(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
2009 年3 月19 日 (19.03.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/035095 A1

(51) 国際特許分類:
C30B 29/36 (2006.01) *C30B 25/20* (2006.01)
C23C 16/42 (2006.01) *H01L 21/205* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2008/066571

(22) 国際出願日: 2008 年9 月12 日 (12.09.2008)

(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2007-236661 2007 年9 月12 日 (12.09.2007) JP
特願2008-211757 2008 年8 月20 日 (20.08.2008) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 昭和電工株式会社 (SHOWA DENKO K.K.) [JP/JP]; 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目１３番９号 Tokyo (JP). 独立行政法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関一丁３番１号 Tokyo (JP). 財団法人電力中央研究所 (CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY) [JP/JP]; 〒1008126 東京都千代田区大手町１－６－１ Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

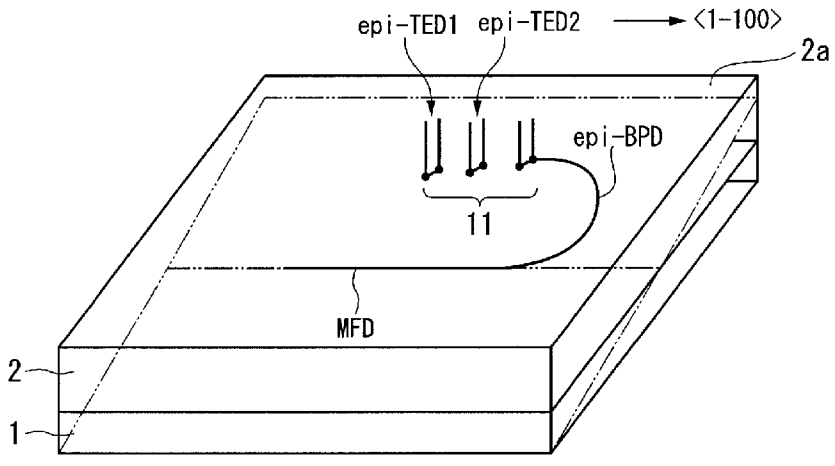
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 百瀬 賢治 (MOMOSE, Kenji) [JP/JP]; 〒3691893 埼玉県秩父市下影森１５０５番地 昭和電工株式会社内 Saitama (JP). 小田原 道哉 (ODAWARA, Michiya) [JP/JP]; 〒3691893 埼玉県秩父市下影森１５０５番地 昭和電工株式会社内 Saitama (JP). 松沢 圭一 (MATSUZAWA, Keiichi) [JP/JP]; 〒3691893 埼玉県秩父市下影森１５０５番地 昭和電工株式会社内 Saitama (JP). 奥村 元 (OKUMURA, Hajime) [JP/JP]; 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１ 中央第２ 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 児島 一聡 (KOJIMA, Kazutoshi) [JP/JP]; 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１ 中央第２ 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 石田 夕起 (ISHIDA, Yuuki) [JP/JP]; 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１ 中央第２ 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 土田 秀一

[続葉有]

(54) Title: EPITAXIAL SiC SINGLE CRYSTAL SUBSTRATE AND METHOD FOR MANUFACTURING EPITAXIAL SiC SINGLE CRYSTAL SUBSTRATE

(54) 発明の名称: エピタキシャルＳｉＣ単結晶基板及びエピタキシャルＳｉＣ単結晶基板の製造方法

［図10］



(57) Abstract: Provided is an epitaxial SiC single crystal substrate, which includes a SiC single crystal wafer whose main plane is a c-plane or a plane obtained by inclining the c-plane at an inclination angle of more than 0 degree but not more than 10 degrees, and a SiC epitaxial film formed on the main plane of the SiC single crystal wafer. The dislocation row density of penetrating blade-like dislocation rows formed on the SiC epitaxial film is 10 rows/cm^2 or less.

[続葉有]

WO 2009/035095 A1

(TSUCHIDA, Hidekazu) [JP/JP]; 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目６番１号 財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内 Kanagawa (JP). **鎌田 功穂 (KAMATA, Isaho)** [JP/JP]; 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目６番１号 財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 志賀 正武，外**(SHIGA, Masatake et al.)**; 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(57) 要約: ｃ面またはｃ面を０度超１０度未満の傾斜角度で傾斜させた面を主面とするＳｉＣ単結晶ウェハと、前記ＳｉＣ単結晶ウェハの前記主面上に形成されたＳｉＣエピタキシャル膜とを含むエピタキシャルＳｉＣ単結晶基板であって、 前記ＳｉＣエピタキシャル膜に形成される貫通刃状転位列の転位列密度が１０本/ｃｍ^{2}以下であることを特徴とするエピタキシャルＳｉＣ単結晶基板。

明 細 書

エピタキシャルSiC単結晶基板及びエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、エピタキシャルSiC単結晶基板、及びエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法に関するものである。

本願は、日本に2007年9月12日に出願された特願2007－236661号及び2008年8月20日に出願された特願2008－211757号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 炭化ケイ素(SiC)は、シリコン(Si)に対してバンドギャップが大きな半導体であり、パワーデバイス、高周波デバイス、及び高温動作デバイス等への応用が期待されている。

SiCとしては多くのポリタイプが存在するが、実用的なSiC電子デバイスを作製する為に使用されているポリタイプは4H－SiCである。SiC電子デバイスの製造に用いる基板としては、通常、昇華法等で作製したバルク結晶から加工したSiC単結晶ウェハを用い、この上にSiC半導体デバイスの活性領域となるSiCエピタキシャル成長膜を形成する。

[0003] SiC単結晶ウェハには、貫通螺旋転位(Threading Screw Dislocation:TSD)や貫通刃状転位(Threading Edge Dislocation:TED)、あるいは基底面転位(Basal Plane Dislocation:BPD)と呼ばれる結晶欠陥が一般に内在しており、これらの結晶欠陥によってデバイス特性が劣化する場合がある。これらの転位は基本的にはSiC単結晶ウエハからSiCエピタキシャル膜に伝播する。なお、貫通螺旋転位とは、主に、c軸方向に伝播するバーガーズベクトル(Burgers Vector)が nc[0001] である転位である。また、貫通刃状転位とは、主に、c軸方向に伝播するバーガーズベクトルが a/3<11-20> である転位である。更に、基底面転位とは、c面に存在するバーガーズベクトルが a/3<11-20> である転位である。

[0004] 一方、SiCエピタキシャル膜内には、ミスフィット転位と呼ばれる転位も発生することが知られている(非特許文献1、2参照)。このミスフィット転位は、SiCエピタキシャル膜中へと伝播する基底面転位のうちの一つであり、SiC単結晶ウェハとSiCエピタキシャル膜との界面付近においてSiC単結晶ウェハのオフカット方向と直行する方向(オフカット方向が<11−20>である場合には、<1−100>方向)に伸張が行われたものである。ミスフィット転位は、前記界面付近のストレスを緩和するために伸張がなされたものとされている。

[0005] 更に、SiCエピタキシャル膜には、SiC単結晶ウェハから伝播した貫通刃状転位だけではなく、貫通刃状転位列が形成されることがある。具体的には、エピタキシャル成長時に新たに発生した2個の貫通刃状転位がペアになり、オフカット方向が<11−20>である場合には、この2個の転位のペアが<1−100>方向に列状に並んで連続し、貫通刃状転位列を形成することがある。貫通刃状転位列が発生する結果、エピタキシャル膜の方が単結晶ウェハよりも転位密度が高くなり、エピタキシャル成長において結晶性を悪くしてしまうことがある。この貫通刃状転位のペアは、その底部において基底面転位によってハーフループ状につながっている。このハーフループの存在は、非特許文献3において存在が示唆されていたが、その発生原因が不明であったため、貫通刃状転位列を有効に低減する手段が不明であった。

[0006] なお、前述の基底面転位は、スイッチングデバイスにおいて信頼性を低下させることが知られており、低減することが望まれていた。また、貫通刃状転位列は、エピタキシャル膜中に新たに発生した刃状転位であり、エピタキシャル膜とSiC単結晶ウェハとの転位密度の比較をするとこの貫通刃状転位列の為にエピタキシャル膜の方が転位密度が高くなってしまう為、エピタキシャル膜の高品質化の点において、その低減が望まれている。

非特許文献1:X. Zhang、S. Ha、Y. Hanlumnyang、C. H. Chou、V. Rodriguez、M. Skowronski、J. J. Sumakeris、M. J. Paisley and M. J. O'Loughlin、J. Appl. Phys. 101 (2007) 053517

非特許文献2:H. Jacobson、J. P. Bergman、C. Hallin、E. Janzen、T. Tuomi and H. Lendenmann、J. Appl. Phys. 95(2004)1485

非特許文献3:S. Ha et al. Journal of Crystal Growth 262 (2004) p. 130－138

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、SiCエピタキシャル膜における貫通刃状転位列を低減したエピタキシャルSiC単結晶基板、及びエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題について本発明者らが鋭意研究を重ねたところ、貫通刃状転位列の発生がミスフィット転位と直接的な関係があることを見出し、これに基づいて貫通刃状転位列を低減する方法を見出した。本発明は以下の構成を採用することによって、貫通刃状転位列の低減を可能にするものである。

[0009] [1] c面またはc面を0度超10度未満の傾斜角度で傾斜させた面を主面とするSiC単結晶ウェハと、前記SiC単結晶ウェハの前記主面上に形成されたSiCエピタキシャル膜とを含むエピタキシャルSiC単結晶基板であって、前記SiCエピタキシャル膜に形成される貫通刃状転位列の転位列密度が10本/cm^2以下であることを特徴とするエピタキシャルSiC単結晶基板。

[2] 前記SiC単結晶ウェハの主面が、c面に対して＜11－20＞方向に0度超10度未満の傾斜角度で傾斜していることを特徴とする[1]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[3] 前記貫通刃状転位列が、前記SiC単結晶ウェハと前記SiCエピタキシャル膜との界面付近における基底面転位の伸張に起因するものであることを特徴とする[1]または[2]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[4] 貫通刃状転位列の長さが1mm以下であることを特徴とする[1]乃至[3]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[5] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲が前記主面に向けて凸状とされていることを特徴とする[1]乃至[4]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[6] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲の曲率半径が、前記主面に対して連続的かつ一様に凸の値を有し、その曲率半径値が10m以上1000m以下の範囲にあることを特徴とする[5]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[7] SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて、前記SiC単結晶ウェハが凸状に湾曲されていることを特徴とする[1]乃至[4]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[8] SiCエピタキシャル膜と接する側に向いた前記SiC単結晶ウェハの湾曲が、連続的かつ一様に凸の形状を有し、その湾曲(反り)の値が前記SiC単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μm以上10μm以下の範囲にあることを特徴とする[7]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[9] 前記SiC単結晶ウェハがキャリア濃度の特異領域とそれ以外の領域を有し、特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度の絶対値の差が50%以下であることを特徴とする[1]乃至[4]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[10] 前記SiCエピタキシャル膜と前記SiC単結晶ウェハとの間にバッファ領域が形成されており、前記バッファ領域は、当該バッファ領域に含まれるキャリア濃度が前記SiC単結晶ウェハ側に向けて徐々に増加するように構成され、前記キャリア濃度の変化率が深さ方向0．5μm当たり80%以下であることを特徴とする[1]乃至[4]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[11] 前記SiC単結晶ウェハの厚みが350mm以上であることを特徴とする[1]乃至[10]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[12] 前記基底面転位に対する前記貫通刃状転位列の割合が50%以下であることを特徴とする[1]乃至[11]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[13] [1]～[12]のいずれか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板を備えたことを特徴とする半導体装置。

[14] SiC単結晶ウェハの前記主面上に、SiCエピタキシャル膜がエピタキシャル成長した、エピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法であって、

c面を主面とする、またはc面が0度超10度未満の傾斜角度で傾斜する面を主面とする、SiC単結晶ウェハを用意する工程と、

エピタキシャル成長時のSiC単結晶ウェハの温度分布を、ウェハ中央部からウェハ外周部に向かって正の温度分布を有するように調整しつつ、エピタキシャル成長時のウェハ中央部とウェハ外周部の温度差を0．1℃以上100℃以下に調整して、SiC単結晶ウェハの主面上に、SiCエピタキシャル膜をエピタキシャル成長させる工程と、

貫通刃状転位列の転位列密度が10本／cm^2以下である、エピタキシャルSiC単結晶基板を得る工程と、を含む。

[15] 前記SiC単結晶ウェハの主面が、c面に対して＜11－20＞方向に0度超10度未満の傾斜角度で傾斜していることを特徴とする[14]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[16] エピタキシャル成長時のキャリアガスとして水素を用い、前記水素流量が75slm以下であることを特徴とする[14]または[15]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[17] エピタキシャル成長時の温度が1600℃以上であり、SiCエピタキシャル膜の成長速度が5μm／h以上であり、エピタキシャル成長時の圧力が300Torr以下であることを特徴とする[14]乃至[16]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[18] 前記c面の結晶湾曲が前記主面に向けて凸状であるSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする[14]乃至[17]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[19] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲の曲率半径が、前記主面に対して連続的かつ一様に凸となる値を有し、その曲率半径値が10m以上1000m以下の範囲にあることを特徴とする[18]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[20] SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に湾曲されているSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする[14]乃至[17]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[21] SiCエピタキシャル膜と接する側に向かう前記SiC単結晶ウェハの湾曲が、連

続的かつ一様に凸の形状を有し、その湾曲(反り)の大きさの値が前記SiC単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μm以上10μm以下の範囲にあることを特徴とする[20]に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[22] 前記SiC単結晶ウェハとして、キャリア濃度の特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度の絶対値の差が50%以下であるSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする[14]乃至[17]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[23] 前記SiCエピタキシャル膜を形成する前に前記SiC単結晶ウェハ上にバッファ領域を形成する工程を備え、前記バッファ領域は、当該バッファ領域に含まれるキャリア濃度が前記SiC単結晶ウェハ側に向けて徐々に増加するように構成され、前記キャリア濃度の変化率が深さ方向0．5μm当たり80%以下とすることを特徴とする[14]乃至[17]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[24] 前記SiC単結晶ウェハの厚みが350μm以上であることを特徴とする[14]乃至[23]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[25] 前記基底面転位に対する前記貫通刃状転位列の割合が50%以下であることを特徴とする[14]乃至[24]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[26] 前記SiCエピタキシャル膜を形成する際に、プラネタリ型の結晶成長装置を用いることを特徴とする[14]乃至[25]の何れか一項に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[27] [14]乃至[26]のいずれか一項に記載の製造方法によって製造されたエピタキシャルSiC単結晶基板を用いることを特徴とする半導体装置の製造方法。

なお上記[1]のエピタキシャルSiC単結晶基板、及び上記[13] に開示される[1]のエピタキシャルSiC単結晶基板を備えた半導体装置、及び、記[14] に開示されるエピタキシャルSiC単結晶基板は、本発明の第1の態様、第2の態様、及び第3の態様である。なお、その他の[2]～[12]、及び[15]～[27]は本願の好ましい例を示したものであり、本発明をこれらのみに限定するものではない。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、エピタキシャルSiC単結晶基板におけるSiCエピタキシャル膜の貫通刃状転位列の発生を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、本発明の実施形態において使用されるエピタキシャル成長装置を示す断面模式図である。

