(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
2016 年 2 月 4 日(04.02.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/017502 A1

(51) 国際特許分類:
C30B 29/36 (2006.01) *H01L 21/20* (2006.01)
C23C 16/32 (2006.01) *H01L 21/205* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/070844

(22) 国際出願日: 2015 年 7 月 22 日(22.07.2015)

(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 2014-157717 2014 年 8 月 1 日(01.08.2014) 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: 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). 玄番 潤 (GENBA, Jun); 〒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). 畑山 智亮 (HATAYAMA, Tomoaki); 〒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). 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).

(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.

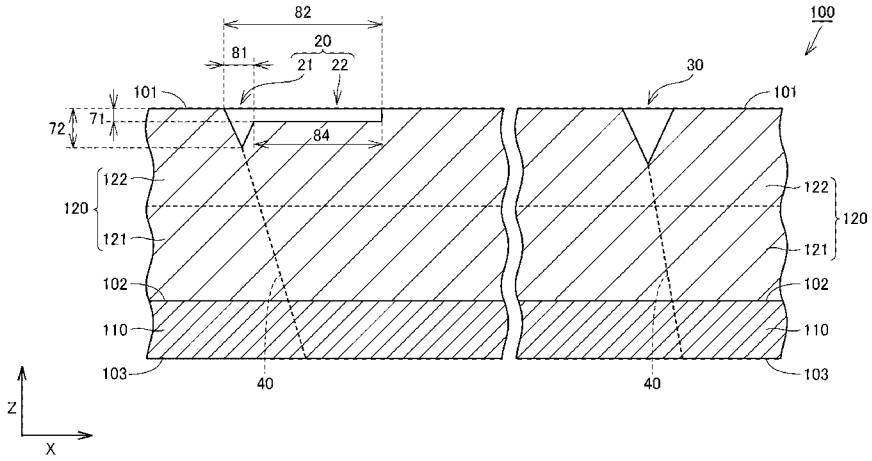
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) **Title**: EPITAXIAL WAFER AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称 : エピタキシャルウエハおよびその製造方法

FIG.1



(57) **Abstract**: This epitaxial wafer (100) includes a silicon carbide film (120) having a first main surface (101). A groove (20) is formed in the first main surface (101). The groove (20) extends in one direction along the first main surface (101). The width of the groove (20) in the one direction is two or more times larger than the width of the groove (20) in a direction perpendicular to the one direction. The maximum depth of the groove (20) from the first main surface (101) is 10 nm or less.

(57) 要約: エピタキシャルウエハ（１００）は、第１の主面（１０１）を有する炭化珪素膜（１２０）を備えている。第１の主面（１０１）には、溝部（２０）が形成されている。溝部（２０）は、第１の主面（１０１）に沿って一方向に延びている。また溝部（２０）は、一方向における幅が一方向に垂直な方向における幅の２倍以上である。また溝部（２０）は、第１の主面（１０１）からの最大深さが１０ｎｍ以下である。

WO 2016/017502 A1

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 ： エピタキシャルウエハおよびその製造方法

技術分野

[0001]　本開示は、エピタキシャルウエハおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002]　特開２０１４－１７４３９号公報（特許文献１）には、エピタキシャルウエハの製造に用いられる半導体製造装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１４－１７４３９号公報

発明の概要

[0004]　本開示のエピタキシャルウエハは、第１の主面を有する炭化珪素膜を備えている。炭化珪素膜の第１の主面には、溝部が形成されている。溝部は、第１の主面に沿って一方向に延びている。また溝部は、一方向における幅が、該一方向に垂直な方向における幅の２倍以上である。また溝部は、第１の主面からの最大深さが１０ｎｍ以下である。

[0005]　本開示のエピタキシャルウエハの製造方法は、第２の主面を有する炭化珪素基板を準備する工程と、該第２の主面上に、炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程と、を備える。炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程は、第２の主面上に、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスを用いて、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程と、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスと、水素ガスとを含む混合ガスを用いて、該第１の膜の表面を再構成する工程と、再構成された該第１の膜の該表面に、Ｃ／Ｓｉ比が１以上の原料ガスを用いて、第２の膜をエピタキシャル成長させる工程とを含む。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]本開示のエピタキシャルウエハの一部を示す概略断面図である。

[図2]本開示のエピタキシャルウエハの一部を示す概略平面図である。

[図3]本開示のエピタキシャルウエハの一部を示す概略平面図である。

[図4]本開示のエピタキシャルウエハの製造方法を概略的に示すフローチャートである。

[図5]エピタキシャル成長装置の構成を示す概略図である。

[図6]図５中の線分ＶＩ－ＶＩに沿った断面を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0007] [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

[0008] 〔１〕本開示のエピタキシャルウエハ１００は、第１の主面１０１を有する炭化珪素膜１２０を備える。第１の主面１０１には、第１の主面１０１に沿って一方向に延びるとともに、該一方向における幅が該一方向に垂直な方向における幅の２倍以上であり、かつ、第１の主面１０１からの最大深さが１０ｎｍ以下である溝部２０が形成されている。

[0009] 以下、溝部２０の一方向における幅を「第２の幅８２」、溝部２０の一方向に垂直な方向における幅を「第３の幅８３」、溝部２０の第１の主面１０１からの最大深さを「第２の深さ７２」とも記す。

[0010] 炭化珪素基板上において炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる場合、当該炭化珪素膜の表面には、微小なピット部が形成される場合がある。このピット部は、炭化珪素基板から炭化珪素膜に引き継がれた貫通転位に起因して形成されるものであり、数十ｎｍ程度の深さを有する窪みである。本発明者は、このピット部が、炭化珪素膜の表面に形成される酸化膜の膜厚のばらつきを増加させること、膜厚のばらつきが炭化珪素半導体装置の長期信頼性低下の一つの要因になっていることを見出した。

[0011] 本発明者は、特定のエピタキシャル成長条件において、ピット部の形成を抑制できることを見出した。当該成長条件によると、ピット部が低減される一方、ピット部に比べて浅くかつ一方向に延びる溝部が多数形成される。しかしこの溝部は上記ピット部に比べて浅いため、酸化膜の膜厚に与える影響が上記ピット部に比べて小さいものである。

[0012] 上記エピタキシャルウエハ１００では、炭化珪素膜１２０の第１の主面１０１において、第３の幅８３に対する第２の幅８２の比が２以上になるように一方向に延在し、かつ第２の深さ７２が１０ｎｍ以下である溝部２０が形成されている。すなわち、上記エピタキシャルウエハ１００は、炭化珪素膜１２０のエピタキシャル成長の条件等が制御されることにより、数十ｎｍの深さを有する上記ピット部に比べて、上記溝部２０がより多数形成されたものになっている。したがって、上記エピタキシャルウエハ１００によれば、上記ピット部が多数形成された従来のエピタキシャルウエハに比べて、酸化膜の膜厚のばらつきを少なくすることができる。

