

(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
2018年1月25日(25.01.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/016417 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/025600

(22) 国際出願日: 2017年7月13日(13.07.2017)

(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 2016-141782 2016年7月19日(19.07.2016) JP

(71) 出願人: 株式会社サイコックス (SICOXS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1018629 東京都千代田区神田松永町20番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 今岡 功 (IMAOKA Ko); 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田

自動織機内 Aichi (JP). 村崎 孝則 (MURASAKI Takanori); 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 下 俊久 (SHIMO Toshihisa); 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 内田 英次 (UCHIDA Hidetsugu); 〒1018629 東京都千代田区神田松永町20番地 株式会社サイコックス内 Tokyo (JP). 南 章行 (MINAMI Akiyuki); 〒1018629 東京都千代田区神田松永町20番地 株式会社サイコックス内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 快友国際特許事務所 (KAI-U PATENT LAW FIRM); 〒4516009 愛知県名古屋市西区牛島町6番1号 名古屋ルーセントタワー9階 Aichi (JP).

(54) Title: SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

(54) 発明の名称: 半導体基板

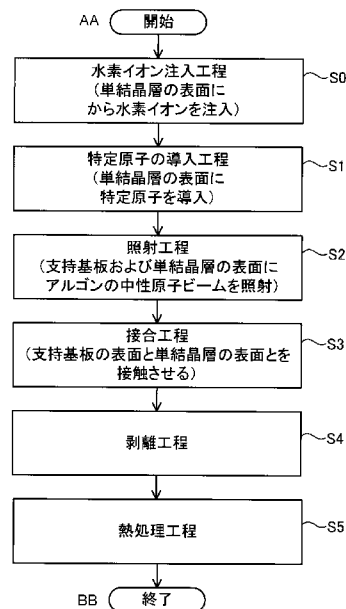


FIG. 1:
S0 Hydrogen ion injection step (inject hydrogen ions via surface of single crystalline layer)
S1 Specific atom introduction step (introduce specific atoms into surface of single crystalline layer)
S2 Irradiation step (irradiate surface of support substrate and single crystalline layer with neutral atom beam of argon)
S3 Joint step (contact surface of support substrate and surface of single crystalline layer to each other)
S4 Peeling step
S5 Thermal processing step
AA Start
BB End

(57) Abstract: Provided is a laminated semiconductor substrate with which interfacial resistance can be reduced. The semiconductor substrate is provided with a single crystalline SiC substrate and a polycrystalline SiC substrate. The single crystalline SiC substrate and the polycrystalline SiC substrate are bonded to each other. A bonding area between the single crystalline SiC substrate and the polycrystalline SiC substrate includes specific atoms of 1×10^{21} (atoms/cm³).



(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, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 界面抵抗を低減させることが可能な貼り合せ半導体基板を提供する。半導体基板は、単結晶 SiC 基板と、多結晶 SiC 基板と、を備える。単結晶 SiC 基板と多結晶 SiC 基板とは、接合している。単結晶 SiC 基板と多結晶 SiC 基板との接合領域は、 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上の特定原子を含んでいる。

明 細 書

発明の名称：半導体基板

技術分野

[0001] 本出願は、2016年7月19日に出願された日本国特許出願第2016-141782号に基づく優先権を主張する。その出願の全ての内容はこの明細書中に参照により援用されている。本明細書では、界面抵抗を低減させることが可能な、貼り合せ半導体基板に関する技術を開示する。

背景技術

[0002] SiC単結晶とSiC多結晶を貼り合わせる技術が知られている。なお、関連する技術として、特開2012-146694号公報の技術が知られている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] SiC単結晶とSiC多結晶を直接貼り合せると、接合界面の電気抵抗が高くなってしまう場合がある。すると、接合界面を横切るように電流経路が形成されるデバイスを作成する場合に、デバイス特性に影響が及ぼされるため、好ましくない。

課題を解決するための手段

[0004] 本明細書では、半導体基板を開示する。この半導体基板は、単結晶SiC基板と、多結晶SiC基板と、を備える半導体基板であって、単結晶SiC基板と多結晶SiC基板とが接合しており、単結晶SiC基板と多結晶SiC基板との接合領域は、 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上の特定原子を含んでいることを特徴とする。

[0005] 単結晶SiC基板と多結晶SiC基板とを直接に接合させると、電位障壁が発生するため界面抵抗が高くなる。上記の半導体基板では、単結晶SiC基板と多結晶SiC基板とを接合させている。単結晶SiC基板と多結晶SiC基板との接合界面には、電位障壁が存在するため、界面抵抗成分が存在

する。しかし、特定原子が 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上含まれていることによって、界面抵抗を抑制することができる。

発明の効果

[0006] 本明細書に開示されている技術によれば、単結晶 SiC 基板および多結晶 SiC 基板が貼り合わされている半導体基板の電気特性を向上させる技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]接合基板の製造方法を示すフロー図である。
[図2]接合基板の斜視図である。
[図3]接合基板の模式図である。
[図4]接合基板の模式図である。
[図5]接合基板の照射工程の説明図である。
[図6]接合基板の模式図である。
[図7]接合基板の模式図である。
[図8]接合基板の模式図である。
[図9]窒素の導入量と界面抵抗との関係を示すグラフである。
[図10]界面の窒素濃度プロファイルを示すグラフである。
[図11]電導機構モデルを示す図である。
[図12]電導機構モデルを示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本明細書で開示する実施例の技術的特徴の幾つかを記す。なお、以下に記す事項は、各々単独で技術的な有用性を有している。

[0009] (特徴1) 特定原子は、 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上の濃度で接合領域に存在しているときに、接合領域の少なくとも一部の SiC 結晶構造を変化させる原子であってもよい。

[0010] (特徴2) 特定原子は、窒素 (N)、リン (P)、ボロン (B)、アルミニウム (Al)、シリコン (Si)、炭素 (C) の少なくとも何れか1つであってもよい。

[0011] (特徴3) 単結晶SiC基板と多結晶SiC基板とは、界面層を介して接合しており、

界面層の厚さは0.25ナノメートル以上であってもよい。

[0012] (特徴4) 特定原子は窒素(N)であり、界面層は炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料であってもよい。

[0013] (特徴5) 特定原子はリン(P)であり、界面層は、炭素、シリコンおよびリンを含んだ複合材料であってもよい。

[0014] (特徴6) 特定原子はシリコン(Si)であり、界面層は炭素およびシリコンを含んだ複合材料であり、複合材料の元素の組成比において、シリコンの割合が炭素よりも多くてもよい。

[0015] (特徴7) 特定原子は炭素(C)であり、界面層は炭素およびシリコンを含んだ複合材料であり、複合材料の元素の組成比において、炭素の割合がシリコンよりも多くてもよい。

[0016] (特徴8) 界面層は 1×10^{22} (atoms/cm³) 以上の特定原子を含んでいてもよい。

[0017] (特徴9) 界面層の元素の組成比において、特定原子の比率は10 (atomic%) 以上であってもよい。

[0018] (特徴10) 単結晶SiC基板は、4H-SiCであってもよい。

[0019] (特徴11) 多結晶SiC基板は、3C-SiCであってもよい。

実施例

[0020] <接合基板の構成>

図2に、本実施例に係る接合基板10の斜視図を示す。接合基板10は略円盤状に形成されている。接合基板10は、下側に配置された支持基板11と、支持基板11の上面に貼り合わされた単結晶層13とを備えている。単結晶層13は、例えば、化合物半導体(例: 6H-SiC、4H-SiC、GaN、AlN)の単結晶によって形成されていてもよい。また例えば、単元素半導体(例: Si、C)の単結晶によって形成されていてもよい。