[図2]図2は、本発明の実施形態であるエピタキシャルSiC単結晶基板を構成するSiC単結晶ウェハの断面模式図である。

[図3]図3は、本発明の実施形態であるエピタキシャルSiC単結晶基板を構成するSiC単結晶ウェハの斜視模式図である。

[図4]図4は、本発明の実施形態であるエピタキシャルSiC単結晶基板の断面模式図である。

[図5]図5は、本発明の実施形態であるエピタキシャルSiC単結晶基板の斜視模式図である。

[図6]図6は、貫通刃状転位列の発生メカニズムを説明する断面模式図である。

[図7]図7は、貫通刃状転位列の発生メカニズムを説明する断面模式図である。

[図8]図8は、貫通刃状転位列の発生メカニズムを説明する断面模式図である。

[図9]図9は、貫通刃状転位列の発生メカニズムを説明する断面模式図である。

[図10]図10は、貫通刃状転位列の発生メカニズムを説明する平面模式図である。

[図11]図11は、実施例1のエピタキシャルSiC単結晶基板の貫通刃状転位列の転位列本数を頻度とする、貫通刃状転位列の長さのヒストグラムである。

[図12]図12は、比較例1のエピタキシャルSiC単結晶基板の貫通刃状転位列の転位列本数を頻度とする、貫通刃状転位列の長さのヒストグラムである。

[図13]図13は、実験例1のエピタキシャルSiC単結晶基板におけるSiC単結晶ウェハの厚みと転位列の密度との関係を示すグラフである。

[図14]図14は、実験例2のエピタキシャルSiC単結晶基板におけるSiC単結晶ウェハの反り量と転位列の密度との関係を示すグラフである。

[図15]図15は、実験例3のエピタキシャルSiC単結晶基板の反射X線トポグラフ写真である。

[図16]図16は、実験例3のエピタキシャルSiC単結晶基板のKOHエッチング後の光学顕微鏡写真である。

[図17]図17は、図16の拡大写真である。

[図18]図18は、実験例4のエピタキシャルSiC単結晶基板の反射X線トポグラフ写真である。

[図19]図19は、実験例4のエピタキシャルSiC単結晶基板のキャリア濃度分布を示す図である。

[図20]図20は、実験例5のエピタキシャルSiC単結晶基板の反射X線トポグラフ写真である。

符号の説明

[0012] 1 SiC単結晶ウェハ

2 SiCエピタキシャル膜

11 貫通刃状転位列

発明を実施するための最良の形態

[0013] 以下、本発明の好ましい実施の形態について図面を参照して説明する。しかしながら本発明はこれら例のみに限定されるものではない。特に記載の無い限り、数、位置、材料などを必要に応じて選択してよいものである。

[0014] 本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板は、SiC単結晶ウェハと、SiC単結晶ウェハの主面上に形成されたSiCエピタキシャル膜とを含んで構成されている。

従来のSiCエピタキシャル膜には一般に貫通刃状転位列が発生していたが、本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板においては、この転位列密度が10本/cm^2以下である。転位列密度が10本/cm^2以下であれば、エピタキシャルSiC単結晶基板上にデバイスを形成した場合にデバイスの劣化を低減できる。なお転位列密度は、大電流デバイスでも用いるために0本以上0．5本/cm^2以下であることがより好ましく、さらには貫通刃状転位密度がゼロであることが最も望ましい。

[0015] 貫通刃状転位列は、一対の貫通刃状転位が基底面転位によってハーフループ状に繋がれたものである。この貫通刃状転位列は、SiCエピタキシャル膜の表面を溶融KOHによってエッチング処理し、エッチング後のSiCエピタキシャル膜の表面を光学

顕微鏡によって観察したときに、一対の貫通刃状転位によるピットが線状に連なった状態で観察される。本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板では、このようにして観察される一組の貫通刃状転位列の長さが1mm以下であることが好ましい。より好ましくは、0mm以上0．1mm以下であり、0mm以上0．01mm以下であればさらに好ましい。1mm以下であることにより、エピタキシャルSiC単結晶基板上にデバイスを形成した場合にデバイスの歩留まり劣化を低減できる。

[0016] この貫通刃状転位列は、SiC単結晶ウェハとSiCエピタキシャル膜との界面付近における基底面転位の伸張に起因するものである。すなわち、SiC単結晶ウェハに内在する基底面転位がSiCエピタキシャル膜に伝搬し、その伝搬した基底面転位の一部が、SiC単結晶ウェハとSiCエピタキシャル膜との界面付近において伸張するミスフィット転位となる。そしてこのミスフィット転位が、前記界面付近のストレスを緩和するように伸張し、エピタキシャル膜の成長面近傍においてミスフィット転位の先端が貫通刃状転位に転換され、この貫通刃状転位が最終的に貫通刃状転位列となる。従って、貫通刃状転位列を低減するには、以下の(I)～(III)の少なくとも何れか、好ましくは全てを行う事が有効である。

(I)SiCエピタキシャル膜の前記界面付近のストレスを低減することでミスフィット転位の伸張を抑制する。

(II)ミフフィット転位の原因である基底面転位の、SiC単結晶ウエハからSiCエピタキシャル膜への伝播を抑制する。

(III)SiCエピタキシャル膜の成長条件を最適化することでミスフィット転位から貫通刃状転位への転換を抑制する。

[0017] (I)で記載されたような、前記界面付近のストレスを低減するためには、SiCエピタキシャル膜の基材となるSiC単結晶ウェハを最適化すればよい。すなわち、本実施形態においては、以下の構成のSiC単結晶ウェハを用いることが好ましい。

[0018] 本実施形態に係るSiC単結晶ウェハは、c面を主面とするか、またはc面を0度超10度未満の傾斜角度で傾斜させた面を主面とする単結晶ウェハであり、具体的には4H－SiC型の単結晶ウェハである。主面がc面に対して傾斜しているものを使用する場合には、主面が、c面に対して＜11－20＞方向に0度超10度未満の傾斜角度で

傾斜していることが好ましい。なお、SiC単結晶ウェハの主面とは、SiCエピタキシャル膜を積層する面をいう。また、c面とは、4H－SiC結晶の(0001)面をいう。更に、本明細書における結晶の方位を表すミラー指数の表記については、たとえば＜11－20＞方向と表記した場合の前記「－2」は、本来は「2」の上に上線を付記することを意味するものである。

[0019] SiC単結晶ウェハは、SiC結晶のc面((0001)面)を主面とするか、またはc面を0度超10度未満の傾斜角度で傾斜させた面を主面とすることで、SiC単結晶ウェハと同一タイプの4H－SiC結晶からなるSiCエピタキシャル膜をSiC単結晶ウェハ上に成長できる。

[0020] また、SiC単結晶ウェハは、c面の結晶湾曲がウェハの主面に向けて連続的かつ一様に凸状とされていることが好ましい。c面の結晶湾曲が連続的かつ一様に凸状とは、c面の結晶湾曲に角張ったところが無く滑らかな状態であって、部分的に凹状になっているところがSiC単結晶ウェハ内にないことを意味する。c面の結晶湾曲の曲率半径は、10m以上1000m以下の範囲であることが好ましく、は10m以上300m以下である事がより好ましい。c面の結晶湾曲が主面に向けて凸状であることにより、SiCエピタキシャル膜に引っ張り応力が生じて膨張性ストレスが顕著となる一方で圧縮性ストレスが緩和され、これにより貫通刃状転位列の転位列密度を低減することが可能になる。ここで、結晶湾曲の曲率半径が10mより小さい場合にはSiCエピタキシャル膜に加わる膨張性ストレスが大きくなりすぎて密度が増大する恐れが高まり、c面の結晶湾曲の曲率半径が1000mより大きい場合には結晶湾曲が実質的にゼロとなって結晶湾曲を連続的かつ一様に凸状とすることが困難となる。

[0021] また、SiC単結晶ウェハは、主面に向けて、すなわちSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて、連続的かつ一様に凸状に反っている(湾曲されている)ことが好ましい。ウエハが主面に向けて、すなわちSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて、連続的かつ一様に凸状に反っているとは、ウエハの結晶湾曲に角張ったところが無く滑らかな状態であって、部分的に凹状になっているところがないことを意味する。SiC単結晶ウェハの湾曲の大きさ(反り)は、SiC単結晶ウェハの直径76mm当たり、0．1μm以上10μm以下の範囲にあることが好ましい。より好ましくは5μm以上10μm以下

である。SiC単結晶ウェハがSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反っていることにより、SiCエピタキシャル膜に引っ張り応力が生じて膨張性ストレスが顕著となる一方で圧縮性ストレスが緩和され、これにより貫通刃状転位列の転位列密度を低減することが可能になる。

上記反りを計測して定量化する方法はいくつかあるが、本明細書においてはWarpの値を用いる。Warpとは、ウエハをチャックしないフリーな状態で計測を行い、焦平面を基準面として、その面から上下方向のズレの最大値の合計として定義される。Warpは、ウエハの反りの定量化の場合に一般的に用いられる指標の一つである。ウエハ形状が一様に上に凸であるなどの単純な形状の場合には、Warpの計測値は一般的な定義での反りの値に対応しており、よって一致するものとして考えて良い。本文中において、形状をさす場合には“反り”を用い説明し、また実施例において特に定量化の方法を明示する必要がある場合には“Warp”を用いることにする。ここで、そりがSiC単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μmより小さい場合にはそりが実質的にゼロとなってそりを連続的かつ一様に凸状とすることが困難となり、そりがSiC単結晶ウェハの直径76mm当たり10μmより大きい場合にはSiCエピタキシャル膜に加わる膨張性ストレスが大きくなりすぎて貫通刃状転位列の転位列密度が増大する恐れが高まる。

[0022] なお、本発明ではウエハの反りの大きさを好ましくは、単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μm以上10μm以下の範囲である、と規定している。しかしながら、この規定は、本発明に係るSiC単結晶ウェハの直径を76mm（3インチ）のみに限定するものではない。本発明においてはその他の直径の単結晶ウエハであっても好ましく使用でき、好ましい反りの範囲も、ウエハの直径に対応させて変更して良い。例えば、直径2インチのウエハであれば、反り量の範囲は0．067μm～6．7μmとなり、直径3インチのウエハであれば、反り量の範囲は0．1μm～10μmとなり、直径4インチのウエハであれば、反り量の範囲は0．13μm～13．3μmとなる。このように本発明では、反り量を直径との関係を規定できるものである。

[0023] 本発明において、SiC単結晶ウェハとしては、c面が湾曲しているもの、または、SiC単結晶ウェハ自体が主面に向けてすなわちSiCエピタキシャル膜と接する側に向け

て凸状に反っているもの、のいずれか一方を満たすものを用いればよい。また、c面が湾曲し、かつSiC単結晶ウェハ自体が凸状に反っているものを用いてもよい。

[0024] 更に、本実施形態のSiC単結晶ウエハには、電気抵抗を制御するために窒素等のドーパントが好ましく添加されている。ドーパントの濃度(キャリア濃度)は、例えば、1×10^{15}～$1\times10^{19}cm^{-3}$程度の範囲が好ましく、$1\times10^{15}cm^{-3}$～$1\times10^{17}cm^{-3}$の範囲がより好ましい。

[0025] また、SiC単結晶ウエハのドーパント濃度は、ウエハの主面の面内において一定の濃度であることが好ましいが、SiC単結晶ウエハの製造過程においてドーパント濃度に分布が生じる場合がある。例えば、主面上のある領域におけるドーパント濃度が、主面上のその他の領域におけるドーパント濃度よりも高くなる場合がある。本実施形態では、ドーパント濃度が高くなる領域を「キャリア濃度の特異領域」と呼び、その他の領域を「それ以外の領域」とよぶ。この特異領域は例えば、主面上に島状に現れる。本実施形態のSiC単結晶ウエハは、特異領域のドーパント濃度と、それ以外の領域のドーパント濃度との絶対値の差が、50%以下になるものを用いることが好ましい。言い換えると、特異領域のドーパント濃度をa(cm^{-3})とし、それ以外の領域のドーパント濃度をb(cm^{-3})とした場合に、b／aが0．5以上1以下の範囲であることが好ましい。特異領域とそれ以外の領域とのドーパント濃度の差が50%を超えると(b／aが0．5未満になると)、貫通刃状転位列の転位列密度が増大するので好ましくない。

[0026] 以下、特異領域とそれ以外の領域とのドーパント濃度の差を50%以下に限定する理由を説明する。

SiC単結晶には、ドーパント濃度が増加するに従ってSiC結晶の格子定数が減少する性質がある。従って、キャリア濃度の特異領域におけるSiCの格子定数は、それ以外の領域の格子定数に比べて小さくなる。また、SiCエピタキシャル膜の格子定数は本来、ドーパント濃度によって決まるが、実際にはエピタキシャル成長の下地となるSiC単結晶ウエハの格子定数にも影響される。

ここで、キャリア濃度の特異領域上にSiCエピタキシャル膜がエピタキシャル成長すると、このSiCエピタキシャル膜は、特異領域のSiC単結晶の格子定数に合うように成長するため、この部分の主面内上に形成されるSiCエピタキシャル膜の格子定数は

本来のエピタキシャル膜の格子定数よりも小さくなる。

一方、それ以外の領域上に形成されるSiCエピタキシャル膜は、それ以外の領域のSiC単結晶の格子定数に合うように成長するため、特異領域上のエピタキシャル膜よりも、この部分の主面内上に形成されるSiCエピタキシャル膜の格子定数は大きくなる。

このように、特異領域が存在することによって、SiCエピタキシャル膜の主面内に、格子定数が大きい部分と小さい部分が生じる。主面内の格子定数が小さな部分では、エピタキシャル膜に圧縮応力が印加された状態になっている。このため、特異領域では、貫通刃状転位列の転位列密度が増大しやすくなる。

[0027] 本発明者らは、主面における特異領域の面積比よりも、特異領域とそれ以外の領域とのドーパント濃度の差を50%以下にすることが、貫通刃状転位列の転位列密度を低減する際に有効であることを見出した。ドーパント濃度差を50%以下にすることで、貫通刃状転位列の転位列密度を10本/cm^2以下にすることがより容易になる。

なお、ドーパント濃度の差を50%以下にする場合は、併せて、SiC単結晶ウエハにおけるc面の結晶湾曲をウエハの主面に向けて凸状とするか、あるいはSiCエピタキシャル膜と接する側に向けてSiC単結晶ウェハが凸状に湾曲されていることがより好ましい。

[0028] 更に、SiC単結晶ウェハの厚みは、350μm以上であることが好ましい。より好ましくは350μm以上600μm以下である。厚みが350μm以上であれば、エピタキシャル成長時における熱分布に起因するSiC単結晶ウェハの反りの増大が十分に抑制される。よって、SiCエピタキシャル膜に加わるストレスが小さくなり、これによりエピタキシャル膜におけるミスフィット転位の数を少なくすることができ、貫通刃状転位列の転位列密度を低減することが可能になる。ここで、SiC単結晶ウェハの厚みが350μmより小さい場合には、エピタキシャル成長時における熱分布の不均一性に起因するSiC単結晶ウェハの反りが大きくなってしまい、SiCエピタキシャル膜に加わるストレスが大きくなる。これによりエピタキシャル膜におけるミスフィット転位の数が増えることで貫通刃状転位列の転位列密度が増大する可能性が高まる。

[0029] 本実施形態では、SiCエピタキシャル膜の厚みや、SiCエピタキシャル膜に窒素等

のドーパントを導入する場合のドーパント濃度（キャリア濃度）は、特に制限されず必要に応じて選択してよい。SiCエピタキシャル厚みは1～100μm程度であることが好ましく、さらに好ましくは6～10μm程度である。またSiCエピタキシャル膜のドーパント濃度は、例えば1×10^{15}～$1\times10^{19}cm^{-3}$程度の範囲として、SiC単結晶ウェハのドーパント濃度より低くすることが、エピタキシャルSiC単結晶基板に形成するデバイスの耐圧を向上できる点で好ましい。より好ましいドーパント濃度は、$0.5\times10^{16}cm^{-3}$以上$1\times10^{17}cm^{-3}$未満の範囲である。

[0030] また、SiCエピタキシャル膜のSiC単結晶ウェハと接する側には、バッファ領域を設けることが好ましい。このバッファ領域は、SiCエピタキシャル膜とSiC単結晶ウェハとのドーパント濃度差を緩和するものであり、当該バッファ領域に含まれるドーパンド濃度（キャリア濃度）がSiC単結晶ウェハ側に向けて徐々に増大するように構成される。バッファ領域の厚さは0.1μm以上5μm以下であることが好ましく、0.1μm以上3μm以下であることがより好ましい。このバッファ領域は、SiC単結晶ウェハと接していることが好ましい。

[0031] SiC単結晶ウエハのドーパント濃度は、SiCエピタキシャル膜のドーパント濃度よりも高い。このため、SiC単結晶ウエハとSiCエピタキシャル膜との界面において応力集中が起きやすく、界面転位が出来やすい状況にある。そこで、SiCエピタキシャル膜のSiC単結晶ウェハと接する側にバッファ領域を形成することによって、SiCエピタキシャル膜とSiC単結晶ウェハとの界面における応力集中を緩和させ、これにより界面転位の発生を防止して貫通刃状転位列の転位列密度を低減できる。

[0032] また、バッファ領域におけるキャリア濃度の変化率は、エピタキシャル膜からSiC単結晶ウエハに向かう方向に沿って、0.5μmの深さ当たり80%以下であることが好ましい。（キャリア濃度の変化率は、キャリア濃度が上記の方向に変化する場合、キャリア濃度が高い部分の濃度値を基準にし、変化量の値の割合を、比率で表すとする）変化率が80%を超えると、ドーパント濃度の変化幅が大きくなり過ぎて、エピタキシャル膜中における応力が増大し、貫通刃状転位列の転位列密度が増大しやすくなるので好ましくない。