[0013] 上記「溝部」の形状は、所定の欠陥検査装置を用いて第１の主面１０１を観察することにより特定することができる。これにより、溝部２０の第２の幅８２および第３の幅８３を測定することができる。上記欠陥検査装置としては、たとえばレーザーテック株式会社製のＷＡＳＡＶＩシリーズ「ＳＩＣＡ　６Ｘ」を用いることができる（対物レンズ：×１０）。また上記「溝部」の深さは、ＡＦＭ（Ａｔｏｍｉｃ　Ｆｏｒｃｅ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）を用いて測定することができる。

[0014] 〔２〕上記エピタキシャルウエハ１００において、溝部２０は、第１の溝部２１と、第１の溝部２１に接続された第２の溝部２２とを含んでいてもよい。第１の溝部２１は、上記一方向において溝部２０の一方の端部に形成されていてもよい。第２の溝部２２は、第１の溝部２１から上記一方向に沿って延びて上記一方の端部と反対側の他方の端部に至り、かつ第１の主面１０１からの深さである第１の深さ７１が、第１の溝部２１の最大深さである第２の深さ７２よりも小さくてもよい。

[0015] 上記のような構造を有する溝部２０が形成されたエピタキシャルウエハ１００においては、酸化膜の膜厚のばらつきを増加させるピット部の形成が抑制されている。したがって、上記エピタキシャルウエハ１００によれば、酸化膜の膜厚のばらつきを少なくすることができる。

[0016] 〔３〕上記エピタキシャルウエハ１００は、（０００１）面に対して±４

°以下のオフ角を有する第２の主面１０２を有する炭化珪素基板１１０をさらに備えていてもよい。炭化珪素膜１２０は、第２の主面１０２上に形成された炭化珪素単結晶膜であり、溝部２０は、炭化珪素膜１２０内に存在する貫通転位４０から上記オフ角のオフ方向に沿うステップフロー成長方向に沿って延びるように形成されていてもよい。

[0017] 上記のように、溝部２０は、上記ステップフロー成長方向に沿って延びるように形成されていてもよい。このような溝部２０が形成された上記エピタキシャルウエハ１００においては、炭化珪素半導体装置の長期信頼性を低下させる微小ピットの形成が抑制されている。したがって、上記エピタキシャルウエハ１００によれば、酸化膜の膜厚のばらつきを少なくすることができる。

[0018] 〔４〕上記エピタキシャルウエハ１００において、上記オフ方向は、＜１１－２０＞方向に対して±５°以下の範囲内にあってもよい。このように、第２の主面１０２は所定のオフ方向において（０００１）面に対して傾斜していてもよい。

[0019] 〔５〕上記エピタキシャルウエハ１００において、上記オフ方向は、＜０１－１０＞方向に対して±５°以下の範囲内にあってもよい。このように、第２の主面１０２は所定のオフ方向において（０００１）面に対して傾斜していてもよい。

[0020] 〔６〕本開示のエピタキシャルウエハの製造方法は、第２の主面１０２を有する炭化珪素基板１１０を準備する工程（Ｓ１０）と、第２の主面上に、炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程（Ｓ２０）と、を備える。炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程は、第２の主面１０２上に、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスを用いて、第１の膜１２１をエピタキシャル成長させる工程と、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスと、水素ガスとを含む混合ガスを用いて、第１の膜１２１の表面を再構成する工程と、再構成された第１の膜１２１の該表面に、Ｃ／Ｓｉ比が１以上の原料ガスを用いて、第２の膜１２２をエピタキシャル成長させる工程とを含む。

[0021] 上記〔６〕において、「Ｃ／Ｓｉ比」とは、原料ガス中の珪素（Ｓｉ）原子数に対する炭素（Ｃ）原子数の比を示す。「表面を再構成する」とは、水素ガスによるエッチング、および原料ガスによるエピタキシャル成長により、第１の膜の表面性状を変化させることを示す。再構成する工程を経ることにより、第１の膜の厚さは、減少することもあるし、増加することもあるし、あるいは実質的に変化しないこともある。

[0022] 表面を再構成する工程では、通常のエピタキシャル成長と比べて、水素ガス流量に対する原料ガス流量の比率を低下させ、水素ガスによるエッチングと、原料ガスによるエピタキシャル成長とが拮抗した状態とするとよい。たとえば成膜速度が０±０．５μｍ／ｈ程度となるように、水素ガス流量および原料ガス流量を調整することが考えられる。

[0023] 前述の貫通転位には、貫通らせん転位、貫通刃状転位およびこれらの転位が混合した混合転位が含まれる。各転位をバーガースベクトルｂで表現すると、貫通らせん転位（ｂ＝＜０００１＞）、貫通刃状転位（ｂ＝１／３＜１１－２０＞）、混合転位（ｂ＝＜０００１＞＋１／３＜１１－２０＞）となる。酸化膜の膜厚のばらつきに影響を及ぼすピット部は、貫通らせん転位、貫通刃状転位および混合転位に起因して形成されると考えられる。転位周辺の歪が比較的大きい、貫通らせん転位および混合転位に起因して形成されるピット部は、深さが深い。

[0024] 上記〔６〕では、第１の膜の表面を再構成することにより、貫通らせん転位および混合転位に起因して形成されるピット部を浅くする効果が期待できる。その上で、原料ガスのＣ／Ｓｉ比を１未満の値から１以上の値に変更し、第２の膜を成長させる。これにより、貫通らせん転位および混合転位に起因するピット部を浅くする効果が大きくなると考えられる。

[0025] [本開示の実施形態の詳細]

次に本開示の一実施形態（以下「本実施形態」とも記す）の具体例を、図面を参照しつつ説明する。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、その説明は繰り返さない。また本明細書中に

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。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。

[0026] ＜エピタキシャルウエハの構造＞

まず、本実施形態に係るエピタキシャルウエハの構成について、図１～図３を参照しつつ説明する。図１は、本実施形態に係るエピタキシャルウエハの断面構造を部分的に示している。図２および図３は、本実施形態に係るエピタキシャルウエハの平面構造を部分的に示している。図１は、図２および図３中に示した線分Ｉ－Ｉに沿った断面構造を示している。

[0027] 図１に示すように、本実施形態に係るエピタキシャルウエハ１００は、炭化珪素基板１１０と、炭化珪素膜１２０とを有する。炭化珪素基板１１０は、たとえば炭化珪素単結晶からなる。この炭化珪素単結晶は、たとえば六方晶の結晶構造を有しており、かつポリタイプが４Ｈ型である。炭化珪素基板１１０は、たとえば窒素（Ｎ）などのｎ型不純物を含むことにより、導電型がｎ型となっている。炭化珪素基板１１０の直径は、たとえば１００ｍｍ以上（４インチ以上）であり、好ましくは１５０ｍｍ以上（６インチ以上）である。

