(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
2015 年 4 月 2 日(02.04.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/045652 A1

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

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/071161

(22) 国際出願日: 2014 年 8 月 11 日(11.08.2014)

(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 2013-198352 2013 年 9 月 25 日(25.09.2013) 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: 田中 聡(TANAKA, So); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 西口 太郎(NISHIGUCHI, Taro); 〒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). 宮崎 富仁(MIYAZAKI, Tomihito); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (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, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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.

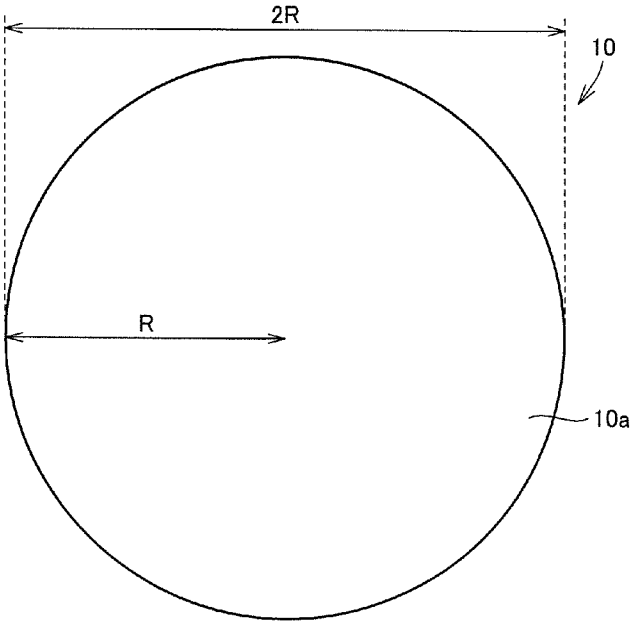
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

[続葉有]

(54) **Title**: SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, AND SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR DEVICE PROVIDED WITH SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

(54) 発明の名称 : 炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置

FIG.1



(57) **Abstract**: A silicon carbide semiconductor substrate (10) is provided with a first principal surface (10a) and a second principal surface (10b) opposite the first principal surface (10a), and contains nitrogen as an impurity. The quotient obtained by dividing the thickness (d) of the silicon carbide semiconductor substrate (10) by the maximum diameter (2R) of the first principal surface (10a) is 4×10^{-3} or less, and the concentration of nitrogen is 1×10^{18} cm^{-3} or more. As a result, the present invention provides a silicon carbide semiconductor substrate capable of reducing buckling, and a silicon carbide semiconductor device provided with the silicon carbide semiconductor substrate.

(57) 要約: 炭化珪素半導体基板（１０）は、第１の主面（１０ａ）と、第１の主面（１０ａ）と反対の第２の主面（１０ｂ）と備え、不純物として窒素を含む。炭化珪素半導体基板（１０）の厚み（ｄ）を第１の主面（１０ａ）の最大径（２Ｒ）で除した比は４×１０$^{-3}$以下であり、かつ窒素の濃度は１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である。これにより、反りを低減可能な炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置を提供する。

WO 2015/045652 A1

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 ：

炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置

技術分野

[0001] この発明は、炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置に関し、特定的には、反りを低減可能な炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、ＭＯＳＦＥＴ（Ｍｅｔａｌ　Ｏｘｉｄｅ　Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ　Ｆｉｅｌｄ　Ｅｆｆｅｃｔ　Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）などの半導体装置の高耐圧化、低損失化、高温環境下での使用などを可能とするため、半導体装置を構成する材料として炭化珪素の採用が進められつつある。炭化珪素は、従来から半導体装置を構成する材料として広く使用されている珪素に比べてバンドギャップが大きいワイドバンドギャップ半導体である。そのため、半導体装置を構成する材料として炭化珪素を採用することにより、半導体装置の高耐圧化、オン抵抗の低減などを達成することができる。また、炭化珪素を材料として採用した半導体装置は、珪素を材料として採用した半導体装置に比べて、高温環境下で使用された場合の特性の低下が小さいという利点も有している。

[0003] たとえば、特開２０１２－２１４３７６号公報（特許文献１）には、直径が７５ミリメートルであり、かつ厚みが６００μｍである炭化珪素ウエハの製造方法が記載されている。当該炭化珪素ウエハの製造方法によれば、炭化珪素ブールを薄切りにしてウエハ状とした後、ラッピング下方力をウエハを折り曲げる下方力未満に制限しつつ炭化珪素ウエハがラッピングされる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１２－２１４３７６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 炭化珪素半導体基板を加熱する工程において炭化珪素半導体基板に反りが発生すると、炭化珪素エピタキシャル層を成膜する場合、炭化珪素エピタキシャル層の膜厚のばらつきが発生する。また炭化珪素エピタキシャル層の成膜後における炭化珪素半導体基板の反りは、炭化珪素エピタキシャル層の割れやはがれの原因となる。さらに活性化アニールや電極の合金化アニールを行う場合、炭化珪素半導体基板の反りは電気的特性の不均一性の原因となる。さらに静電チャック方式で炭化珪素半導体基板を吸着する際に、炭化珪素半導体基板の反りが大きいと、静電チャックに吸着できない場合も発生する。

[0006] 特開２０１２－２１４３７６号公報に記載のように炭化珪素半導体基板の直径が７５ｍｍ程度であり、かつ厚みが６００μｍ程度の場合であれば、上記のような製造上の問題はあまり発生していなかった。しかしながら、直径がたとえば１００ｍｍ超程度と大きく、かつ厚みが６００μｍ未満程度に小さい炭化珪素半導体基板において、炭化珪素半導体基板の反りが原因となって上述のような製造上の問題が顕著になっており、炭化珪素半導体基板の反りの低減が求められている。

[0007] この発明は、上記のような課題を解決するために成されたものであり、その目的は、反りを低減可能な炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る炭化珪素半導体基板は、第１の主面と、第１の主面と反対の第２の主面と備え、不純物として窒素を含む。炭化珪素半導体基板の厚みを第１の主面の最大径で除した比は４×１０^{-3}以下であり、かつ窒素の濃度は$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上である。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、反りを低減可能な炭化珪素半導体基板および炭化珪素半導体基板を備えた炭化珪素半導体装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の構造を概略的に説明するための平面模式図である。

[図2]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の構造を概略的に説明するための断面模式図である。

[図3]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の製造方法の第１の工程を概略的に説明するための断面模式図である。

[図4]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の製造方法の第２の工程を概略的に説明するための断面模式図である。

[図5]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の製造方法の第３の工程を概略的に説明するための断面模式図である。

[図6]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の製造方法の第４の工程を概略的に説明するための断面模式図である。

[図7]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の反りを測定する方法を概略的に説明するための断面模式図である。

[図8]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の反りを測定する方法を概略的に説明するための断面模式図である。

[図9]本発明の実施の形態２に係る炭化珪素半導体装置の構造を概略的に説明するための断面模式図である。

[図10]本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板に含まれる窒素の濃度と、ｄ／２Ｒとの関係を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。また、本明細書中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｛｝でそれぞれ示している。また、負の指数については、結晶学上、”－”（バー）を数字の上に付けることになっているが、本明細書中では、数字の前に負の符号を付けている。また角度の記載には、全方位角を３６０度とする系を用いている。

[0012] ［本願発明の実施形態の説明］

発明者らは、炭化珪素半導体基板の反りを低減する方法について鋭意検討の結果、以下の知見を得て本発明を見出した。

[0013] 近年、炭化珪素半導体基板は、表面の直径が大きくなり、厚みが小さくなる傾向にある。表面の直径が大きくなり、厚みが小さくなると、炭化珪素半導体基板は反りやすくなる。炭化珪素半導体基板の表面の最大径を２Ｒとし、厚みをｄとした場合、ｄ／２Ｒが４．０×１０$^{-3}$以下程度になると、上述したような製造上の問題が顕著になってくる。

[0014] 炭化珪素半導体基板が含む窒素などの不純物の濃度が高くなると炭化珪素半導体基板が硬くなり、炭化珪素半導体基板の反りを低減することができる。発明者は鋭意研究の結果、炭化珪素半導体基板が含む窒素の濃度を１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上とすることにより、炭化珪素半導体基板を硬化させ、たとえば３５０℃程度の高温時における炭化珪素半導体基板の反りを効果的に低減することができることを見出した。

[0015] （１）実施の形態に係る炭化珪素半導体基板１０は、第１の主面１０ａと、第１の主面１０ａと反対の第２の主面１０ｂと備え、不純物として窒素を含む。炭化珪素半導体基板１０の厚みｄを第１の主面１０ａの最大径２Ｒで除した比は４×１０$^{-3}$以下であり、かつ窒素の濃度は１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りを低減することができる。

[0016] （２）上記（１）に係る炭化珪素半導体基板１０において好ましくは、第１の主面１０ａの最大径２Ｒは、１００ｍｍよりも大きい。これにより、第１の主面１０ａの最大径２Ｒが１００ｍｍよりも大きい炭化珪素半導体基板１０の反りを効果的に低減することができる。

