(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
2017 年 4 月 6 日(06.04.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/056691 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/205 (2006.01)　*H01L 21/336* (2006.01)
C30B 29/36 (2006.01)　*H01L 29/12* (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01)　*H01L 29/78* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/072625

(22) 国際出願日: 2016 年 8 月 2 日(02.08.2016)

(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 2015-191489 2015 年 9 月 29 日(29.09.2015) JP

(71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 和田　圭司(WADA, Keiji); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号　住友電気工業株式会社　伊丹製作所内 Hyogo (JP). 土井　秀之(DOI, Hideyuki); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号　住友電気工業株式会社　伊丹製作所内 Hyogo (JP). 伊東　洋典(ITOH, Hironori); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号　住友電気工業株式会社　伊丹製作所内 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目２番７号　中之島セントラルタワー 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

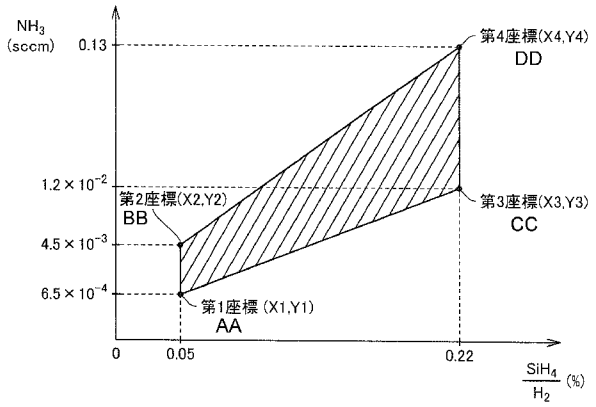
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF MANUFACTURING SILICON CARBIDE EPITAXIAL SUBSTRATE, METHOD OF MANUFACTURING SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, AND SILICON CARBIDE EPITAXIAL SUBSTRATE MANUFACTURING DEVICE

(54) 発明の名称 : 炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法、炭化珪素半導体装置の製造方法および炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置

[図2]
FIG.2



AA... FIRST COORDINATES
BB... SECOND COORDINATES
CC... THIRD COORDINATES
DD... FOURTH COORDINATES

(57) **Abstract**: In a step of forming a silicon carbide layer, a first value and a second value belong in a quadrilateral region enclosed by first coordinates, second coordinates, third coordinates, and fourth coordinates in XY plane coordinates, where the X-axis represents the first value which expresses as a percentage a value obtained by dividing the flow rate of silane by the flow rate of hydrogen, and the Y-axis represents the second value which expresses the flow rate of ammonia in units of sccm. The first coordinates are (0.05, 6.5×10^{-4}). The second coordinates are (0.05, 4.5×10^{-3}). The third coordinates are (0.22, 1.2×10^{-2}). The fourth coordinates are (0.22, 1.3×10^{-1}). After the step of forming the silicon carbide layer, the silicon carbide layer has a carrier concentration average value of not less than 1×10^{15} cm^{-3} and not more than 2×10^{16} cm^{-3}.

(57) 要約: 炭化珪素層を形成する工程において、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値は、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属する。第１座標は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）である。第２座標は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）である。第３座標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。炭化珪素層を形成する工程後において、炭化珪素層のキャリア濃度の平均値は、１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。

WO 2017/056691 A1

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 ：

炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法、炭化珪素半導体装置の製造方法および炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置

技術分野

[0001] 本開示は、炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法、炭化珪素半導体装置の製造方法および炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置に関する。本出願は、２０１５年９月２９日に出願した日本特許出願である特願２０１５－１９１４８９号に基づく優先権を主張し、当該日本特許出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] 特開２０１４－１７０８９１号公報（特許文献１）には、炭化珪素単結晶基板上に炭化珪素層をエピタキシャル成長させる方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１４－１７０８９１号公報

発明の概要

[0004] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法は以下の工程を備えている。炭化珪素単結晶基板が反応室内に配置される。反応室に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給することにより、炭化珪素単結晶基板上に炭化珪素層が形成される。炭化珪素単結晶基板の最大径は、１００ｍｍ以上である。炭化珪素層を形成する工程において、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値は、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属する。第１座標は、（０．０５，６．５×10^{-4}）である。第２座標は、（０．０５，４．５×10^{-3}）である。第３座

標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。炭化珪素層２０を形成する工程後において、炭化珪素層２０のキャリア濃度の平均値は、１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。

[0005] 本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置は、反応室と、ガス供給部と、制御部とを備えている。反応室は、炭化珪素単結晶基板を加熱可能に構成されている。ガス供給部は、反応室に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給可能に構成されている。制御部は、ガス供給部から反応室に供給される混合ガスの流量を制御可能に構成されている。制御部は、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属するように、シランの流量、アンモニアの流量および水素の流量を制御可能に構成されている。第１座標は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）である。第２座標は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）である。第３座標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置の構成を示す一部断面模式図である。

[図2]図２は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法における、SiH_4流量／H_2流量（％）と、NH_3流量（ｓｃｃｍ）との関係を示す図である。

[図3]図３は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法を概略的に示すフローチャートである。

[図4]図４は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の第１工程を示す断面模式図である。

[図5]図５は、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の第

２工程を示す断面模式図である。

[図6]図６は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を概略的に示すフローチャートである。

[図7]図７は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第１工程を示す断面模式図である。

[図8]図８は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第２工程を示す断面模式図である。

[図9]図９は、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の第３工程を示す断面模式図である。

[図10]図１０は、評価サンプルに係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法における、SiH_4流量／H_2流量（％）と、NH_3流量（ｓｃｃｍ）との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0007] ［本開示の実施形態の概要］

まず本開示の実施形態について説明する。以下の説明では、同一または対応する要素には同一の符号を付し、それらについて同じ説明は繰り返さない。本明細書の結晶学的記載においては、個別方位を［］、集合方位を＜＞、個別面を（）、集合面を｛｝でそれぞれ示す。結晶学上の指数が負であることは、通常、数字の上に”－”（バー）を付すことによって表現されるが、本明細書では数字の前に負の符号を付すことによって結晶学上の負の指数を表現する。

[0008] （１）本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造方法は以下の工程を備えている。炭化珪素単結晶基板１０が反応室２０１内に配置される。反応室２０１に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給することにより、炭化珪素単結晶基板１０上に炭化珪素層２０が形成される。炭化珪素単結晶基板１０の最大径は、１００ｍｍ以上である。炭化珪素層を形成する工程において、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した

第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値は、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属する。第１座標は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）である。第２座標は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）である。第３座標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。炭化珪素層２０を形成する工程後において、炭化珪素層２０のキャリア濃度の平均値は、１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である。なお、流量の単位「ｓｃｃｍ（ｓｔａｎｄａｒｄ　ｃｃ／ｍｉｎｕｔｅ）」は、標準状態（０℃、１０１．３ｋＰａ）における流量「ｃｃ／分」を示す。

[0009] 炭化珪素半導体装置の製造に用いられる炭化珪素エピタキシャル基板には、平均キャリア濃度を炭化珪素半導体装置として必要とされる一定の範囲に維持しつつ、キャリア濃度の良好な面内均一性および炭化珪素層の表面の良好な平坦性を実現することが求められている。近年では、上記特性の実現に加え、炭化珪素層の成長速度の高速化が求められている。

[0010] しかしながら、炭化珪素層の成長速度を単に増加させると、炭化珪素層の表面の平坦性が悪化する場合がある。また炭化珪素層の表面の平坦性を良好に維持しようとすると、炭化珪素層の平均キャリア濃度が、パワーデバイスとして必要とされる範囲を満たすことができない場合がある。つまり、炭化珪素層の平均キャリア濃度を炭化珪素半導体装置として必要とされる一定の範囲に維持しつつ、炭化珪素層の高速成長と、炭化珪素層の表面の良好な平坦性と、キャリア濃度の良好な面内均一性とを実現することは非常に困難であった。発明者らは、上記の要求を満たす炭化珪素エピタキシャル基板を製造する方策について鋭意研究の結果、以下の知見を得て本開示の一態様を見出した。

[0011] 具体的には、原料ガスとしてシランを使用し、キャリアガスとして水素を使用し、ドーパントガスとしてアンモニアを使用した上で、シラン流量／水素流量と、アンモニア流量とを一定の範囲内に制御することにより、上記の要求を満たす炭化珪素エピタキシャル基板を実現可能であることを見出した

。具体的には、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属するように、シランの流量と、水素の流量と、アンモニアの流量とが制御される。これにより、炭化珪素層の表面の平坦性およびキャリア濃度の面内均一性を向上しつつ、炭化珪素層の高速成長を実現可能である。