[0028] 炭化珪素基板１１０は、第２の主面１０２と、第２の主面１０２と反対側の第３の主面１０３とを有している。第２の主面１０２は、図１に示すように、炭化珪素膜１２０が形成される主面である。第２の主面１０２は、（０００１）面（以下、「シリコン（Ｓｉ）面」とも称する）に対して±４°以下のオフ角を有している。このオフ角のオフ方向は、たとえば＜１１－２０＞方向に対して±５°以下の範囲内にあってもよいし、＜０１－１０＞方向に対して±５°以下の範囲内にあってもよい。

[0029] 炭化珪素膜１２０は、ＣＶＤ法などの気相成長法により第２の主面１０２上に形成された炭化珪素単結晶膜である。より具体的には、炭化珪素膜１２０は、シラン（SiH_4）およびプロパン（C_3H_8）を原料ガスとし、窒素（Ｎ

$_2$）あるいはアンモニア（NH_3）をドーパントガスとして用いたＣＶＤ法によって形成されたエピタキシャル成長膜である。また炭化珪素膜１２０には、上記窒素あるいはアンモニアが熱分解して生成した窒素（Ｎ）原子が取り込まれており、これにより炭化珪素膜１２０の導電型はｎ型となっている。炭化珪素膜１２０のｎ型不純物濃度は、炭化珪素基板１１０のｎ型不純物濃度よりも低くなっている。なお、上記のように第２の主面１０２は（０００１）面に対してオフしているため、炭化珪素膜１２０はステップフロー成長により形成されている。そのため、炭化珪素膜１２０は炭化珪素基板１１０と同様に４Ｈ型の炭化珪素からなり、異種ポリタイプの混在が抑制されたものとなっている。炭化珪素膜１２０の厚さは、たとえば１０μｍ以上５０μｍ以下程度である。

[0030] 炭化珪素膜１２０の表面すなわち第１の主面１０１には、溝部２０が形成されている。溝部２０は、図２に示すように第１の主面１０１の平面視において、第１の主面１０１に沿って一方向に延びている。より具体的には、溝部２０は、第１の主面１０１の（０００１）面に対するオフ角のオフ方向に沿ったステップフロー成長方向に沿って延びている。つまり、溝部２０は、＜１１－２０＞方向に対して±５°以下の範囲内にある方向、または＜０１－１０＞方向に対して±５°以下の範囲内にある方向に沿って延びている。

[0031] なお図１～図３は、「ステップフロー成長方向」が各図中のＸ軸方向と一致するように描かれている。図１～図３において、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向およびＺ軸方向は互いに直交する。図２および図３に示されるＹ軸方向は、ステップフロー成長方向に垂直な方向を示す。図１に示されるＺ軸方向は、炭化珪素膜の厚さ方向を示す。

[0032] 溝部２０の上記一方向における幅（第２の幅８２）は、上記一方向に垂直な方向における幅（第３の幅８３）の２倍以上であり、好ましくは５倍以上である。第２の幅８２は１５μｍ以上５０μｍ以下であり、好ましくは２５μｍ以上３５μｍ以下である。また第３の幅８３は１μｍ以上５μｍ以下であり、好ましくは２μｍ以上３μｍ以下である。

[0033] 図１に示すように、溝部２０は、炭化珪素膜１２０内に存在する貫通転位４０からステップフロー成長方向に沿って延びるように形成されている。より具体的には、溝部２０は、貫通転位４０上に形成された第１の溝部２１と、第１の溝部２１に接続され、かつ第１の溝部２１からステップフロー成長方向に沿って延びるように形成された第２の溝部２２とを含んでいる。

[0034] 第１の溝部２１は、ステップフロー成長方向において溝部２０の一方の端部（図１中の左端部）に形成されている。また第１の溝部２１は、第１の主面１０１からの最大深さ（第２の深さ）が１０ｎｍ以下である。第２の深さ７２は、図１に示すように溝部２０全体における最大深さである。また第１の溝部２１の幅（第１の幅８１）は、好ましくは１μｍ以下であり、より好ましくは０．５μｍ以下である。

[0035] 第２の溝部２２は、図１に示すように、第１の溝部２１との接続部を起点として、上記一方の端部と反対側の他方の端部（図１中の右端部）にまで至るように形成されている。また第２の溝部２２は、第１の主面１０１からの深さ（第１の深さ７１）が第１の溝部２１の最大深さ（第２の深さ７２）よりも小さくなるように形成されている。より具体的には、第２の溝部２２は、第２の深さ７２よりも浅い深さを維持しながらステップフロー成長方向に沿って延びている。第１の深さ７１は、好ましくは３ｎｍ以下であり、より好ましくは２ｎｍ以下であり、さらに好ましくは１ｎｍ以下である。また第２の溝部２２の幅（第４の幅８４）は、たとえば２０μｍ以上であり、好ましくは２５μｍ以上である。

[0036] ＜エピタキシャルウエハの製造方法＞

次に本実施形態に係るエピタキシャルウエハの製造方法について説明する。図４に示すように、当該製造方法は、炭化珪素基板を準備する工程（Ｓ１０）と、炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程（Ｓ２０）と、を備える。

[0037] まず工程（Ｓ１０）として、炭化珪素基板を準備する工程が実施される。この工程（Ｓ１０）では、たとえば昇華再結晶法を用いて結晶成長させた４

Ｈ型の炭化珪素インゴット（図示しない）を所定の厚みにスライスすることにより、第２の主面１０２および第３の主面１０３を有する炭化珪素基板１１０（図１）が準備される。

[0038] 次に、工程（Ｓ２０）として、炭化珪素膜を成長させる工程が実施される。この工程（Ｓ２０）では、図１に示すように、ＣＶＤ法により炭化珪素基板１１０の第２の主面１０２上において、炭化珪素膜１２０をエピタキシャル成長させる。まず、この工程（Ｓ２０）で用いられるエピタキシャル成長装置１の構成について説明する。図５は、エピタキシャル成長装置１の側面図である。図６は、図５中の線分ＶＩ－ＶＩに沿ったエピタキシャル成長装置１の断面図である。

[0039] 図５および図６に示すように、エピタキシャル成長装置１は、発熱体６と、断熱材５と、石英管４と、誘導加熱コイル３とを主に有している。発熱体６は、たとえばカーボン材料からなる。発熱体６は、図６に示すように、曲面部７および平坦部８を含む半円筒状の中空構造を有している。発熱体６は二つ設けられており、平坦部８同士が互いに対向するように配置されている。この平坦部８により囲まれた空間が、炭化珪素基板１１０の処理を行うための空間であるチャネル２となっている。

[0040] 断熱材５は、チャネル２をエピタキシャル成長装置１の外部から断熱するための部材である。断熱材５は、発熱体６の外周部を取り囲むように配置されている。石英管４は、断熱材５の外周部を取り囲むように配置されている。誘導加熱コイル３は、石英管４の外周部において巻回されている。