[0017] （３）上記（１）または（２）に係る炭化珪素半導体基板１０において好

ましくは、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄは、２５０μｍ以上６００μｍ未満である。これにより、２５０μｍ以上６００μｍ未満の厚みを有する炭化珪素半導体基板１０の反りを効果的に低減することができる。

[0018] （４）上記（１）～（３）のいずれかに係る炭化珪素半導体基板１０において好ましくは、窒素の濃度は、$５\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りをより効果的に低減することができる。

[0019] （５）上記（１）～（４）のいずれかに係る炭化珪素半導体基板１０において好ましくは、窒素の濃度は、$２\times１０^{19}ｃｍ^{-3}$以下である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の結晶性の劣化を抑制することができる。

[0020] （６）上記（１）～（５）のいずれかに係る炭化珪素半導体基板１０において好ましくは、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄを第１の主面１０ａの最大径２Ｒで除した比は$１．６\times１０^{-3}$以上である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りをより効果的に低減することができる。

[0021] （７）上記（１）～（６）のいずれかに係る炭化珪素半導体基板１０において好ましくは、炭化珪素半導体基板１０は、炭化珪素からなる種結晶２を用いた昇華法によって種結晶２の主面２ａ上に成長させた炭化珪素単結晶１の中で、種結晶２の主面２ａから主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られたものである。炭化珪素単結晶１の中で種結晶２の主面２ａに近い部分は、結晶欠陥が多くなり炭化珪素半導体基板１０の結晶性が劣化しやすいと考えられる。種結晶２の主面２ａから主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた炭化珪素単結晶１の部分をスライスすることにより、結晶性の良好な炭化珪素半導体基板１０を得ることができる。

[0022] （８）実施の形態に係る炭化珪素半導体装置１００は、上記（１）～（７）のいずれかに係る炭化珪素半導体基板１０と、電極１４とを備える。電極１４は、炭化珪素半導体基板１０に接して設けられている。これにより、炭化珪素半導体装置１００の反りを効果的に低減することができる。

[0023] ［本願発明の実施形態の詳細］

（実施の形態１）

まず、本発明の実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０の構成について説明する。

[0024] 図１および図２を参照して、実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０は、たとえばポリタイプ４Ｈの六方晶炭化珪素単結晶からなり、第１の主面１０ａと、第１の主面１０ａと反対側の第２の主面１０ｂとを有している。炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａの半径Ｒは、たとえば７５ｍｍであり、最大径２Ｒは、たとえば１５０ｍｍである。好ましくは、炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａの最大径２Ｒは、１００ｍｍより大きく、より好ましくは１５０ｍｍ以上であり、さらに好ましくは２００ｍｍ以上である。炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａは、たとえば｛０００１｝面または｛０００１｝面から８°以下オフした面である。具体的には、第１の主面１０ａは、たとえば（０００１）面または（０００１）面から８°以下程度オフした面であり、第２の主面１０ｂは、（０００－１）面または（０００－１）面から８°以下程度オフした面である。第１の主面１０ａは、（０００－１）面または（０００－１）面から８°以下程度オフした面であり、第２の主面１０ｂは、（０００１）面または（０００１）面から８°以下程度オフした面であってもよい。

[0025] 図２を参照して、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄは、たとえば２５０μｍ以上６００μｍ未満であり、好ましくは３００μｍ以上６００μｍ未満であり、さらに好ましくは２５０μｍ以上５００μｍ以下であり、さらに好ましくは３５０μｍ以上５００μｍ以下である。炭化珪素半導体基板１０の厚みｄを第１の主面１０ａの最大径２Ｒで除した比（以後、ｄ／２Ｒとも称す）は4×10^{-3}以下である。たとえば、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄが５００μｍであり、かつ第１の主面１０ａの最大径２Ｒが１５０ｍｍの場合、ｄ／２Ｒは約3.3×10^{-3}である。また、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄが２５０μｍであり、かつ第１の主面１０ａの最大径２Ｒが１００ｍｍの場合、ｄ／２Ｒは2.5×10^{-3}である。さらに、炭化珪素半導体基板１０の厚

みｄが３５０μｍであり、かつ第１の主面１０ａの最大径２Ｒが１５０ｍｍの場合、ｄ／２Ｒは約２．３×１０$^{-3}$である。実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０において、ｄ／２Ｒは、１．６×１０$^{-3}$以上４×１０$^{-3}$以下であり、好ましくは、ｄ／２Ｒは２．０×１０$^{-3}$以上４．０×１０$^{-3}$以下であり、より好ましくはｄ／２Ｒは１．６×１０$^{-3}$以上３．３×１０$^{-3}$以下であり、さらに好ましくはｄ／２Ｒは２．０×１０$^{-3}$以上３．３×１０$^{-3}$以下である。上記ｄ／２Ｒの範囲は、それぞれ炭化珪素基板１０の厚みが２５０μｍ以上６００μｍ以下、３００μｍ以上６００μｍ以下、２５０μｍ以上５００μｍ以下および３５０μｍ以上５００μｍ以下の場合に対応する。

[0026] 炭化珪素半導体基板１０は、不純物として窒素を含んでいる。不純物としての窒素の濃度は、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上であり、好ましくは、５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である。より好ましくは、不純物としての窒素の濃度は、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下であり、さらに好ましくは、５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下である。なお、炭化珪素半導体基板１０の窒素濃度は、ＳＩＭＳ（Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ－ｍｉｃｒｏｐｒｏｂｅ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｅｒ）により測定可能である。

[0027] 次に、実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の製造方法について説明する。

まず、炭化珪素単結晶成長装置としての坩堝２０が準備される。図３を参照して、坩堝２０は、たとえばグラファイトからなり、種結晶保持部２１と原料収容部２２とを主に有している。種結晶保持部２１は、単結晶炭化珪素からなる種結晶２を保持可能に構成されている。原料収容部２２は、多結晶炭化珪素からなる炭化珪素原料３を配置可能に構成されている。坩堝の外径はたとえば１６０ｍｍ程度であり、内径はたとえば１２０ｍｍ程度である。坩堝の周囲を取り囲むように加熱部（図示せず）が設けられている。加熱部は、たとえば誘導加熱用コイルや抵抗加熱式ヒータなどである。加熱部は坩堝２０を炭化珪素の昇華温度まで昇温可能に構成されている。

[0028] 次に、種結晶２および炭化珪素原料３が坩堝２０に配置される。たとえば

ポリタイプ４Ｈの六方晶炭化珪素からなる種結晶２が種結晶保持部２１に固定される。種結晶２は、第３の主面２ａと、第３の主面２ａと反対側の第４の主面２ｂとを有する。種結晶２の第４の主面２ｂは、種結晶保持部２１と接し、種結晶保持部２１により保持されている。炭化珪素原料３は、原料収容部２２に収容される。炭化珪素原料３は、たとえば多結晶炭化珪素からなる。種結晶２の第３の主面２ａが、炭化珪素原料３の表面に対向するように、炭化珪素原料３が原料収容部２２に配置される。以上のように、炭化珪素からなる種結晶２と、炭化珪素原料３とが坩堝２０に配置される。

[0029] 種結晶２の第３の主面２ａの最大径は、たとえば１５０ｍｍである。種結晶２の第３の主面２ａの最大径は、好ましくは１００ｍｍ以上であり、より好ましくは１５０ｍｍ以上である。種結晶２の第３の主面２ａは、たとえば（０００－１）面であり、種結晶２の第４の主面２ｂは、たとえば（０００１）面である。

[0030] 次に、炭化珪素単結晶成長工程が実施される。具体的には、炭化珪素原料３および種結晶２が配置された坩堝２０が、たとえばヘリウムガスあるいはアルゴンガス、および窒素ガスを含む雰囲気ガス中において、常温から炭化珪素結晶が昇華する温度（たとえば２３００℃）まで加熱される。種結晶２は、炭化珪素原料３よりも低い温度になるように加熱される。つまり、炭化珪素原料３から種結晶２に向かう方向に沿って温度が低くなるように坩堝２０が加熱される。次に、坩堝２０内の圧力をたとえば１ｋＰａにまで低減する。これにより、坩堝２０内の炭化珪素原料３が昇華して種結晶２の第３の主面２ａ上に再結晶することにより、種結晶２の第３の主面２ａ上に炭化珪素単結晶１が成長し始める。炭化珪素単結晶１の成長は、たとえば１００時間程度実施される。以上により、種結晶２の第３の主面２ａ上に炭化珪素単結晶１が成長する（図４参照）。

[0031] 図４に示すように、炭化珪素単結晶成長工程において、種結晶２の第３の主面２ａと平行な方向に沿った炭化珪素単結晶１の最大寸法が、種結晶２の第３の主面２ａの最大寸法よりも大きくなるように、炭化珪素単結晶１を成