[0012] （２）上記（１）に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造方法において、反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０上の第１加熱領域２１３と、第１加熱領域２１３よりも上流側に位置する第２加熱領域２１４とを含んでいてもよい。炭化珪素層２０を形成する工程において、第２加熱領域２１４の温度は、アンモニアの分解温度以上であってもよい。これにより、炭化珪素単結晶基板の上流側でアンモニアを熱分解することができるので、キャリア濃度の面内均一性を向上することができる。

[0013] （３）上記（２）に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造方法において、混合ガスの流れ方向において、第２加熱領域２１４の長さは、６０ｍｍ以上である。これにより、広い領域でアンモニアを熱分解することができるので、キャリア濃度の面内均一性を向上することができる。

[0014] （４）本開示に係る炭化珪素半導体装置３００の製造方法は以下の工程を備えている。上記（１）～上記（３）のいずれかに記載の方法で製造された炭化珪素エピタキシャル基板が準備される。炭化珪素エピタキシャル基板が加工される。

[0015] （５）本開示に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造装置２００は、反応室２０１と、ガス供給部２３５と、制御部２４５とを備えている。反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０を加熱可能に構成されている。ガス供給部２３５は、反応室２０１に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給可能に構成されている。制御部２４５は、ガス供給部２３５から反応室２０１に供給される混合ガスの流量を制御可能に構成されている。

制御部２４５は、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、第１値および第２値が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属するように、シランの流量、アンモニアの流量および水素の流量を制御可能に構成されている。第１座標は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）である。第２座標は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）である。第３座標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。これにより、炭化珪素層の平均キャリア濃度を１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下に維持しつつ、炭化珪素層の高速成長と、炭化珪素層の表面の良好な平坦性と、キャリア濃度の良好な面内均一性とを実現することができる。

[0016] （６）上記（５）に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造装置２００において、反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０が配置される領域上の第１加熱領域２１３と、第１加熱領域２１３よりも上流側に位置する第２加熱領域２１４とを含んでいてもよい。第２加熱領域２１４は、アンモニアの分解温度以上の温度に加熱可能に構成されていてもよい。これにより、炭化珪素単結晶基板の上流側でアンモニアを熱分解することができるので、キャリア濃度の面内均一性を向上することができる。

[0017] （７）上記（６）に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造装置２００において、混合ガスの流れ方向において、第２加熱領域２１４の長さは、６０ｍｍ以上であってもよい。これにより、広い領域でアンモニアを熱分解することができるので、キャリア濃度の面内均一性を向上することができる。

[0018] ［本開示の実施形態の詳細］

以下、本開示の一実施形態（以下「本実施形態」とも記す）について説明する。ただし本実施形態はこれらに限定されるものではない。

[0019] （炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置）

本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の製造装置２００の

構成について説明する。

[0020] 図１に示されるように、製造装置２００は、たとえばホットウォール方式の横型ＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）装置である。製造装置２００は、反応室２０１と、ガス供給部２３５と、制御部２４５と、発熱体２０３、石英管２０４、断熱材２０５、誘導加熱コイル２０６とを主に有している。

[0021] 発熱体２０３は、たとえば筒状の形状を有しており、内部に反応室２０１を形成している。発熱体２０３は、たとえば黒鉛製である。断熱材２０５は、発熱体２０３の外周を取り囲んでいる。断熱材２０５は、石英管２０４の内周面に接するように石英管２０４の内部に設けられている。誘導加熱コイル２０６は、たとえば石英管２０４の外周面に沿って巻回されている。誘導加熱コイル２０６は、外部電源（図示せず）により、交流電流が供給可能に構成されている。これにより、発熱体２０３が誘導加熱される。結果として、反応室２０１が発熱体２０３により加熱される。

[0022] 反応室２０１は、発熱体２０３に取り囲まれて形成された空間である。反応室２０１内には、炭化珪素単結晶基板１０が配置される。反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０を加熱可能に構成されている。炭化珪素単結晶基板の最大径は１００ｍｍ以上である。反応室２０１には、炭化珪素単結晶基板１０を保持するサセプタプレート２１０が設けられている。サセプタプレート２１０は、回転軸２１２の周りを自転可能に構成されている。

[0023] 製造装置２００は、ガス導入口２０７およびガス排気口２０８をさらに有している。ガス排気口２０８は、図示しない排気ポンプに接続されている。図１中の矢印は、ガスの流れを示している。ガスは、ガス導入口２０７から反応室２０１に導入され、ガス排気口２０８から排気される。反応室２０１内の圧力は、ガスの供給量と、ガスの排気量とのバランスによって調整される。

[0024] 製造装置２００は、ガス導入口２０７および発熱体２０３の間に位置する加熱部２１１をさらに有していてもよい。加熱部２１１は、発熱体２０３よ

りも上流側に位置している。発熱体２０３は、たとえば１１００℃から１３５０℃程度に加熱されるように構成されていてもよい。

[0025] ガス供給部２３５は、反応室２０１に、シランとアンモニアと水素および炭素原子を含むガスとを含む混合ガスを供給可能に構成されている。具体的には、ガス供給部２３５は、第１ガス供給部２３１と、第２ガス供給部２３２と、第３ガス供給部２３３と、キャリアガス供給部２３４とを含んでもよい。

[0026] 第１ガス供給部２３１は、炭素原子を含む第１ガスを供給可能に構成されている。第１ガス供給部２３１は、たとえば第１ガスが充填されたガスボンベである。第１ガスは、たとえばプロパン（C_3H_8）ガスである。第１ガスは、たとえばメタン（CH_4）ガス、エタン（C_2H_6）ガス、アセチレン（C_2H_2）ガス等であってもよい。

[0027] 第２ガス供給部２３２は、シランガスを含む第２ガスを供給可能に構成されている。第２ガス供給部２３２は、たとえば第２ガスが充填されたガスボンベである。第２ガスは、たとえばシラン（SiH_4）ガスである。第２ガスは、シランガスと、シラン以外の他のガスとの混合ガスでもよい。

[0028] 第３ガス供給部２３３は、アンモニアガスを含む第３ガスを供給可能に構成されている。第３ガス供給部２３３は、たとえば第３ガスが充填されたガスボンベである。第３ガスは、Ｎ（窒素原子）を含むドーピングガスである。アンモニアガスは、三重結合を有する窒素ガスに比べて熱分解されやすい。アンモニアガスを用いることにより、キャリア濃度の面内均一性の向上が期待できる。

[0029] キャリアガス供給部２３４は、たとえば水素などのキャリアガスを供給可能に構成されている。キャリアガス供給部２３４は、たとえば水素が充填されたガスボンベである。

[0030] 制御部２４５は、ガス供給部２３５から反応室２０１に供給される混合ガスの流量を制御可能に構成されている。具体的には、制御部２４５は、第１ガス流量制御部２４１と、第２ガス流量制御部２４２と、第３ガス流量制御

部２４３と、キャリアガス流量制御部２４４とを含んでいてもよい。各制御部は、たとえばＭＦＣ(Ｍａｓｓ　Ｆｌｏｗ　Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｒ)であってもよい。制御部２４５は、ガス供給部２３５とガス導入口２０７との間に配置されている。言い換えれば、制御部２４５は、ガス供給部２３５とガス導入口２０７とを繋ぐ流路に配置されている。

[0031] 製造装置２００において、反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０が配置される領域上の第１加熱領域２１３と、第１加熱領域２１３よりも上流側に位置する第２加熱領域２１４とを含んでいる。図１に示されるように、第２加熱領域２１４は、混合ガスの流れ方向（反応室２０１の軸方向）において、断熱材２０５と発熱体２０３との上流側の境界から、上流側の炭化珪素単結晶基板１０が配置される領域の端部までの領域である。第２加熱領域２１４と第１加熱領域２１３との境界部は、サセプタプレート２１０に設けられた凹部の上流側の側面であってもよい。第１加熱領域２１３の下流側の端部は、断熱材２０５と発熱体２０３との下流側の境界であってもよい。

[0032] 反応室２０１の軸方向において、誘導加熱コイル２０６の巻き密度を変化させてもよい。巻き密度［回／ｍ］とは、装置の軸方向の単位長さあたりのコイルの周回数である。たとえば、上流側でアンモニアを効果的に熱分解させるために、第２加熱領域２１４において、上流側の誘導加熱コイル２０６の巻き密度は、下流側の誘導加熱コイル２０６の巻き密度よりも高くてもよい。