[0041] 次に、上記エピタキシャル成長装置１を用いた結晶成長プロセスについて説明する。まず、上記工程（Ｓ１０）において準備された炭化珪素基板１１０が、エピタキシャル成長装置１のチャネル２内に配置される。より具体的には、一方の発熱体６上に設けられたサセプタ（図示しない）上に、炭化珪素基板１１０が載置される。

[0042] １．第１の膜をエピタキシャル成長させる工程（Ｓ２１）

次に第１の膜をエピタキシャル成長させる工程が実行される。この工程で

は、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスを用いて、炭化珪素基板１１０の第２の主面１０２上に第１の膜１２１（図１を参照）をエピタキシャル成長させる。先ず、チャネル２内をガス置換した後、キャリアガスを流しながら、チャネル２内を所定の圧力、たとえば６０ｍｂａｒ～１００ｍｂａｒ（６ｋＰａ～１０ｋＰａ）に調整する。キャリアガスは、たとえば水素（H_2）ガス、アルゴン（Ａｒ）ガス、ヘリウム（Ｈｅ）ガス等でよい。キャリアガス流量は、たとえば５０ｓｌｍ～２００ｓｌｍ程度でよい。ここで流量の単位「ｓｌｍ（Ｓｔａｎｄａｒｄ　Ｌｉｔｅｒ　ｐｅｒ　Ｍｉｎｕｔｅ）」は、標準状態（０℃、１０１．３ｋＰａ）における「Ｌ／ｍｉｎ」を示している。

[0043] 次に誘導加熱コイルに所定の交流電流を供給することにより、発熱体６を誘導加熱する。これにより、チャネル２および炭化珪素基板１１０が載置されるサセプタが所定の反応温度にまで加熱される。このときサセプタは、たとえば１５００℃～１７５０℃程度まで加熱される。

[0044] 次いで原料ガスを供給する。原料ガスは、Ｓｉ源ガスとＣ源ガスとを含む。Ｓｉ源ガスとしては、たとえばシラン（SiH_4）ガス、ジシラン（Si_2H_6）ガス、ジクロロシラン（SiH_2Cl_2）ガス、トリクロロシラン（$SiHCl_3$）ガス、四塩化珪素（$SiCl_4$）ガス等が挙げられる。すなわちＳｉ源ガスは、シランガス、ジシランガス、ジクロロシランガス、トリクロロシランガスおよび四塩化珪素ガスからなる群より選択される少なくとも１種でもよい。

[0045] Ｃ源ガスとしては、たとえば、メタン（CH_4）ガス、エタン（C_2H_6）ガス、プロパン（C_3H_8）ガス、アセチレン（C_2H_2）ガス等が挙げられる。すなわちＣ源ガスは、メタンガス、エタンガス、プロパンガスおよびアセチレンガスからなる群より選択される少なくとも１種でもよい。

[0046] 原料ガスは、ドーパントガスを含んでいてもよい。ドーパントガスとしては、たとえば、窒素ガス、アンモニアガス等が挙げられる。

[0047] 第１の膜をエピタキシャル成長させる工程における原料ガスは、たとえばシランガスとプロパンガスとの混合ガスでもよい。第１の膜をエピタキシャ

ル成長させる工程では、原料ガスのＣ／Ｓｉ比が１未満に調整される。Ｃ／Ｓｉ比は、１未満である限り、たとえば０．５以上でもよいし、０．６以上でもよいし、０．７以上でもよい。またＣ／Ｓｉ比は、たとえば０．９５以下でもよいし、０．９以下でもよいし、０．８以下でもよい。シランガス流量およびプロパンガス流量は、たとえば１０～１００ｓｃｃｍ程度の範囲で、所望のＣ／Ｓｉ比となるように適宜調整すればよい。ここで流量の単位「ｓｃｃｍ（Ｓｔａｎｄａｒｄ Ｃｕｂｉｃ Ｃｅｎｔｉｍｅｔｅｒ ｐｅｒ Ｍｉｎｕｔｅ）」は、標準状態（０℃、１０１．３ｋＰａ）における「ｍＬ／ｍｉｎ」を示している。

[0048] 第１の膜をエピタキシャル成長させる工程における成膜速度は、たとえば３μｍ／ｈ以上３０μｍ／ｈ以下程度でもよい。第１の膜の厚さは、たとえば０．１μｍ以上１５０μｍ以下である。第１の膜の厚さは、０．２μｍ以上でもよいし、１μｍ以上でもよいし、１０μｍ以上でもよいし、１５μｍ以上でもよい。また第１の膜の厚さは、１００μｍ以下でもよいし、７５μｍ以下でもよいし、５０μｍ以下でもよい。

[0049] ２．第１の膜の表面を再構成する工程（Ｓ２２）

次いで、第１の膜の表面を再構成する工程が実行される。表面を再構成する工程は、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程と連続して実行されてもよい。あるいは、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程と、表面を再構成する工程との間に、所定の休止時間を挟んでもよい。表面を再構成する工程では、サセプタ温度を１０～３０℃程度上昇させてもよい。

[0050] 表面を再構成する工程では、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスと、水素ガスとを含む混合ガスが用いられる。原料ガスのＣ／Ｓｉ比は、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程におけるＣ／Ｓｉ比より低くてもよい。Ｃ／Ｓｉ比は、１未満である限り、０．５以上でもよいし、０．６以上でもよいし、０．７以上でもよい。またＣ／Ｓｉ比は、たとえば０．９５以下でもよいし、０．９以下でもよいし、０．８以下でもよい。

[0051] 表面を再構成する工程では、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程お

よび後述の第２の膜をエピタキシャル成長させる工程における原料ガスと異なる原料ガスを用いてもよい。こうした態様により、ピット部を浅くする効果が大きくなることが期待される。たとえば第１の膜をエピタキシャル成長させる工程および後述の第２の膜をエピタキシャル成長させる工程では、シランガスおよびプロパンガスを用い、表面を再構成する工程では、ジクロロシランおよびアセチレンを用いる等の態様が考えられる。

[0052] 表面を再構成する工程では、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程および後述の第２の膜をエピタキシャル成長させる工程に比し、水素ガス流量に対する原料ガス流量の比率を低下させてもよい。これにより、ピット部を浅くする効果が大きくなることが期待される。

[0053] 混合ガスにおける水素ガス流量は、たとえば１００ｓｌｍ以上１５０ｓｌｍ以下程度でよい。水素ガス流量は、たとえば１２０ｓｌｍ程度でもよい。混合ガスにおけるＳｉ源ガス流量は、たとえば１ｓｃｃｍ以上５ｓｃｃｍ以下でもよい。Ｓｉ源ガス流量の下限は、２ｓｃｃｍでもよい。Ｓｉ源ガス流量の上限は、４ｓｃｃｍでもよい。混合ガスにおけるＣ源ガス流量は、たとえば０．３ｓｃｃｍ以上１．６ｓｃｃｍ以下でもよい。Ｃ源ガス流量の下限は、０．５ｓｃｃｍでもよいし、０．７ｓｃｃｍでもよい。Ｃ源ガス流量の上限は、１．４ｓｃｃｍでもよいし、１．２ｓｃｃｍでもよい。