長させてもよい。炭化珪素単結晶１の結晶成長が完了後、炭化珪素単結晶１が種結晶２とともに坩堝２０から取り出される。図５を参照して、種結晶２の第３の主面２ａに対して垂直な方向に沿った、種結晶２の外周端部における炭化珪素単結晶１の厚み（つまり炭化珪素単結晶１の直胴部の長さＬ）は、たとえば２５ｍｍ以上であり、好ましくは４０ｍｍ以上であり、より好ましくは１００ｍｍ以上である。種結晶２の第３の主面２ａに対して垂直な方向に沿った、炭化珪素単結晶１の最大厚み（つまり炭化珪素単結晶１の結晶長Ｈ）は、たとえば３０ｍｍ以上であり、好ましくは５０ｍｍ以上であり、より好ましくは１１０ｍｍ以上である。

[0032] 次に、炭化珪素単結晶をスライスする工程が実施される。図５および図６を参照して、たとえばワイヤーソーにより炭化珪素単結晶１がスライスされる。炭化珪素単結晶１は、たとえば種結晶２の第３の主面２ａの法線に交差する面（好ましくは、当該法線と垂直な面）でスライスされる。種結晶２の第３の主面２ａから、種結晶２の法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分である第２の炭化珪素単結晶部１２を切り取り、当該第２の炭化珪素単結晶部１２を種結晶２の第３の主面２ａの法線に交差する面でスライスすることにより、複数枚の炭化珪素半導体基板（図１参照）が得られる。また種結晶２の第３の主面２ａから法線方向に沿って５ｍｍまでの部分（５ｍｍ未満の部分）である第１の炭化珪素単結晶部１１は、炭化珪素半導体基板として用いられず廃棄される。言い換えれば、種結晶２の第３の主面２ａの法線方向に沿った、種結晶２の第３の主面２ａから第１の炭化珪素単結晶部１１の切断面までの距離Ｈ１は５ｍｍ以上であり、好ましくは９ｍｍ以上である。好ましくは、直胴部の長さをＬとし、種結晶２の第３の主面２ａから炭化珪素単結晶２の成長方向に沿った距離をＸとした場合、Ｘ／Ｌが０．２以上であり、よりこの好ましくは０．３８以上である。

[0033] 次に、実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板の作用効果について説明する。

実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、炭化珪素半導体基

板１０の厚みｄを第１の主面１０ａの最大径２Ｒで除した比は４×１０$^{-3}$以下であり、かつ窒素の濃度は１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りを効果的に低減することができる。

[0034] また実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、第１の主面１０ａの最大径２Ｒは、１００ｍｍよりも大きい。これにより、第１の主面１０ａの最大径２Ｒが１００ｍｍよりも大きい炭化珪素半導体基板１０の反りを効果的に低減することができる。

[0035] さらに実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄは、２５０μｍ以上６００μｍ未満である。これにより、２５０μｍ以上６００μｍ未満の厚みを有する炭化珪素半導体基板１０の反りを効果的に低減することができる。

[0036] さらに実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、窒素の濃度は、５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上ある。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りをより効果的に低減することができる。

[0037] さらに実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、窒素の濃度は、２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の結晶性の劣化を抑制することができる。

[0038] さらに実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、炭化珪素半導体基板１０の厚みｄを第１の主面１０ａの最大径２Ｒで除した比は１．６×１０$^{-3}$以上である。これにより、炭化珪素半導体基板１０の反りをより効果的に低減することができる。

[0039] さらに実施の形態１に係る炭化珪素半導体基板１０によれば、炭化珪素半導体基板１０は、炭化珪素からなる種結晶２を用いた昇華法によって種結晶２の主面２ａ上に成長させた炭化珪素単結晶１の中で、種結晶２の主面２ａから主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られたものである。炭化珪素単結晶１の中で種結晶２の主面２ａに近い部分は、結晶欠陥が多くなり炭化珪素半導体基板１０の結晶性が劣化しやすいと考えられる。種結晶２の主面２ａから主面２ａの法線方向に沿って

５ｍｍ以上離れた炭化珪素単結晶１の部分をスライスすることにより、結晶性の良好な炭化珪素半導体基板１０を得ることができる。

[0040] （実施の形態２）

次に、本発明の実施の形態２に係る炭化珪素半導体装置の構成について説明する。

[0041] 図９を参照して、実施の形態２に係る炭化珪素半導体装置としてのＭＯＳＦＥＴ１００は、炭化珪素基板７と、ゲート電極４０と、ゲート絶縁膜９０と、層間絶縁膜６０と、ソース電極５０と、表面保護電極７０と、ドレイン電極１４と、裏面保護電極１５とを主に有している。

[0042] 炭化珪素基板７は、実施の形態１で説明した炭化珪素半導体基板１０と、炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａ上に設けられた炭化珪素エピタキシャル層５とを主に有している。炭化珪素エピタキシャル層５は、ドリフト領域８１と、ボディ領域８２と、ソース領域８３と、コンタクト領域８４とを有している。ドリフト領域８１は、窒素などの不純物を含むｎ型（第１導電型）の領域である。ドリフト領域８１における不純物濃度は、たとえば５．０×10^{15}ｃｍ$^{-3}$程度である。ボディ領域８２はｐ型（第２導電型）を有する領域である。ボディ領域８２に含まれる不純物は、たとえばＡｌ（アルミニウム）、Ｂ（ホウ素）などである。ボディ領域８２に含まれる不純物濃度は、たとえば１×10^{17}ｃｍ$^{-3}$程度である。

[0043] ソース領域８３はｎ型領域である。ソース領域８３は、ボディ領域８２に取り囲まれるように、ボディ領域８２の内部に形成されている。ソース領域８３は、たとえばＰ（リン）などの不純物をドリフト領域８１に含まれる不純物よりも高い濃度、たとえば１×10^{20}ｃｍ$^{-3}$の濃度で含んでいる。ソース領域８３は、ボディ領域８２によりドリフト領域８１と隔てられている。

[0044] コンタクト領域８４はｐ型領域である。コンタクト領域８４は、ソース領域８３およびボディ領域８２に接して形成されている。コンタクト領域８４は、たとえばＡｌ、Ｂなどの不純物をボディ領域８２に含まれる不純物よりも高い濃度で含んでいる。コンタクト領域８４におけるＡｌ、Ｂなどの不純

物濃度はたとえば１×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$である。

[0045] ゲート絶縁膜９０は、炭化珪素基板７の第５の主面７ａに接触し、一方のソース領域８３の上部表面から他方のソース領域８３の上部表面にまで延在するように炭化珪素基板７の第５の主面７ａ上に形成されている。ゲート絶縁膜９０は、ソース領域８３、ボディ領域８２およびドリフト領域８１に接して形成されている。ゲート絶縁膜９０は、たとえば二酸化珪素からなっている。

[0046] ゲート電極４０は、一方のソース領域８３上から他方のソース領域８３上にまで延在するように、ゲート絶縁膜９０に接触して配置されている。ゲート電極４０は、ソース領域８３、ボディ領域８２およびドリフト領域８１の上方にゲート絶縁膜９０を介して形成されている。ゲート電極４０は、ポリシリコン、ＡｌなどのＡｌ導電体からなっている。

[0047] ソース電極５０は、一対のソース領域８３上のそれぞれから、ゲート絶縁膜９０から離れる向きにコンタクト領域８４上にまで延在するとともに、炭化珪素基板７の第５の主面７ａに接触して配置されている。ソース電極５０は、ソース領域８３およびコンタクト領域８４と接する。

[0048] 層間絶縁膜６０は、ゲート電極４０およびゲート絶縁膜９０と接して設けられている。層間絶縁膜６０は、ゲート電極４０とソース電極５０とを電気的に絶縁している。表面保護電極７０は、ソース電極５０に接触して形成されており、ＡｌなどのＡｌ導電体からなっている。そして、表面保護電極７０は、ソース電極５０を介してソース領域８３と電気的に接続されている。

[0049] ドレイン電極１４は、炭化珪素半導体基板１０の第２の主面１０ｂ上に接触して設けられている。このドレイン電極１４は、ＮｉＳｉ（ニッケルシリサイド）など、炭化珪素半導体基板１０とオーミックコンタクト可能な他の材料からなっていてもよい。これにより、ドレイン電極１４は炭化珪素半導体基板１０と電気的に接続されている。

[0050] 裏面保護電極１５は、ドレイン電極１４の炭化珪素半導体基板１０とは反対側の主面に接して形成されている。裏面保護電極１５は、たとえばＴｉ層

と、Ｐｔ層と、Ａｕ層とからなる積層構造を有している。

[0051] 次に、実施の形態２に係る炭化珪素半導体装置の一例としてのＭＯＳＦＥＴ１００の製造方法について説明する。

[0052] まず、実施の形態１で説明した方法により炭化珪素半導体基板１０が準備される。次に、炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａ上に炭化珪素エピタキシャル層５を、たとえばＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法により形成する。具体的には、炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａ上に、水素（H_2）を含むキャリアガスと、モノシラン（SiH_4）、プロパン（C_3H_8）および窒素（N_2）などを含む原料ガスとが供給され、炭化珪素半導体基板１０がたとえば１５００℃以上１７００℃以下程度に加熱される。これにより、炭化珪素エピタキシャル層５が炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａ上に形成される。以上により、第５の主面７ａと、第５の主面７ａと反対側の第２の主面１０ｂとを有する炭化珪素基板７が準備される。