[0021] 支持基板11には、各種の材料を用いることができる。支持基板11は、

単結晶層 13 に適用される各種の熱プロセスに対する耐性を有することが好ましい。また支持基板 11 は、単結晶層 13 との熱膨張率の差が小さい材料であることが好ましい。例えば、単結晶層 13 に SiC を用いる場合には、支持基板 11 には、単結晶 SiC、多結晶 SiC、単結晶 Si、多結晶 Si、サファイア、石英、GaN、カーボンなどを用いることが可能である。多結晶 SiC には、様々なポリタイプや面方位の SiC 結晶が混在していても良い。様々なポリタイプや面方位が混在する多結晶 SiC は、厳密な温度制御を行うことなく製造することができるため、支持基板 11 を製造するコストを低減させることが可能となる。支持基板 11 の厚さ T_{T1} は、後工程加工に耐えることができる機械的強度が得られるように定めればよい。厚さ T_{T1} は、例えば、支持基板 11 の直径が 150 (mm) である場合には、350 (μm) 程度であってもよい。

[0022] <接合基板の製造方法>

本実施例に係る接合基板 10 の製造方法を、図 1～図 8 を用いて説明する。本実施例では、例として、支持基板 11 が多結晶 3C-SiC であり、単結晶層 13 が単結晶 4H-SiC である場合を説明する。また、本明細書に記載の製造フローを、水素原子のアブレーションによる剥離技術を用いて実施する場合を説明する。

[0023] まず、支持基板 11 および単結晶層 13 を準備する。支持基板 11 および単結晶層 13 の表面は、平坦化されている。平坦化は、研削や切削によって行われてもよいし、CMP 法によって行われてもよい。

[0024] 図 1 のステップ S0 において、単結晶層 13 の表面 13a から水素イオンを注入する、水素イオン注入工程が行われる。単結晶層 13 に水素イオンを注入すると、水素イオンは入射エネルギーに応じた深さまで到達し、高濃度に分布する。これにより、図 3 の模式図に示すように、表面から所定深さに、水素注入層 15 が形成される。本実施例では、表面から 0.5 μm 程度の位置に水素注入層 15 が形成される場合を説明する。

[0025] ステップ S1 において、特定原子の導入工程が行われる。特定原子は、単

結晶層 1 3 の結晶構造を変化させることができる原子であれば、どのような原子であってもよい。ここで、「単結晶層 1 3 の結晶構造を変化させる」態様には、様々な態様が含まれる。例えば、大量の結晶欠陥を発生させることで、結晶構造を変化させる態様が含まれる。また、結晶構造自体を、特定原子の導入前とは異なる構造に変化させる態様が含まれる。また、単結晶層 1 3 を非晶質化させる態様が含まれる。また、S i C 以外の化合物を形成する態様が含まれる。また、何かしらの元素を析出させる態様が含まれる。なお、これらの態様は一例である。これら以外の態様を除外するものではない。

[0026] 特定原子は、S i や C と結合できる原子であることが好ましい。特定原子の一例としては、窒素 (N)、リン (P)、ヒ素 (As)、ボロン (B)、アルミニウム (Al)、シリコン (Si)、炭素 (C) 等のうちの少なくとも 1 つが挙げられる。本実施例では、特定原子として窒素を用いる場合を、以下に説明する。単結晶層 1 3 の表面 1 3 a に F A B ガン (高速原子ビーム : Fast Atom Beam) を用いて、窒素の中性原子ビームを照射する。これにより、図 4 の模式図に示すように、単結晶層 1 3 の表層に、高濃度ドーピング層 1 3 b が形成される。

[0027] 窒素の導入量は、単結晶層 1 3 の結晶構造を維持することができず、結晶構造が S i C から変化してしまうように決定すればよい。具体的には、後述するステップ S 5 で形成される界面層 1 3 c の元素の組成比において、窒素原子の比率が 1 (a t o m i c %) 以上となるように決定すればよい。または、界面層 1 3 c の窒素濃度が、 1×10^{21} (a t o m s / c m³) 以上となるように決定すればよい。換言すると界面層 1 3 c は、特定原子が 1×10^{21} (a t o m s / c m³) 以上含まれている領域である。または、界面層 1 3 c の厚さが 0.25 ナノメートル以上となるように決定すればよい。0.25 ナノメートルは、1 原子層に対応する厚さである。

なお、S i C の原子密度は、 9.6×10^{22} (a t o m s / c m³) 程度であるため、 1×10^{21} (a t o m s / c m³) の窒素濃度は、1 (a t o m i c %) の窒素原子の比率に対応する。また、 1×10^{22} (a t o m s / c m³)

）の窒素濃度は、10（atomic%）の窒素原子の比率に対応する。

[0028] 図1のステップS2において、照射工程が行われる。具体的に説明する。

図5に示すように、単結晶層13と支持基板11を、チャンバー101内にセットする。次に、単結晶層13と支持基板11との相対位置の位置合わせを行う。位置合わせは、後述する接合工程で両基板が正しい位置関係で接触できるように行われる。次に、チャンバー101内を真空状態にする。チャンバー101内の真空度は、例えば、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ （Pa）程度であってもよい。

[0029] 次に、支持基板11の表面11aおよび単結晶層13の表面13aにFABガン102を用いて、アルゴンの中性原子ビームを照射する。アルゴンの中性原子ビームは、表面11aの全面および表面13aの全面に均一に照射される。これにより、表面11aおよび13aの酸化膜や吸着層を除去して結合手を表出させることができる。この状態を活性状態と呼ぶ。また照射工程は真空中での処理であるため、表面11aおよび13aは、酸化等されず活性状態を保持することができる。

[0030] 図1のステップS3において、接合工程が行われる。接合工程では、支持基板11の表面11aと単結晶層13の表面13aとを、チャンバー101内で、真空中で接触させる。これにより、活性状態の表面に存在する結合手同士が結びつき、支持基板11と単結晶層13とを接合することができる。これにより、図6の模式図に示すように、支持基板11と単結晶層13とが接合した構造が形成される。

[0031] 図1のステップS4において、剥離工程が行われる。具体的には、互いに接合された支持基板11および単結晶層13を1000℃程度に加熱する。熱処理工程は、ファーンズを用いて実行されてもよい。これにより、単結晶層13を、水素注入層15で分離させることができる。よって図7の模式図に示すように、支持基板11上に、高濃度ドーピング層13bを介して、0.5μmの厚さの薄い単結晶層13を接合した構造を形成することができる。

[0032] 図1のステップS5において、熱処理工程が行われる。熱処理工程では、支持基板11、高濃度ドーピング層13bおよび単結晶層13を熱処理する。熱処理温度は、1100℃より高くされる。熱処理温度は、好ましくは、導入された窒素が安定化する温度がよく、1500℃以上（好ましくは1700℃程度）に加熱してもよい。熱処理工程は、剥離工程が行われた炉内で行われても良い。これにより高濃度ドーピング層13bでは、SiCの化学組成が、炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料へ変化する。複合材料の一例としては、炭素含有シリコン窒化物（ $\text{Si}_x\text{C}_y\text{N}_z$ ）が挙げられる。また、結晶構造がSiCから変化する。これにより、図8の模式図に示すように、高濃度ドーピング層13bが、界面層13cに変化する。