[0054] 表面を再構成する工程では、水素ガスによるエッチングと、原料ガスによるエピタキシャル成長とが拮抗した状態となるように、各種条件を調整することが望ましい。たとえば成膜速度が０±０．５μｍ／ｈ程度となるように、水素ガス流量および原料ガス流量を調整することが考えられる。成膜速度は、０±０．４μｍ／ｈ程度に調整してもよいし、０±０．３μｍ／ｈ程度に調整してもよいし、０±０．２μｍ／ｈ程度に調整してもよいし、０±０．１μｍ／ｈ程度に調整してもよい。これにより、ピット部を浅くする効果が大きくなることが期待される。

[0055] 表面を再構成する工程における処理時間は、たとえば３０分以上１０時間以下程度である。処理時間は、８時間以下でもよいし、６時間以下でもよい

し、４時間以下でもよいし、２時間以下でもよい。

[0056] ３．第２の膜をエピタキシャル成長させる工程（Ｓ２３）

第１の膜の表面を再構成した後、該表面に第２の膜をエピタキシャル成長させる工程が実行される。第２の膜１２２（図１を参照）は、Ｃ／Ｓｉ比が１以上の原料ガスを用いて形成される。Ｃ／Ｓｉ比は、１以上である限り、たとえば１．０５以上でもよいし、１．１以上でもよいし、１．２以上でもよいし、１．３以上でもよいし、１．４以上でもよい。またＣ／Ｓｉ比は、２．０以下でもよいし、１．８以下でもよいし、１．６以下でもよい。

[0057] 第２の膜をエピタキシャル成長させる工程における原料ガスは、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程で用いた原料ガスと同じでもよいし、異なっていてもよい。原料ガスは、たとえばシランガスおよびプロパンガスでもよい。シランガス流量およびプロパンガス流量は、たとえば１０～１００ｓｃｃｍ程度の範囲で、所望のＣ／Ｓｉ比となるように適宜調整すればよい。キャリアガス流量は、たとえば５０ｓｌｍ～２００ｓｌｍ程度でよい。

[0058] 第２の膜をエピタキシャル成長させる工程における成膜速度は、たとえば５μｍ／ｈ以上１００μｍ／ｈ以下程度でもよい。第２の膜の厚さは、たとえば１μｍ以上１５０μｍ以下である。第２の膜の厚さは、５μｍ以上でもよいし、１０μｍ以上でもよいし、１５μｍ以上でもよい。また第２の膜の厚さは、１００μｍ以下でもよいし、７５μｍ以下でもよいし、５０μｍ以下でもよい。

[0059] 第２の膜１２２の厚さは、第１の膜１２１の厚さと同じであってもよいし、異なっていてもよい。第２の膜１２２は、第１の膜１２１より薄くてもよい。たとえば、第１の膜１２１の厚さに対する第２の膜１２２の厚さの比は、０．０１以上０．９以下程度でもよい。ここで同厚さの比は、第２の膜の厚さを、表面を再構成する工程を経た第１の膜の厚さで除した値を示している。同厚さの比は、０．８以下でもよいし、０．７以下でもよいし、０．６以下でもよいし、０．５以下でもよいし、０．４以下でもよいし、０．３以下でもよいし、０．２以下でもよいし、０．１以下でもよい。これにより、

ピット部を浅くする効果が大きくなることが期待される。

[0060] 以上より、図１に示すように、第１の膜１２１と第２の膜１２２とを含む、炭化珪素膜１２０が形成される。炭化珪素膜１２０において、第１の膜と第２の膜とは、渾然一体となり区別できない場合もある。

[0061] 以上、工程（Ｓ１０）～工程（Ｓ２３）を順次実行することにより、炭化珪素膜１２０の表面に溝部２０が形成されたエピタキシャルウエハ１００を製造することができる。

[0062] ［評価］

１．サンプル作製

直径が１５０ｍｍの炭化珪素基板１１０を準備した。炭化珪素基板１１０において第２の主面１０２は、オフ方向が＜１１－２０＞方向であり、（０００１）面に対して４°のオフ角を有する。

[0063] サンプル１は、本開示の製造方法で形成された炭化珪素膜を有する。サンプル２は、本開示の製造方法から、第１の膜の表面を再構成する工程（Ｓ２２）を削除した製造方法で形成された炭化珪素膜を有する。サンプル１およびサンプル２において、炭化珪素膜の膜厚は１５μｍである。

[0064] ２．溝部の形状の評価

各サンプルにおいて、第１の主面１０１に形成された溝部の形状を欠陥検査装置およびＡＦＭを用いて評価した。結果を表１に示す。ここでは欠陥の位置検査装置にレーザーテック株式会社製のＷＡＳＡＶＩシリーズ「ＳＩＣＡ　６Ｘ」（対物レンズ：×１０）を用いた。

[0065] ＡＦＭとしては、たとえばＶｅｅｃｏ社製の「Ｄｉｍｅｎｓｉｏｎ３００」を用いることができる。また上記ＡＦＭのカンチレバー（探針）としては、たとえばＢｒｕｋｅｒ社製の型式「ＮＣＨＶ－１０Ｖ」を用いることができる。ＡＦＭの測定条件としては、測定モードをタッピングモードとし、タッピングモードでの測定領域を２０μｍ四方、かつ測定深さを１．０μｍとする。そしてタッピングモードでのサンプリングは、上記測定領域内での走査速度を１周期当たり５秒とし、１走査ライン当たりのデータ数を５１２ポ

イントとし、かつ走査ライン数を５１２として行う。またカンチレバーの変位制御は、１５．５０ｎｍに設定する。

[0066] [表1]

	サンプル１	サンプル２
第１の溝部の最大深さ（第２の深さ）	３ｎｍ	２５ｎｍ
第２の溝部の深さ（第１の深さ）	１ｎｍ以下	－
一方向における幅（第２の幅）	２５μｍ	１μｍ
垂直な方向における幅（第３の幅）	２μｍ	１μｍ

[0067] 表１に示すようにサンプル１では、第１の主面１０１に沿ってステップフロー成長方向（すなわち「一方向」）に延びるとともに、ステップフロー成長方向における幅である第２の幅８２が、ステップフロー成長方向に垂直な方向における幅である第３の幅８３の２倍以上である溝部２０が検出された。