[0053] 次に、炭化珪素基板７の第５の主面７ａに対してイオン注入が実施される。たとえばＡｌ（アルミニウム）イオンが、炭化珪素基板７の第５の主面７ａに対して注入されることにより、炭化珪素エピタキシャル層５内に導電型がｐ型のボディ領域８２が形成される。次に、たとえばＰ（リン）イオンが、上記Ａｌイオンの注入深さよりも浅い深さでボディ領域８２内に注入されることにより、導電型がｎ型のソース領域８３が形成される。そして、たとえばＡｌイオンが、ソース領域８３内にさらに注入されることにより、ソース領域８３と隣接しつつソース領域８３と同等の深さを有し、導電型がｐ型のコンタクト領域８４が形成される。また、炭化珪素エピタキシャル層５において、ボディ領域８２、ソース領域８３およびコンタクト領域８４のいずれも形成されない領域は、ドリフト領域８１となる。

[0054] 次に、活性化アニール工程が実施される。炭化珪素基板７をたとえば１７００℃の温度で３０分間程度加熱することにより、上記イオン注入工程にて導入された不純物が活性化される。これにより、不純物が導入された領域に

おいて所望のキャリアが生成する。

[0055] 次に、ゲート酸化膜形成工程が実施される。たとえば酸素を含む雰囲気中において炭化珪素基板７を加熱することにより、炭化珪素基板７の第５の主面７ａを覆うように二酸化珪素からなるゲート絶縁膜９０が形成される。次に、ゲート電極形成工程が実施される。たとえばＬＰＣＶＤ（Ｌｏｗ Ｐｒｅｓｓｕｒｅ Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法により、ゲート絶縁膜９０上に接触し、不純物を含むポリシリコンからなるゲート電極４０が形成される。次に、層間絶縁膜形成工程が実施される。たとえばＰ（Ｐｌａｓｍａ）－ＣＶＤ法により、二酸化珪素からなる層間絶縁膜６０が、ゲート絶縁膜９０およびゲート電極４０を覆うように形成される。

[0056] 次に、ソース電極形成工程が実施される。ソース電極５０を形成すべき領域において層間絶縁膜６０およびゲート絶縁膜９０が除去され、ソース領域８３およびコンタクト領域８４が露出した領域が形成される。次に、たとえばスパッタリングにより、上記領域において、たとえばＮｉＳｉまたはＴｉＡｌＳｉ（チタンアルミニウムシリコン）を含む金属層が形成される。上記金属層が加熱されることにより、上記金属層の少なくとも一部がシリサイド化し、ソース領域８３とオーミック接合するソース電極５０が形成される。ソース電極５０に接して表面保護電極７０が形成される。

[0057] 次に、ドレイン電極形成工程が実施される。ドレイン電極形成工程では、たとえばＮｉＳｉからなる金属層が形成される。当該金属層は、たとえばＴｉＡｌＳｉなどであっても構わない。金属層の形成は、好ましくはスパッタリング法により実施される。金属層の形成は蒸着により実施されても構わない。上記金属層が加熱されることにより、上記金属層の少なくとも一部がシリサイド化し、炭化珪素半導体基板１０とオーミック接合するドレイン電極１４が形成される。ドレイン電極１４に接して裏面保護電極１５が形成される。

[0058] 実施の形態２に係るＭＯＳＦＥＴ１００は、炭化珪素基板７と、ドレイン

電極１４とを有する。ドレイン電極１４は、炭化珪素半導体基板１０に接して設けられている。これにより、ＭＯＳＦＥＴ１００の反りを効果的に低減することができる。

[0059] なお上記実施の形態におけるｎ型とｐ型とが入れ替えられた構成のＭＯＳＦＥＴが用いられてもよい。また上記においては、本発明の炭化珪素半導体装置の一例として、プレーナ型のＭＯＳＦＥＴについて説明したが、炭化珪素半導体装置は、たとえばトレンチ型のＭＯＳＦＥＴ、ＩＧＢＴ（Ｉｎｓｕｌａｔｅｄ Ｇａｔｅ Ｂｉｐｏｌａｒ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ、絶縁ゲートバイポ-ラトランジスタ）やショットキーバリアダイオードなどであっても構わない。

実施例 １

[0060] （試料の準備）

まず、実施の形態１で説明した方法により、本発明例に係る炭化珪素半導体基板（サンプル１～サンプル１２およびサンプル２４～サンプル３１）を準備した。具体的には、第３の主面２ａの直径が約１５０ｍｍの種結晶２を用いて、昇華法により種結晶２の第３の主面２ａ上に炭化珪素単結晶１を成長させた。図６を参照して、種結晶２の第３の主面２ａから５ｍｍ以上離れた位置で炭化珪素単結晶１を切断し、種結晶２の第３の主面２ａから５ｍｍ以上離れた第２の炭化珪素単結晶部１２と、種結晶２の第３の主面２ａから５ｍｍまでの第１の炭化珪素単結晶部１１とした。第２の炭化珪素単結晶部１２を種結晶２の第３の主面２ａの法線と垂直な面でスライスすることにより、本発明例に係る炭化珪素半導体基板１０を準備した。同様に、比較例に係る炭化珪素半導体基板（サンプル１３～サンプル２３およびサンプル３２～サンプル３３）を準備した。図４を参照して、本発明例に係る炭化珪素単結晶１を昇華法により製造する工程において、窒素濃度を１％以上５％以下程度とし、窒素ガスの流量を１０ｓｃｃｍ以上５０ｓｃｃｍ以下程度とした。一方、比較例に係る炭化珪素単結晶１を昇華法により製造する工程において、窒素濃度を０．５％程度とし、窒素ガスの流量を５ｓｃｃｍ程度とした

。

[0061] [表1]

サンプル番号	d [μm]	2R [mm]	d/2R [×10^{-3}]	窒素濃度 [cm^{-3}]	評価結果
サンプル 1	521.15	130.05	4.007	1.98×10^{19}	A
サンプル 2	517.07	150.12	3.444	1.90×10^{19}	A
サンプル 3	521.02	150.43	3.464	3.40×10^{18}	A
サンプル 4	521.47	150.43	3.467	1.70×10^{19}	A
サンプル 5	511.00	150.40	3.398	1.02×10^{19}	A
サンプル 6	515.00	140.23	3.673	5.40×10^{18}	A
サンプル 7	484.00	150.40	3.218	1.87×10^{19}	A
サンプル 8	517.58	160.30	3.229	1.10×10^{18}	B
サンプル 9	517.24	150.12	3.445	4.00×10^{18}	B
サンプル 10	620.82	150.12	4.135	2.80×10^{18}	B
サンプル 11	521.01	150.43	3.464	4.90×10^{18}	B
サンプル 12	510.00	150.40	3.391	4.40×10^{18}	B
サンプル 13	519.83	150.43	3.456	9.20×10^{17}	C
サンプル 14	520.07	150.43	3.457	8.00×10^{16}	C
サンプル 15	521.09	150.43	3.464	6.00×10^{17}	C
サンプル 16	520.20	150.43	3.458	9.60×10^{17}	C
サンプル 17	520.63	150.40	3.462	5.60×10^{17}	C
サンプル 18	568.00	150.40	3.777	8.00×10^{17}	C
サンプル 19	487.00	150.40	3.238	2.80×10^{17}	C
サンプル 20	472.00	150.40	3.138	5.20×10^{17}	C
サンプル 21	483.00	150.40	3.211	8.00×10^{17}	C
サンプル 22	487.00	150.40	3.238	2.80×10^{17}	C
サンプル 23	472.00	150.40	3.138	5.20×10^{17}	C
サンプル 24	363.07	150.35	2.415	1.89×10^{19}	A
サンプル 25	353.07	150.35	2.348	1.20×10^{19}	A
サンプル 26	353.07	150.35	2.348	4.00×10^{18}	B
サンプル 27	318.07	150.35	2.116	5.00×10^{18}	B
サンプル 28	353.07	150.35	2.348	1.60×10^{18}	B
サンプル 29	304.00	150.35	2.022	2.40×10^{18}	B
サンプル 30	314.00	150.35	2.088	3.20×10^{18}	B
サンプル 31	263.07	150.35	1.750	4.60×10^{18}	B
サンプル 32	324.00	150.35	2.155	8.80×10^{17}	C
サンプル 33	233.07	150.35	1.550	8.00×10^{17}	C