[0033] バッファ領域は、SiCエピタキシャル膜の成長過程において、ドーパント濃度を徐々

に減少させるように制御することで、SiCエピタキシャル膜と一体となって形成できる。バッファ領域の厚みは、SiC単結晶ウエハ、及びSiCエピタキシャル膜の各ドーパント濃度に合わせて適宜設定すればよい。

[0034] 次に、本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法について説明する。

まず、上記のSiC単結晶ウェハを用意する。SiC単結晶ウェハの主面は、RCA洗浄等によって予め前処理しておくことが好ましい。

[0035] 次に、SiC単結晶ウェハをエピタキシャル成長装置に導入する。SiCエピタキシャル成長に用いる装置はいくつかの方式が提案されており、成長条件が制御できれば特に限定されず必要に応じて選択してよい。本実施形態では、量産性に優れたプラネタリ型のエピタキシャル成長装置を用いる。プラネタリ型のエピタキシャル成長装置は、中央部からガス供給を行う形式の成長装置である。このプラネタリ型エピタキシャル成長装置では、ガスの供給口を中心にして複数のウエハを水平に配置する。そして、ガス供給口を中心にして全てのウェハを公転させるとともに、ウェハ中心を軸にしてウェハ自体を自転させる、水平自公転型のエピタキシャル成長装置である。また、この成長装置としては、SiC単結晶ウェハに対向する部分も過熱するホットウオール型を用いることが好ましい。

[0036] 図1に、エピタキシャル成長装置の一例を示す。図1に示すエピタキシャル成長装置101は、黒鉛からなる円盤状のプラネタリ102と、黒鉛からなる円盤状のシーリング103と、プラネタリ102とシーリング103との間に設けられた反応室104と、シーリング103の中央部を貫通して反応室104内にガスを供給するガス供給部105と、プラネタリ102及びシーリング103をそれぞれ加熱する高周波コイル106、107とから概略構成されている。

[0037] プラネタリ102の下面中央部には、公転用回転軸102aが取り付けられ、また上面周辺部には、上面中央部を囲むように複数のSiC単結晶ウェハの設置部102b(サセプタ)が設けられている。各設置部102bには、図示しない自転用回転軸が取り付けられている。また、公転用回転軸102aは、ガス供給部105の直下に配置されている。

上記構成によって、ガス供給部105を中心軸にしてSiC単結晶ウェハをプラネタリ102によって公転させるとともに、SiC単結晶ウェハの中心を軸にしてSiC単結晶ウェハ自体を設置部102bによって自転させるようになっている。

[0038] このような成長装置においては、中心部に配置されたガス供給部105より冷たいガスが導入されることや、プラネタリ102の中心部には誘導加熱が加わりづらいことから、一般的に、中心部に近づくにつれてプラネタリ102の温度が低下しやすい。この影響を受けて、自転する各サセプタ102bの外周部、すなわちサセプタ102b上に設置されるSiC単結晶ウエハの外周部の温度が低下する傾向がある。このため、一般的なプラネタリ型のエピタキシャル成長装置おいては、設置されるSiC単結晶ウエハが、ウエハ中央部で温度が最も高く、ウエハ外周部にいくにつれて温度が低下する温度勾配を有することになる。このSiC単結晶ウエハの温度勾配は、エピタキシャル成長過程においてSiC単結晶ウエハの中央部に圧縮性のストレスを生じさせる。

[0039] このSiC単結晶ウエハの温度勾配は、導入するガスの流量や、誘導加熱コイルの位置の変更などによって変化する。本実施形態では、ウエハ中央部で温度が最も低く、ウエハ外周部にいくにつれて温度が高くなる温度勾配を有するように、導入するガスの流量や、誘導加熱コイルの位置を調整することが望ましい。

[0040] 次に、SiC単結晶ウェハの主面上にSiCエピタキシャル膜を成長させる。

SiC単結晶ウェハを図1のエピタキシャル成長装置に設置した後、ガス供給部から原料ガスをキャリアガスとともに供給する。原料ガス、キャリアガス及びドーパントガスなどは、必要に応じて選択してよい。例えば、原料ガスとしては、SiH_4とC_3H_8の混合ガスを使用し、キャリアガスとしては水素を使用できる。また、ドーパントガスとして窒素を導入してもよい。また、原料ガスにおけるC／Siモル比は、0．3～3程度にすれば好ましい。また、キャリアガスとして水素を用いた場合の水素流量は75slm以下とすることが好ましく、50slm以上75slm以下とすることがより好ましい。

また、成長条件は必要に応じて設定して良い。SiCエピタキシャル膜の成長速度を5μm／h以上とし、成長温度を1550℃以上、好ましくは1600℃以上とし、SiCエピタキシャル膜を成長する際の雰囲気圧力を300Torr以下とすることが好ましい。SiCエピタキシャル膜の成長速度を5μm／h～20μm／hの範囲とし、成長温度を160

0℃～1650℃の範囲とし、エピタキシャル膜を成長する際の雰囲気圧力を50Torr～300Torrの範囲とすることがより好ましい。

このような成長条件でSiCエピタキシャル膜を成長させることで、ミスフィット転位から貫通刃状転位への転換を抑制することができ、貫通刃状転位列の転位列密度を10本／cm^2以下にすることがより容易になる。

[0041] また、エピタキシャル成長時のSiC単結晶ウェハの温度分布を、ウェハ中央部からウェハ外周部まで連続的に一様に正の温度分布とする、すなわちウエハ中央部から外周部に向けて温度を徐々に上昇させる、とともに、ウェハ中央部とウェハ外周部の温度差を0．1℃以上100℃以下の範囲にすることが好ましい。SiC単結晶ウェハの温度分布を上記のように制御することで、SiCエピタキシャル膜のウェハ中央部において膨張性のストレスが発生する。特に、SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反ったSiC単結晶ウェハを用いた場合には、SiCエピタキシャル膜における膨張性のストレスが更に強まる。これにより、ミスフィット転位から貫通刃状転位への転換を抑制することができる。

ここで、ウェハ中央部とウェハ外周部の温度差が0．1℃より低い場合には、温度勾配が実質的にゼロとなって温度分布を連続的かつ一様に正とすることが困難となり、ウェハ中央部とウェハ外周部の温度差が100℃より高い場合には、温度分布が大きくなりすぎて欠陥密度が増大する恐れが高まる。

[0042] 上記の製造条件によってSiCエピタキシャル膜を成長させることによって、SiCエピタキシャル膜中のミスフィット転位を含む基底面転位に対する貫通刃状転位列の割合が50％以下となり、貫通刃状転位列の密度を低減させることがより容易になる。

[0043] 以下、本実施形態の作用効果について、貫通刃状転位列の発生メカニズムを中心に説明する。

[0044] 「貫通刃状転位列の発生メカニズム」

貫通刃状転位列の発生メカニズムについて、4H－SiCからなるSiC単結晶ウェハの主面上に4H－SiCからなるSiCエピタキシャル膜を形成する場合を例にして説明する。図2及び図3に示すSiC単結晶ウェハ1（以下、ウェハと表記する場合がある）は、主面1aが、図中一点鎖線で示すc面（(0001)面）に対して＜11－20＞方向に0

度以上10度未満の傾斜角度で傾斜している、SiC単結晶ウェハである。なお図における傾斜角度は分かりやすく記載されたものであり、実際の傾斜角度とは異なっていても良いものとする。

[0045] 次に図4及び図5に示すように、SiC単結晶ウェハ1にSiCエピタキシャル膜2(以下、エピタキシャル膜と表記する場合がある)を形成する。エピタキシャル膜2におけるSiC結晶のc面は、図中二点鎖線に示すように、ウェハ1のc面と平行に形成される。

このとき、図5に示すように、エピタキシャル膜2には主に、(a)～(c)の3種類の基底面転位が発生する。すなわち、図5の符号(a)に示されるような、ウェハ1とエピタキシャル膜2との界面(以下、epi/sub界面という)において、ウェハ1に内在する基底面転位(BPD(以下u-BPDと表記する))がエピタキシャル膜2中に基底面転位(BPD(以下、epi-BPDと表記する))として伝播するものがある。また、図5の符号(b)に示すように、SiC単結晶ウェハ1中の貫通刃状転位(TED((以下、u-TEDと表記する))がepi/sub界面付近で基底面転位に転換されてSiCエピタキシャル膜2中に基底面転位(epi-BPD)として伝播するものがある。更に、図5の符号(c)に示すように、epi/sub界面付近あるいはepi/sub界面付近以外のエピタキシャル膜中において、新たに基底面転位(epi-BPD)が生成され、SiCエピタキシャル膜2中にBPDとして伝播するものがある。これらのSiCエピタキシャル膜2中の基底面転位の一部は、エピタキシャル成長中に貫通刃状転位に転換されて、それ以降は貫通刃状転位として伝播するものもある。

[0046] エピタキシャル膜2には、エピタキシャル成長する際にウェハ1との間でストレスが発生するが、そのストレスがある臨界値より大きい場合には、図5の符号(d)に示すように、エピタキシャル膜中の基底面転位epi-BPDは、epi/sub界面付近におけるストレスを緩和するために、エピタキシャル成長中に、epi/sub界面付近においてオフカット方向と直行する方向に伸張する。このオフカット方向と直行する方向に伸張したepi-BPDをミスフィット転位(以下、MFDと表記する)という。

このとき、ミスフィット転位の先端部であるepi-BPDの先端が、エピタキシャル膜2の成長表面2aに現れる。この先端は、epi/sub界面付近でのミスフィット転位の伸張に引きずられて、オフカット方向と直行する方向に先端位置が移動する。例えば、＜11－2

0＞方向にオフカットしたSiC単結晶ウェハを使用する際には、epi/sub界面付近でのミスフィット転位MFDの伸張方向、ならびにミスフィット転位MFDの先端におけるエピタキシャル膜表面での移動方向は、ともに＜1－100＞方向となる。

[0047] 図6に示すように、エピタキシャル成長中に、ミスフィット転位MFDの先端位置がオフカット方向（＜11－20＞）と直行する方向（＜1－100＞方向）に移動している最中に、一部のミスフィット転位において、先端部である基底面転位（epi-BPD1と表記する）は、エピ成長表面部分において貫通刃状転位（TED（（以下、epi-TED1と表記する））に変換される。さらにこのepi-TED1に変換された部分によって、epi-BPD1の移動がピンニング（pinning）される。ピンニング後も、図7に示すように、ミスフィット転位MFDのepi/sub界面付近での伸張は継続するため、これに引きずられて、ミスフィット転位MFDとepi-TED1との間にあるepi-BPD1がSiCエピタキシャル膜2中で弓状の形状となる。

[0048] 図8に示すように、弓状の形状となったepi-BPD1のエピタキシャル膜の成長表面2a近傍では、epi-BPD1と成長表面2aとがほぼ並行になり、鏡像力によってさらにepi-BPD1が成長表面2aに引きつけられる。このとき、epi-BPD1の先端はepi-TED1となって既にピンニングされている。成長表面2aに引きつけられた弓状部分の延長部であるepi-BPD1は、図9に示されるように、エピタキシャル膜の成長表面2aに現れて、そこで別の貫通刃状転位（TED（以下、epi-TED2という）へと変換される。

そしてepi-BPD1の弓状の延長部の先端部分の一部が成長面2aに現れる際には、epi-BPD1の端部が表面において2個形成され、その後それぞれがepi-TED（epi-TED1のペアの片方及びepi-TED2のペアの片方）の表面における端部となる。このため、図10に示すようにTEDは必ず2個ペアになって形成される。この後、エピタキシャル膜中で更に移動するepi-BPD1は、その先端に新たに形成された別のTEDにより再度ピンニングされ、以後これら現象が繰り返される。

[0049] 図6～図10において説明した現象が、ミスフィット転位のepi/sub界面付近での伸張が停止するまで、すなわちepi/sub界面付近のストレスが十分に緩和されるまで繰り返され、結果としてepi/sub界面付近に伸張するミスフィット転位と、エピタキシャル膜中に生じたTED列11とが、形成される。

[0050] このように、TED列の発生は、ミスフィット転位と直接的な関係がある。TED列は、その底面にBPDを有している。このため、BPDと同様にデバイスへの信頼性への悪影響がある。その発生メカニズムから明らかなように、1つのミスフィット転位から多数のTEDペアからなるTED列が発生する。つまり、TED列の発生はBPDの増殖を意味するので、TED列を低減することは重要である。

[0051] 上記メカニズムから、TED列を低減する方法としては、(1)epi/sub界面付近でオフカット方向と直行する方向に伸張するミスフィット転位の生成を防止する、及び(2)ミスフィット転位を伴いエピタキシャル膜2中を移動するepi-BPD(以下、epi-MFD/BPDと表記する)を貫通刃状転位に変換させずにミスフィット転位のままとして成長させる手段がある。これらの手段を用いることにより、TED列が少ない高品質のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造することが可能になる。以下に(1)の手段と(2)の手段について説明する。

[0052] <上記(1)の手段について:ミスフィット転位の生成を防止する手段>

上述したように、ミスフィット転位はepi/sub界面付近におけるストレスを緩和するために伸張するので、ミスフィット転位の伸張を防止するには、前記界面付近におけるストレスを低減すればよい。この前記界面付近におけるストレスは、ウェハの結晶湾曲、ウェハ自体の反り、あるいはエピタキシャル成長時におけるウェハの温度分布などによって引き起こされる。

[0053] ミスフィット転位を生成する起源となるストレスが、ウェハの結晶湾曲や反り、あるいはウェハの温度分布によって引き起こされていることについては、以下のように説明できる。

ウェハには、基底面転位u-BPDが基板表面において10^3個/cm^2～10^4個/cm^2程度の密度で存在している。これらu-BPDの存在によって、SiC単結晶ウェハの基底面であるc面((0001)面)が凹あるいは凸へと湾曲することになる。

このようなu-BPDを含むウェハの主面上に、ステップフローエピタキシャル成長を行うと、ウェハの主面に現れたu-BPDの多く(通常は90%以上)が、結果としてエピタキシャル膜において貫通刃状転位TEDに変換される。この際、TEDの配置によってエピタキシャル膜の{1－100}面が湾曲することとなる。

[0054] すなわち、上記のように、ウェハでは、ウェハ中にu-BPDが存在することによって、c面が凹あるいは凸の形状となっているのに対して、エピタキシャル膜では、エピタキシャル成長をする際にエピタキシャル膜中でepi-BPD1がepi-TEDに変換されることで、c面の湾曲成分が消失し、これに代わってエピタキシャル膜中では{1－100}面が凹あるいは凸の形状となる。従って、c面が凹あるいは凸であるウェハの主面上に、c面が平坦であり(1－100)面が凹あるいは凸であるエピタキシャル膜が積層されることになり、その結果epi/sub界面付近にストレスが形成される。この前記界面付近におけるストレスの大きさは、ウェハ中のBPD密度やSiC単結晶ウェハのc面の結晶湾曲度などによって影響を受ける。

[0055] このように、u-BPDの存在に起因する結晶湾曲を有するウェハに対してエピタキシャル成長を行う場合、エピタキシャル膜の膜厚の増加につれて、epi/sub界面付近にかかるストレスが増大する。そして、前記界面付近におけるストレスがある値以上を超えたとき、epi/sub界面付近にミスフィット転位が生成されることになる。

[0056] なおウェハのc面((0001)面)は、ウェハ中にu-BPDが存在しない場合においても弾性的に湾曲する場合がある。このような弾性的な結晶湾曲は、ウェハの表面と裏面の表面状態(研磨など)の差や、ウェハ内の温度分布などによってもたらされる。この場合、ウェハの湾曲に合わせてエピタキシャル膜のc面((0001)面)も湾曲することとなり、エピタキシャル膜の膜厚が増加するにつれてエピタキシャル膜に加わるストレスが増大する。そして、エピタキシャル膜の膜厚が臨界膜厚に達した時点で、その臨界膜厚の部分においてミスフィット転位が生成されることとなる。このストレスの大きさは、ウェハの主面及び主面と反対側の面の表面状態の差や、ウェハ内の温度分布によって決定される。ウェハがエピタキシャル成長炉内でサセプタ上に設置され、サセプタに高周波誘導加熱が加えられた状態でウェハに向かってガスが流される場合には、サセプタの温度分布(ホットウォール型のエピタキシャル成長炉の場合にはシーリング温度分布も含まれる)や、ウェハの反り、及びガスの流量や圧力等に応じて、ウェハの面方向、及び断面垂直方向の温度分布が決定され、それぞれがエピタキシャル膜中に加わるストレスの大きさに影響する。