[0068] さらにサンプル１において溝部２０の形状を詳細に調査したところ、溝部２０内の一方の端部に最大深さを示す部分が含まれていることが分かった。最大深さを示す部分の深さは３ｎｍであった。当該部分から他方の端部に延びる部分の深さは１ｎｍ以下であった。すなわちサンプル１における溝部２０は、第１の溝部２１と、第１の溝部２１に接続された第２の溝部２２とを含み、第１の溝部２１は、ステップフロー成長方向において溝部２０の一方の端部に形成され、第２の溝部２２は、第１の溝部２１からステップフロー成長方向に沿って延びて一方の端部と反対側の他方の端部に至り、かつ第１の主面１０１からの深さである第１の深さ７１が、第１の溝部の最大深さである第２の深さ７２よりも小さいものであった。

[0069] 他方、サンプル２では、第２の幅８２および第３の幅８３がほぼ同じであり、かつ最大深さである第２の深さ７２が１０ｎｍを超える溝部、すなわちピット部３０が多数検出された。表１中、サンプル２における溝部の最大深さは、便宜上、第１の溝部の最大深さの欄に示している。

[0070] ３．酸化膜の膜厚のばらつきの評価

サンプル１および２を、酸素を含む雰囲気中で加熱することにより、炭化珪素膜１２０の第１の主面１０１に酸化膜を形成した。さらに透過型電子顕微鏡によって酸化膜を観察し、酸化膜の膜厚のばらつきを測定した。結果を表２に示す。

[0071] [表2]

	サンプル１	サンプル２
溝部がない部分の膜厚（ｎｍ）	５２	５２
溝部付近の最小膜厚（ｎｍ）	５１	４９
溝部付近の最大膜厚（ｎｍ）	５１	６０
膜厚のばらつき（Ａ／Ｂ）	－１／－１	＋８／－３

[0072] 表２中「膜厚のばらつき」の欄には、溝部付近の最大膜厚と溝部がない部分の膜厚との差（Ａ）、ならびに溝部付近の最小膜厚と溝部がない部分の膜厚との差（Ｂ）を「Ａ／Ｂ」と記している。ここではＡおよびＢが共に小さい値であるほど、膜厚のばらつきが小さいことを示している。表２に示すとおり、サンプル１は、サンプル２よりも膜厚のばらつきが小さく良好であった。

[0073] 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

[0074] １　エピタキシャル成長装置、２　チャネル、３　誘導加熱コイル、４　石英管、５　断熱材、６　発熱体、７　曲面部、８　平坦部、１００　エピタキシャルウエハ、１０１　第１の主面、１０２　第２の主面、１０３　第３の主面、１１０　炭化珪素基板、１２０　炭化珪素膜、１２１　第１の膜、１２２　第２の膜、２０　溝部、２１　第１の溝部、２２　第２の溝部、３０　ピット部、４０　貫通転位、７１　第１の深さ、７２　第２の深さ、８１　第１の幅、８２　第２の幅、８３　第３の幅、８４　第４の幅。

請求の範囲

[請求項1] 第１の主面を有する炭化珪素膜を備え、

前記第１の主面には、前記第１の主面に沿って一方向に延びるとともに、前記一方向における幅が前記一方向に垂直な方向における幅の２倍以上であり、かつ、前記第１の主面からの最大深さが１０ｎｍ以下である溝部が形成されている、エピタキシャルウエハ。

[請求項2] 前記溝部は、第１の溝部と、前記第１の溝部に接続された第２の溝部とを含み、

前記第１の溝部は、前記一方向において前記溝部の一方の端部に形成され、

前記第２の溝部は、前記第１の溝部から前記一方向に沿って延びて前記一方の端部と反対側の他方の端部に至り、かつ、前記第１の主面からの深さが前記第１の溝部の最大深さよりも小さい、請求項１に記載のエピタキシャルウエハ。

[請求項3] 第２の主面を有する炭化珪素基板を準備する工程と、

前記第２の主面上に、炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程と、を備え、

前記炭化珪素膜をエピタキシャル成長させる工程は、

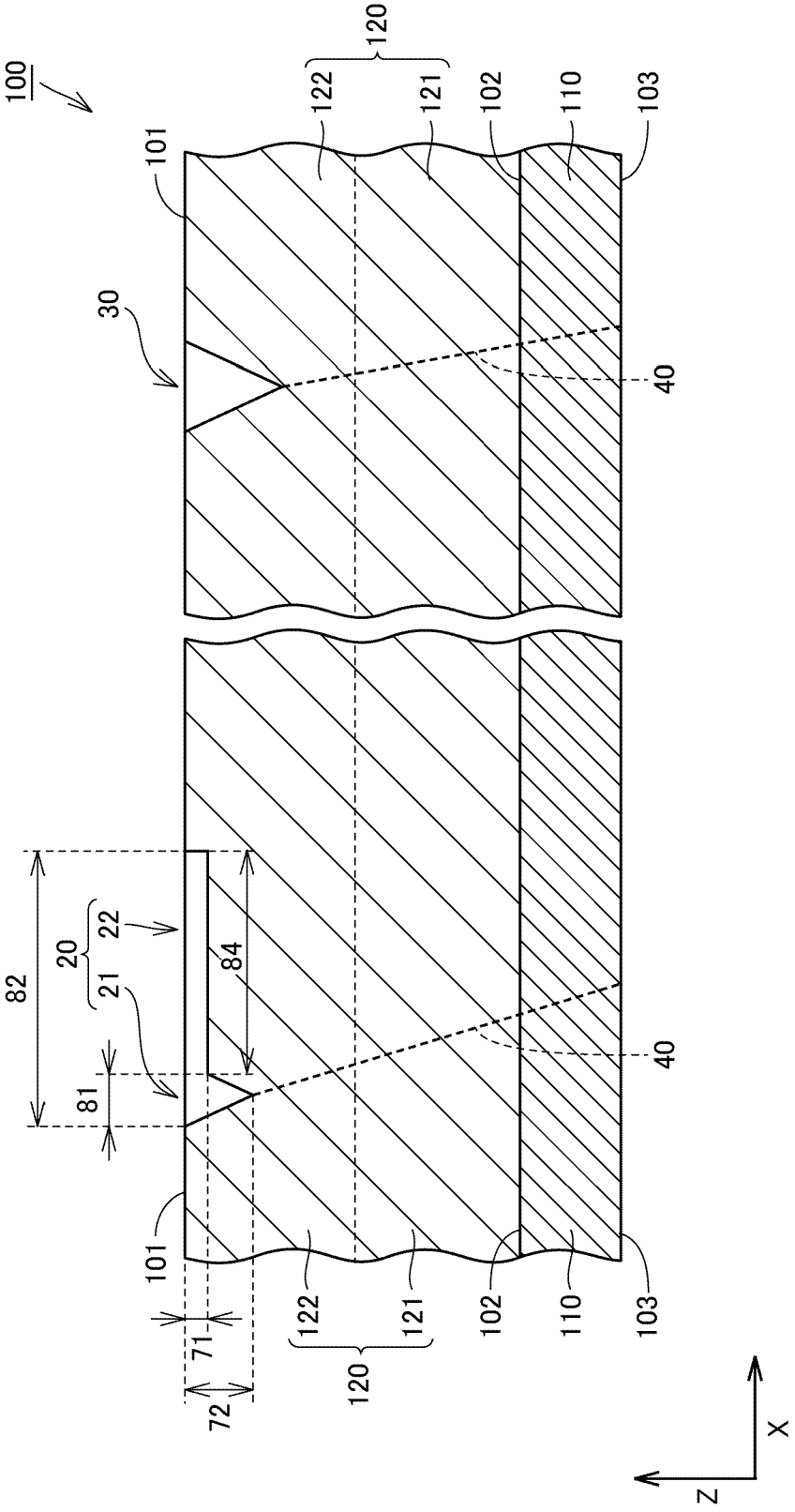
前記第２の主面上に、Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスを用いて、第１の膜をエピタキシャル成長させる工程と、