[0062] 表１に示すように、本発明例に係るサンプル１～サンプル１２およびサンプル２４～サンプル３１に係る炭化珪素半導体基板１０の厚みを２６３μｍ

以上６２１μｍ以下程度とし、第１の主面１０ａの最大径２Ｒを１３０ｍｍ以上１６１ｍｍ以下程度とし、ｄ／２Ｒを、１．７５×10^{-3}以上４．１４×10^{-3}以下程度とした。また、本発明例に係るサンプル１～サンプル１２およびサンプル２４～サンプル３１の炭化珪素半導体基板１０の含有窒素濃度を１．１０×10^{18}ｃｍ$^{-3}$以上１．９８×10^{19}ｃｍ$^{-3}$以下程度とした。一方、比較例に係るサンプル１３～サンプル２３およびサンプル３２～サンプル３３の炭化珪素半導体基板１０の含有窒素濃度を９．６０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以下程度とした。炭化珪素半導体基板１０の窒素濃度をＳＩＭＳにより測定した。ＳＩＭＳ測定は炭化珪素半導体基板１０の（０００１）面に対して行われた。

[0063] （試験方法）

上記サンプル１～サンプル３３に係る炭化珪素半導体基板１０を用いて、静電チャック吸着試験および反り評価を実施した。図７および図８を参照して、炭化珪素半導体基板１０を静電チャック３０の表面３１に配置した。静電チャック３０の内部に設けられているヒータ３４を用いて、静電チャック３０および炭化珪素半導体基板１０を４４０℃程度に加熱した。静電チャック３０内部に配置されている第１の電極３２および第２の電極３３の間に電圧を印加させることにより、炭化珪素半導体基板１０を静電チャック３０の表面３１に固着させた。静電チャック３０は、炭化珪素半導体基板１０と静電チャック３０の表面３１との間の静電容量を測定可能なセンサ（図示せず）を有しており、当該センサにより炭化珪素半導体基板１０と静電チャック３０の表面３１との間の静電容量を測定する。たとえば炭化珪素半導体基板１０が大きく反っており、静電チャック３０により強固に固定されていない場合は、静電容量が大きくなり、炭化珪素半導体基板１０があまり反っておらず、静電チャック３０により強固に固定されている場合は、静電容量が小さくなる。つまり、静電チャック吸着試験において合格である炭化珪素半導体基板１の反りは小さく、静電チャック吸着試験において不合格である炭化珪素半導体基板１の反りは大きいと判断できる。静電容量は、炭化珪素半導体基板１０の導電率、厚みおよび静電チャック３０の表面３１に接する面の

膜構造に依存する。静電チャック吸着試験において合格時における静電容量を１００％とすると、不合格時における静電容量は２０％～５０％程度である。

[0064] また炭化珪素半導体基板１０の反りを目視で観察した。図７および図８を参照し、静電チャック３０の内部に設けられているヒータ３４を用いて、静電チャック３０および炭化珪素半導体基板１０を４４０℃程度に加熱した状態で炭化珪素半導体基板１０の反りを目視で観測した。炭化珪素半導体基板１０の反りは、静電チャック３０の表面３１と平行な方向に観測し、反り量ｈが炭化珪素半導体基板１０の厚み以下である場合を合格とし、炭化珪素半導体基板１０の厚みより大きい場合を不合格とした。図７を参照して、炭化珪素半導体基板１０の中央部が静電チャック３０の表面３１に接し、外周部が表面３１に接しないように炭化珪素半導体基板１０が静電チャック３０の表面３１に配置されている場合の炭化珪素半導体基板１０の反り量は、炭化珪素半導体基板１０の第２の主面１０ｂの静電チャック３０の表面３１から最も離れた位置（最大位置）から静電チャック３０の表面３１位置までの距離である。また図８を参照して、炭化珪素半導体基板１０の外周部が静電チャック３０の表面３１に接し、中央部が表面３１に接しないように炭化珪素半導体基板１０が静電チャック３０の表面３１に配置されている場合の炭化珪素半導体基板１０の反り量は、炭化珪素半導体基板１０の第２の主面１０ｂの静電チャック３０の表面３１から最も離れた位置（最大位置）から静電チャック３０の表面３１から最も近い位置（最小位置）までの距離である。

[0065] 図７および図８に示すように、炭化珪素半導体基板１０の第１の主面１０ａが（０００１）面（つまり珪素面）であり、かつ第２の主面１０ｂが（０００－１）面（つまり炭素面）である場合、（０００１）面が凸になり、かつ（０００－１）面が凹になるように炭化珪素半導体基板１０が反ることが観測された。

[0066] 静電チャック吸着試験および反り目視試験の双方において合格となったサンプルの評価結果をＡとした。静電チャック吸着試験において合格であるが

、反り目視試験において不合格であったサンプルの評価結果をＢとした。静電チャック吸着試験および反り目視試験の双方において不合格となったサンプルの評価結果をＣとした。

[0067] （結果）

図１０および表１を参照して、評価結果について説明する。図１０において、評価結果がＡのサンプルを丸で示し、評価結果がＢのサンプルを三角で示し、評価結果がＣのサンプルをバツで示している。図１０に示すように、評価結果がＡまたはＢである炭化珪素半導体基板１０は、窒素濃度が１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下の領域に位置し、評価結果がＣである炭化珪素半導体基板１０は、窒素濃度が１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$未満の領域に位置する。さらに窒素濃度が５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下の領域には、評価結果がＡである炭化珪素半導体基板１０のみが位置する。

[0068] 以上の結果より、炭化珪素半導体基板１０の含有窒素濃度を１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上とすることにより炭化珪素半導体基板１０の反りを低減可能であることが確認された。また炭化珪素半導体基板１０の含有窒素濃度を５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上とすることにより炭化珪素半導体基板１０の反りをさらに低減可能であることが確認された。

実施例 2

[0069] （試料の準備）

図５および図６を参照して、坩堝を用いて、昇華法により種結晶２の第３の主面２ａ上に炭化珪素単結晶１を成長させた。炭化珪素単結晶１の直胴部の長さＬを２５．０ｍｍとした。炭化珪素単結晶１を種結晶２とともに坩堝から取り出し、炭化珪素単結晶１を炭化珪素単結晶１の成長方向と垂直な面でスライスし、厚さが０．８ｍｍである２０枚の炭化珪素半導体基板１０を準備した（サンプル３４～サンプル５３）。図５に示すように、種結晶２と炭化珪素単結晶１との接触面の位置をＸ＝０とした。種結晶２の第３の主面２ａに接する炭化珪素単結晶１の領域から切り出した炭化珪素半導体基板１０をサンプル５３とし、種結晶２の第３の主面２ａから１６ｍｍ離れた炭化

珪素単結晶１の領域から切り出した炭化珪素半導体基板１０をサンプル３４とした。言い換えれば、図６を参照して、第１の炭化珪素単結晶部１１の第１の領域Ｓ１を切り取ってサンプル５３とし、第２の炭化珪素単結晶部１２の第２の領域Ｓ２０を切り取ってサンプル３４とした。直胴部の長さをＬとし、種結晶２の第３の主面２ａから炭化珪素単結晶２の成長方向に沿った距離をＸとした場合、Ｘが５．６ｍｍから１６．０ｍｍまでの炭化珪素半導体基板１０をサンプル３４～サンプル４７とし、Ｘが０．８ｍｍから４．８ｍｍまでの炭化珪素半導体基板１０をサンプル４８～サンプル５３とした。別の見方をすれば、Ｘ／Ｌが０．２２から０．６４までの炭化珪素半導体基板１０をサンプル３４～サンプル４７とし、Ｘ／Ｌが０．０３から０．１９までの炭化珪素半導体基板１０をサンプル４８～サンプル５３とした。

[0070] （試験方法）

サンプル３４～サンプル５３（サンプル３５、サンプル３７、サンプル４０～４１およびサンプル５０を除く）に係る炭化珪素半導体基板１０の反りを室温で測定した。またサンプル３８～３９、サンプル４２～４３、サンプル４８およびサンプル５３に対して上述した静電チャック吸着試験を実施した。静電チャック吸着試験の評価結果の基準は実施例１と同様である。

[0071]

[表2]

サンプル番号	X [mm]	L [mm]	X/L	反り [μm]	評価結果
サンプル 34	16.0	25.0	0.64	16.44	−
サンプル 35	15.2	25.0	0.61	−	−
サンプル 36	14.4	25.0	0.58	15.58	−
サンプル 37	13.6	25.0	0.54	−	−
サンプル 38	12.8	25.0	0.51	16.96	A
サンプル 39	12.0	25.0	0.48	16.41	A
サンプル 40	11.2	25.0	0.45	−	−
サンプル 41	10.4	25.0	0.42	−	−
サンプル 42	9.6	25.0	0.38	17.89	A
サンプル 43	8.8	25.0	0.35	17.96	B
サンプル 44	8.0	25.0	0.32	16.53	−
サンプル 45	7.2	25.0	0.29	16.92	−
サンプル 46	6.4	25.0	0.26	17.99	−
サンプル 47	5.6	25.0	0.22	18.46	−
サンプル 48	4.8	25.0	0.19	19.01	C
サンプル 49	4.0	25.0	0.16	19.97	−
サンプル 50	3.2	25.0	0.13	−	−
サンプル 51	2.4	25.0	0.10	21.94	−
サンプル 52	1.6	25.0	0.06	18.78	−
サンプル 53	0.8	25.0	0.03	20.09	C