[0033] 第２加熱領域２１４は、アンモニアの分解温度以上の温度に加熱可能に構成されていてもよい。アンモニアの分解温度は、たとえば５００℃である。第２加熱領域２１４の温度は、たとえば放射温度計により測定可能である。第２加熱領域２１４を構成する発熱体２０３の部分の温度は、たとえば１５８０℃である。混合ガスの流れ方向において、第２加熱領域２１４の長さ２２２は、６０ｍｍ以上であってもよいし、７０ｍｍ以上であってもよいし、８０ｍｍ以上であってもよく、１００ｍｍ以下が好ましい。１００ｍｍを超えるとアンモニアの分解が進み過ぎ、キャリア濃度の面内均一性が悪化する

可能性がある。混合ガスの流れ方向において、第１加熱領域２１３の長さ２２１は、第２加熱領域２１４の長さ２２２よりも大きくてもよい。

[0034] 図２に示されるように、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（第１値）をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した値（第２値）をＹ軸とする。制御部２４５は、第１値（％）および第２値（ｓｃｃｍ）が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域（図２においてハッチングで示した領域）内に属するように、シランの流量、アンモニアの流量および水素の流量を制御可能に構成されている。第１座標（Ｘ１，Ｙ１）は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）である。第２座標（Ｘ２，Ｙ２）は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）である。第３座標（Ｘ３，Ｙ３）は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）である。第４座標（Ｘ４，Ｙ４）は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である。

[0035] 制御部２４５は、たとえば、キャリアガス（水素）の流量が１００ｓｌｍとなるように制御可能に構成されたキャリアガス流量制御部２４４と、第２ガス（シランガス）の流量が１５０ｓｃｃｍとなるように制御可能に構成された第２ガス流量制御部２４２と、第３ガス（アンモニアガス）の流量が１．１×１０$^{-2}$ｓｃｃｍとなるように制御可能に構成された第３ガス流量制御部２４３とを含む。この場合、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値は、０．１５％である。そのため、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（第１値）と、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した値（第２値）とは、図２においてハッチングで示した領域内に属する。

[0036] （炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法）

次に、本実施形態に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法について説明する。

[0037] まず、炭化珪素単結晶基板を反応室内に配置する工程（Ｓ１：図３）が実施される。たとえば昇華法により、ポリタイプ６Ｈの炭化珪素単結晶が製造

される。次に、たとえばワイヤーソーによって、炭化珪素単結晶をスライスすることにより、炭化珪素単結晶基板１０が準備される（図４参照）。炭化珪素単結晶基板１０は、第１主面４１と、第１主面４１と反対側の第２主面４２とを有する。当該炭化珪素単結晶のポリタイプは、たとえば４Ｈ－ＳｉＣである。４Ｈ－ＳｉＣは、電子移動度、絶縁破壊電界強度等において他のポリタイプより優れている。炭化珪素単結晶基板１０は、たとえば窒素などのｎ型不純物を含んでいる。炭化珪素単結晶基板１０の導電型は、たとえばｎ型である。

[0038] 第１主面４１は、たとえば｛０００１｝面もしくは｛０００１｝面から８°以下の角度だけ傾斜した面である。具体的には、第１主面４１は、（０００１）面もしくは（０００１）面から８°以下の角度だけ傾斜した面であってもよいし、（０００－１）面もしくは（０００－１）面から８°以下の角度だけ傾斜した面であってもよい。第１主面４１が｛０００１｝面から傾斜している場合、第１主面４１の法線の傾斜方向は、たとえば＜１１－２０＞方向である。｛０００１｝面からの傾斜角（オフ角）は、１°以上であってもよいし、２°以上であってもよい。オフ角は、７°以下であってもよいし、６°以下であってもよいし、４°以下であってもよい。

[0039] 炭化珪素単結晶基板１０の第１主面４１の最大径（直径）は、１００ｍｍ以上である。直径は１５０ｍｍ以上でもよいし、２００ｍｍ以上でもよいし、２５０ｍｍ以上でもよい。直径の上限は特に限定されないが、直径の上限はたとえば３００ｍｍであってもよい。次に、炭化珪素単結晶基板１０が反応室２０１内に配置される。図１に示されるように、炭化珪素単結晶基板１０は、サセプタプレート２１０の凹部内に配置される。

[0040] 次に、炭化珪素単結晶基板上に炭化珪素層を形成する工程（Ｓ２：図３）が実施される。具体的には、上述した製造装置２００を用いて、炭化珪素単結晶基板１０上に炭化珪素層２０がエピタキシャル成長によって形成される。たとえば反応室２０１の圧力が大気圧から１×１０^{-6}Ｐａ程度に低減された後、炭化珪素単結晶基板１０の昇温が開始される。昇温の途中において、キ

ャリアガス供給部２３４からキャリアガスである水素（H_2）ガスは反応室２０１に導入される。水素ガスの流量は、キャリアガス流量制御部２４４により調整される。

[0041] 炭化珪素単結晶基板１０の温度がたとえば１６００℃程度になった後、反応室２０１に、原料ガス、ドーパントガスおよびキャリアガスが供給される。具体的には、反応室２０１に、シランとアンモニアと水素とプロパンとを含む混合ガスを供給することにより、それぞれのガスが熱分解され、炭化珪素単結晶基板１０上に炭化珪素層２０が形成される。混合ガスのＣ／Ｓｉ比は、たとえば１．０であってもよい。

[0042] 図２に示されるように、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（第１値）をＸ軸とし、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した値（第２値）をＹ軸とする。炭化珪素層を形成する工程において、第１値および第２値は、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域（図２においてハッチングで示した領域）内に属する。第１座標（Ｘ１，Ｙ１）は、（０．０５，６．５×10^{-4}）である。第２座標（Ｘ２，Ｙ２）は、（０．０５，４．５×10^{-3}）である。第３座標（Ｘ３，Ｙ３）は、（０．２２，１．２×10^{-2}）である。第４座標（Ｘ４，Ｙ４）は、（０．２２，１．３×10^{-1}）である。

[0043] たとえば、キャリアガス流量制御部２４４を用いて、反応室２０１に供給されるキャリアガス（水素）の流量が１００ｓｌｍとなるように調整される。第２ガス流量制御部２４２を用いて、反応室２０１に供給される第２ガス（シランガス）の流量が１５０ｓｃｃｍとなるように調整される。第３ガス流量制御部２４３を用いて、第３ガス（アンモニアガス）の流量が１．１×10^{-2}ｓｃｃｍとなるよう調整される。この場合、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値は、０．１５％である。そのため、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（第１値）と、アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した値（第２値）とは、図２においてハッチングで示した領域内に属する。

[0044] アンモニアの流量（ｓｃｃｍ）は、６．５×１０$^{-4}$以上であってもよいし、４．５×１０$^{-3}$以上であってもよいし、１．１×１０$^{-2}$以上であってもよいし、１．２×１０$^{-2}$以上であってもよい。アンモニアの流量（ｓｃｃｍ）は、たとえば１．３×１０$^{-1}$以下であってもよい。シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（％）は、０．０５以上であってもよいし、０．１５以上であってもよい。シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（％）は、たとえば０．２２以下であってもよい。シランの流量は、たとえば３０ｓｃｃｍ以上２００ｓｃｃｍ以下であってもよい。水素の流量は、たとえば８０ｓｌｍ以上１４０ｓｌｍ以下であってもよい。

[0045] 炭化珪素層２０の成長速度は、８μｍ／ｈ以上であってもよいし、１５μｍ／ｈ以上であってもよいし、２５μｍ／ｈ以上であってもよいし、３３μｍ／ｈ以上であってもよい。炭化珪素層２０の成長速度は、５０μｍ／ｈ以下であってもよい。炭化珪素層２０の成長速度は、シランの流量に対する水素の流量により決定され得る。シランは原料ガスであるため、シランの流量が多い程、炭化珪素層の成長速度は高くなる。一方、水素は、炭化珪素をエッチングする性質を有するため、水素の流量が多い程、炭化珪素層の成長速度が低くなる。

[0046] 上述のように、反応室２０１は、炭化珪素単結晶基板１０上の第１加熱領域２１３と、第１加熱領域２１３よりも上流側に位置する第２加熱領域２１４とを含んでいてもよい。炭化珪素層２０を形成する工程において、第２加熱領域２１４の温度は、アンモニアの分解温度以上であってもよい。混合ガスの流れ方向において、第２加熱領域２１４の長さは、６０ｍｍ以上であってもよい。

[0047] 上述のように、シラン、プロパン、アンモニアおよび水素の混合ガスが反応室２０１に供給されることで、炭化珪素単結晶基板１０上に炭化珪素層２０が形成される。なお、プロパンの代わりに、メタン（CH_4）、エタン（C_2H_6）、アセチレン（C_2H_2）等が用いられてもよい。混合ガスが反応室２０１に供給されている間、炭化珪素単結晶基板１０は、回転軸２１２の周りを回