[0057] 実際の4H－SiCのエピタキシャル成長においては、ウェハ中のu-BPDがエピタキ

シャル膜内でTEDに変換されることに起因する界面性ストレスと、SiC単結晶ウェハの弾性湾曲に起因するストレスとが混在していると考えられる。

[0058] 以上のことから、epi/sub界面付近においてオフカット方向と直行する方向へのミスフィット転位の伸張を引き起こすストレスを軽減するには、以下の(i)～(iv)を対策としてあげる事ができる。

(i)SiC単結晶ウェハのu-BPD密度を低減するか、SiC単結晶ウェハの結晶湾曲を低減する。

(ii)SiC単結晶ウェハの反りを低減する。

(iii)エピタキシャル成長炉内でサセプタの温度分布を均一化する。

(iv)ガスの流量、圧力を調整して、ウェハの温度分布が最小になるようにする。

[0059] 上記(i)～(iv)を全て実質的に達成することは、実際には困難であると思われた。本発明者らが鋭意研究を行ったところ、以下の点が明らかになってきた。

(A)ウェハの結晶湾曲が凹の部分ではミスフィット転位の生成が顕著であるが、凸の部分ではミスフィット転位が生成されないこと。

(B)ウェハの反りが凹の部分ではミスフィット転位の生成が顕著であるが、凸の部分ではミスフィット転位が生成されないこと。

(C)ウェハの温度分布がウェハ外周部で低下する場合にはウェハ中央部でミスフィット転位の生成が顕著であり、ウェハの温度分布がウェハ外周部で低下しない場合にはウェハ中央部でミスフィット転位が生成されないこと。

[0060] 判明した上記(A)は、以下のように説明される。

ウェハのc面の結晶湾曲が凹である場合には、ウェハ中のu-BPDがエピタキシャル成長時にエピタキシャル膜においてTEDに変換されることで、エピタキシャル膜には圧縮性ストレスが加わる。一方、SiC単結晶ウェハのc面の結晶湾曲が凸である場合には、ウェハ中のU-BPDがエピタキシャル成長時にエピタキシャル膜においてTEDに変換されることで、エピタキシャル膜には膨張性ストレスが加わる。

[0061] また、ウェハのc面の結晶湾曲が凹である場合には、エピタキシャル膜の膜厚増加につれてエピタキシャル膜の結晶格子が縮まるために、エピタキシャル膜にはさらに圧縮性ストレスが加わる。一方、ウェハのc面の結晶湾曲が凸である場合には、エピタ

キシャル膜の膜厚増加につれてエピタキシャル膜の結晶格子が拡大されるために、エピタキシャル膜には膨張性ストレスがさらに加わる。これらの場合、加えられたものが同じ絶対値を有するストレスであっても、エピタキシャル膜に圧縮性ストレスが加わる場合にはミスフィット転位の生成が顕著となり、エピタキシャル膜に膨張性ストレスが加わる場合にはミスフィット転位の生成が起こりにくい。すなわち、SiC単結晶ウェハのc面の結晶湾曲をウェハの主面側に向けて凸にすることで、ミスフィット転位の伸張が防止されるとともに、ミスフィット転位の生成が発生起源であるTED列の発生も防止できる。

[0062] 次に、判明した上記(B)は、以下のように説明される。

主面を上側にしたときのウェハの反りが凹状になる場合には、エピタキシャル成長炉におけるウェハと加熱サセプタとの接触がウェハ中央部のみとなる。従って、エピタキシャル成長時においてウェハ中央部が余計に加熱されることとなる。このとき、ウェハ中央部からウェハ外周部にかけて負の温度勾配が生じ、すなわち外周部に向けて温度が下がり、その結果、ウェハ中央部には圧縮性のストレスが加わる。ウエハ面内で温度が高いところに圧縮性のストレスが、低いところに膨張性のストレスが加わることになるためである。ウェハの反りが凹であるので、ウェハの主面側では圧縮性ストレスが生じる。この場合、ウェハ外周部では温度勾配による膨張性のストレスと反りによる圧縮性のストレスとが相殺される。

[0063] 一方、ウェハの反りがSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて、すなわち主面側に向けて、凸状である場合には、ウェハと加熱サセプタの接触部はウェハ外周部となり、ウェハ外周部が余計に加熱されることとなる。このとき、ウェハ中央部からウェハ外周部にかけて正の温度勾配が生じ、すなわち外周部に向けて温度が上がり、その結果、ウェハ中央部では膨張性のストレスが加わる。ウェハの反りが凸であるので、ウェハの主面側のウェハ中央部では膨張性ストレスが生じる。この場合、ウェハ外周部では温度勾配による圧縮性のストレスと反りによる膨張性のストレスとが相殺される。

これらの場合、たとえ同じ絶対値のストレスであっても、エピタキシャル膜に圧縮性ストレスが加わる場合にはミスフィット転位の生成が顕著となり、エピタキシャル膜に膨張性ストレスが加わる場合にはミスフィット転位の生成が起こりにくい。すなわち、ウェ

ハの反りをSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸にすることで、ミスフィット転位の伸張が防止されるとともに、ミスフィット転位の生成が発生起源であるTED列の発生も防止できる。

[0064] 次に、判明した上記(C)は、以下のように説明される。

上記(A)及び(B)で述べたように、ウェハのc面の結晶湾曲が凸の場合やウェハの反りが凸である場合には、ミスフィット転位の生成は抑制される。一方で、c面の結晶湾曲が凹の場合やウェハの反りが凹である場合には、ウェハ中央部においてエピタキシャル膜に圧縮性のストレスが生じ、その結果、ミスフィット転位が生成される可能性がある。上記で説明されたように、ウェハの温度がウェハ中央部から外周部にかけて正の温度分布を有する場合には、この温度勾配によってウェハ中央部に膨張性のストレスが加わる。このため、ウェハの温度がウェハ中央部から外周部にかけて正の温度分布を有するようにされる場合には、c面の結晶湾曲が凹の場合やウェハの反りが凹である場合にも、そのウェハ中央部におけるエピタキシャル膜への圧縮性ストレスが相殺される。その結果として、ミスフィット転位の伸張が防止されるとともに、ミスフィット転位の生成が発生起源であるTED列の発生も防止できる。

[0065] ウェハの温度勾配については、エピタキシャル成長炉におけるサセプタ自身の温度分布のほか、ウェハに向かって流れるガスの流量や圧力によって制御することができる。中央部からガス供給を行うプラネタリ型のエピタキシャル成長装置においては、そのガス流が自転するウェハの外周部側からウェハに到達するため、ウェハの外周部がガス流によって最初に冷やされる。このため、通常のプラネタリ型と同種のエピタキシャル成長装置のセッティングにおいては、ウェハの温度がウェハ中央部から外周部にかけて負の温度分布をとるようになる。

しかしながら、この温度勾配は、サセプタに加わる高周波誘導量の分布を適切に調整することで、ウェハの温度がウェハ中央部から外周部にかけて、正の温度分布をとるようにすることが可能である。

[0066] 以上のように、本発明によれば、SiC単結晶ウェハの結晶湾曲、SiC単結晶ウェハの反り、またはSiC単結晶ウェハの温度分布が実質的にゼロでなくとも、結晶湾曲の方向やソリの方向、及び温度分布の方向を制御することによって、エピタキシャル膜

に加わるストレスの方向を制御でき、結果としてepi/sub界面付近でオフカット方向と直行する方向にミスフィット転位が伸張することを防止できる。

[0067] <上記(2)の手段について:BPDをTEDに変換させずにBPDのままとして成長させる手段>

次に、上記(2)の手段について説明する。

TED列の生成メカニズムにおいて説明したように、epi-MFD/BPDの先端部がエピ成長表面においてepi-TEDに変換されることでTED列の生成が引き起こされる。

従って、エピタキシャル成長中に、epi-MFD/BPDの先端位置がオフカット方向と直行する方向に移動してミスフィット転位を生成しても、そのepi-MFD/BPDの先端部がepi-TEDに変換されなければエピタキシャル膜中にTED列は生成されない。エピタキシャル膜中でepi-MFD/BPDがepi-TEDに変換する割合は、エピタキシャル膜の成長速度、成長温度、及び雰囲気圧力などによって制御することができ、適正な成長条件ではその割合を50%以下にすることができる。

[0068] BPDをTEDになるべく変換さないための具体例を挙げれば、ウェハの主面上にエピタキシャル膜を形成するエピタキシャルSiC単結晶基板の製造において、エピタキシャル成長時のSiC単結晶ウェハの温度分布を、ウェハ中央部からウェハ外周部に沿って正の温度分布とするとともに、ウェハ中央部とウェハ外周部の温度差を0.1℃以上100℃以下とした上で、エピタキシャル膜の成長速度を5μm/h以上とし、成長温度を1600℃以上とし、エピタキシャル膜を成長する際の雰囲気圧力を300Torr以下とすることが好ましい。

上記条件によれば、ミスフィット転位MFDから貫通刃状転位TEDへの転換を抑制でき、TED列を低減できる。

エピタキシャル膜の成長条件が上記の範囲から外れると、ミスフィット転位MFDから貫通刃状転位TEDへの転換を抑制できず、TED列の密度を低減できなくなる可能性がある。

[0069] また、上述したように、各過程において、転位列の発生の要因としては、エピタキシャル膜に圧縮性ストレスが加わることが大きな要因となっている。本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板では、所望の電気特性を得るために、SiC単結晶ウェハやS

iCエピタキシャル膜に対してドーピングを行っている。通常行われるn型ドーピングでは、ドーパントとして窒素が用いられる。窒素は、母体であるSiC結晶中のCと置換する形で結晶中に存在する。その為、窒素を高濃度にドーピングした場合は、SiCの格子定数は小さくなる方向に動く。そのため、SiCエピタキシャル膜とSiC単結晶ウエハとの界面において、ドーピングによるキャリア濃度差がある場合、一般には後述する理由からウエハに高濃度の窒素がドープされ、エピタキシャル膜側に圧縮応力（圧縮性ストレス）が加わることが想定される。転位列の発生原因となる圧縮応力は、SiC単結晶ウエハの主面内に局所的に発生するものであり、いままで述べてきたように種々の要因がからむ複雑なものである。このようなドーピングに起因する応力の低減も、転位列低減の際、考慮すべき重要な手段の一つであると考えられる。

[0070] SiC単結晶ウエハでは、ウエハが成長した条件により、ウエハの主面内に、それ以外の部分とのキャリア濃度の差が生じる特異部分が発生することがあり、これはファセットとも呼ばれる。ドーパントとして窒素を用いる場合、この特異部分は、その周辺部分よりもキャリア濃度が高くなる。従って、その特異部分とその周辺部分との境界部分には、大きなキャリア濃度勾配が生じる。

このようなSiC単結晶ウエハにSiCエピタキシャル膜を積層すると、特異部分の境界近傍で、SiCエピタキシャル膜とSiC単結晶ウエハの格子定数差に起因する複雑な応力が発生する。実際にこのような特異領域を持つSiC単結晶ウエハを使用してエピタキシャル成長を行った結果、周辺部に転位列が発生する可能性がより高いことを確認できている。

その為、特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度の差が50％より大きい特異領域を持たないSiC単結晶ウエハを使用することが好ましい。

[0071] 一般に、SiC単結晶ウエハは、電気抵抗を小さくするため高濃度の窒素がドープされ、一方、SiCエピタキシャル膜には、逆方向耐圧の設計上の要請から、低濃度の窒素がドープされる。その為、エピタキシャル層には圧縮応力が加わると考えられる。その様なキャリア濃度差による応力を緩和する為、エピタキシャルSiC単結晶基板においては、キャリア濃度変化を小さくする対策をとることが望ましい。特に、SiCエピタキシャル膜内で深さ方向の任意の位置における0．5μｍ当たりのキャリア濃度変化

率が80％以下となるバッファ領域を設けることが好ましい。

[0072] 本実施形態のエピタキシャルSiC単結晶基板及びその製造方法は、例えば、パワートランジスタ、インバータといった所謂パワーデバイスと呼ばれる分野の半導体装置並びに発光ダイオード等の半導体発光素子、及びそれらの製造方法に好適に用いられる。

実施例

[0073] 以下、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

(実施例1)

4H型のSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8° 傾斜したSi面を主面とする、直径2インチ(50mm)のウェハを用意した。このウェハの厚みは350μmであり、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で5μmであった。

次に、SiC単結晶ウェハに対して、前処理として有機溶剤洗浄及び酸及びアルカリ洗浄、及び十分な水洗を行った。

[0074] SiC単結晶ウェハへのエピタキシャル膜の成長は、高周波誘導加熱方式の横型CVD(Chemical Vapor Deposition)装置を使用して行った。SiC単結晶ウェハがサセプタ上面に水平に配置され、対向するシーリングと共に加熱されるホットウォール方式の装置を用いた。

SiC単結晶ウェハをサセプタ上に水平に配置した後、真空排気を行った後に水素ガスを導入して200mbarの減圧雰囲気に調整した。その後、1620℃まで昇温し、厚さ10μmのSiCエピタキシャル膜の成長を行った。

キャリアガスとしては水素を使用し、原料ガスとしてはSiH_4とC_3H_6との混合ガスを用い、ドーパントとしてN_2を供給した。成長速度は5μm／hとし、キャリア濃度は$1\times10^{16}cm^{-3}$とした。

このようにして、実施例1のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0075] 実施例1のエピタキシャルSiC単結晶基板について、epi/sub界面付近の基底面転位(BPD)の伸張を起因とした貫通刃状転位列(TED列)の転位列密度を測定する為に、510℃の溶融KOHで5分間のエッチングを行い、その後、光学顕微鏡でエピタ

キシャル膜を観察することにより、貫通刃状転位列の長さと数を計数した。

[0076] 図11に、貫通刃状転位列の転位列本数の発生数を頻度(縦軸)とし、貫通刃状転位列の長さを横軸にした、ヒストグラム及び度数分布表を示す。

図11に示すように、貫通刃状転位列は、最大長さのものでも1mm以下であり、エピタキシャル膜における転位列密度は2．0本/cm^2であった。

[0077] (比較例1)

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径3インチ(76mm)のウェハを用意した。このウェハの厚みは350μmであり、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凹状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で15μmであった。

このSiC単結晶ウェハを用いたこと以外は、上記実施例1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことにより、比較例1のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0078] 比較例1のエピタキシャルSiC単結晶基板について、実施例1の場合と同様にして貫通刃状転位列の長さと数を計数した。

[0079] 図12に、貫通刃状転位列の転位列本数の発生数を頻度(縦軸)とし、貫通刃状転位列の長さを横軸にした、ヒストグラム及び度数分布表を示す。

図12に示すように、エピタキシャル膜における貫通刃状転位列の転位密度は27．0本/cm^2であった。また、貫通刃状転位列は、長さ1mm以上のものが多く発生した。

[0080] (実験例1)

貫通刃状転位列の転位列密度に対するSiC単結晶ウェハの厚みの影響を調べる目的で、厚さの異なる複数のウェハについて比較した。

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径3インチ(76mm)、厚み280～370μmのウェハを用意した。ウェハは、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凹状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で15μmであった。

上記のSiC単結晶ウェハを用いたこと以外は、上記実施例1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことにより、エピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0081] 得られたエピタキシャルSiC単結晶基板について、実施例1の場合と同様にして貫

通刃状転位列の転位列密度を計測した。転位列の密度の測定は、ウェハの直径方向に沿ってウェハの中心を通る幅4mmの帯状の領域を測定領域とした。

ウェハの厚みと、転位列の密度との関係を図13に示す。

図13に示すように、ウェハの厚みが約350μm以上では、転位列の密度が10本／cm^2以下になることがわかった。

[0082] (実験例2)

貫通刃状転位列の転位列密度に対するSiC単結晶ウェハの反り量の影響を調べる目的で、反り量(Warp)の異なる複数のウェハについて比較した。

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径3インチ(76mm)、厚み350μmのウェハを用意した。ウェハは、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反っているものを用いた。ウェハの反り量はWarpの計測値で6～27μmであった。