[0072] （結果）

表２に示すように、サンプル３４～サンプル４７に係る炭化珪素半導体基板１０の反りは約１５．５μｍ以上約１８．５μｍ以下と小さい値を示した。一方、サンプル４８～サンプル５３に係る炭化珪素半導体基板１０の反りは約１８．７μｍ以上２２．０μｍ以下程度と大きな値を示した。また、サンプル３８、サンプル３９およびサンプル４２に係る炭化珪素半導体基板１０の静電チャック吸着試験の評価結果はＡであり、サンプル４３に係る炭化珪素半導体基板１０の静電チャック吸着試験の評価結果はＢであり、サンプル４８およびサンプル５３に係る炭化珪素半導体基板１０の静電チャック吸着試験の評価結果はＣであった。

[0073] つまり、種結晶２の第３の主面２ａから第３の主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体

基板１０（つまり、サンプル３４～サンプル４７に係る炭化珪素半導体基板１０）の反りは小さく、静電チャック吸着試験の評価結果はＡまたはＢであった。一方、種結晶２の第３の主面２ａから第３の主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍまでの部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０（つまり、サンプル４８～サンプル５３に係る炭化珪素半導体基板１０）の反りは大きく、静電チャック吸着試験の評価結果はＣであった。別の見方をすれば、Ｘ／Ｌが０．２以上の炭化珪素単結晶１の部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０（つまり、サンプル３４～サンプル４７に係る炭化珪素半導体基板１０）の反りは小さく、静電チャック吸着試験の評価結果はＡまたはＢであった。一方、Ｘ／Ｌが０．２未満の炭化珪素単結晶１の部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０（つまり、サンプル４８～サンプル５３に係る炭化珪素半導体基板１０）の反りは大きく、静電チャック吸着試験の評価結果はＣであった。

[0074] 以上の結果より、炭化珪素単結晶１の中で、種結晶２の第３の主面２ａから第３の主面２ａの法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０の反りを低減可能であることが確認された。また炭化珪素単結晶１の中で、種結晶２の第３の主面２ａから第３の主面２ａの法線方向に沿って９ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０の反りをさらに低減可能であることが確認された。

[0075] また表２に示すように、種結晶２の第３の主面２ａから第３の主面２ａの法線方向に沿って９ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０（つまり、サンプル３４～サンプル４２に係る炭化珪素半導体基板１０）の静電チャック吸着試験の評価結果はＡのみであった。別の見方をすれば、Ｘ／Ｌが０．３８以上の炭化珪素単結晶１の部分をスライスすることにより得られた炭化珪素半導体基板１０（つまり、サンプル３４～サンプル４２に係る炭化珪素半導体基板１０）の静電チャック吸着試験の評価結果はＡのみであった。

[0076] 今回開示された実施の形態および実施例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説明ではなくて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

[0077] １　炭化珪素単結晶、２　種結晶、２Ｒ　最大径、２ａ　第３の主面（主面）、２ｂ　第４の主面、３　炭化珪素原料、５　炭化珪素エピタキシャル層、７　炭化珪素基板、７ａ　第５の主面、１０　炭化珪素半導体基板、１０ａ　第１の主面、１０ｂ　第２の主面、１１　第１の炭化珪素単結晶部、１２　第２の炭化珪素単結晶部、１４　ドレイン電極（電極）、１５　裏面保護電極、２０　坩堝、２１　種結晶保持部、２２　原料収容部、３０　静電チャック、３１　表面、３２　第１の電極、３３　第２の電極、３４　ヒータ、４０　ゲート電極、５０　ソース電極、６０　層間絶縁膜、７０　表面保護電極、８１　ドリフト領域、８２　ボディ領域、８３　ソース領域、８４　コンタクト領域、９０　ゲート絶縁膜、１００　炭化珪素半導体装置（ＭＯＳＦＥＴ）、Ｈ　結晶長、Ｌ　直胴部の長さ、Ｒ　半径、ｄ　厚み、ｈ　反り量。

請求の範囲

[請求項1] 第１の主面と、前記第１の主面と反対の第２の主面と備え、

不純物として窒素を含む炭化珪素半導体基板であって、

前記炭化珪素半導体基板の厚みを前記第１の主面の最大径で除した比は４×１０$^{-3}$以下であり、かつ前記窒素の濃度は１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である、炭化珪素半導体基板。

[請求項2] 前記第１の主面の最大径は、１００ｍｍよりも大きい、請求項１に記載の炭化珪素半導体基板。

[請求項3] 前記炭化珪素半導体基板の厚みは、２５０μｍ以上６００μｍ未満である、請求項１または請求項２に記載の炭化珪素半導体基板。

[請求項4] 前記窒素の濃度は、５×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上である、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体基板。

[請求項5] 前記窒素の濃度は、２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下である、請求項１～請求項４のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体基板。

[請求項6] 前記炭化珪素半導体基板の厚みを前記第１の主面の最大径で除した比は１．６×１０$^{-3}$以上である、請求項１～請求項５のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体基板。

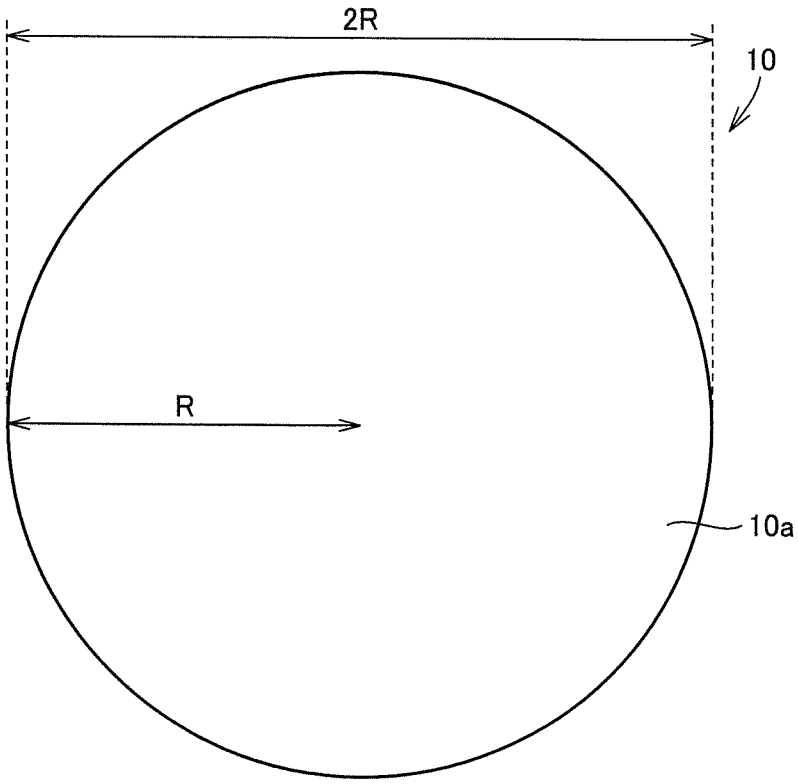
[請求項7] 前記炭化珪素半導体基板は、炭化珪素からなる種結晶を用いた昇華法によって前記種結晶の主面上に成長させた炭化珪素単結晶の中で、前記種結晶の前記主面から前記主面の法線方向に沿って５ｍｍ以上離れた部分をスライスすることにより得られたものである、請求項１～請求項６のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体基板。

[請求項8] 請求項１～請求項７のいずれか１項に記載の炭化珪素半導体基板と、

前記炭化珪素半導体基板上に設けられた電極とを備えた、炭化珪素半導体装置。

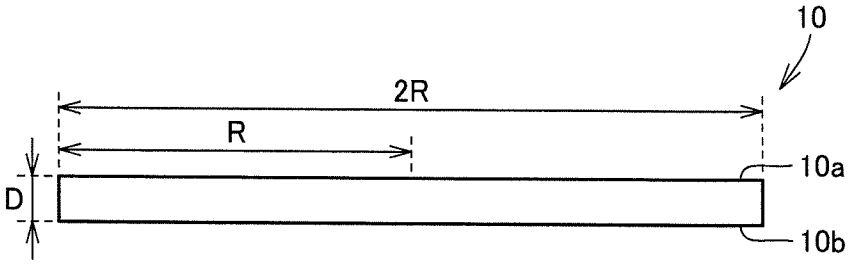
[図1]

