

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/043169 A1

(51) 国際特許分類:

C30B 29/36 (2006.01) G01N 21/956 (2006.01)
C23C 16/42 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
C30B 25/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/029718

(22) 国際出願日: 2017年8月21日(21.08.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2016-170221 2016年8月31日(31.08.2016) JP
特願 2016-185945 2016年9月23日(23.09.2016) JP

(71) 出願人: 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).

(72) 発明者: 郭 玲 (GUO Ling); 〒3691893 埼玉県秩父市下影森1505番地 昭和電工株式会

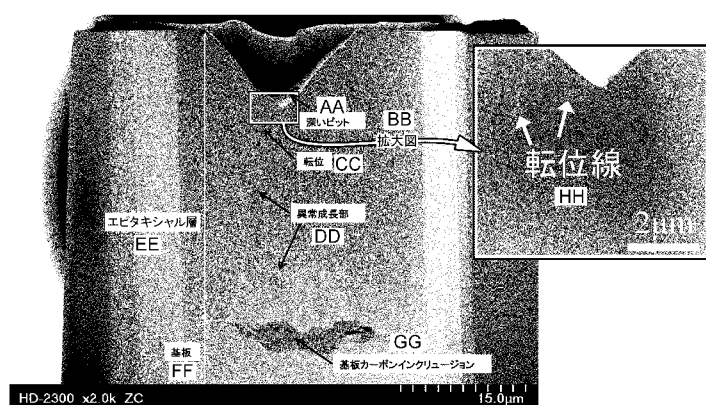
社内 Saitama (JP). 亀井 宏二 (KAMEI Koji); 〒3691893 埼玉県秩父市下影森1505番地 昭和電工株式会社内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 及川 周, 外 (OIKAWA Shu 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: SiC EPITAXIAL WAFER, PRODUCTION METHOD THEREFOR, LARGE PIT DEFECT DETECTION METHOD, AND DEFECT IDENTIFICATION METHOD

(54) 発明の名称: SiCエピタキシャルウェハ及びその製造方法、並びに、ラージピット欠陥検出方法、欠陥識別方法



AA Deep pit
BB Enlarged view
CC Displacement
DD Abnormal growth section
EE Epitaxial layer
FF Substrate
GG Substrate carbon inclusion
HH Displacement line

(57) Abstract: In this SiC epitaxial wafer, a SiC epitaxial layer is formed on a 4H-SiC single crystal substrate that has an off angle and a substrate carbon inclusion density of 0.1-6.0 atoms/cm². The density of large pit defects included in the SiC epitaxial layer as a result of substrate carbon inclusion is 0.5 defects/cm² or less.

(57) 要約: このSiCエピタキシャルウェハでは、オフ角を有し、0.1~6.0個/cm²の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハであって、前記SiCエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が0.5個/cm²以下である。

[続葉有]

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

S i Cエピタキシャルウェハ及びその製造方法、並びに、ラージピット欠陥検出方法、欠陥識別方法

技術分野

[0001] 本発明は、S i Cエピタキシャルウェハ及びその製造方法、並びに、ラージピット欠陥検出方法、欠陥識別方法に関する。

本願は、2016年8月31日に、日本に出願された特願2016-170221号、及び2016年9月23日に、日本に出願された特願2016-185945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] 炭化珪素（S i C）は、シリコン（S i）に比べて絶縁破壊電界が1桁大きく、また、バンドギャップが3倍大きく、さらに、熱伝導率が3倍程度高い等の特性を有することから、パワーデバイス、高周波デバイス、高温動作デバイス等への応用が期待されている。

[0003] S i Cデバイスの実用化の促進には、高品質の結晶成長技術、高品質のエピタキシャル成長技術の確立が不可欠である。

[0004] S i Cデバイスは、昇華再結晶法等で成長させたS i Cのバルク単結晶から加工して得られたS i C単結晶基板上に、化学的気相成長法（Chemical Vapor Deposition：CVD）等によってデバイスの活性領域となるS i Cエピタキシャル層（膜）を成長させたS i Cエピタキシャルウェハを用いて作製されるのが一般的である。

[0005] S i Cエピタキシャルウェハはより具体的には、（0001）面から<11-20>方向にオフ角を有する面を成長面とするS i C単結晶基板上にステップフロー成長（原子ステップからの横方向成長）させて4HのS i Cエピタキシャル層を成長させるのが一般的である。

[0006] S i Cエピタキシャルウェハのエピタキシャル層の欠陥としては、S i C

単結晶基板の欠陥を引き継ぐ欠陥と、エピタキシャル層中に新たに形成される欠陥が知られている。前者としては、貫通転位、基底面転位やキャロット欠陥などが知られており、後者としては、三角欠陥などが知られている。