上記のSiC単結晶ウェハを用いたこと以外は、上記実施例1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことにより、エピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0083] 得られたエピタキシャルSiC単結晶基板について、実施例1の場合と同様にして貫通刃状転位列の転位列密度を計測した。転位列の密度の測定は、ウェハの直径方向に沿ってウェハの中心を通る幅4mmの帯状の領域を測定領域とした。

ウェハの反り量と転位列密度の関係を図14に示す。

図14に示すように、ウェハの反り量が10μm以下では、転位列の密度が10本／cm^2以下になることがわかった。

[0084] (実験例3)

エピタキシャル成長工程において、貫通刃状転位に変換されるミスフィット転位の割合を調べる目的で、実験を行った。

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径3インチ(76mm)のウェハを用意した。このウェハの厚みは350μmであり、SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で15μmであった。 このSiC単結晶ウェハを用いたこと以外は、上記実施例1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことに

より、実験例3のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0085] エピタキシャル成長の終了後、ミスフィット転位の密度を調べる目的で、反射X線トポグラフの測定を行った。この測定の場合、貫通刃状転位に変換されたミスフィット転位、及び、貫通刃状転位に変換されなかったミスフィット転位の両方が、同じ線状の像として観察され、全てのミスフィット転位を観察することが可能である。

次に、実験例3のエピタキシャルSiC単結晶基板を、実施例1と同様の方法でKOHエッチングを施した。そして、実施例1と同様にして光学顕微鏡観察を行った。この測定により、貫通刃状転位に転換されたミスフィット転位だけを、転位列として観察することが可能である。

図15に、エピタキシャル膜の中央付近の反射X線トポグラフの写真を示す。また、図16に、同一位置のKOHエッチング後の表面写真を示し、図17には、図16の拡大写真を示す。この図17には、貫通刃状転位列が示されている。

図15及び図16に示す結果から、本実験例のエピタキシャル成長条件では、反射X線トポグラフ写真で観察される発生したミスフィット転位が61本、KOHエッチング後表面写真に観察される貫通刃状転位列が14本であった。すなわち、約23%のミスフィット転位が、貫通刃状転位に転換され、転位列となっていた。ウェハ面内の様々な場所について、同様の評価を実施したところ、ミスフィット転位が貫通刃状転位列を伴う割合は、約10～30%であることがわかった。また、ミスフィット転位の密度が高いほど、貫通刃状転位列密度も高いことも明らかになった。

[0086] (実験例4)

ミスフィット転位のウェハ面内における分布を調べる目的で、実験を行った。

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面((0001)面)が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径2インチ(50mm)のウェハを用意した。このウェハの厚みは350μmであり、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で25μmであった。

[0087] エピタキシャル成長前に、SiC単結晶ウェハのキャリア濃度分布を測定した。使用したウェハの主面内にはキャリア濃度の高い領域があり、そのウェハ面内のキャリア濃度差が60%であった。このようなSiC単結晶ウェハを用いたこと以外は、上記実験例

1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことにより、実験例4のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0088] エピタキシャル成長の終了後、ミスフィット転位の密度を調べる目的で、反射X線トポグラフの測定を行った。この測定により、反射X線トポグラフ測定により、ミスフィット転位が存在する場合、その観察が可能である。

図18に、エピタキシャルSiC単結晶基板のSiCエピタキシャル膜全面の反射X線トポグラフの写真を示す。点線で囲った領域にはミスフィット転位の多くの発生が観察された。また、図19に、SiC単結晶ウェハの偏光透過像とキャリア濃度の測定結果を示す。SiC単結晶ウェハでは、キャリア濃度の濃淡によって光の透過率が異なるため、色が異なって見える。図19のウェハ透過像内において、濃い色の領域はキャリア濃度が高い特異領域である。図18及び図19に示す結果から、本実験例のエピタキシャル成長条件では、反射X線トポグラフ写真で観察される発生したミスフィット転位は、キャリア濃度の高い特異領域(キャリア濃度:$9.8\times10^{18}cm^{-3}$)に集中していることがわかる。

この特異領域中のミスフィット転位本数は50本/cm^2であった。実験例3の結果より、これらのミスフィット転位の約10～30%が貫通刃状転位を伴っていることが推定される。つまり、このウェハのキャリア濃度特異領域では、貫通刃状転位列が5～15本/cm^2程度発生していると考えられる。

[0089] 一方、キャリア濃度特異領域がないウェハ、あるいはウェハ面内でのキャリア濃度差が10%程度のウェハにおいては、ミスフィット転位が集中して発生する領域は無く、その密度は概ね0本/cm^2である。このことから、ミスフィット転位によって引き起こされる貫通刃状転位列についても、その密度は概ね0本/cm^2と言える。

これらの結果から、キャリア濃度特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度差が50%以下の場合には、貫通刃状転位列の密度が10本/cm^2以下のウェハが形成できると予測できる。

[0090] (実験例5)

成長方向の窒素濃度を変化させる度合いによるミスフィット転位の密度変化を調べる目的で、実験を行った。

4H－SiCのSiC単結晶ウェハとして、c面（(0001)面）が＜11－20＞方向に8°傾斜したSi面を主面とする、直径3インチ（76mm）のウェハを用意した。このウェハの厚みは250μmであり、ウェハは、ウェハ全体がSiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凹状に反っているものを用いた。反り量はWarpの計測値で20μmであった。

[0091] このSiC単結晶ウェハ上に、キャリア濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$から$1\times10^{16}cm^{-3}$まで変化し、かつ0．5μm当り80％のキャリア濃度の変化率に抑えた第一層（SiCエピタキシャル膜のバッファ領域）を形成したのち、キャリア濃度$1\times10^{16}cm^{-3}$の第二層（SiCエピタキシャル膜）を10μm形成した。このようなバッファ領域を形成した以外は、上記実験例1と同様にしてエピタキシャル膜の形成を行うことにより、実験例5のエピタキシャルSiC単結晶基板を製造した。

[0092] エピタキシャル成長の終了後、実験例4の場合と同様にしてミスフィット転位の有無を確認した。図20に示した反射X線トポグラフの写真から、ミスフィット転位が観察されていないことがわかる。このことから、ミスフィット転位によって引き起こされる貫通刃状転位列についても、その密度は概ね0本/cm^2と言える。

[0093] 一方、SiC単結晶ウェハ上に、直接キャリア濃度$1\times10^{16}cm^{-3}$のSiCエピタキシャル膜を10μm形成したエピタキシャルSiC単結晶基板においては、ミスフィット転位が発生していた。典型的な例としては、実験例3の図15に示されるようなミスフィット転位が発生し、貫通刃状転位列が10本/cm^2以上引き起こされていた。この時、キャリア濃度は基板の$10^{18}cm^{-3}$台からSiCエピタキシャル膜の$1\times10^{16}cm^{-3}$までと急峻に変化しており、その変化率は100％と言える。

これらの結果から、キャリア濃度の変化は出来るだけ緩やかにした方が好ましいことがわかる。ただし、緩やかにしすぎると膜厚が増えてしまうため、デバイス特性における抵抗値増加を招いてしまう。本実施例では、膜厚の増加を出来る限り抑制したキャリア濃度の変化率を検討し、0．5μm当り80％及びそれより少なければミスフィット転位の発生を抑制できることを示した。これらのことから、このようなキャリア濃度変化層を設けることによって、貫通刃状転位列の密度が10本/cm^2以下のウェハが形成できると言える。

産業上の利用可能性

[0094] SiCエピタキシャル膜における貫通刃状転位列を低減したエピタキシャルSiC単結晶基板及びエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法を提供する。

請求の範囲

[1] c面またはc面を0度超10度未満の傾斜角度で傾斜させた面を主面とするSiC単結晶ウェハと、前記SiC単結晶ウェハの前記主面上に形成されたSiCエピタキシャル膜とを含むエピタキシャルSiC単結晶基板であって、

前記SiCエピタキシャル膜に形成される貫通刃状転位列の転位列密度が10本/cm^{2}以下であることを特徴とするエピタキシャルSiC単結晶基板。

[2] 前記SiC単結晶ウェハの主面が、c面に対して＜11－20＞方向に0度超10度未満の傾斜角度で傾斜していることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[3] 前記貫通刃状転位列が、前記SiC単結晶ウェハと前記SiCエピタキシャル膜との界面付近における基底面転位の伸張に起因するものであることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[4] 貫通刃状転位列の長さが1mm以下であることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[5] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲が前記主面に向けて凸状とされていることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[6] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲の曲率半径が、前記主面に対して連続的かつ一様に凸となる値を有し、その曲率半径値が10m以上1000m以下の範囲にあることを特徴とする請求項5に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[7] SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて、前記SiC単結晶ウェハが凸状に湾曲されていることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[8] SiCエピタキシャル膜と接する側に向いた前記SiC単結晶ウェハの湾曲が、連続的かつ一様に凸の形状を有し、その湾曲の値が前記SiC単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μm以上10μm以下の範囲にあることを特徴とする請求項7に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[9] 前記SiC単結晶ウェハがキャリア濃度の特異領域とそれ以外の領域を有し、特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度の絶対値の差が50％以下であることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[10] 前記SiCエピタキシャル膜と前記SiC単結晶ウェハとの間に、バッファ領域が形成されており、前記バッファ領域は、バッファ領域に含まれるキャリア濃度が前記SiC単結晶ウェハ側に向けて徐々に増加するように構成され、前記キャリア濃度の変化率が深さ方向0．5μm当たり80％以下であることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[11] 前記SiC単結晶ウェハの厚みが350mm以上であることを特徴とする請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[12] 前記基底面転位に対する前記貫通刃状転位列の割合が50％以下であることを特徴とする請求項3に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板。

[13] 請求項1に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板を備えたことを特徴とする半導体装置。

[14] SiC単結晶ウェハの前記主面上に、SiCエピタキシャル膜がエピタキシャル成長した、エピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法であって、

c面を主面とする、またはc面が0度超10度未満の傾斜角度で傾斜する面を主面とするSiC単結晶ウェハを用意する工程と、

エピタキシャル成長時のSiC単結晶ウェハの温度分布を、ウェハ中央部からウェハ外周部に向かって正の温度分布を有するように調整しつつ、エピタキシャル成長時のウェハ中央部とウェハ外周部の温度差を0．1℃以上100℃以下に調整して、SiC単結晶ウェハの主面上に、SiCエピタキシャル膜をエピタキシャル成長させる工程と、貫通刃状転位列の転位列密度が10本／cm^2以下であるエピタキシャルSiC単結晶基板を得る工程と、を含む。

[15] 前記SiC単結晶ウェハの主面が、c面に対して＜11－20＞方向に0度超10度未満の傾斜角度で傾斜していることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[16] エピタキシャル成長時のキャリアガスとして水素を用い、前記水素流量が75slm以下であることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[17] エピタキシャル成長時の温度が1600℃以上であり、SiCエピタキシャル膜の成長

速度が5μm／h以上であり、エピタキシャル成長時の圧力が300Torr以下であることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[18] 前記c面の結晶湾曲が前記主面に向けて凸状であるSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[19] 前記SiC単結晶ウェハにおける前記c面の結晶湾曲の曲率半径が、前記主面に対して連続的かつ一様に凸となる値を有し、その曲率半径値が10m以上1000m以下の範囲にあることを特徴とする請求項18に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[20] SiCエピタキシャル膜と接する側に向けて凸状に湾曲されているSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[21] SiCエピタキシャル膜と接する側に向かう前記SiC単結晶ウェハの湾曲が、連続的かつ一様に凸の形状を有し、その湾曲の大きさの値が前記SiC単結晶ウェハの直径76mm当たり0．1μm以上10μm以下の範囲にあることを特徴とする請求項20に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[22] 前記SiC単結晶ウェハとして、キャリア濃度の特異領域とそれ以外の領域のキャリア濃度の絶対値の差が50％以下であるSiC単結晶ウェハを用いることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[23] 前記SiCエピタキシャル膜を形成する前に前記SiC単結晶ウェハ上にバッファ領域を形成する工程を備え、

前記バッファ領域は、当該バッファ領域に含まれるキャリア濃度が前記SiC単結晶ウェハ側に向けて徐々に増加するように構成され、前記キャリア濃度の変化率が深さ方向0．5μm当たり80％以下とすることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

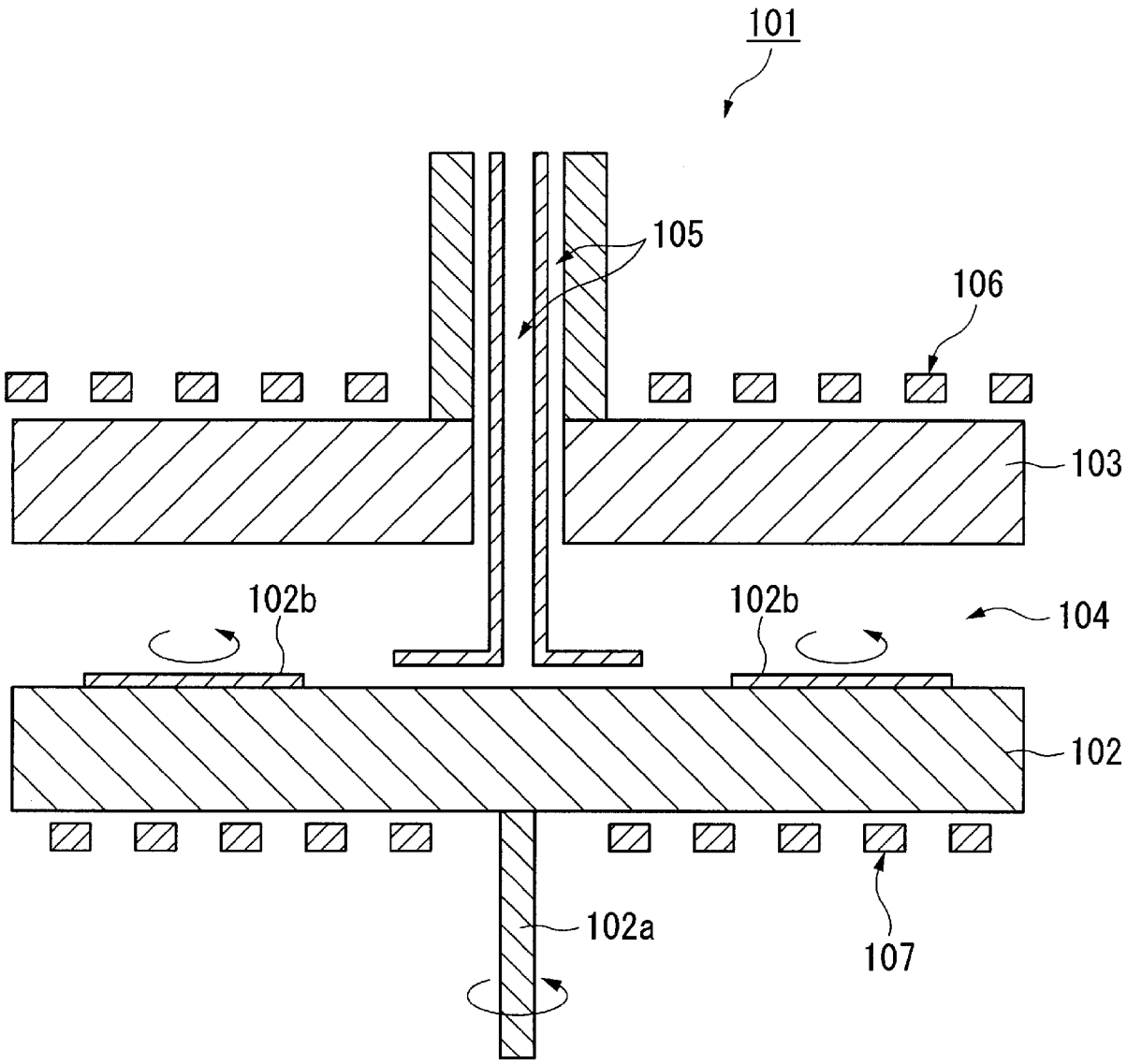
[24] 前記SiC単結晶ウェハの厚みが350μm以上であることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[25] 前記基底面転位に対する前記貫通刃状転位列の割合が50％以下であることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