FIG.1



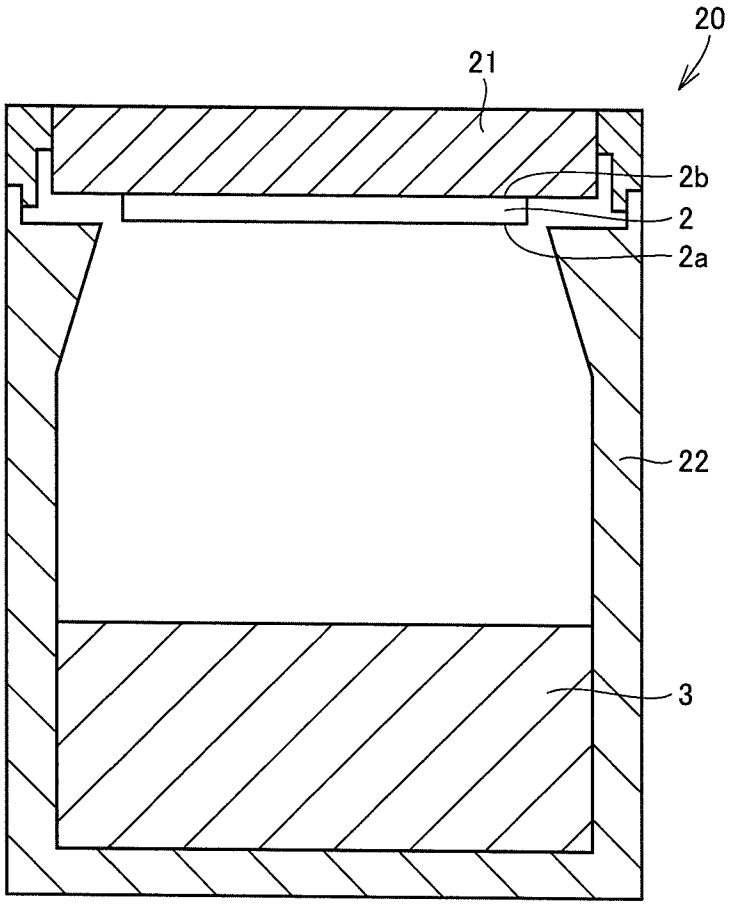
[図2]

FIG.2



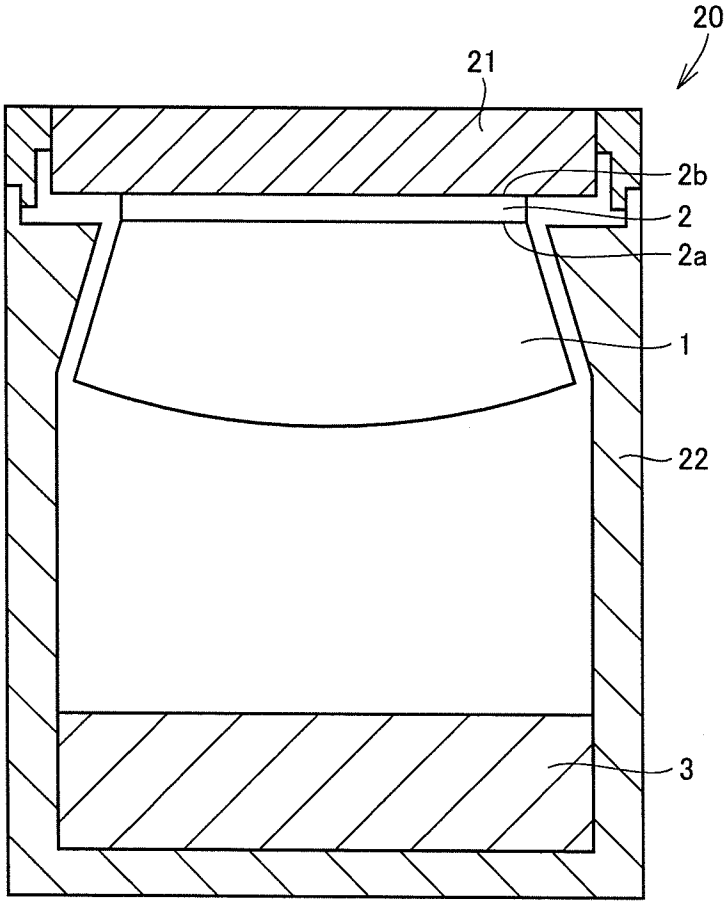
[図3]

FIG.3



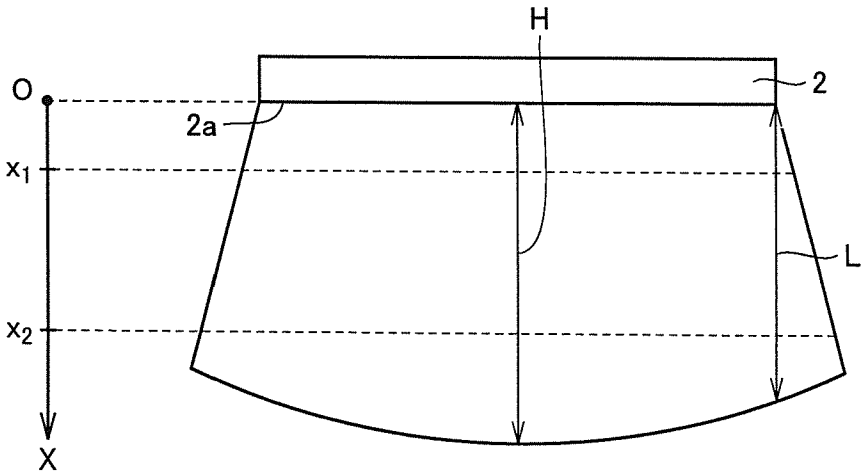
[図4]

FIG.4



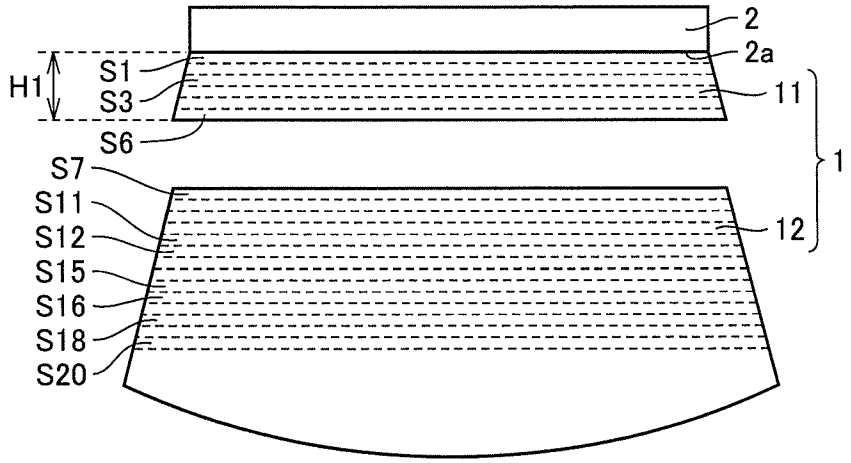
[図5]

FIG.5



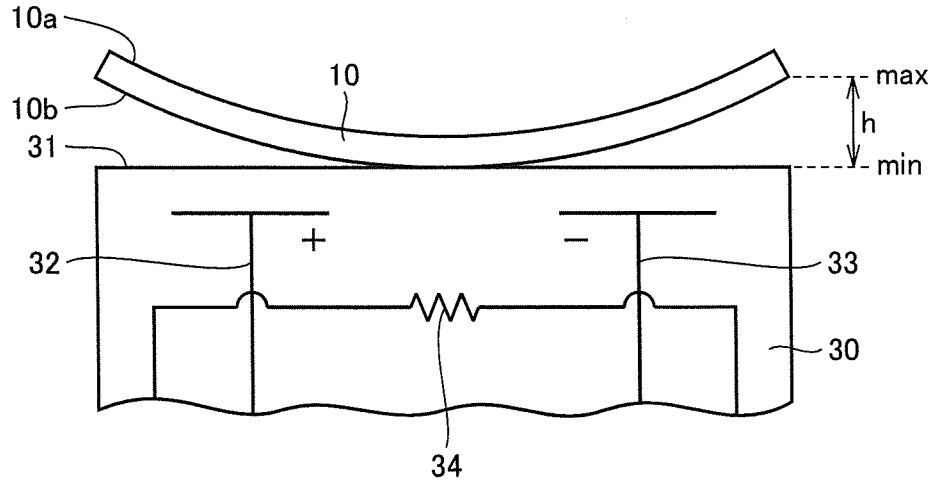
[図6]

FIG.6



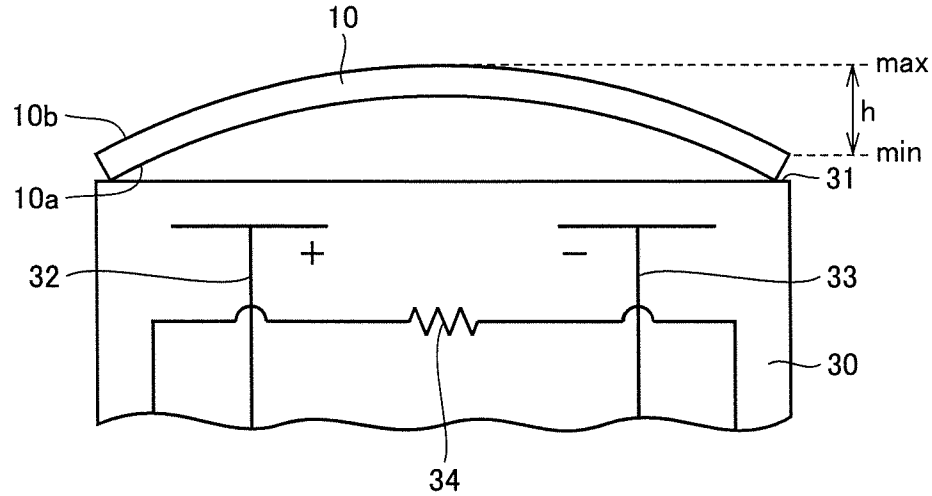
[図7]