Ｃ／Ｓｉ比が１未満の原料ガスと、水素ガスとを含む混合ガスを用いて、前記第１の膜の表面を再構成する工程と、

再構成された前記第１の膜の前記表面に、Ｃ／Ｓｉ比が１以上の原料ガスを用いて、第２の膜をエピタキシャル成長させる工程と、を含む、エピタキシャルウエハの製造方法。

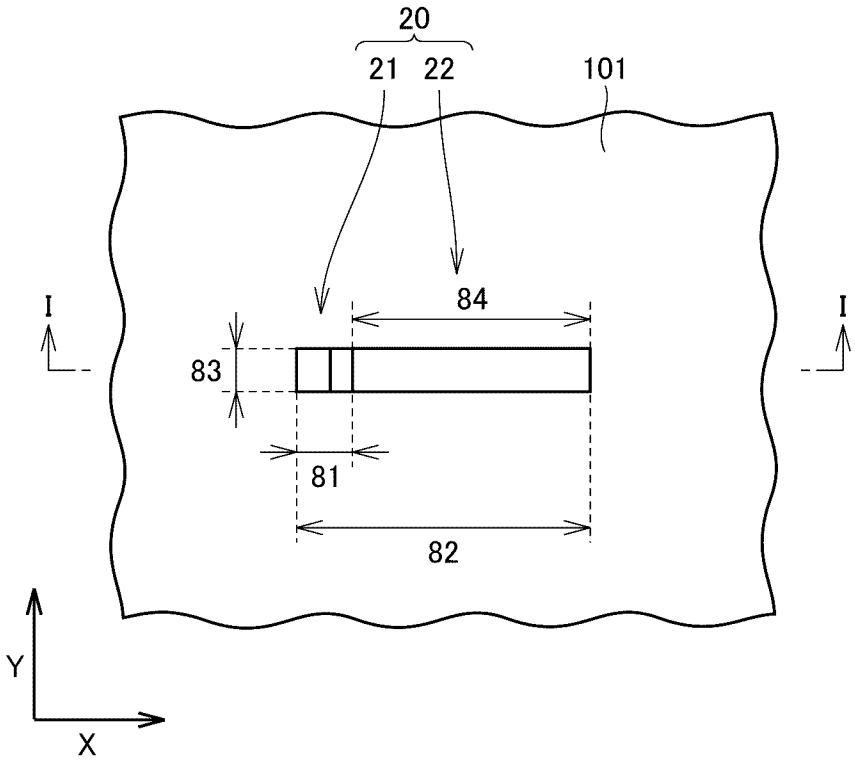
[図1]

FIG.1



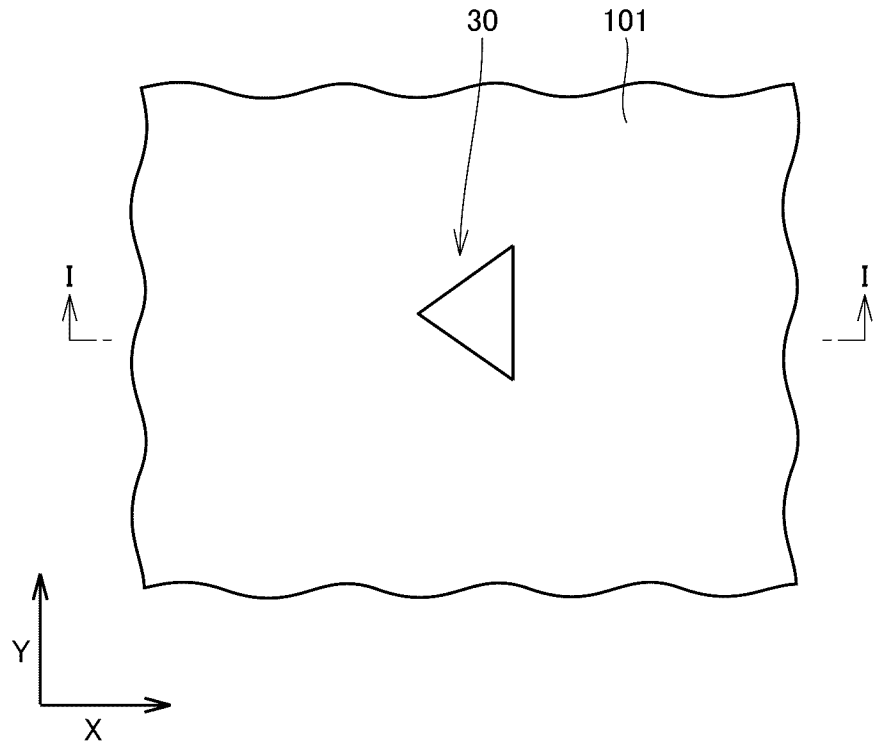
[図2]

FIG.2



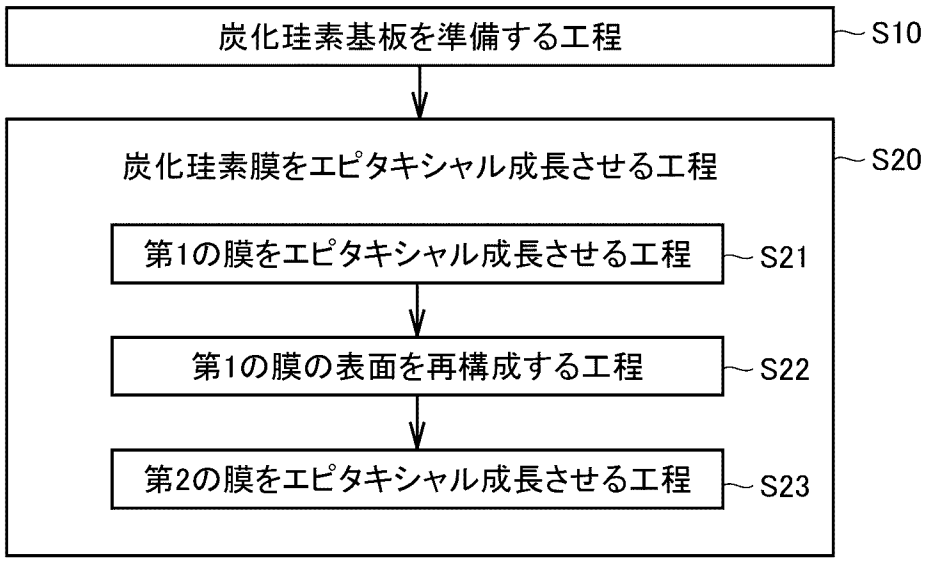
[図3]