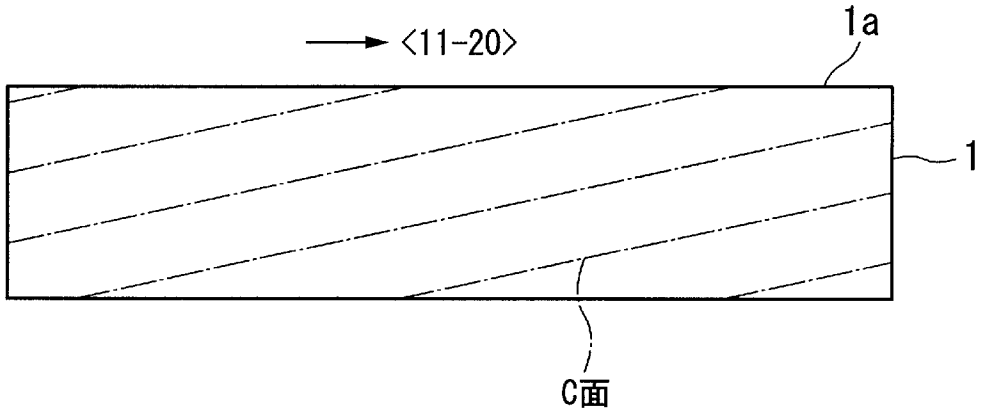
[26] 前記SiCエピタキシャル膜を形成する際に、プラネタリ型の結晶成長装置を用いることを特徴とする請求項14に記載のエピタキシャルSiC単結晶基板の製造方法。

[27] 請求項14に記載の製造方法によって製造されたエピタキシャルSiC単結晶基板を用いることを特徴とする半導体装置の製造方法。

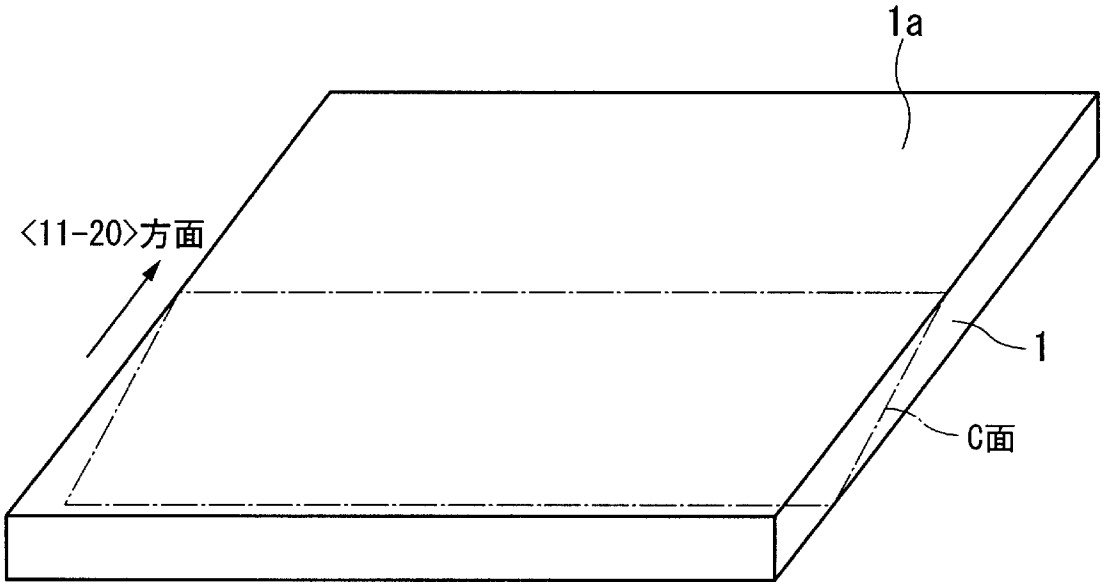
[図1]



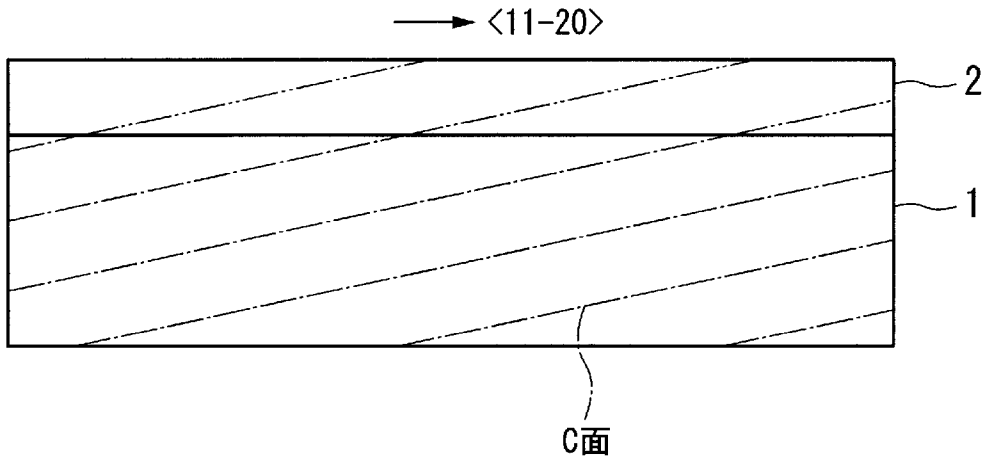
[図2]



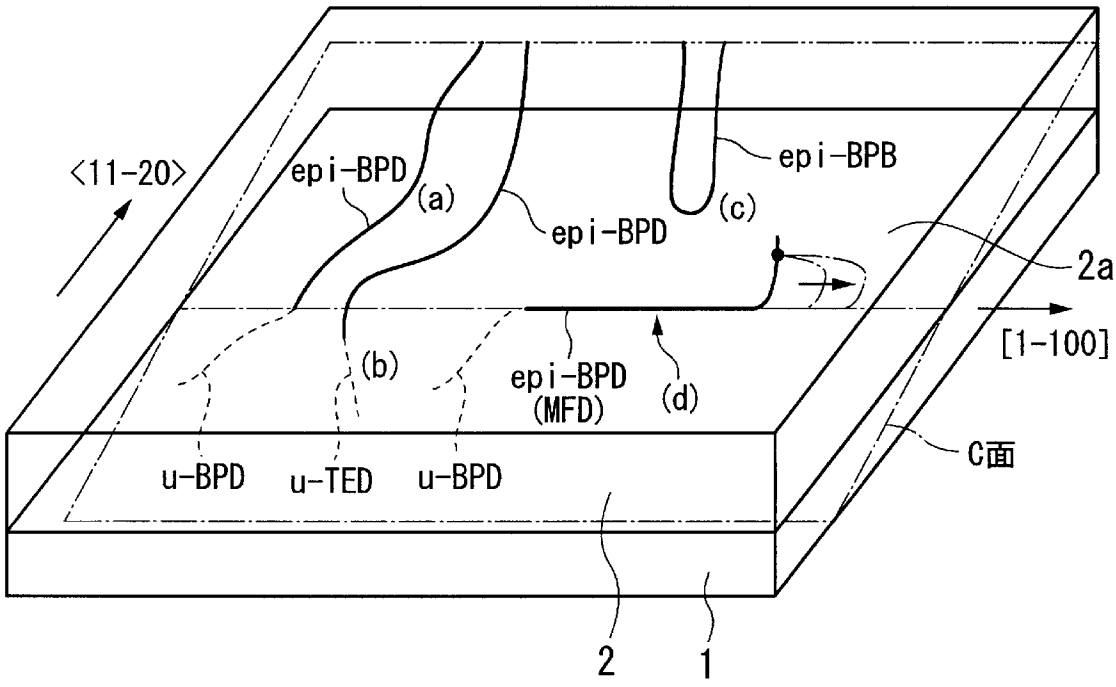
[図3]



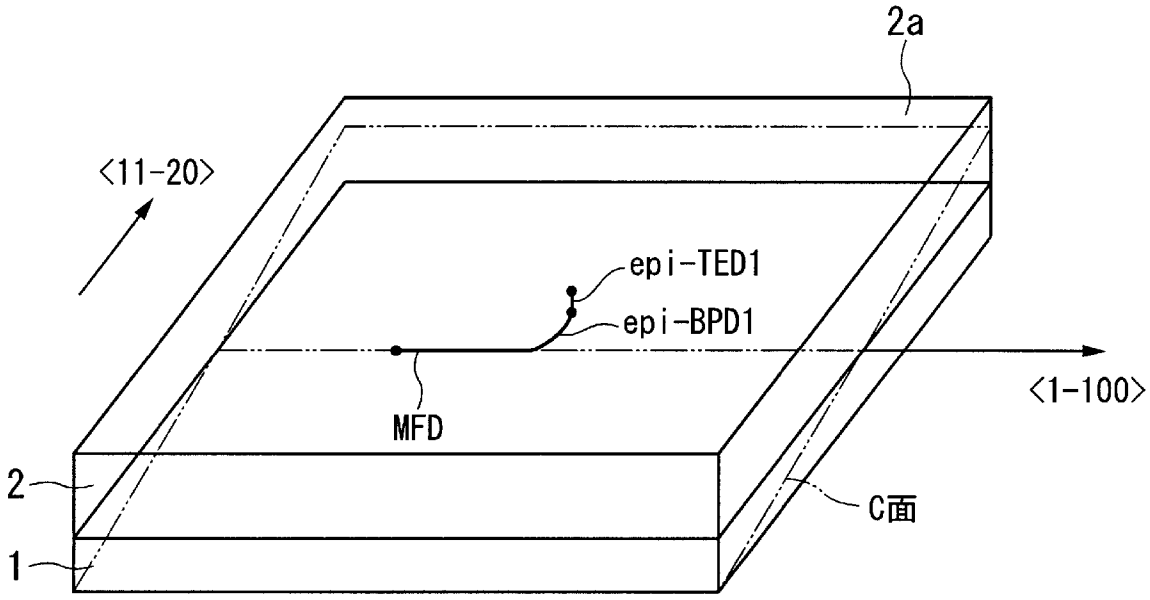
[図4]


<11-20>
2
1
C面

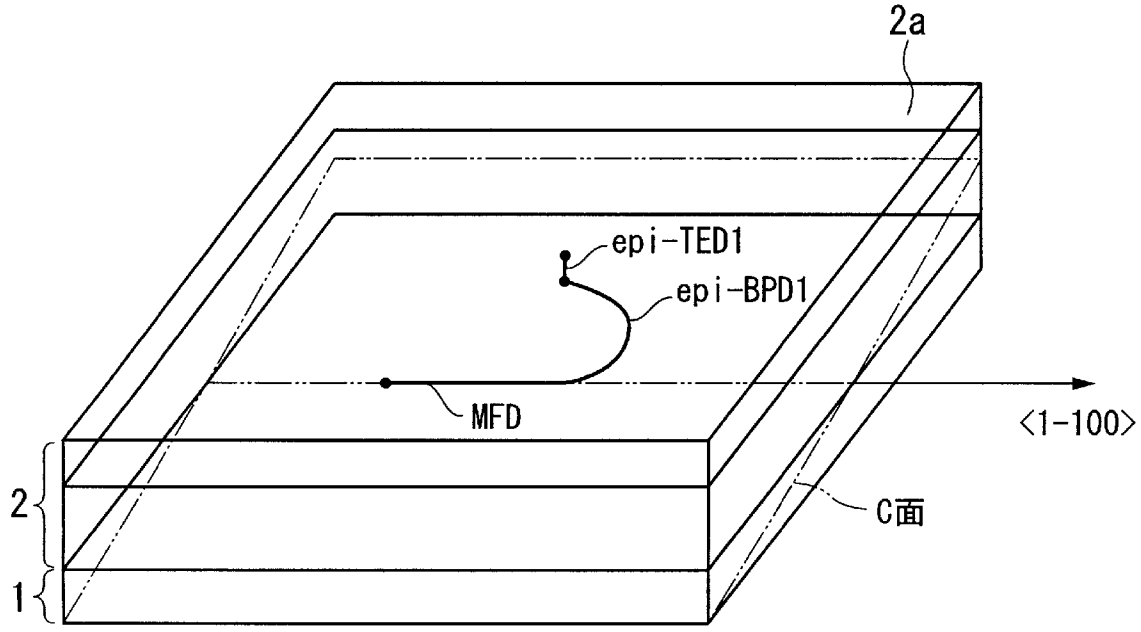
[図5]


<11-20>
epi-BPD
(a)
epi-BPD
(c)
epi-BPB
2a
[1-100]
(b)
epi-BPD
(MFD)
(d)
u-BPD
u-TED
u-BPD
C面
2
1

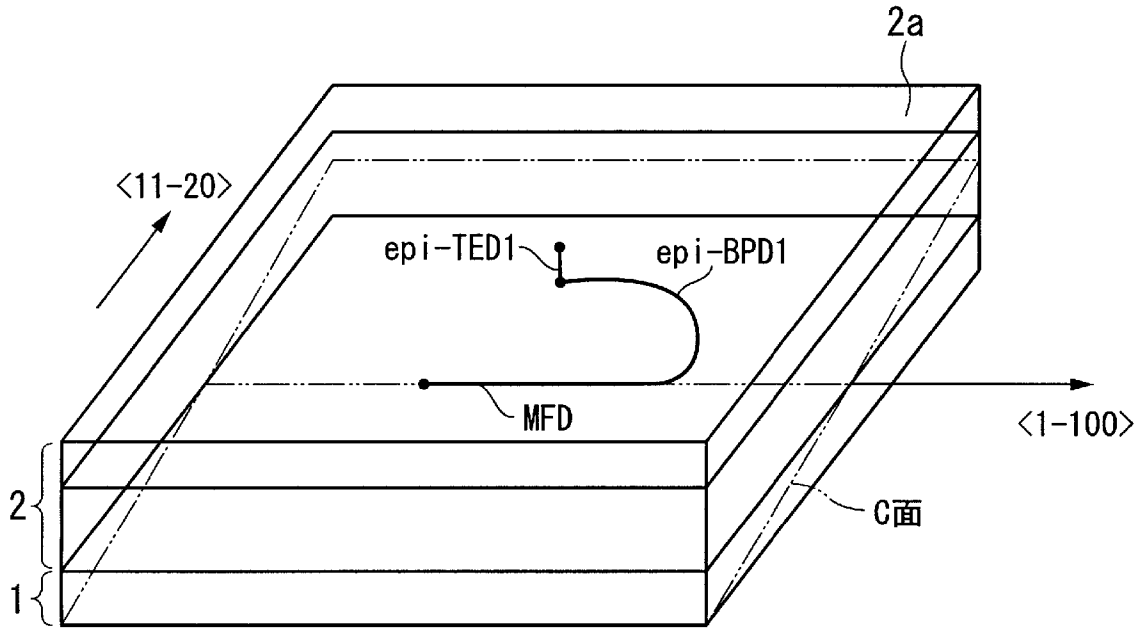
[図6]


2a
<11-20>
epi-TED1
epi-BPD1
MFD
<1-100>
2
1
C面

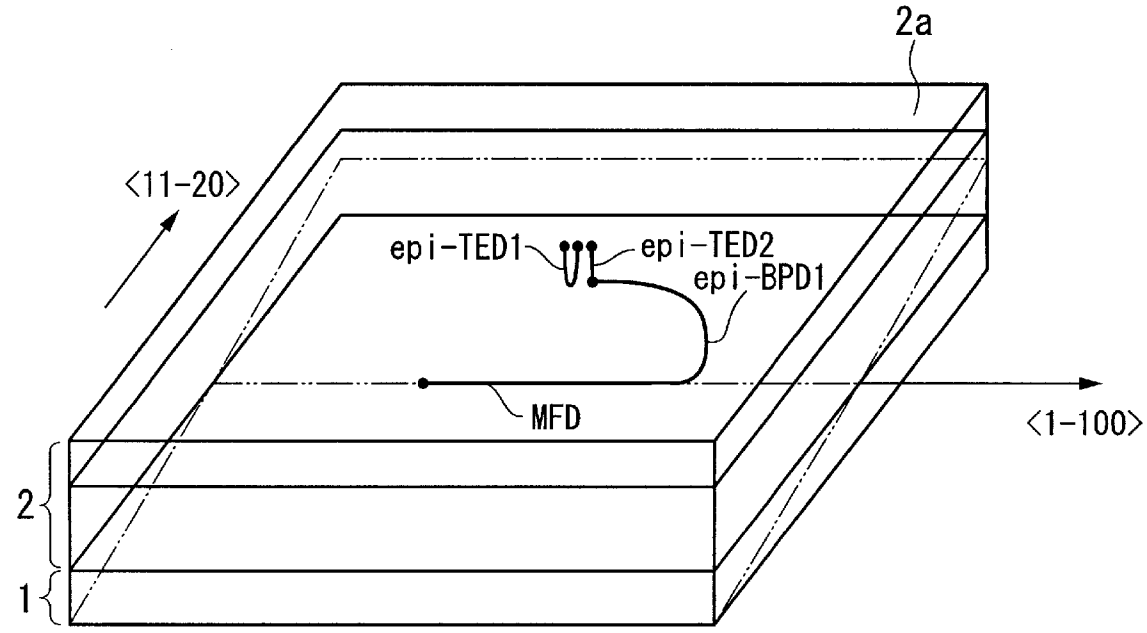
[図7]