FIG.7



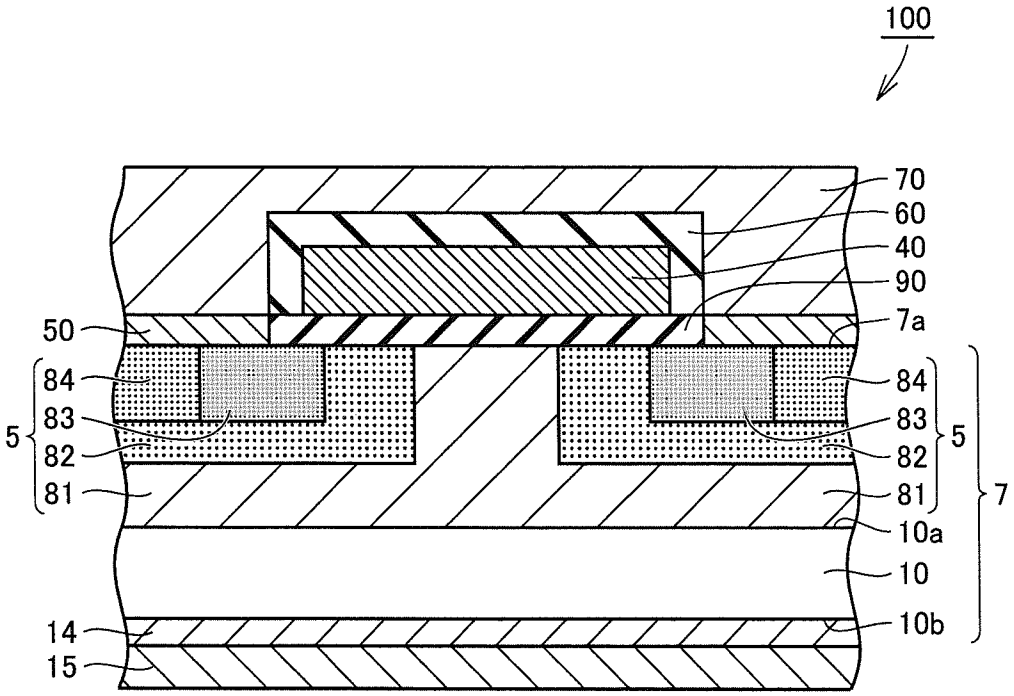
[図8]

FIG.8



[図9]

FIG.9



[図10]

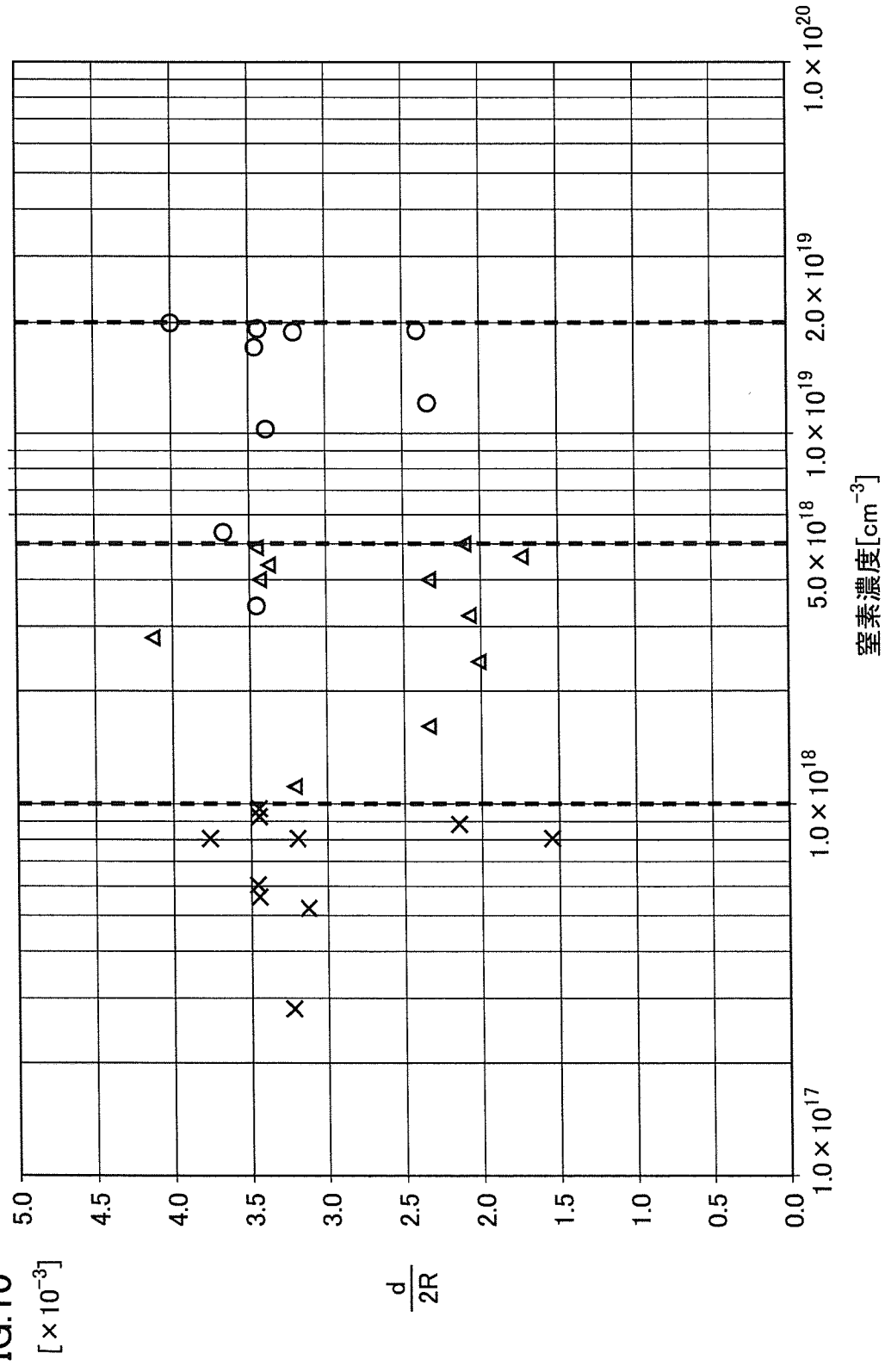

5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
[×10⁻³]
d/2R
1.0×10¹⁷
1.0×10¹⁸
5.0×10¹⁸
1.0×10¹⁹
2.0×10¹⁹
1.0×10²⁰
窒素濃度[cm⁻³]

FIG.10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/071161

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C30B29/36(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)
C30B29/36, 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 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-250897 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 20 December 2012 (20.12.2012), claims 1 to 6; Mode for carrying out the invention & US 2012/0315427 A1	1-8
A	WO 2013/021902 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 February 2013 (14.02.2013), claims 1 to 12; Mode for carrying out the invention & US 2013/0032822 A1 & CN 103608899 A	1-8

☒ 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	Date of mailing of the international search report
04 November, 2014 (04.11.14)	18 November, 2014 (18.11.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/071161

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 2012-214376 A (Cree Inc.), 08 November 2012 (08.11.2012), claims 1 to 31; paragraph of Best mode for carrying out the invention & WO 2006/108191 A2 & EP 1871927 A & CN 101151402 A	1-8
A	WO 2013/031856 A1 (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.), 07 March 2013 (07.03.2013), claims 1 to 12; examples & JP 2014-28736 A & JP 2014-28757 A & EP 2752508 A1 & CN 103620095 A & KR 10-2013-0137247 A	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０７１１６１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C30B29/36(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.　C30B29/36, 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	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

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

JSTPlus(JDreamⅢ), JST7580(JDreamⅢ)

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 2012-250897 A (住友電気工業株式会社) 2012.12.20, 請求項 1-6、発明を実施するための形態の項 & US 2012/0315427 A1	1-8
A	WO 2013/021902 A1 (住友電気工業株式会社) 2013.02.14, 請求項 1-12、発明を実施するための形態の項 & US 2013/0032822 A1 & CN 103608899 A	1-8

☑　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
０４．１１．２０１４	１８．１１．２０１４

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）　４Ｇ　９４４５
植前　充司
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４１６

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 2012-214376 A (クリー　インコーポレイテッド) 2012.11.08, 請求項 1-31、発明を実施するための最良の形態の項 & WO 2006/108191 A2 & EP 1871927 A & CN 101151402 A	1-8
A	WO 2013/031856 A1 (新日鐵住金株式会社) 2013.03.07, 請求項 1-12、実施例 & JP 2014-28736 A & JP 2014-28757 A & EP 2752508 A1 & CN 103620095 A & KR 10-2013-0137247 A	1-8