転していてもよい。以上により、炭化珪素単結晶基板１０と、炭化珪素層２０とを含む炭化珪素エピタキシャル基板１００（図５参照）が製造される。炭化珪素層２０は、炭化珪素単結晶基板１０に接する第４主面４４と、第４主面４４と反対側の第３主面４３とを有する。

[0048] 上記方法で製造された炭化珪素エピタキシャル基板１００によれば、炭化珪素層２０のキャリア濃度の平均値をある濃度範囲に維持しながら、炭化珪素層２０中のキャリア濃度の面内均一性を向上し、かつ炭化珪素層２０の表面の二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）を低減することができる。

[0049] 具体的には、炭化珪素層２０を形成する工程後において、炭化珪素層２０のキャリア濃度の平均値は、$１\times１０^{15}ｃｍ^{-3}$以上$２\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$以下である。キャリア濃度の面内均一性は、たとえば６％以下である。キャリア濃度の面内均一性は、キャリア濃度の標準偏差をキャリア濃度の平均値で除した値の百分率表記である。キャリア濃度は、たとえば水銀プローブ方式のＣ－Ｖ測定装置により測定され得る。具体的には、炭化珪素層２０の第３主面４３に一方のプローブが配置され、炭化珪素単結晶基板１０の第２主面４２に他方のプローブが配置される。一方のプローブの面積は、たとえば０．０１$ｃｍ^{2}$である。一方のプローブと他方のプローブとの間に電圧が印加され、一方のプローブと他方のプローブとの間のキャパシタンスが測定される。縦軸を$１／Ｃ^{2}$（キャパシタンスの二乗の逆数）とし、横軸をＶ（電圧）とし、測定データの直線の傾きから、キャリア濃度が求められる。キャリア濃度の測定深さは、印加電圧によって調整される。本実施形態においては、第３主面４３から第２主面４２に向かって１０μｍ程度以内である炭化珪素層２０の領域におけるキャリア濃度が測定される。

[0050] 第３主面４３の二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）は、たとえば０．４ｎｍ以下である。二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）は、二乗平均平方根粗さ（Ｒｑ）を３次元に拡張したパラメータである。二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）は、たとえば白色干渉顕微鏡により測定可能である。二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）の測定領域は、一辺が２５０μｍの正方形領域とすることができる。

[0051] （炭化珪素半導体装置の製造方法）

次に、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置３００の製造方法について説明する。

[0052] 本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、エピタキシャル基板準備工程（Ｓ１０：図６）と、基板加工工程（Ｓ２０：図６）とを主に有する。

[0053] まず、エピタキシャル基板準備工程（Ｓ１０：図６）が実施される。具体的には、前述した炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法によって、炭化珪素エピタキシャル基板１００が準備される（図５参照）。

[0054] 次に、基板加工工程（Ｓ２０：図６）が実施される。具体的には、炭化珪素エピタキシャル基板を加工することにより、炭化珪素半導体装置が製造される。「加工」には、たとえば、イオン注入、熱処理、エッチング、酸化膜形成、電極形成、ダイシング等の各種加工が含まれる。すなわち基板加工ステップは、イオン注入、熱処理、エッチング、酸化膜形成、電極形成およびダイシングのうち、少なくともいずれかの加工を含むものであってもよい。

[0055] 以下では、炭化珪素半導体装置の一例としてのＭＯＳＦＥＴ（Ｍｅｔａｌ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｆｉｅｌｄ Ｅｆｆｅｃｔ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）の製造方法を説明する。基板加工工程（Ｓ２０：図６）は、イオン注入工程（Ｓ２１：図６）、酸化膜形成工程（Ｓ２２：図６）、電極形成工程（Ｓ２３：図６）およびダイシング工程（Ｓ２４：図６）を含む。

[0056] まず、イオン注入工程（Ｓ２１：図６）が実施される。開口部を有するマスク（図示せず）が形成された第３主面４３に対して、たとえばアルミニウム（Ａｌ）等のｐ型不純物が注入される。これにより、ｐ型の導電型を有するボディ領域１３２が形成される。次に、ボディ領域１３２内の所定位置に、たとえばリン（Ｐ）等のｎ型不純物が注入される。これにより、ｎ型の導電型を有するソース領域１３３が形成される。次に、アルミニウム等のｐ型不純物がソース領域１３３内の所定位置に注入される。これにより、ｐ型の

導電型を有するコンタクト領域１３４が形成される（図７参照）。

[0057] 炭化珪素層２０において、ボディ領域１３２、ソース領域１３３およびコンタクト領域１３４以外の部分は、ドリフト領域１３１となる。ソース領域１３３は、ボディ領域１３２によってドリフト領域１３１から隔てられている。イオン注入は、炭化珪素エピタキシャル基板１００を３００℃以上６００℃以下程度に加熱して行われてもよい。イオン注入の後、炭化珪素エピタキシャル基板１００に対して活性化アニールが行われる。活性化アニールにより、炭化珪素層２０に注入された不純物が活性化し、各領域においてキャリアが生成される。活性化アニールの雰囲気は、たとえばアルゴン（Ａｒ）雰囲気でもよい。活性化アニールの温度は、たとえば１８００℃程度でもよい。活性化アニールの時間は、たとえば３０分程度でもよい。

[0058] 次に、酸化膜形成工程（Ｓ２２：図６）が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板１００が酸素を含む雰囲気中において加熱されることにより、第３主面４３上に酸化膜１３６が形成される（図８参照）。酸化膜１３６は、たとえば二酸化珪素（SiO_2）等から構成される。酸化膜１３６は、ゲート絶縁膜として機能する。熱酸化処理の温度は、たとえば１３００℃程度でもよい。熱酸化処理の時間は、たとえば３０分程度でもよい。

[0059] 酸化膜１３６が形成された後、さらに窒素雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、一酸化窒素（ＮＯ）、亜酸化窒素（N_2O）等の雰囲気中、１１００℃程度で１時間程度、熱処理が実施されてもよい。さらにその後、アルゴン雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、アルゴン雰囲気中、１１００～１５００℃程度で、１時間程度、熱処理が行われてもよい。

[0060] 次に、電極形成工程（Ｓ２３：図６）が実施される。第１電極１４１は、酸化膜１３６上に形成される。第１電極１４１は、ゲート電極として機能する。第１電極１４１は、たとえばＣＶＤ法により形成される。第１電極１４１は、たとえば不純物を含有し導電性を有するポリシリコン等から構成される。第１電極１４１は、ソース領域１３３およびボディ領域１３２に対面す

る位置に形成される。

[0061] 次に、第１電極１４１を覆う層間絶縁膜１３７が形成される。層間絶縁膜１３７は、たとえばＣＶＤ法により形成される。層間絶縁膜１３７は、たとえば二酸化珪素等から構成される。層間絶縁膜１３７は、第１電極１４１と酸化膜１３６とに接するように形成される。次に、所定位置の酸化膜１３６および層間絶縁膜１３７がエッチングによって除去される。これにより、ソース領域１３３およびコンタクト領域１３４が、酸化膜１３６から露出する。

[0062] たとえばスパッタリング法により当該露出部に第２電極１４２が形成される。第２電極１４２はソース電極として機能する。第２電極１４２は、たとえばチタン、アルミニウムおよびシリコン等から構成される。第２電極１４２が形成された後、第２電極１４２と炭化珪素エピタキシャル基板１００が、たとえば９００～１１００℃程度の温度で加熱される。これにより、第２電極１４２と炭化珪素エピタキシャル基板１００とがオーミック接触するようになる。次に、第２電極１４２に接するように、配線層１３８が形成される。配線層１３８は、たとえばアルミニウムを含む材料から構成される。

[0063] 次に、第２主面４２に第３電極１４３が形成される。第３電極１４３は、ドレイン電極として機能する。第３電極１４３は、たとえばニッケルおよびシリコンを含む合金（たとえばＮｉＳｉ等）から構成される。

[0064] 次に、ダイシング工程（Ｓ２４：図６）が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板１００がダイシングラインに沿ってダイシングされることにより、炭化珪素エピタキシャル基板１００が複数の半導体チップに分割される。以上より、炭化珪素半導体装置３００が製造される（図９参照）。

[0065] 上記において、ＭＯＳＦＥＴを例示して、本開示に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を説明したが、本開示に係る製造方法はこれに限定されない。本開示に係る製造方法は、たとえばＩＧＢＴ（Ｉｎｓｕｌａｔｅｄ Ｇａｔｅ Ｂｉｐｏｌａｒ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）、ＳＢＤ（Ｓｃｈｏｔｔｋｙ Ｂａｒｒｉｅｒ Ｄｉｏｄｅ）、サイリスタ、ＧＴＯ（Ｇａｔｅ Ｔｕｒ