[0033] <界面抵抗の測定>

ステップS1で窒素の導入量を変化させた場合における界面抵抗の変化を、図9を用いて説明する。測定対象は、本明細書に記載の接合方法により接合された、4H-SiCの単結晶層13および多結晶3C-SiCの支持基板11である。図9において、縦軸は界面抵抗（ $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）である。横軸は、単結晶層13と支持基板11の界面における窒素濃度（ atoms/cm^3 ）である。また、目標とする界面抵抗値を、目標抵抗値A1と定義している。

[0034] 界面の状態は、窒素濃度に応じて、3つの状態R1、R2、R3となることがある。以下に説明する。

[0035] 状態R1について説明する。状態R1は、界面の窒素濃度が 1×10^{20} （ atoms/cm^3 ）以下の状態である。単結晶層13と支持基板11の接合界面には、エネルギー障壁が形成される。界面近傍にn型高濃度キャリアを発生させる不純物（例：リンや窒素）を導入することで、エネルギー障壁の幅を小さくすることができる。これにより、トンネル効果を得ることができるため、界面抵抗を低下させることができる。

[0036] このように、キャリアを発生させる場合の窒素濃度は、通常では、 $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20}$ （ atoms/cm^3 ）程度とされる。しかし、界面の窒素

濃度がこの濃度範囲にある場合には、図9の状態R1に示すように、界面抵抗が目標抵抗値A1まで下がらない。また界面の窒素濃度が、通常用いられる濃度を超えて、 $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21}$ (atoms/cm³) の範囲にある場合には、状態R1aに示すように、界面抵抗が上昇してしまう。これは、トンネル効果によって界面抵抗を低下させる効果よりも、欠陥が増加することによって界面抵抗が上昇してしまう効果の方が上回るためであると考えられる。

[0037] 状態R2について説明する。状態R2は、界面の窒素濃度が 1×10^{21} (atoms/cm³) よりも高く、 1×10^{22} (atoms/cm³) よりも低い状態である。状態R1から状態R2へ遷移すると界面抵抗が急激に低下し、目標抵抗値A1まで到達する。以上より、 1×10^{21} (atoms/cm³) の特定窒素濃度C1は、特異点であることが分かる。

[0038] SiCの原子密度は、 9.6×10^{22} (atoms/cm³) 程度である。すると、界面の窒素濃度が特定窒素濃度C1 (1×10^{21} (atoms/cm³)) である場合には、窒素の原子比率は、1 (atomic%) 程度となる。1 (atomic%) の窒素を導入された界面は、窒素が非常に高濃度に存在している状態であると言える。窒素が非常に高濃度に存在している状態では、窒素原子がSiC結晶の格子点の位置に置換されないため、窒素原子がドナーとして機能しない。また、窒素原子が格子点の位置に置換されないため、界面では、結晶欠陥が非常に多くなる。従って界面では、結晶構造がSiCから変化してしまう。このことから、特定窒素濃度C1 (1×10^{21} (atoms/cm³)) 以上の窒素濃度は、通常のドーピング条件（すなわち、キャリアを発生させるためのドーピング条件）としては用いることができない、超高濃度なドーピング条件であることが分かる。

[0039] 界面の窒素濃度を、特定窒素濃度C1 (1×10^{21} (atoms/cm³)) 以上にすることで、界面抵抗を急激に低下させることができる現象のモデルは、明確には解明されていない。図11および図12を用いて、状態R2において発現する電導機構モデルを説明する。このモデルは、発明者らが提

唱するものである。図 1 1 は比較例である。図 1 1 では、多結晶 3 C-S i C の支持基板 1 1 と、4 H-S i C の単結晶層 1 3 とを直接に接合させた場合の、バンド図を示している。4 H と 3 C の禁制帯幅の差や、接合界面の不整合による界面電荷発生などにより、接合界面 I F 1 及びその近傍領域では、電位障壁 B 1 が発生すると考えられる。この電位障壁 B 1 により、界面抵抗が高くなってしまう。

[0040] 図 1 2 に、状態 R 2 における半導体基板のバンド図を示す。支持基板 1 1 と単結晶層 1 3 との間には電位障壁 B 2 が存在する。しかし、トラップ・アシステッド・トンネリングにより電位障壁 B 2 のトンネリング効率を上昇させることで、支持基板 1 1 と単結晶層 1 3 との界面抵抗を低減させることができる。トラップ・アシステッド・トンネリングとは、トラップを介して電荷キャリアがトンネルする現象である。前述したように状態 R 2 では、界面近傍には、窒素原子が通常用いられる範囲を超えて過剰に導入されている。すると、界面の欠陥が非常に多い状態であるため、トラップ密度が高い状態である（図 1 2、矢印 Y 1 参照）。よって、トラップ・アシステッド・トンネリングを効果的に発生させることができる。

[0041] なお状態 R 2 では、界面の化学組成が、炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料に変化しない場合がある。従って状態 R 2 では、界面層 1 3 c を T E M 等で観察できない場合がある。

[0042] 状態 R 3 について説明する。状態 R 3 は、界面の窒素濃度が 1×10^{22} (atoms/cm³) 以上である状態である。状態 R 3 においても、界面抵抗を、目標抵抗値 A 1 よりも低い状態とすることができる。状態 R 3 においても、状態 R 2 と同様に、トラップ・アシステッド・トンネリングによって界面抵抗を低減させることができるためである。状態 R 3 では、窒素原子が界面に非常に高濃度に存在している状態である。従って状態 R 3 では、界面に結晶欠陥を非常に多く発生させることができるとともに、界面の S i C の化学組成を、炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料へ変化させることができる。従って状態 R 3 では、単結晶層 1 3 および支持基板 1 1 の間に、数

ナノメートルの厚さの界面層をTEM等によって観察することが可能である。

[0043] なお、界面の元素の組成比において、窒素原子の比率が10 (atomic %) 以上であることが好ましい。または、界面の窒素濃度は、 1×10^{22} (atoms/cm³) 以上であることが好ましい。界面の窒素濃度を上記の値以上にすることで、接合界面に剥がれが発生しない程度に接合強度を十分に高くできることが、発明者らによる実験により明らかになっているためである。

[0044] <界面層の厚さの測定>

また、TEMを用いて、界面層13cの厚さを測定した。ステップS1で導入される窒素の量を変化させた場合における、界面層13cの厚さの変化を測定した。界面層13cの窒素濃度が 1×10^{22} (atoms/cm³) である場合には、界面層13cの厚さは3.6~3.9 (ナノメートル) 程度であった。なお、界面層13cの厚さを決定するパラメータは、窒素の導入量に限られず、多数存在する。例えば、窒素を導入する際のエネルギー量によっても、界面層13cの厚さは変化する。従って、上記の界面層13cの厚さは、一例である。

[0045] <窒素濃度プロファイルの分析>

本明細書に記載されている接合方法で作成された接合基板10の、界面層13cにおける、窒素濃度プロファイル进行分析した。分析に用いられた接合基板10は、多結晶3C-SiCの支持基板11と4H-SiCの単結晶層13とを、界面層13cを介して接合させた基板である。また、界面層13cの窒素濃度が 1×10^{22} (atoms/cm³) である場合の窒素濃度プロファイル进行分析した。界面層13cの厚さは3.6~3.9ナノメートルの範囲内であった。

