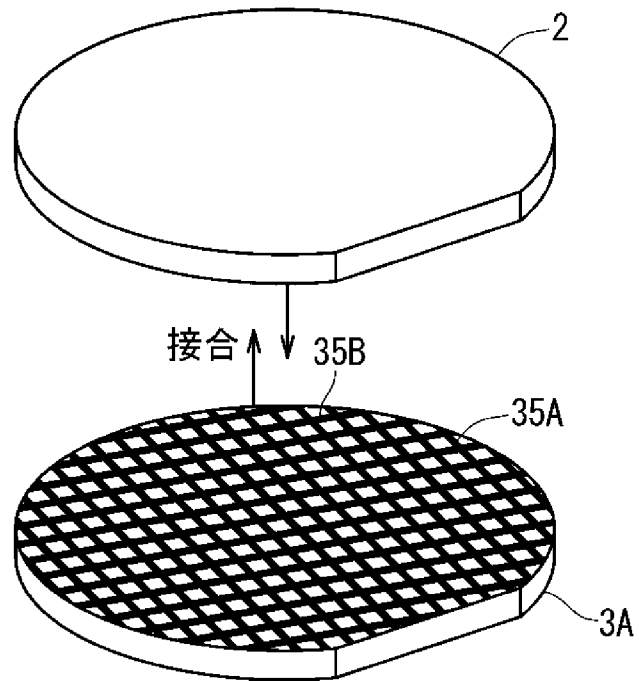
[図31]



[図32]



[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/024725

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/02 (2006.01) i, B23K20/00 (2006.01) i, H01L27/12 (2006.01) i,
H01L29/80 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H01L21/02, B23K20/00, H01L21/338, H01L27/12, H01L29/778,
H01L29/80, H01L29/812

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2016-171307 A (DENSO CORP.) 23 September 2016, paragraphs [0015]-[0067], fig. 1-13 & US 2018/0033680 A1, paragraphs [0028]-[0081] & WO 2016/143282 A1	1-3, 8, 10-12 2-3, 9-13 4-7
X Y A	JP 2016-509372 A (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 24 March 2016, paragraphs [0045]-[0056], fig. 1-10 & US 2015/0340278 A1, paragraphs [0052]-[0063] & WO 2014/114876 A1 & FR 3001225 A1	1, 8, 10-12 2-3, 9-13 4-7

☒ 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

"I" 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
26 July 2019 (26.07.2019)

Date of mailing of the international search report
06 August 2019 (06.08.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/024725

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2003-257805 A (TOSHIBA CORP.) 12 September 2003, paragraphs [0015]-[0045], [0068]-[0080], [0109]-[0119], fig. 1-16, 25-29, 45-49 (Family: none)	1, 8-13 2-3, 9-13 4-7
X Y A	JP 6-61340 A (FUJITSU LTD.) 04 March 1994, paragraphs [0010]-[0016], fig. 1-3 (Family: none)	1, 8-12 2-3, 9-13 4-7
A	JP 2008-181990 A (SONY CORP.) 07 August 2008, paragraph [0049], fig. 10 (Family: none)	4-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/02(2006.01)i, B23K20/00(2006.01)i, H01L27/12(2006.01)i, H01L29/80(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/02, B23K20/00, H01L21/338, H01L27/12, H01L29/778, H01L29/80, H01L29/812

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2016-171307 A（株式会社デンソー） 2016. 09. 23, 段落[0015]－[0067]及び図 1－13 & US 2018/0033680 A1, 段落[0028]－[0081] & WO 2016/143282 A1	1-3, 8, 10-12 2-3, 9-13 4-7
X Y A	JP 2016-509372 A（コミッサリア ア レネルジー アトミック エ オ ゼネルジ ザルタナティヴ） 2016. 03. 24, 段落[0045]－[0056]及び図 1－10 & US 2015/0340278 A1, 段落[0052]－[0063] & WO 2014/114876 A1 & FR 3001225 A1	1, 8, 10-12 2-3, 9-13 4-7

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26. 07. 2019

国際調査報告の発送日

06. 08. 2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

安田 雅彦

5 F

9447

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2003-257805 A (株式会社東芝) 2003.09.12, 段落[0015]－[0045], [0068]－[0080], [0109]－[0119] 及び図1－16, 25－29, 45－49 (ファミリーなし)	1, 8-13 2-3, 9-13 4-7
X Y A	JP 6-61340 A (富士通株式会社) 1994.03.04, 段落[0010]－[0016]及び図1－3 (ファミリーなし)	1, 8-12 2-3, 9-13 4-7
A	JP 2008-181990 A (ソニー株式会社) 2008.08.07, 段落[0049]及び図10 (ファミリーなし)	4-7