ｎ　Ｏｆｆ　ｔｈｙｒｉｓｔｏｒ）、ＰｉＮダイオード等の各種炭化珪素半導体装置に適用可能である。

[0066] （評価）

（サンプル準備）

上述した炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法を用いて、サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板が製造された。サンプル１に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．０５％であり、NH_3流量は６．５×10^{-4}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は８μｍ／ｈである。サンプル２に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．０５％であり、NH_3流量は４．５×10^{-3}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は８μｍ／ｈである。サンプル３に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．２２％であり、NH_3流量は１．２×10^{-2}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は５０μｍ／ｈである。サンプル４に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．２２％であり、NH_3流量は１．３×10^{-1}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は５０μｍ／ｈである。サンプル５に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．１５％であり、NH_3流量は１．１×10^{-2}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は３３μｍ／ｈである。

[0067] サンプル６に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．０３％であり、NH_3流量は８×10^{-4}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は２μｍ／ｈ程度である。サンプル７に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．３７％であり、NH_3流量は７×10^{-2}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は９０μｍ／ｈである。サンプル８に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程のおける、SiH_4流量／H_2流量は０．１２％であり、NH_3流量は９×10^{-2}±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪

素層の成長速度は２５μｍ／ｈである。サンプル９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程における、ＳｉＨ$_4$流量／Ｈ$_2$流量は０．１２％であり、ＮＨ$_3$流量は１×１０$^{-3}$±２０％（ｓｃｃｍ）であり、炭化珪素層の成長速度は２５μｍ／ｈである。サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法において、Ｈ$_2$流量は１２０ｓｌｍとし、ＳｉＨ$_4$流量を変化させることで、ＳｉＨ$_4$流量／Ｈ$_2$流量を変化させた。

[0068] （測定）

サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板１００の炭化珪素層２０のキャリア濃度が水銀プローブ方式のＣ－Ｖ測定装置により測定された。第３主面４３の中心から半径６０ｍｍ以内の領域において、キャリア濃度が測定された。キャリア濃度の測定箇所は、第３主面４３の中心を通り径方向に平行な直線と、当該直線に対して垂直な直線上において、ほぼ等間隔に配置された複数の位置である。具体的には、キャリア濃度の測定位置は、第３主面４３の中心と、当該中心から径方向に１０ｍｍ、２０ｍｍ、３０ｍｍ、４０ｍｍ、５０ｍｍおよび６０ｍｍ離れた位置である。キャリア濃度の測定箇所は、計２５箇所である。キャリア濃度の面内均一性は、キャリア濃度の標準偏差をキャリア濃度の平均値で除することにより計算された。なお水銀側のプローブの面積は、たとえば０．０１ｃｍ^{2}である。

[0069] 白色干渉顕微鏡を用いて、第３主面４３の中央領域における二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）が測定された。二乗平均平方根偏差の測定領域は、一辺が２５０μｍの正方形領域である。二乗平均平方根偏差の測定位置は、第３主面４３の中心と、当該中心から径方向に５０ｍｍ離れた位置である。二乗平均平方根偏差の測定箇所は、計２箇所である。表１においては、Ｓｑの範囲が示されている。

[0070] （結果）

図１０は、サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程におけるＳｉＨ$_4$／Ｈ$_2$をＸ軸とし、ＮＨ$_3$をＹ軸として、ＸＹ平面座標にプロットした図である。座標１０１～１０９は、それぞれサンプル１～９に係る

炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法に対応している。

[0071] [表1]

	サンプル1	サンプル2	サンプル3	サンプル4	サンプル5	サンプル6	サンプル7	サンプル8	サンプル9
SiH_4/H_2 (%)	0.05	0.05	0.22	0.22	0.15	0.03	0.37	0.12	0.12
NH_3 (sccm)	6.5×10^{-4} ±20%	4.5×10^{-3} ±20%	1.2×10^{-2} ±20%	0.13 ±20%	1.1×10^{-2} ±20%	8×10^{-4} ±20%	0.07 ±20%	0.09 ±20%	1×10^{-3} ±20%
キャリア濃度均一性 sigma/average(%)	<6	<6	<3	<3	<2	~7	<3	<2	<6
成長速度 (μm/h)	8	8	50	50	33	~2	90	25	25
Sq@250μm角 (nm)	0.1~0.4	0.1~0.4	0.1~0.4	0.1~0.4	0.1~0.4	0.1~0.4	>0.8	0.1~0.4	0.1~0.4
平均キャリア濃度 (cm^{-3})	1×10^{15}	2×10^{16}	1×10^{15}	2×10^{16}	3×10^{15}	3×10^{15}	3×10^{15}	$>3\times10^{16}$	$<1\times10^{15}$

[0072] 表１に示されるように、サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の炭化珪素層中のキャリア濃度の面内均一性は、それぞれ、６％未満、６

％未満、３％未満、３％未満、２％未満、７％程度、３％未満、２％未満および６％未満であった。サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の炭化珪素層の第３表面の二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）は、それぞれ、０．１～０．４ｎｍ、０．１～０．４ｎｍ、０．１～０．４ｎｍ、０．１～０．４ｎｍ、０．１～０．４ｎｍ、０．８ｎｍ超、０．１～０．４ｎｍおよび０．１～０．４ｎｍであった。サンプル１～９に係る炭化珪素エピタキシャル基板の炭化珪素層中の平均キャリア濃度は、１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$、２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$、１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$、２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$、３×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$、３×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$、３×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$、３×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$超および１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$未満であった。

[0073] 表１に示されるように、サンプル１～５に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、平均キャリア濃度が１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であり、キャリア濃度均一性の値が６％以下であり、成長速度は８μｍ／ｈ以上であり、かつ二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）が０．４ｎｍ以下であった。サンプル６に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造条件では、成長速度が２μｍ／ｈであり、高速成長を実現することができなかった。またサンプル６に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、キャリア濃度の面内均一性の値が７％程度であり、キャリア濃度は面内において十分に均一ではなかった。サンプル７に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、二乗平均平方根偏差（Ｓｑ）が０．８ｎｍよりも大きく、平坦性が十分高くなかった。サンプル８に係る炭化珪素エピタキシャル基板においては、平均キャリア濃度が２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$より大きくなり、パワーデバイスで要求される平均キャリア濃度の範囲を実現することができなかった。サンプル９に係る炭化珪素エピタキシャル基板においては、平均キャリア濃度が１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$より小さくなり、パワーデバイスで要求される平均キャリア濃度の範囲を実現することができなかった。

[0074] 以上の結果より、サンプル１～５に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、平均キャリア濃度が１×１０^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$以下であること

を維持しつつ、良好なキャリア濃度の面内均一性と、高い成長速度と、良好な平坦性とを実現することができた。言い換えれば、炭化珪素エピタキシャル基板の製造工程において、シランの流量を水素の流量で除した値を百分率表記した値（第１値）およびアンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した値（第２値）が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域（図２においてハッチングで示した領域）内に属するように、シランの流量、水素の流量およびアンモニアの流量を制御することにより、良好なキャリア濃度の面内均一性と、高い成長速度と、良好な平坦性とを有する炭化珪素エピタキシャル基板が製造可能であることが実証された。

[0075] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施形態ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0076] １０　炭化珪素単結晶基板、２０　炭化珪素層、４１　第１主面、４２　第２主面、４３　第３主面、４４　第４主面、１００　炭化珪素エピタキシャル基板、１３１　ドリフト領域、１３２　ボディ領域、１３３　ソース領域、１３４　コンタクト領域、１３６　酸化膜、１３７　層間絶縁膜、１３８　配線層、１４１　第１電極、１４２　第２電極、１４３　第３電極、２００　製造装置、２０１　反応室、２０３　発熱体、２０４　石英管、２０５　断熱材、２０６　誘導加熱コイル、２０７　ガス導入口、２０８　ガス排気口、２１０　サセプタプレート、２１１　加熱部、２１２　回転軸、２１３　第１加熱領域、２１４　第２加熱領域、２２１，２２２　長さ、２３１　第１ガス供給部、２３２　第２ガス供給部、２３３　第３ガス供給部、２３４　キャリアガス供給部、２３５　ガス供給部、２４１　第１ガス流量制御部、２４２　第２ガス流量制御部、２４３　第３ガス流量制御部、２４４　キャリアガス流量制御部、２４５　制御部、３００　炭化珪素半導体装