[0046] 窒素濃度分析は、エネルギー分散型X線分光法(EDX)を用いて行った。元素分析装置は、NORAN製 VOYAGERIII M3100である。図10に示すように、界面層13cでの窒素の組成比は、7~10 (atomic %) の

範囲内であった。一方、支持基板 11 や単結晶層 13 での窒素の組成比は、1 (atomic %) 以下であった。このことから、界面層 13c のみに窒素が高濃度で存在していることが分かる。

[0047] <効果>

多結晶 3C-SiC の支持基板 11 と 4H-SiC の単結晶層 13 とを、界面層 13c を介して接合させることができる。界面層 13c は、通常用いられる条件を超えて窒素が過剰に導入されていることで、化学組成が、炭化ケイ素 (SiC) から、炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料へ変化している層である。また、結晶構造が、SiC から変化している層である。これにより、多結晶 3C-SiC の支持基板 11 と、4H-SiC の単結晶層 13 とを直接に接合させる場合に比して、界面抵抗を小さくすることができる。

[0048] 界面層 13c に過剰に導入する元素として、リンのような取扱いが困難な元素を用いると、製造コストが増加してしまう場合がある。製造装置から発生するガスの無毒化処理や、製造装置の定期クリーニング頻度を高める必要が出てくるためである。本明細書の技術では、過剰に導入する元素として、窒素を用いることができる。窒素は、リン等に比して取扱いが容易であるため、製造コストを抑制することが可能となる。

[0049] <変形例>

以上、本発明の実施例について詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。

[0050] 特定原子はシリコン (Si) であってもよい。この場合、界面の元素の組成比は、シリコンの割合が炭素よりも多くなる。この場合、界面は、シリコンリッチな SiC で構成されとも言える。例えば、シリコンの組成比が、51~60 (atomic %) の範囲となる。界面は、シリコンが非常に高濃度に存在している状態になるため、SiC の結晶構造を維持することができず、結晶構造が SiC から変化してしまう。すなわち界面は、炭素および

シリコンを含んだ複合材料で構成される。界面では、結晶欠陥が非常に多くなるため、前述した電導機構モデルに従って、界面抵抗を急激に低下させることができる。

[0051] また特定原子は炭素（C）であってもよい。この場合、界面の元素の組成比は、炭素の割合がシリコンよりも多くなる。この場合、界面は、炭素リッチなSiCで構成されとも言える。例えば、炭素の組成比が、51～60（atomic%）の範囲となる。この場合においても、前述の通り、結晶構造がSiCから変化してしまう。すなわち界面は、炭素およびシリコンを含んだ複合材料で構成される。

[0052] ステップS1で説明した、特定原子の導入工程では、様々な導入方法が使用可能である。例えば、ドーピングさせたい不純物ガスをイオン化して基板へドーピングする、プラズマドーピング方法を用いてもよい。また、イオン注入を用いてもよい。イオン注入では、加速エネルギーを変化させて複数回打ち込みを行う多段打ち込みを用いることで、不純物濃度が単結晶層13の表面で最大となるように制御してもよい。また、単結晶層13の表面に不純物を高濃度に存在させた上で加熱するという、熱拡散法を用いてもよい。また、FABガンに限らず、イオンガン等の各種の装置を用いることが可能である。

[0053] ステップS1で説明した、特定原子の導入工程では、単結晶層13のみに特定原子を導入する場合を説明したが、この態様に限られない。特定原子を単結晶層13および支持基板11の両方に導入してもよいし、支持基板11のみに導入してもよい。

[0054] 照射工程（ステップS2）と特定原子の導入工程（ステップS1）を統合することも可能である。具体的には、特定原子の導入工程において、特定原子の原子ビームを支持基板11および単結晶層13の表面に照射すればよい。これにより、特定原子を支持基板11および単結晶層13に打ち込む処理を、支持基板11および単結晶層13の表面を活性化する処理としても機能させることができる。工程数の削減を図ることが可能となる。

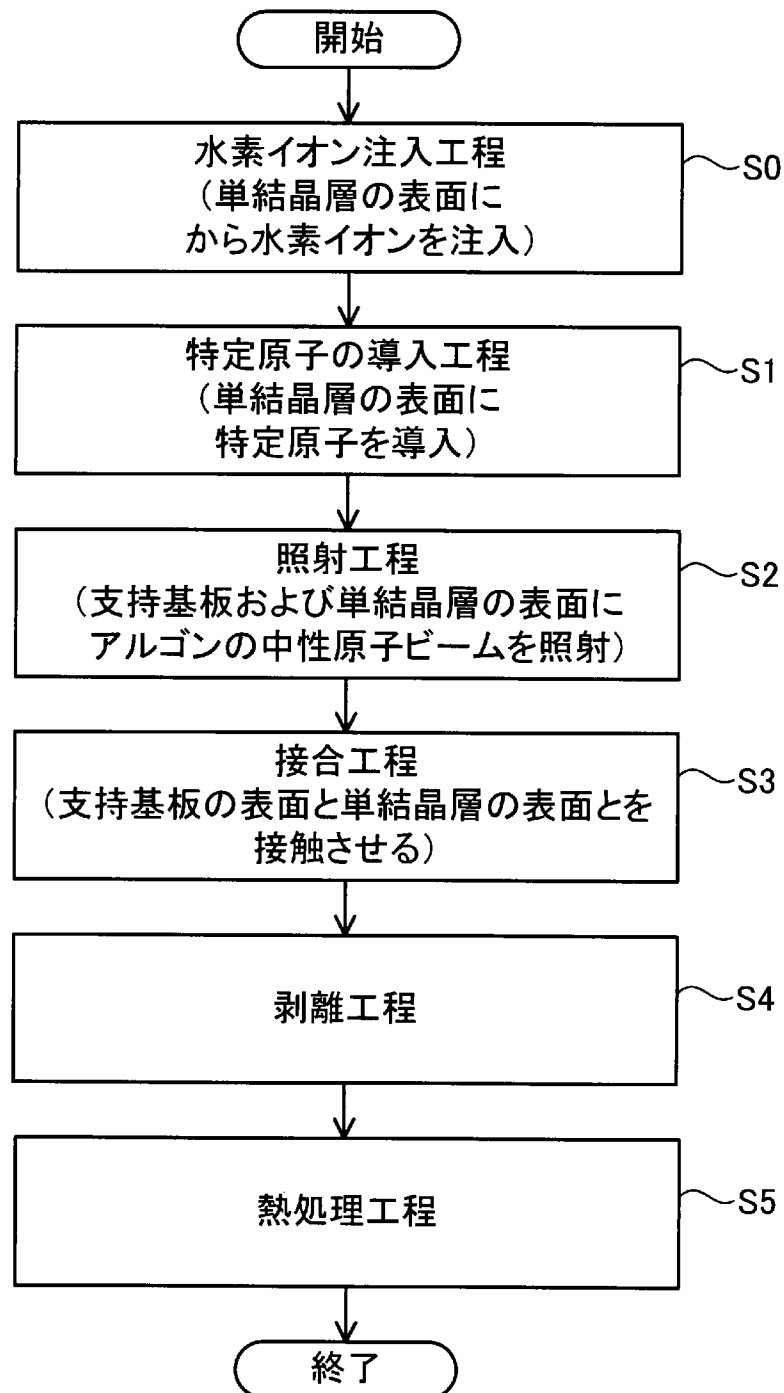
- [0055] 剥離工程（ステップS4）と熱処理工程（ステップS5）を統合することも可能である。具体的には、剥離工程において、特定原子が安定化する温度（例：1100℃）より高い温度で加熱を行えばよい。工程数の削減を図ることが可能となる。
- [0056] 熱処理工程（ステップS5）の後に、必要な厚さのSiC単結晶層を単結晶層13上にエピタキシャル成長させてもよい。このエピタキシャル層が、各種の素子の形成領域となる。各種素子の形成のために必要なエピタキシャル層の厚さは、概ね5μm以上である。
- [0057] 単結晶層13は、4H-SiCの単結晶に限られない。3C-SiCや6H-SiCなど、様々なポリタイプの単結晶SiCを単結晶層13として用いることができる。支持基板11は、3C-SiCの多結晶に限られない。様々なポリタイプの多結晶SiCを用いることが可能である。
- [0058] 単結晶層13はSiCに限られない。GaN、AlN、Si、Cの単結晶であってもよい。支持基板11に使用される材料は、多結晶SiCに限られない。単結晶層13に適用される各種の熱プロセスに対する耐性を有する材料であれば、何れの材料であってもよい。
- [0059] 本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