FIG.3



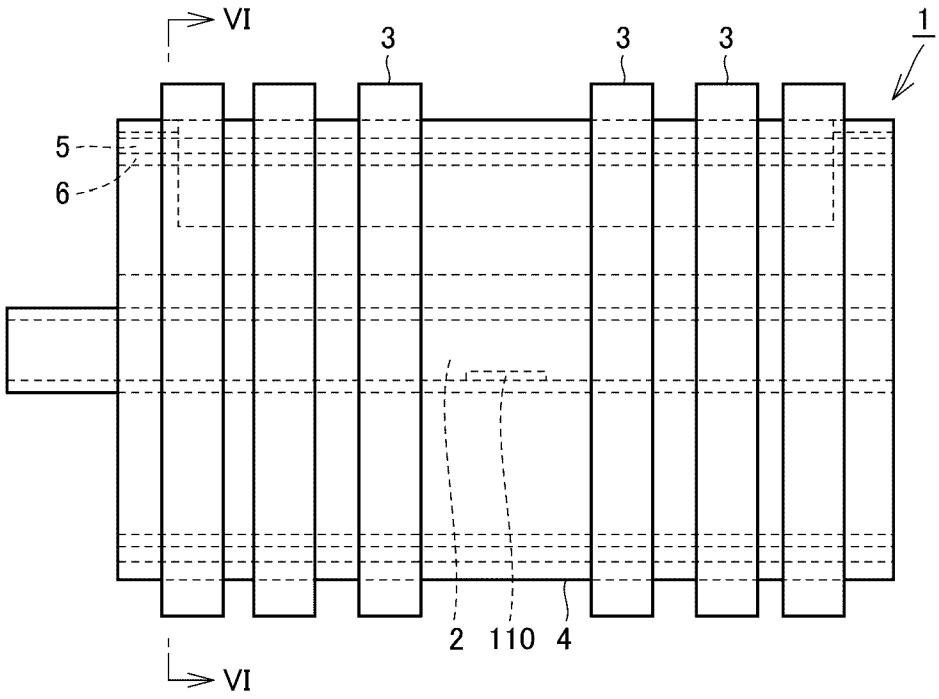
[図4]

FIG.4



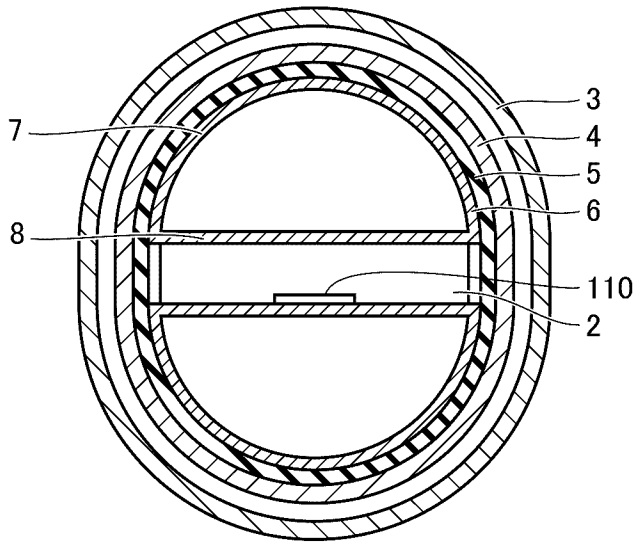
[図5]

FIG.5



[図6]

FIG.6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/070844

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C30B29/36(2006.01)i, *C23C16/32*(2006.01)i, *H01L21/20*(2006.01)i, *H01L21/205*(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, C23C16/32, H01L21/20, H01L21/205

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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	JP 2009-256138 A (Nippon Steel Corp.), 05 November 2009 (05.11.2009), claim 9; paragraph [0019]; example 2; fig. 1 (Family: none)	1-3
X	JP 2014-93526 A (LG Innotek Co., Ltd.), 19 May 2014 (19.05.2014), paragraphs [0027], [0032], [0061], [0062] & US 2014/0117381 A1 & EP 2728609 A1 & KR 10-2014-0055336 A & CN 103789822 A & TW 201417149 A	1-3

☒ 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
18 September 2015 (18.09.15)	06 October 2015 (06.10.15)

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/JP2015/070844

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 2007-525402 A (Cree Inc.), 06 September 2007 (06.09.2007), claims & US 2007/0108450 A1 & WO 2005/093137 A1 & EP 1721031 A & CA 2555431 A & KR 10-2007-0008577 A & CN 1926266 A & TW 200534360 A	1-3
A	JP 2009-218575 A (Toyota Motor Corp.), 24 September 2009 (24.09.2009), claims (Family: none)	1-3
A	JP 2008-159740 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 10 July 2008 (10.07.2008), examples 1, 2; fig. 2, 3 (Family: none)	1-3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０７０８４４

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, C23C16/32(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/205(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, C23C16/32, H01L21/20, H01L21/205

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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	JP 2009-256138 A (新日本製鐵株式会社) 2009.11.05, 請求項 9, 段落 0019, 実施例 2, 図 1 (ファミリーなし)	1-3
X	JP 2014-93526 A (エルジー　イノテック　カンパニー　リミテッド) 2014.05.19, 段落 0027, 0032, 0061, 0062 & US 2014/0117381 A1 & EP 2728609 A1 & KR 10-2014-0055336 A & CN 103789822 A & TW 201417149 A	1-3

☑　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
１８．０９．２０１５	０６．１０．２０１５

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　３４４８
村岡　一磨
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 2007-525402 A (クリー　インコーポレイテッド) 2007.09.06, 特許請求の範囲 & US 2007/0108450 A1 & WO 2005/093137 A1 & EP 1721031 A & CA 2555431 A & KR 10-2007-0008577 A & CN 1926266 A & TW 200534360 A	1-3
A	JP 2009-218575 A (トヨタ自動車株式会社) 2009.09.24, 特許請求の範囲（ファミリーなし）	1-3
A	JP 2008-159740 A (松下電器産業株式会社) 2008.07.10, 実施例 1, 2, 図 2, 3 (ファミリーなし)	1-3