置。

請求の範囲

[請求項1] 炭化珪素単結晶基板を反応室内に配置する工程と、

前記反応室に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給することにより、前記炭化珪素単結晶基板上に炭化珪素層を形成する工程とを備え、

前記炭化珪素単結晶基板の最大径は、１００ｍｍ以上であり、

前記炭化珪素層を形成する工程において、前記シランの流量を前記水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、前記アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、前記第１値および前記第２値は、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属し、

前記第１座標は、（０．０５，６．５×10^{-4}）であり、

前記第２座標は、（０．０５，４．５×10^{-3}）であり、

前記第３座標は、（０．２２，１．２×10^{-2}）であり、

前記第４座標は、（０．２２，１．３×10^{-1}）であり、

前記炭化珪素層を形成する工程後において、前記炭化珪素層のキャリア濃度の平均値は、１×10^{15}ｃｍ$^{-3}$以上２×10^{16}ｃｍ$^{-3}$以下である、炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項2] 前記反応室は、前記炭化珪素単結晶基板上の第１加熱領域と、前記第１加熱領域よりも上流側に位置する第２加熱領域とを含み、

前記炭化珪素層を形成する工程において、前記第２加熱領域の温度は、アンモニアの分解温度以上である、請求項１に記載の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項3] 前記混合ガスの流れ方向において、前記第２加熱領域の長さは、６０ｍｍ以上である、請求項２に記載の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法。

[請求項4] 請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の方法で製造された炭化

珪素エピタキシャル基板を準備する工程と、

前記炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程とを備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

[請求項5] 炭化珪素単結晶基板を加熱可能に構成された反応室と、

前記反応室に、シランとアンモニアと水素とを含む混合ガスを供給可能に構成されたガス供給部と、

前記ガス供給部から前記反応室に供給される前記混合ガスの流量を制御可能に構成された制御部とを備え、

前記制御部は、前記シランの流量を前記水素の流量で除した値を百分率表記した第１値をＸ軸とし、前記アンモニアの流量をｓｃｃｍを単位として表記した第２値をＹ軸としたとき、前記第１値および前記第２値が、ＸＹ平面座標における、第１座標、第２座標、第３座標および第４座標に囲まれた四角形の領域内に属するように、前記シランの流量、前記アンモニアの流量および前記水素の流量を制御可能に構成されており、

前記第１座標は、（０．０５，６．５×１０$^{-4}$）であり、

前記第２座標は、（０．０５，４．５×１０$^{-3}$）であり、

前記第３座標は、（０．２２，１．２×１０$^{-2}$）であり、

前記第４座標は、（０．２２，１．３×１０$^{-1}$）である、炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置。

[請求項6] 前記反応室は、前記炭化珪素単結晶基板が配置される領域上の第１加熱領域と、前記第１加熱領域よりも上流側に位置する第２加熱領域とを含み、

前記第２加熱領域は、アンモニアの分解温度以上の温度に加熱可能に構成されている、請求項５に記載の炭化珪素エピタキシャル基板の製造装置。

[請求項7] 前記混合ガスの流れ方向において、前記第２加熱領域の長さは、６０ｍｍ以上である、請求項６に記載の炭化珪素エピタキシャル基板の

製造装置。

[図1]

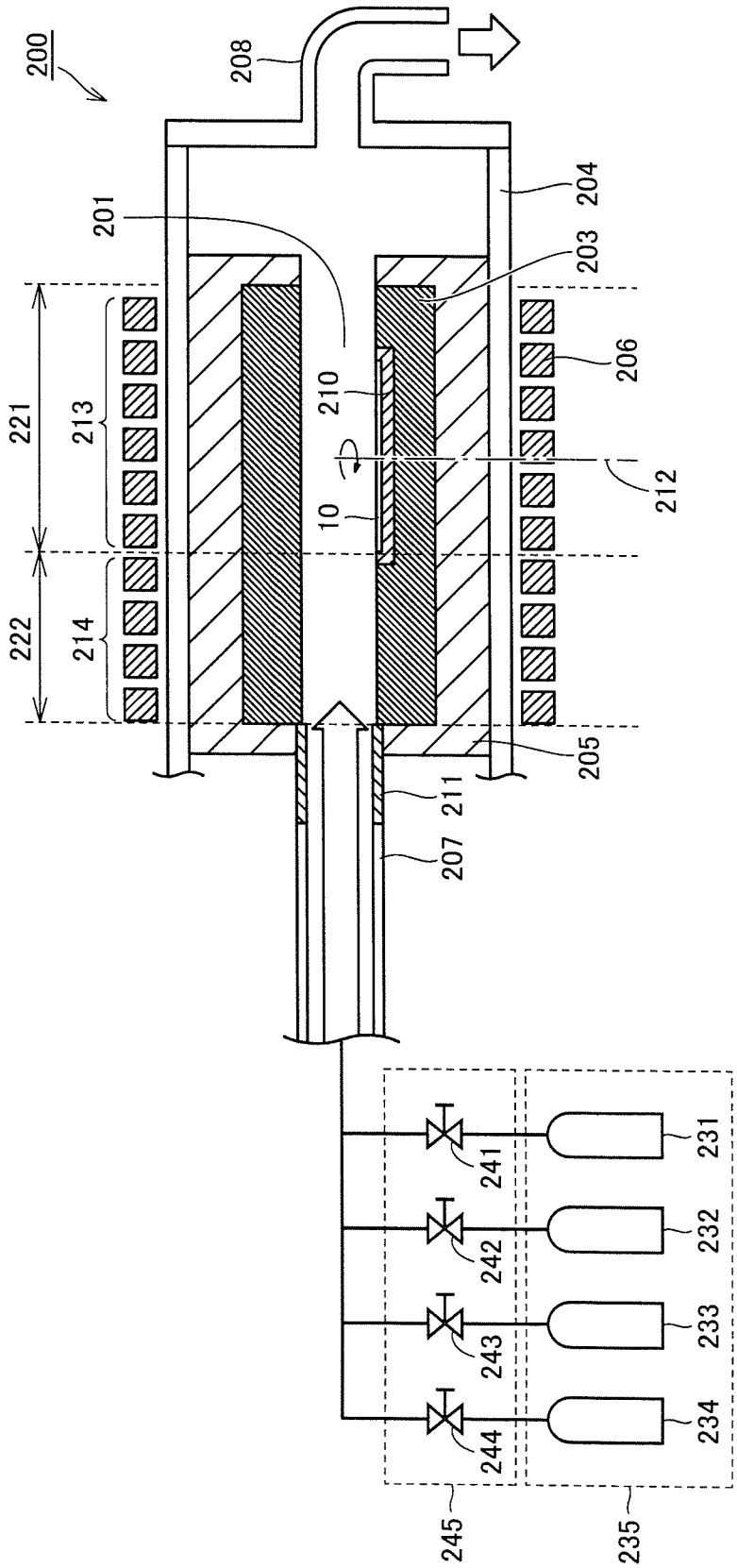
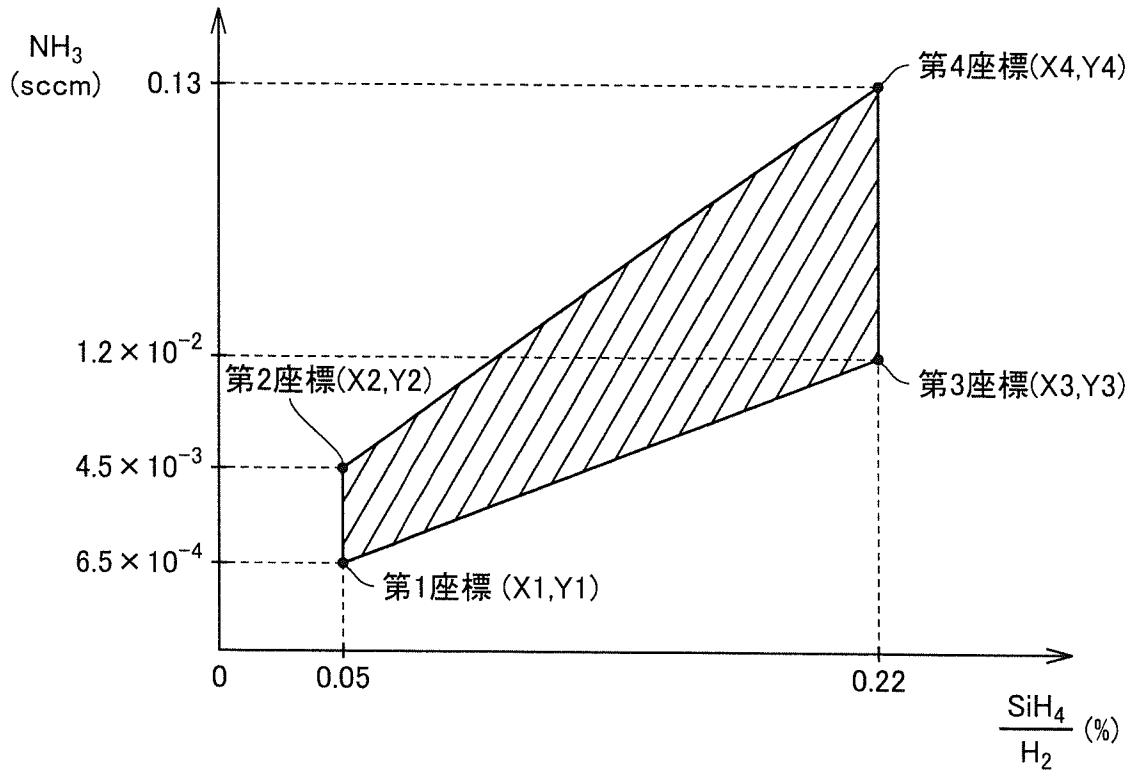