請求の範囲

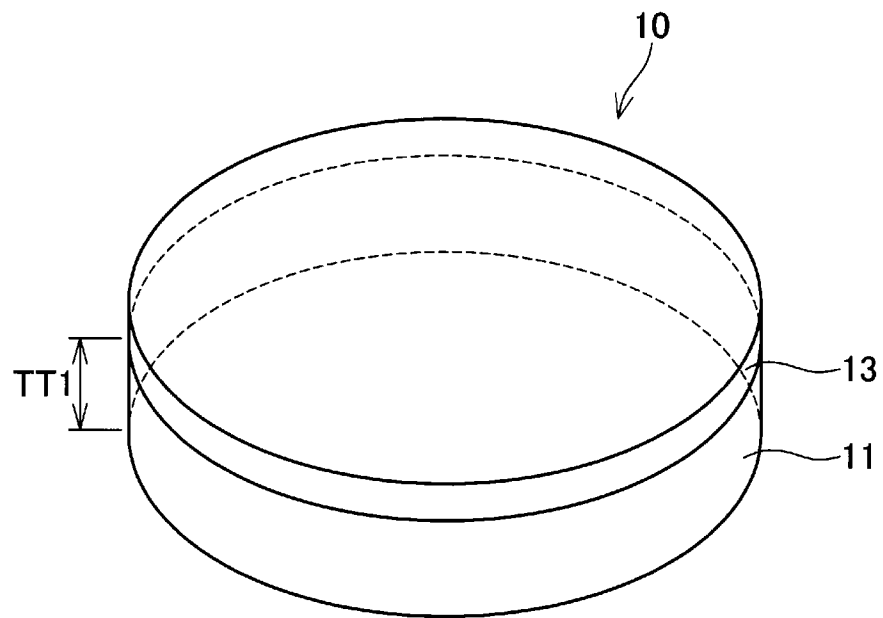
- [請求項1] 単結晶 SiC 基板と、多結晶 SiC 基板と、を備える半導体基板であって、
- 前記単結晶 SiC 基板と前記多結晶 SiC 基板とが接合しており、
- 前記単結晶 SiC 基板と前記多結晶 SiC 基板との接合領域は、 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上の特定原子を含んでいることを特徴とする半導体基板。
- [請求項2] 前記特定原子は、 1×10^{21} (atoms/cm³) 以上の濃度で前記接合領域に存在しているときに、前記接合領域の少なくとも一部の SiC 結晶構造を変化させる原子であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体基板。
- [請求項3] 前記特定原子は、窒素 (N)、リン (P)、ボロン (B)、アルミニウム (Al)、シリコン (Si)、炭素 (C) の少なくとも何れか 1 つであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体基板。
- [請求項4] 前記単結晶 SiC 基板と前記多結晶 SiC 基板とは、界面層を介して接合しており、
- 前記界面層の厚さは 0.25 ナノメートル以上であることを特徴とする請求項 1～3 の何れか 1 項に記載の半導体基板。
- [請求項5] 前記特定原子は窒素 (N) であり、
- 前記界面層は炭素、シリコンおよび窒素を含んだ複合材料であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体基板。
- [請求項6] 前記特定原子はリン (P) であり、
- 前記界面層は、炭素、シリコンおよびリンを含んだ複合材料であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体基板。
- [請求項7] 前記特定原子はシリコン (Si) であり、
- 前記界面層は炭素およびシリコンを含んだ複合材料であり、
- 前記複合材料の元素の組成比において、シリコンの割合が炭素よりも多いことを特徴とする請求項 4 に記載の半導体基板。

- [請求項8] 前記特定原子は炭素（C）であり、
前記界面層は炭素およびシリコンを含んだ複合材料であり、
前記複合材料の元素の組成比において、炭素の割合がシリコンよりも多いことを特徴とする請求項4に記載の半導体基板。
- [請求項9] 前記界面層は 1×10^{22} (a t o m s / c m³) 以上の前記特定原子を含んでいることを特徴とする請求項4～8の何れか1項に記載の半導体基板。
- [請求項10] 前記界面層の元素の組成比において、前記特定原子の比率は10 (a t o m i c %) 以上であることを特徴とする請求項4～9の何れか1項に記載の半導体基板。
- [請求項11] 前記単結晶SiC基板は、4H-SiCであることを特徴とする請求項1～10の何れか1項に記載の半導体基板。
- [請求項12] 前記多結晶SiC基板は、3C-SiCであることを特徴とする請求項1～11の何れか1項に記載の半導体基板。

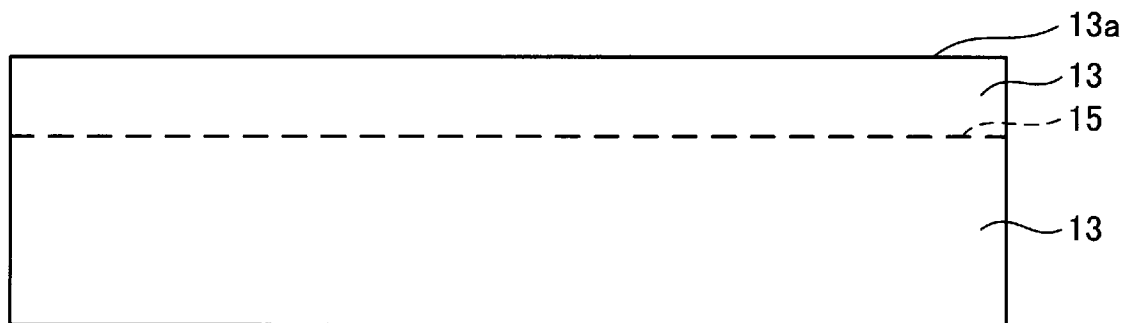
[図1]