2a
epi-TED1
epi-BPD1
MFD
<1-100>
2
1
C面

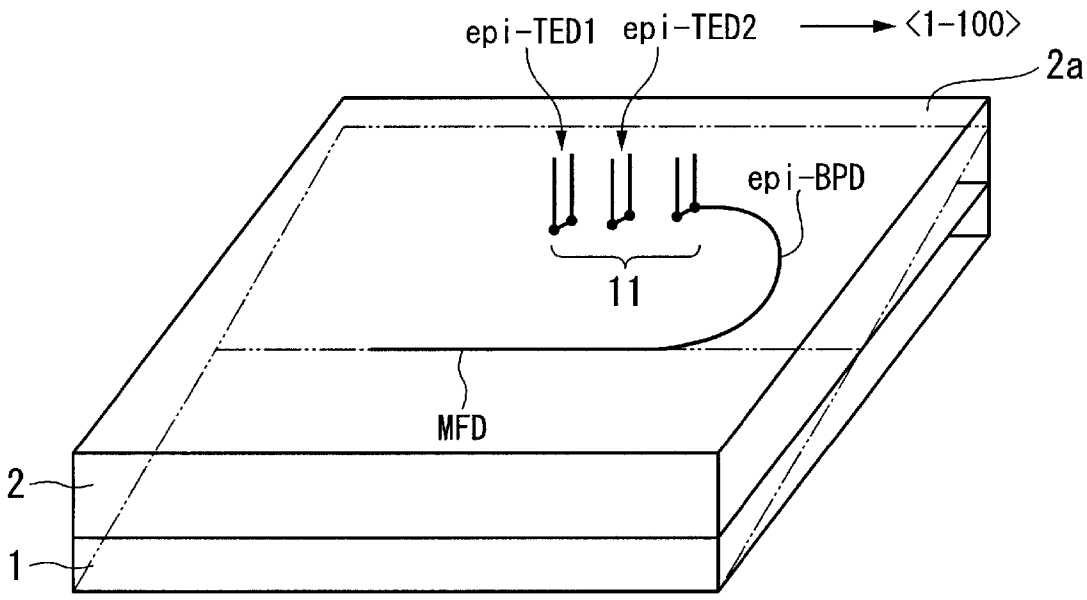
[図8]


2a
<11-20>
epi-TED1
epi-BPD1
MFD
<1-100>
C面
2
1

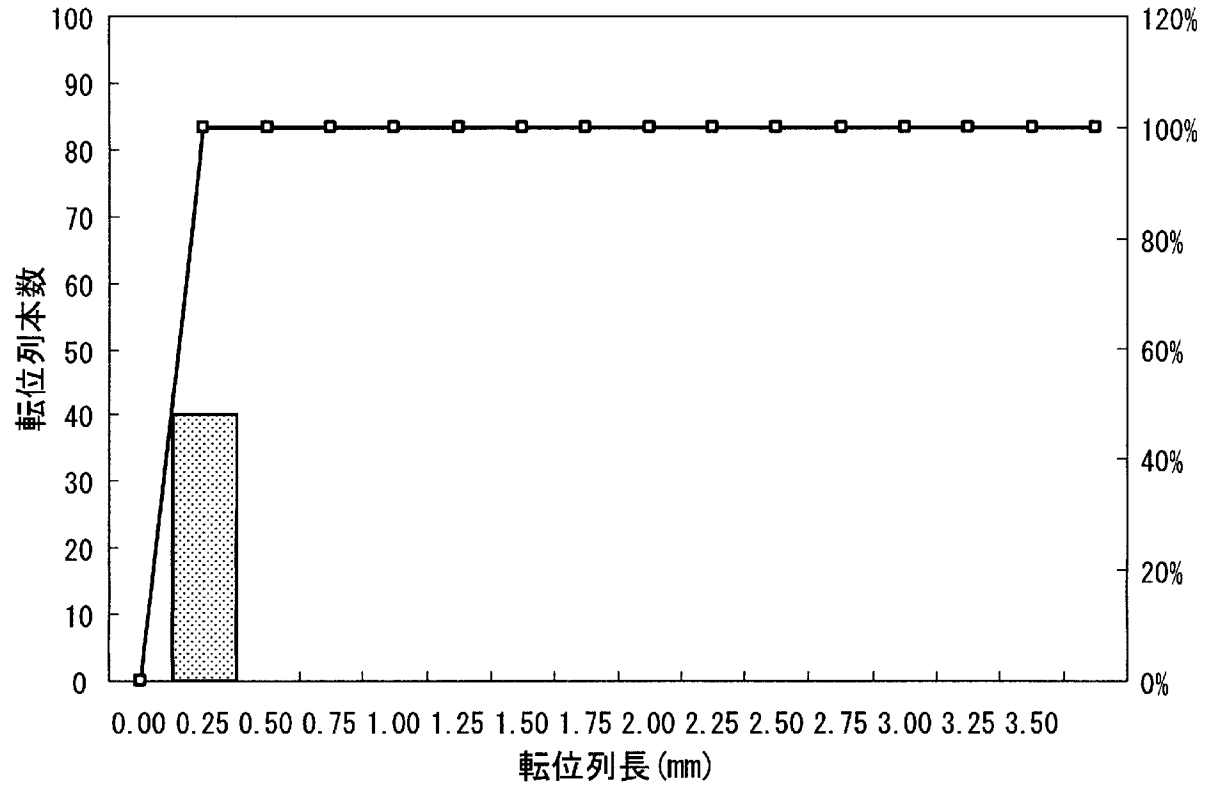
[図9]


2a
<11-20>
epi-TED1
epi-TED2
epi-BPD1
MFD
<1-100>
2
1

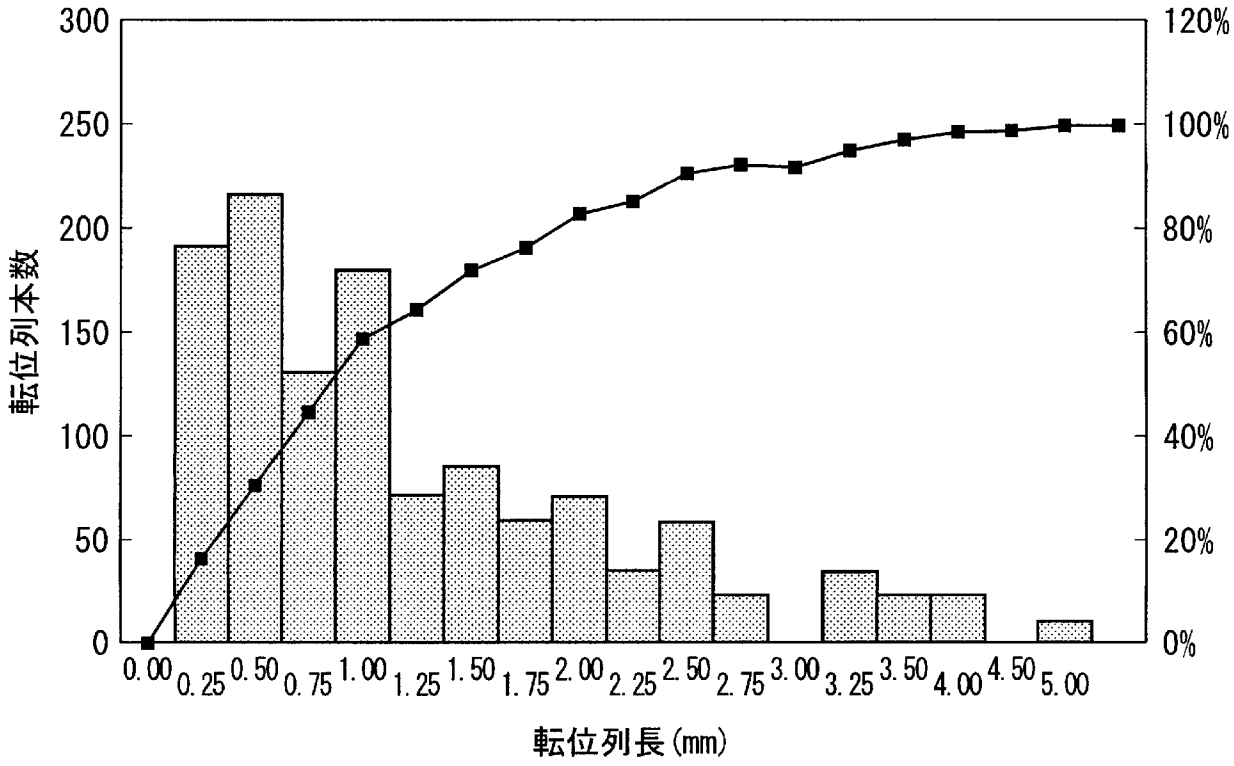
[図10]



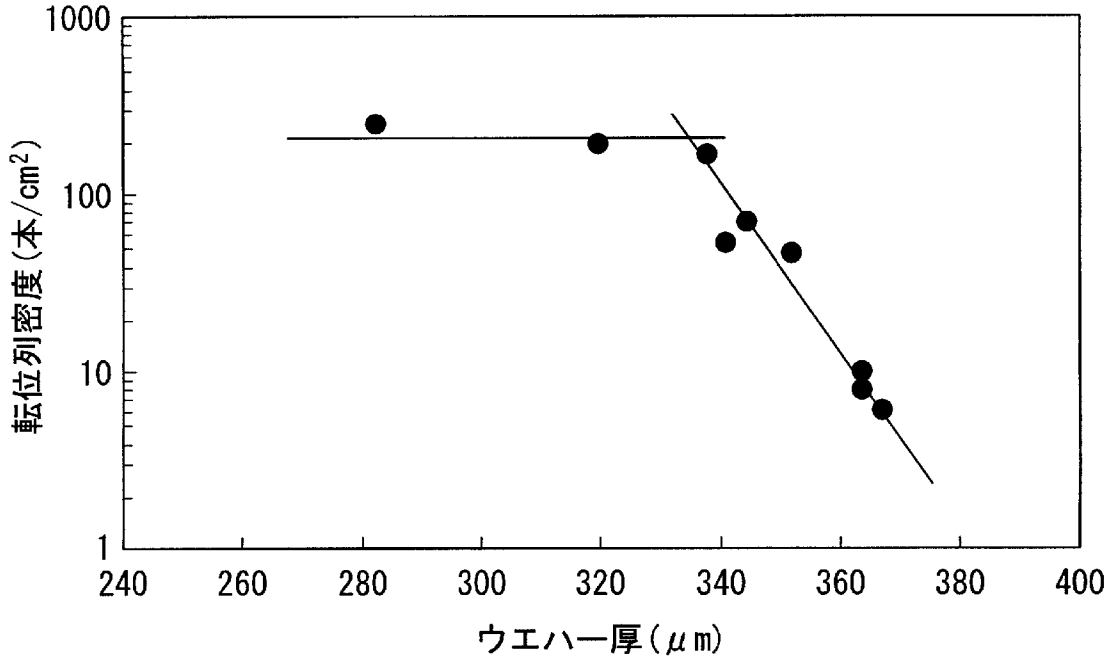
[図11]


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
転位列本数
0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50
転位列長(mm)

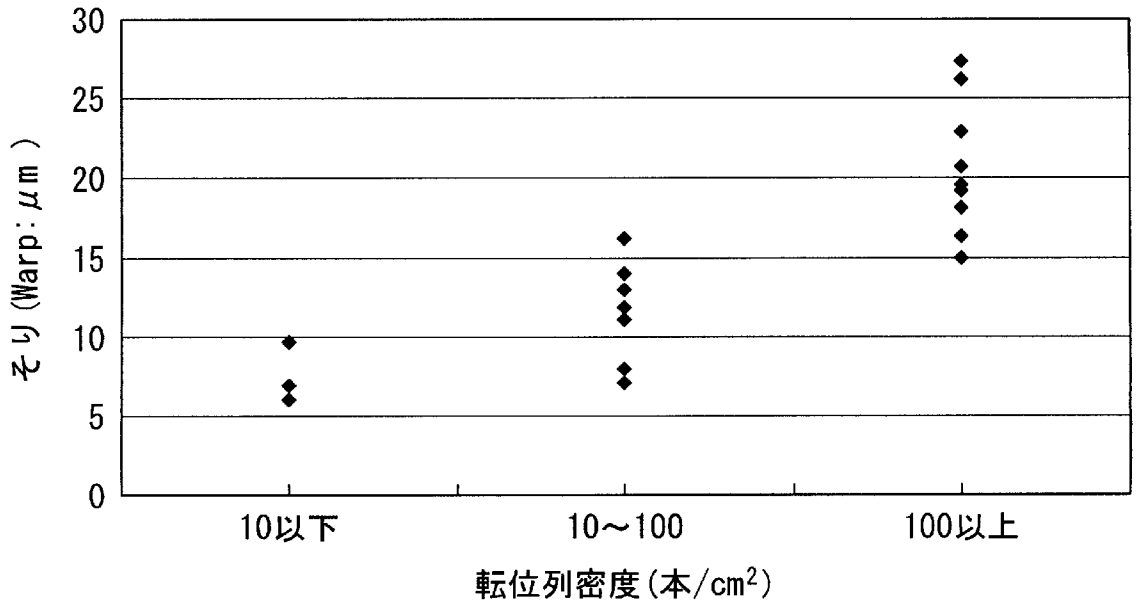
[図12]


300
250
200
150
100
50
0
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
転位列本数
0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 4.00 4.50 5.00
転位列長(mm)

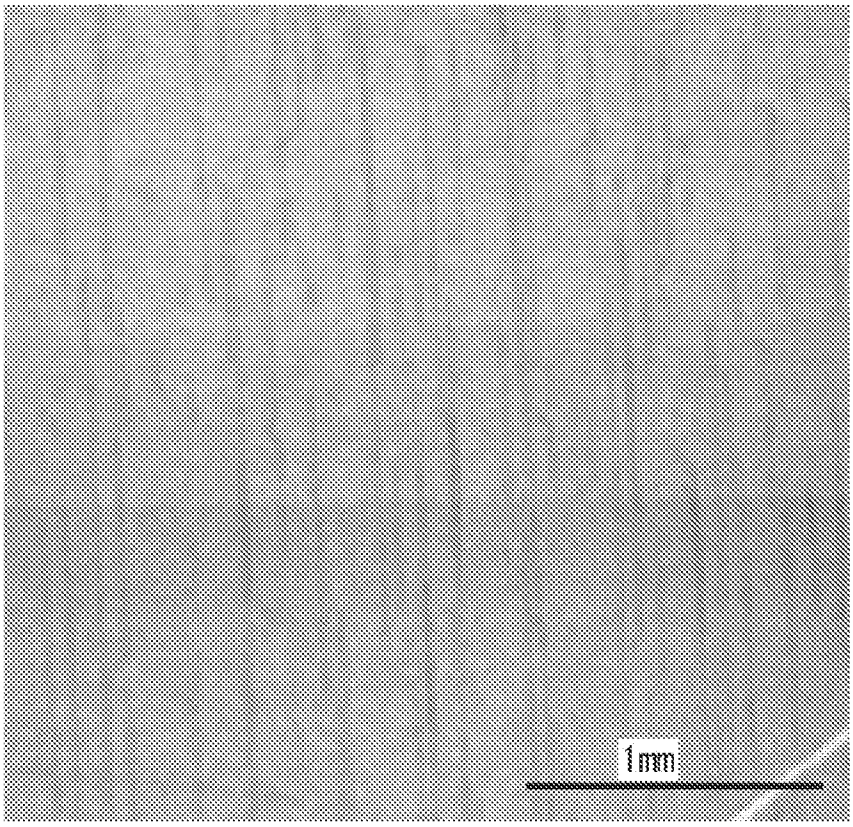
[図13]