200
208
201
204
203
206
210
212
10
221
213
222
214
205
211
207
241
242
243
244
231
232
233
234
245
235

FIG.1

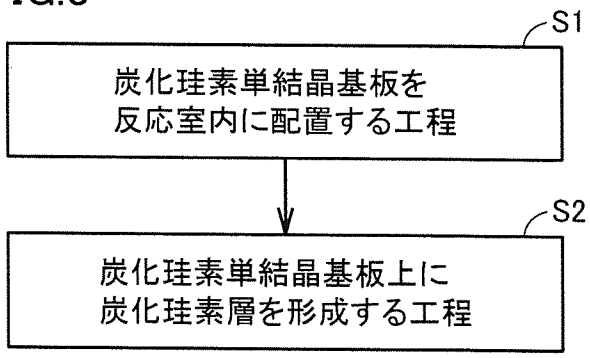
[図2]

FIG.2



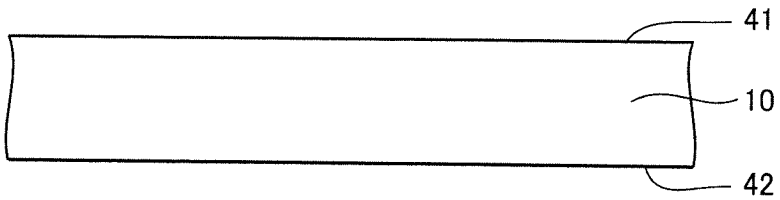
[図3]

FIG.3



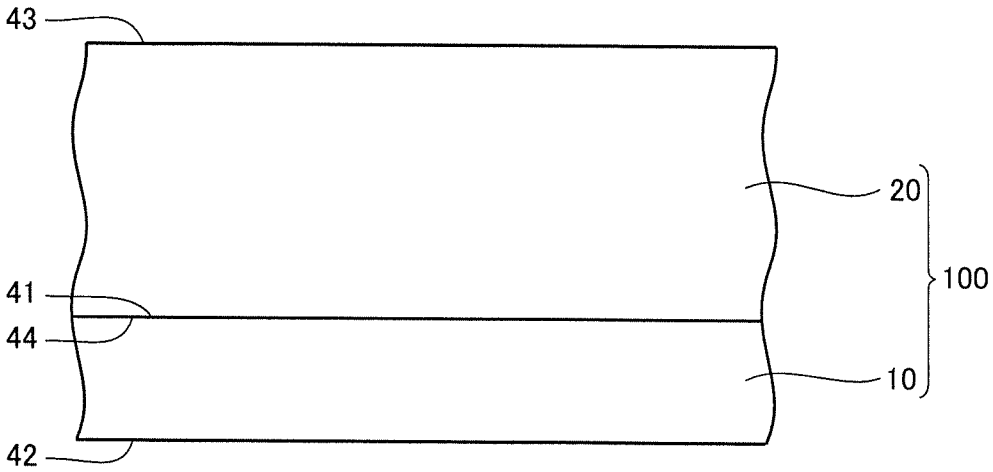
[図4]

FIG.4



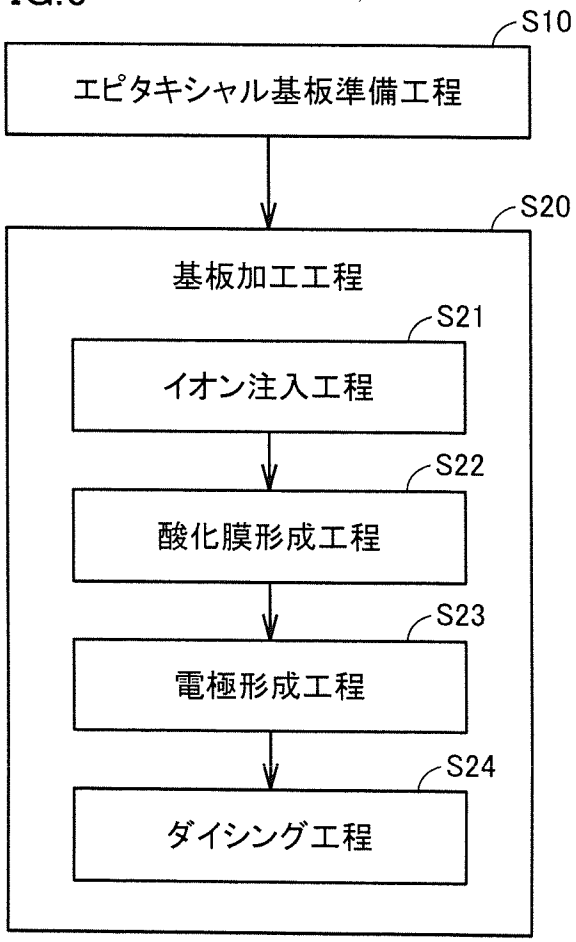
[図5]

FIG.5



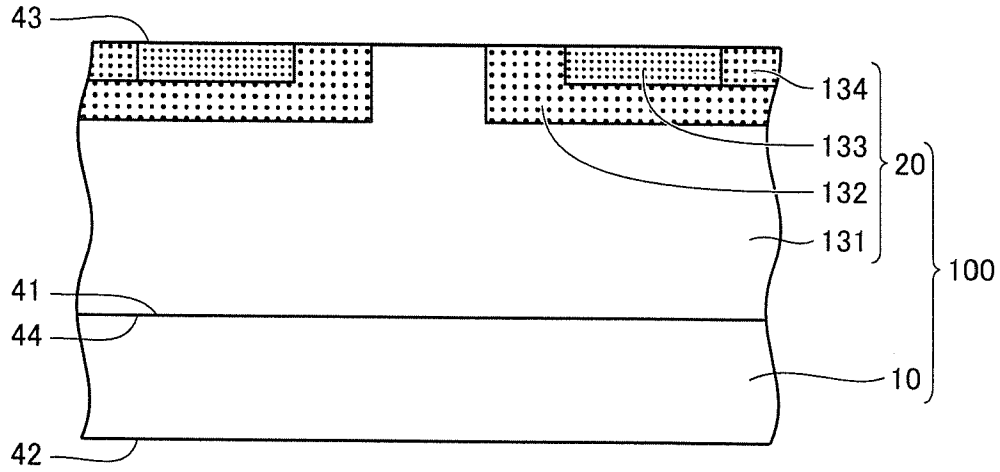
[図6]

FIG.6



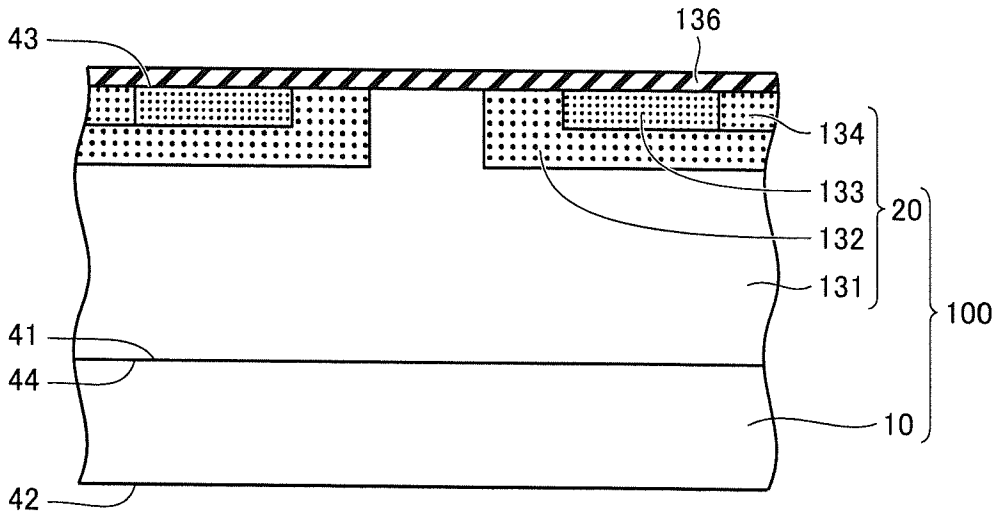
[図7]