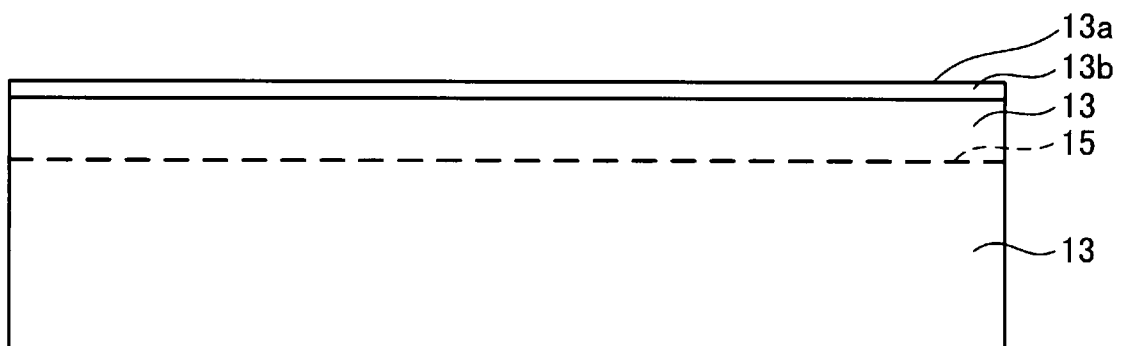
[図2]



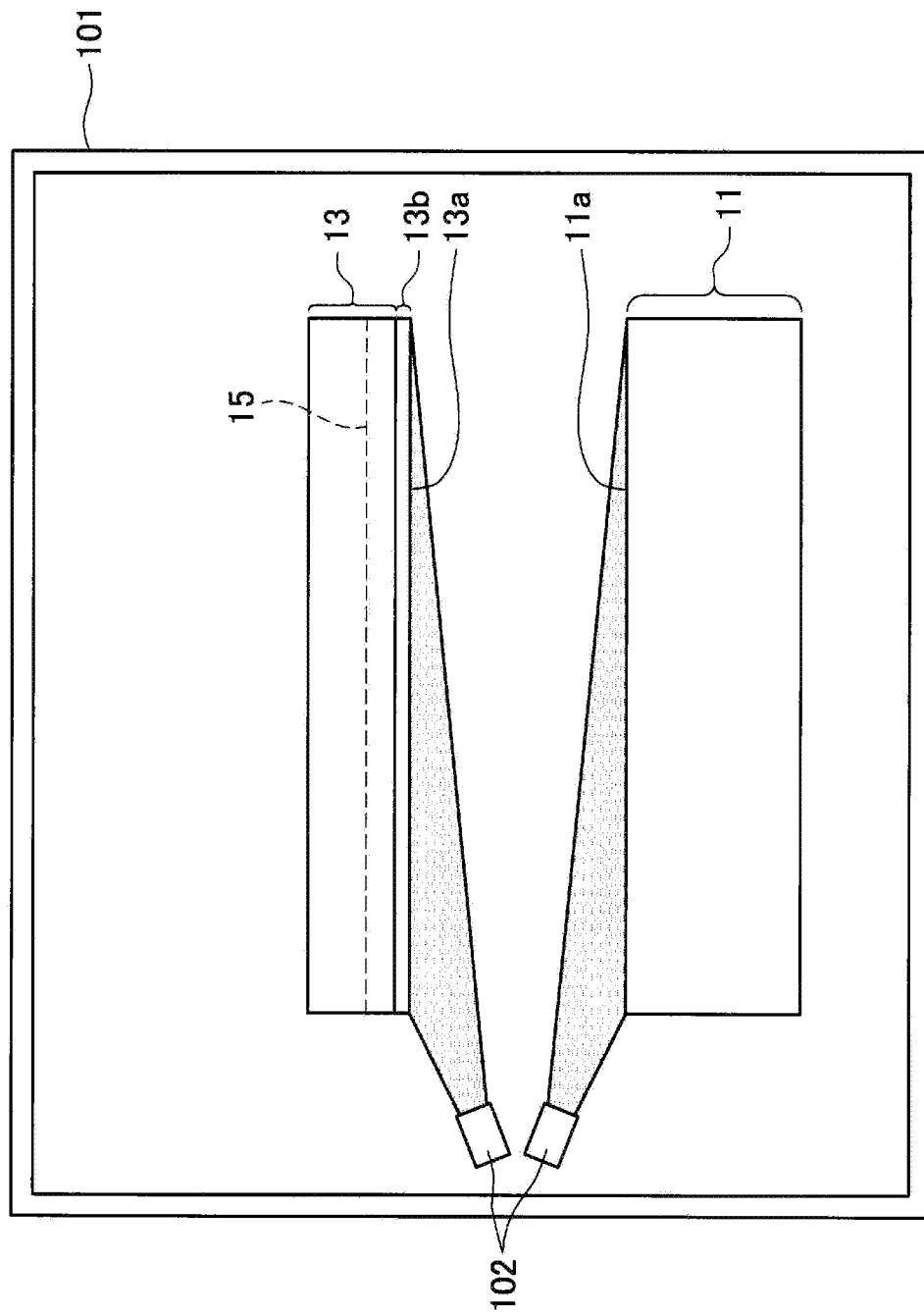
[図3]



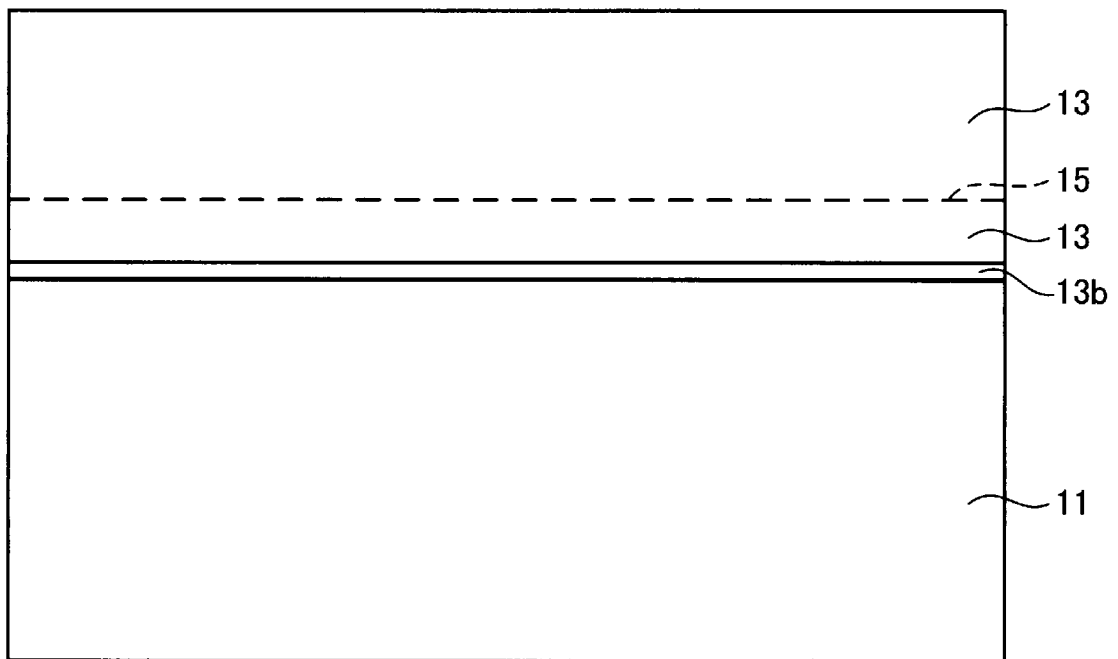
[図4]