1000
100
10
1
転位列密度(本/cm²)
240
260
280
300
320
340
360
380
400
ウエハー厚(μm)

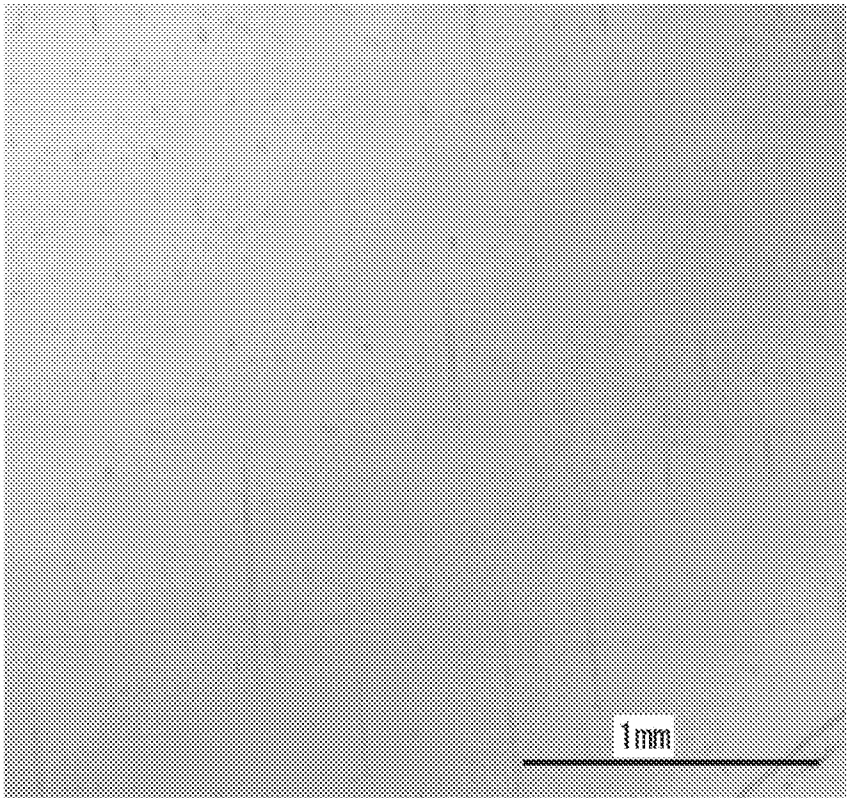
[図14]


30
25
20
15
10
5
0
そり(Warp:μm)
10以下
10～100
100以上
転位列密度(本/cm²)

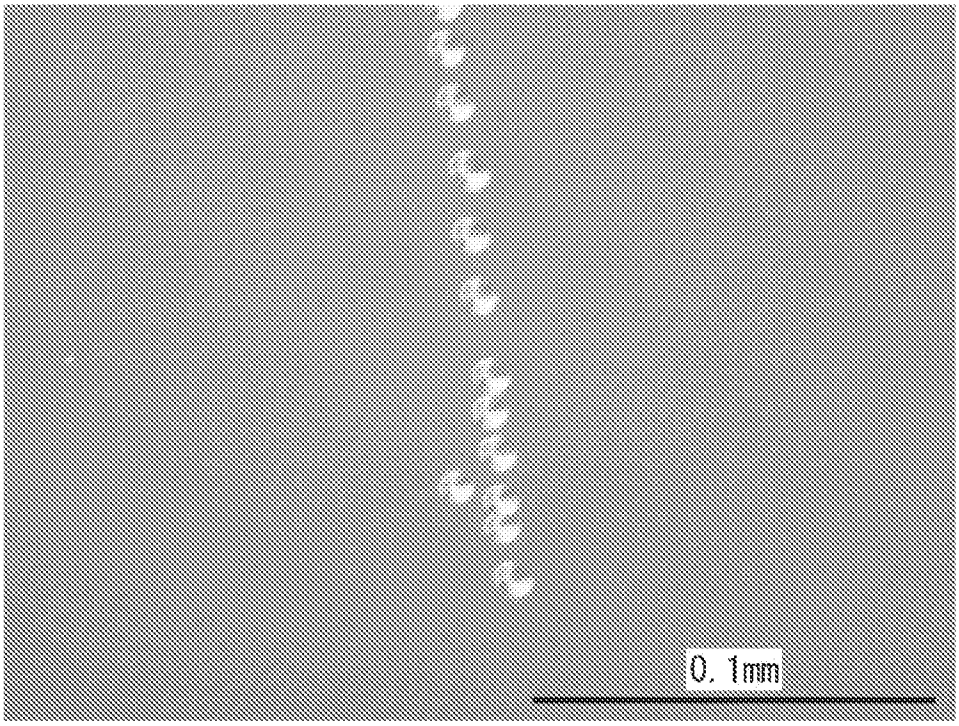
[図15]



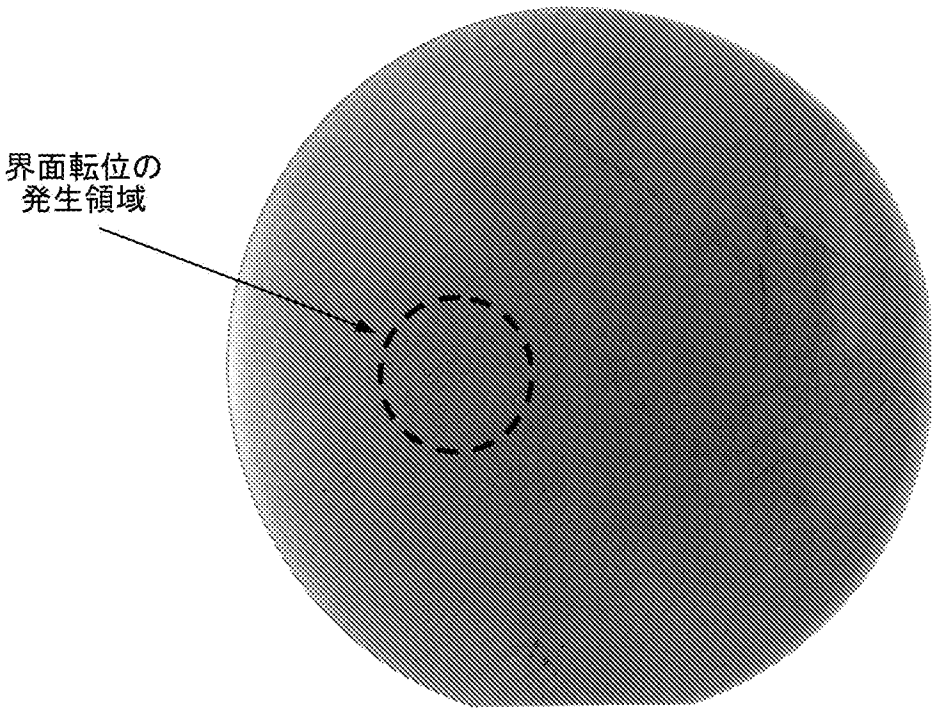
[図16]



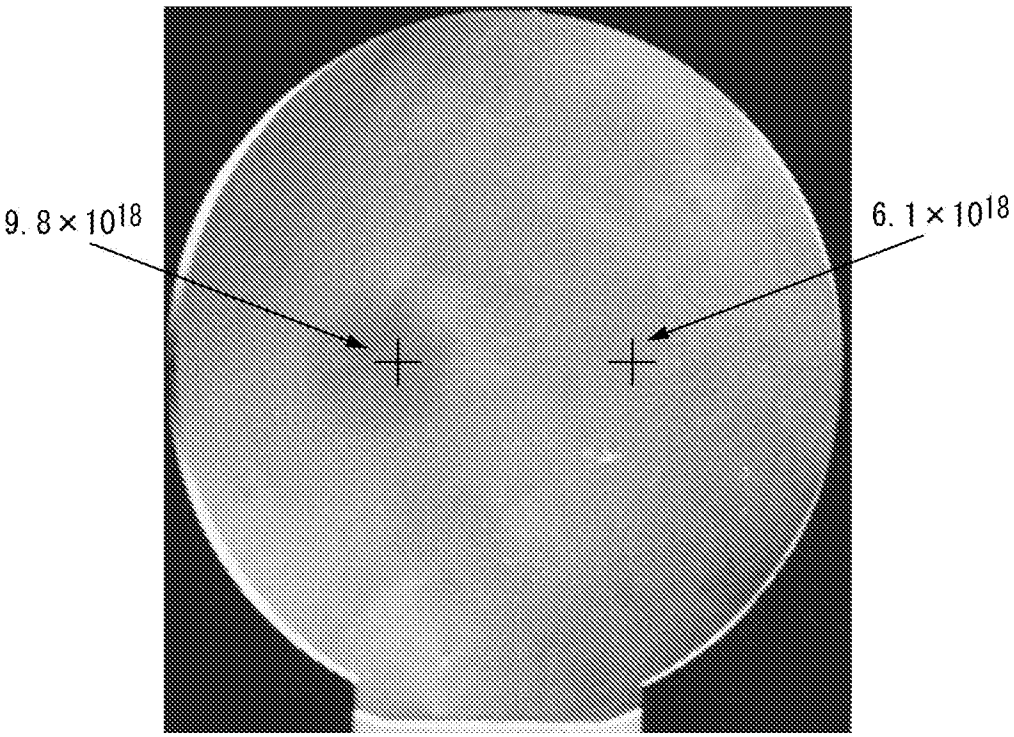
[図17]



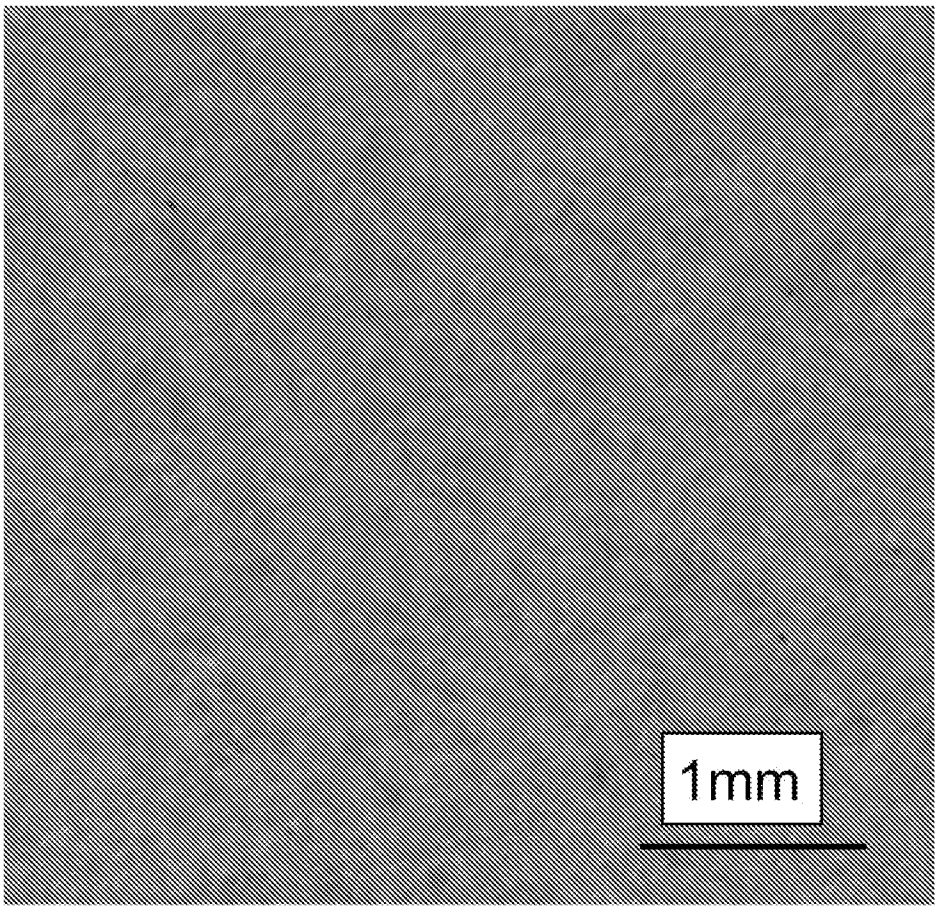
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/066571

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C30B29/36(2006.01)i, *C23C16/42*(2006.01)i, *C30B25/20*(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, C23C16/42, C30B25/20, 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 1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Tsutomu HORI et.al, Fast homoepitaxial growth of 4H-SiC with low basal-plane dislocation density and low trap concentration by hot-wall chemical vapor deposition, Journal of crystal growth, 2007.08, Vol.306, p.297-302	1-9,11-22, 24-27 10,23
Y	JP 2007-131504 A (Sixon Inc.), 31 May, 2007 (31.05.07), Par. Nos. [0047], [0085], [0086] (Family: none)	10,23
E,X E,A	JP 2008-4888 A (Hitachi Metals, Ltd.), 10 January, 2008 (10.01.08), Par. Nos. [0004], [0053] to [0059] (Family: none)	1-4,12-17, 25,27 5-11,18-24, 26

☒ 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
03 December, 2008 (03.12.08)	16 December, 2008 (16.12.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/066571

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E,X E,A	JP 2008-115034 A (Nippon Steel Corp.), 22 May, 2008 (22.05.08), Par. Nos. [0002], [0013], [0018], [0019]; Fig. 3 (Family: none)	1-4,12-15, 17,24,25,27 5-11,16, 18-23,26
A	JP 2006-321707 A (Bridgestone Corp.), 30 November, 2006 (30.11.06), Full text & WO 2006/115148 A1	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/066571

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The feature common to the inventions in claims 1-27 is an epitaxial SiC single crystal substrate having a dislocation row density of 10 rows/cm^2 or less.

The results of the international search revealed that the above-mentioned feature is not novel, since it is disclosed in the following document; Tsutomu HORI et.al, Fast homoepitaxial growth of 4H-SiC with low basal-plane dislocation density and low trap concentration by hot-wall chemical vapor deposition, Journal of crystal growth, 2007.08, Vol.306, p.297-302. (Continued to extra sheet.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

the

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

As a result, since the above-mentioned technical feature does not make a contribution over prior art, the common feature is not a special technical feature in the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

Consequently, there is no feature common to all the inventions in claims 1-27, and there is no other common feature considered to be a special technical feature in the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, there is no technical relationship among these different inventions in the meaning of PCT Rule 13.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００８／０６６５７１

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, C23C16/42(2006.01)i, C30B25/20(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, C23C16/42, C30B25/20, 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	１９７１－２００８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００８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	関連する請求の範囲の番号
X	Tsutomu HORI et.al, Fast homoepitaxial growth of 4H-SiC with low basal-plane dislocation density and low trap concentration by hot-wall chemical vapor deposition, Journal of crystal growth, 2007.08, Vol.306, p.297-302	1-9,11-22, 24-27
Y		10, 23
Y	JP 2007-131504 A（株式会社シクスオン）2007.05.31, 【0047】、【0085】、【0086】 (ファミリーなし)	10, 23

☑　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 ０３．１２．２００８	国際調査報告の発送日 １６．１２．２００８
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　４１４１ 鮎沢　輝万 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	関連する請求の範囲の番号
Ｅ、Ｘ	JP 2008-4888 A (日立金属株式会社) 2008.01.10, 【0004】, 【0053】-【0059】	1-4, 12-17, 25, 27
Ｅ、Ａ	(ファミリーなし)	5-11, 18-24, 26
Ｅ、Ｘ	JP 2008-115034 A (新日本製鐵株式会社) 2008.05.22, 【0002】, 【0013】, 【0018】, 【0019】, 図3	1-4, 12-15, 17, 24, 25, 27
Ｅ、Ａ	(ファミリーなし)	5-11, 16, 18-23, 26
Ａ	JP 2006-321707 A (株式会社ブリヂストン) 2006.11.30, 全文 & WO 2006/115148 A1	1-27

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００８／０６６５７１

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項1-27に係る発明の共通の事項は、転位列密度が10本/cm^2以下であるｴﾋﾟﾀｷｼｬﾙSiC単結晶基板である。

しかしながら、上記共通事項は、Tsutomu HORI et.al, Fast homoepitaxial growth of 4H-SiC with low basal-plane dislocation density and low trap concentration by hot-wall chemical vapor deposition, Journal of crystal growth, 2007.08, Vol.306, p.297-302 に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。

結果として、上記共通事項は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別の技術的特徴ではない。

それ故、請求項1-27に係る発明全てに共通の事項はなく、PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項は存在しないので、それらの相違する発明の間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。