FIG.7



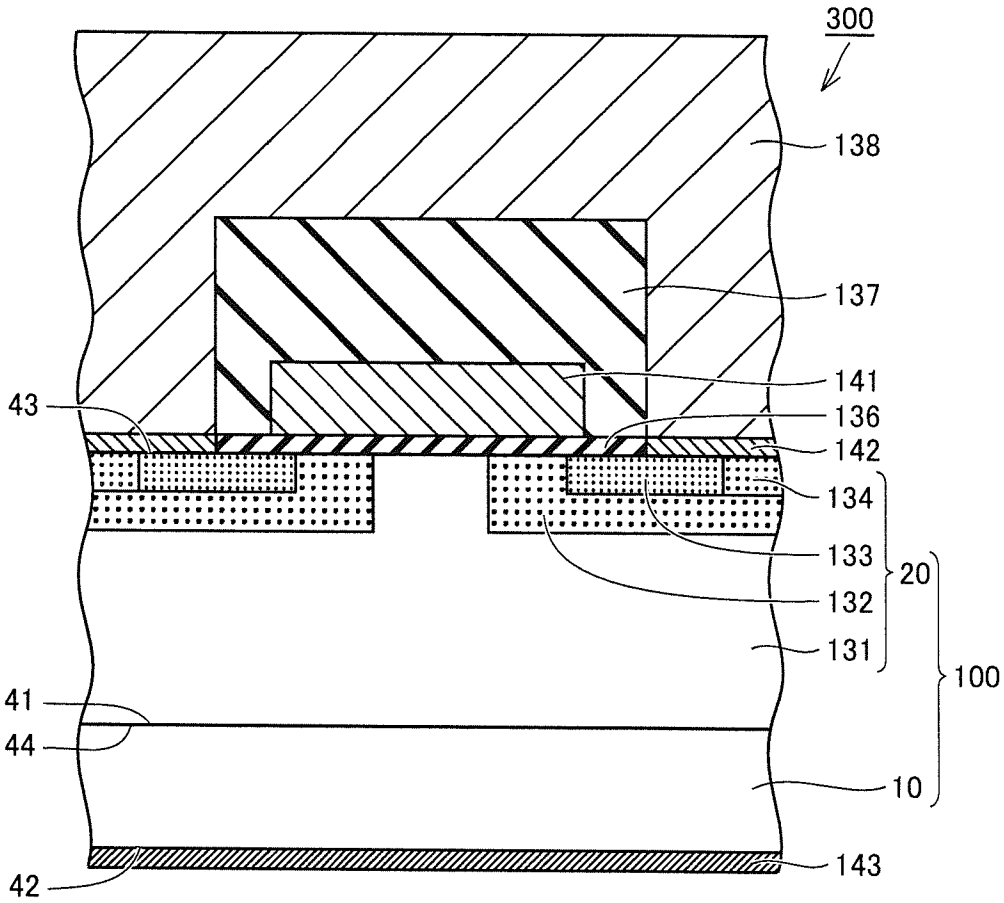
[図8]

FIG.8



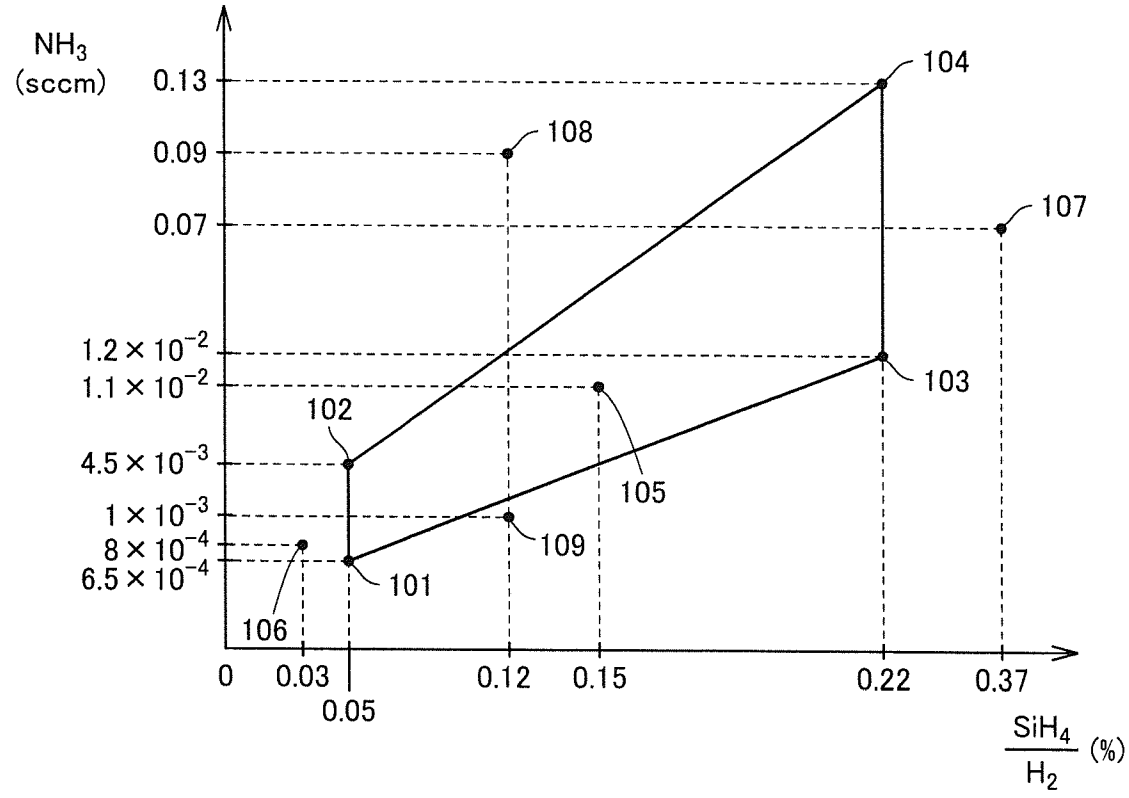
[図9]

FIG.9



[図10]

FIG.10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/072625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/205(2006.01)i, *C30B29/36*(2006.01)i, *H01L21/20*(2006.01)i, *H01L21/336*(2006.01)i, *H01L29/12*(2006.01)i, *H01L29/78*(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)
H01L21/205, C30B29/36, H01L21/20, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/78

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-170891 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 September 2014 (18.09.2014), entire text; all drawings & US 2014/0252376 A1 entire text; all drawings	1-7
A	JP 2014-154666 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 25 August 2014 (25.08.2014), entire text; all drawings & US 2015/0221498 A1 entire text; all drawings & WO 2014/122854 A1 & EP 2955743 A1 & TW 201432793 A & CN 104885197 A & KR 10-2015-0114461 A	1-7

☒ 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
"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	Date of mailing of the international search report
28 October 2016 (28.10.16)	08 November 2016 (08.11.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/072625

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-232799 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 11 December 2014 (11.12.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2006-261612 A (Sixon Inc.), 28 September 2006 (28.09.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０７２６２５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/205(2006.01)i, C30B29/36(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/12(2006.01)i, H01L29/78(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.　H01L21/205, C30B29/36, H01L21/20, H01L21/336, H01L29/12, H01L29/78

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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
A	JP 2014-170891 A (住友電気工業株式会社) 2014.09.18, 全文、全図 & US 2014/0252376 A1, 全文、全図	1-7
A	JP 2014-154666 A (住友電気工業株式会社) 2014.08.25, 全文、全図 & US 2015/0221498 A1, 全文、全図 & WO 2014/122854 A1 & EP 2955743 A1 & TW 201432793 A & CN 104885197 A & KR 10-2015-0114461 A	1-7

☑　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	国際調査報告の発送日
２８．１０．２０１６	０８．１１．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　５Ｏ　９２７６
正山　旭
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 2014-232799 A (住友電気工業株式会社) 2014.12.11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2006-261612 A (株式会社シクスオン) 2006.09.28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7