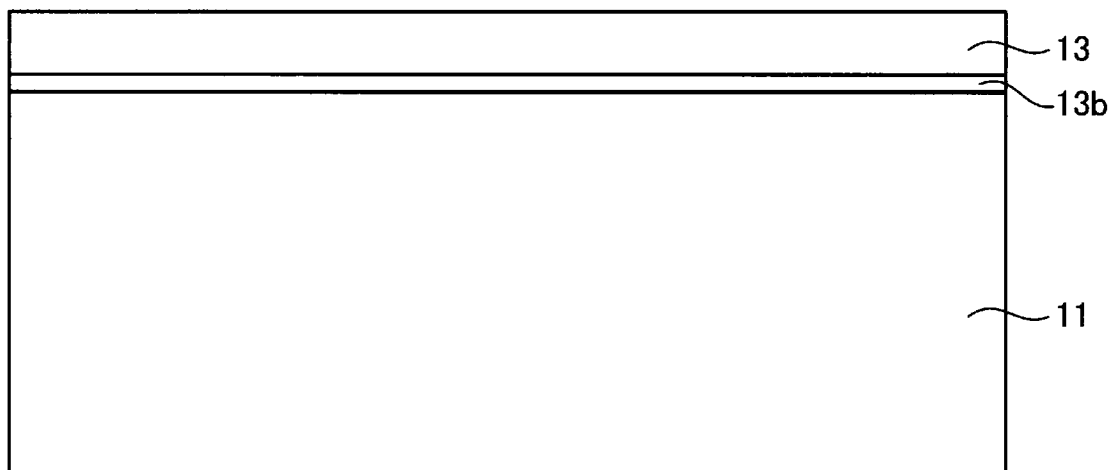
[図5]



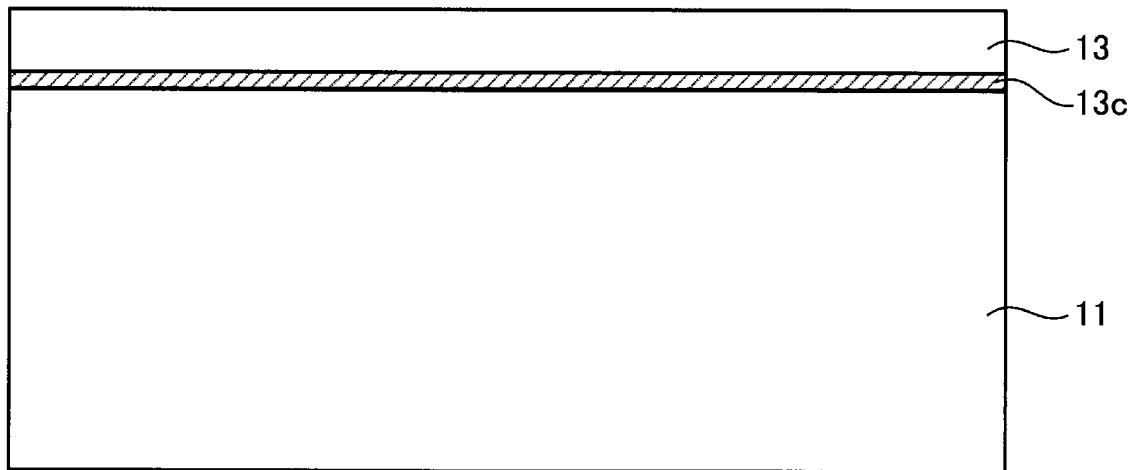
[図6]



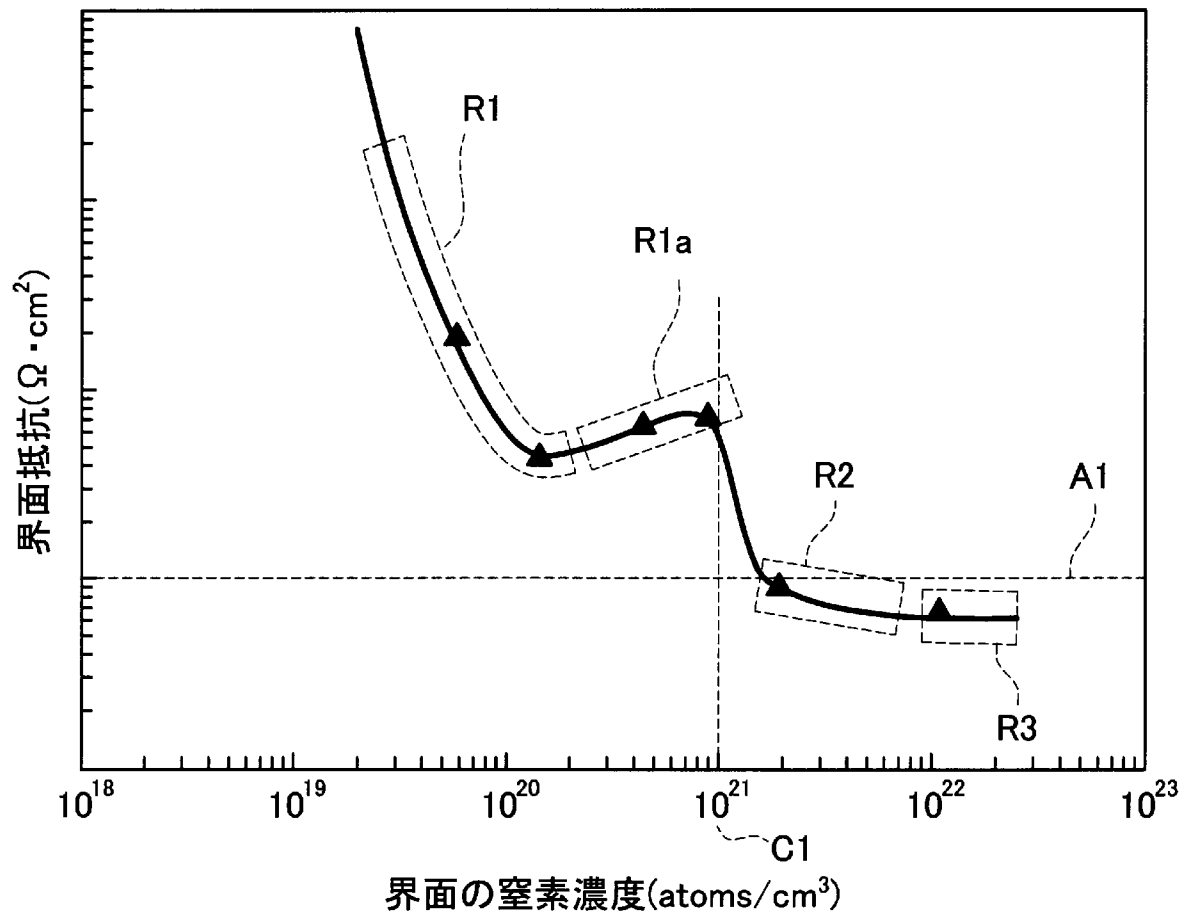
[図7]



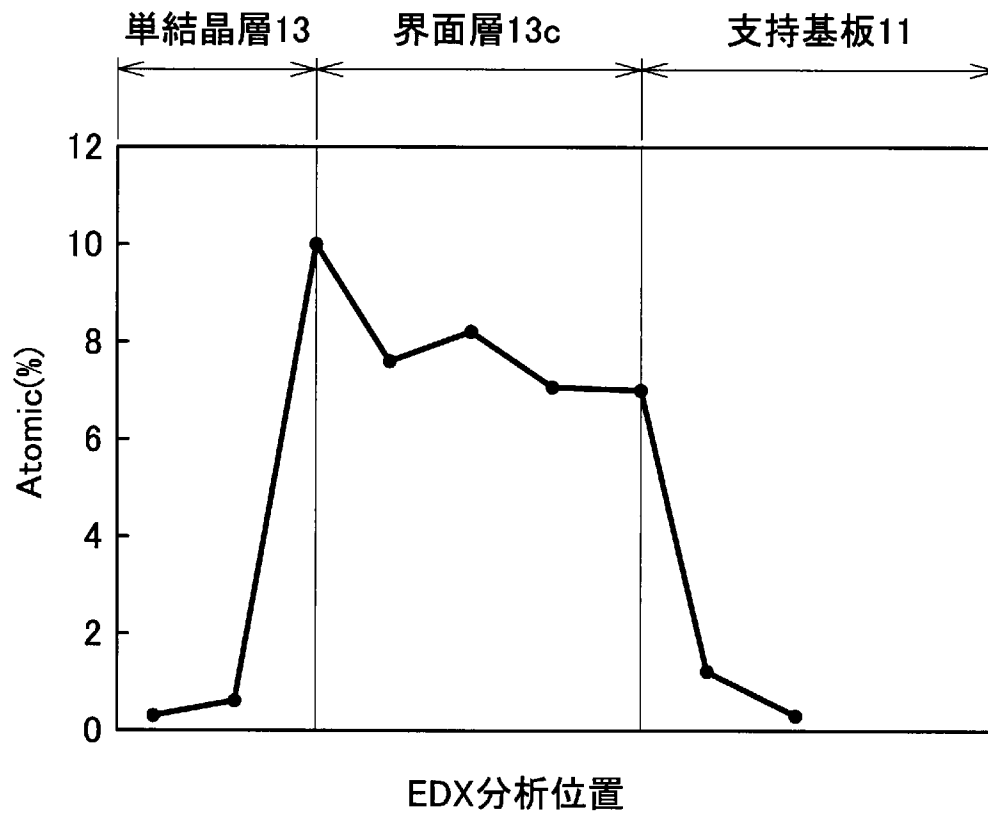
[図8]



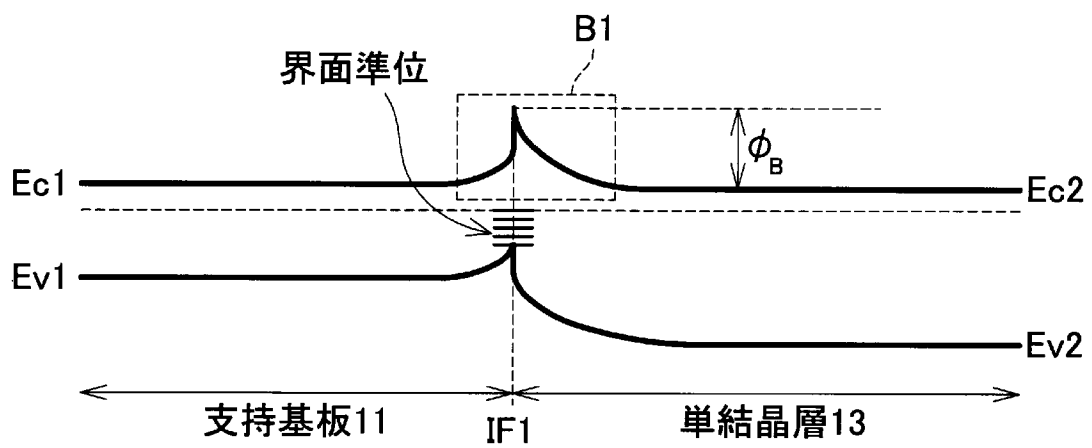
[図9]



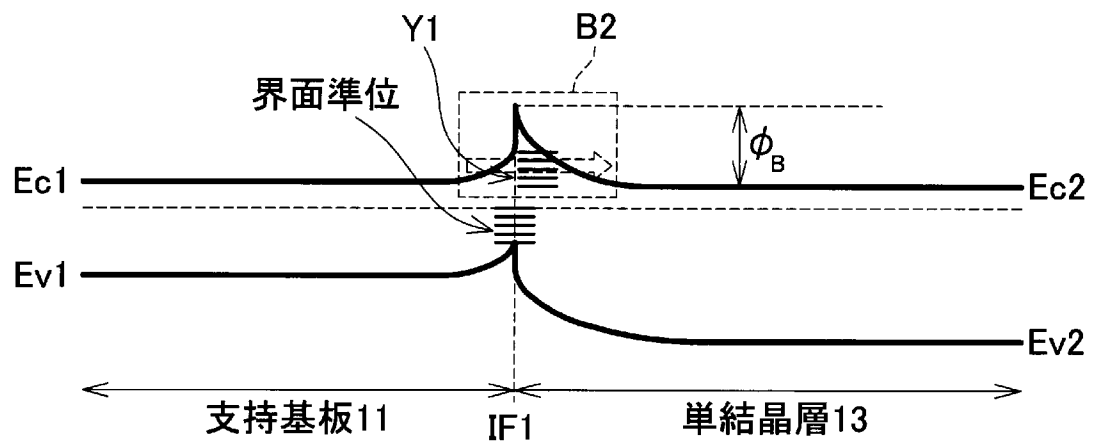
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/025600

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/02(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)

H01L21/02

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 A	WO 2016/006663 A1 (Toyota Industries Corp.), 14 January 2016 (14.01.2016), paragraphs [0021] to [0023], [0025], [0030], [0055], [0062], [0063]; fig. 2, 6 & US 2017/0213735 A1 paragraphs [0030] to [0033], [0035], [0040], [0070], [0082] to [0084]; fig. 2, 6 & EP 3168862 A1 & CN 106489187 A & KR 10-2017-0028428 A	1-6, 9-12 7, 8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 September 2017 (01.09.17)

Date of mailing of the international search report
12 September 2017 (12.09.17)

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/JP2017/025600

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011/046020 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 21 April 2011 (21.04.2011), paragraphs [0065], [0067], [0069]; fig. 1 & US 2012/0012862 A1 paragraphs [0083], [0085], [0087]; fig. 1 & CA 2759856 A & TW 201128773 A & CN 102449733 A & KR 10-2012-0022932 A	1-12
A	JP 2008-69059 A (Covalent Materials Corp.), 27 March 2008 (27.03.2008), claim 1 (Family: none)	1-12

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

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

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2016/006663 A1 (株式会社豊田自動織機) 2016.01.14, 第21-23, 25, 30, 55, 62, 63段落、図2, 6 & US 2017/0213735	1-6, 9-12
A	A1, 第30-33, 35, 40, 70, 82-84段落、図2, 6, & EP 3168862 A1 & CN 106489187 A & KR 10-2017-0028428 A	7, 8
A	WO 2011/046020 A1 (住友電気工業株式会社) 2011.04.21, 第65, 67, 69段落、図1 & US 2012/0012862 A1, 第83, 85, 87段落、図1, & CA 2759856 A & TW 201128773 A & CN 102449733 A & KR 10-2012-0022932 A	1-12

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

01.09.2017

国際調査報告の発送日

12.09.2017

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)

鈴木 和樹

50

3252

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

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
A	JP 2008-69059 A (コバレントマテリアル株式会社) 2008.03.27, 請求項1 (ファミリーなし)	1-12