例えば、キャロット欠陥はエピ表面側から見るとステップフロー成長方向に長い棒状の欠陥であるが、基板の転位（貫通螺旋転位（TSD）あるいは基底面転位（BPD））や基板上の傷が起点として形成されると言われている（非特許文献1参照）。

また、三角欠陥はステップフロー成長方向（ $\langle 11-20 \rangle$ 方向）に沿って上流から下流側に三角形の頂点とその対辺（底辺）が順に並ぶような方向を向いて形成されるが、SiCエピタキシャルウェハの製造時のエピタキシャル成長前のSiC単結晶基板上あるいはエピタキシャル成長中のエピタキシャル層内に存在した異物（ダウンフォール）を起点として、そこから基板のオフ角に沿って3Cの多形の層が延びてエピ表面に露出しているものと言われている（非特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2013-023399号公報

特許文献2：特開2016-058499号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：J. Hassan et al., Journal of Crystal Growth 312 (2010) 1828-1837

非特許文献2：C. Hallin et al., Diamond and Related Materials 6 (1997) 1297-1300

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上述の通り、三角欠陥は3Cの多形（ポリタイプ）からなる。3Cの多形の電気特性は4Hの多形の電気特性とは異なるため、4H-SiCエピタキ

シャル層中に三角欠陥が存在すると、その部分はデバイスとして用いることができない。すなわち、三角欠陥はキラ欠陥として知られている。

[0010] SiC単結晶基板中の欠陥としてカーボンインクルージョン（以下、「基板カーボンインクルージョン」ということがある）が知られている。炭化珪素単結晶インゴットの製造の際に、炭化珪素原料（粉末）からの昇華ガスとしてはSiCの他に主にSi、Si₂C、SiC₂等があり、黒鉛製坩堝は、これらの昇華ガスとその内壁との相互作用、これらの昇華ガスの内壁への取り込み等により、炭化珪素単結晶インゴットの成長を繰り返すほどにその表面が劣化していく。この黒鉛製坩堝の内壁表面の劣化により、黒鉛微粒子が坩堝の内部空間（空洞部）に舞い、これが炭化珪素単結晶インゴットへのカーボンインクルージョンの原因となる。SiC単結晶基板中のカーボンインクルージョンは、このインゴット中のカーボンインクルージョンが、インゴットをSiC単結晶基板にスライスした後もその基板中に残ったものである。このSiC単結晶基板中のカーボンインクルージョンが、SiCエピタキシャルウェハのエピタキシャル層にどのように影響するかは十分には理解されていなかった。

[0011] 三角欠陥は上述の通り、ダウンフォールに起因するものが知られていたが、発明者は、鋭意研究の結果、SiC単結晶基板中のカーボンインクルージョンに起因した、エピタキシャル層中の三角欠陥を見出した。発明者はさらに、SiC単結晶基板中のカーボンインクルージョンに起因した三角欠陥以外の、3種類のエピタキシャル層中の欠陥（ラージピット欠陥、斜線状欠陥、バンプ欠陥）を見出した。すなわち、発明者は、SiCエピタキシャルウェハにおいて、SiC単結晶基板中のカーボンインクルージョンがエピタキシャル層中で4種類の欠陥種に変換（転換）されることを見出し、さらにその変換率を決定した。さらには、発明者は、SiC単結晶基板中のカーボンインクルージョン起因の三角欠陥以外にラージピット欠陥がキラ欠陥であることを見出し、本発明に想到した。なお、通常のピットとしてはSiC単結晶基板の転位を起因として発生するものが知られているが（例えば、特許

文献2参照)、この通常のピットに対して、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥は本発明者が初めて見出したものである。

[0012] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、デバイスキラ欠陥である、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥が低減されたSiCエピタキシャルウェハ及びその製造方法、並びに、ラージピット欠陥検出方法、欠陥識別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

[0013] 本発明は、上記課題を解決するために、以下の手段を採用した。

[0014] 本発明の一態様に係るSiCエピタキシャルウェハは、オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/cm²の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハであって、前記SiCエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/cm²以下である。

[0015] 本発明の一態様に係るSiCエピタキシャルウェハの製造方法は、オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/cm²の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハを製造する方法であって、前記SiC単結晶基板上にエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程を有し、前記エピタキシャル成長工程において、成長速度を $5 \sim 100 \mu\text{m}/\text{時}$ とし、成長温度を 1500°C 以上とし、C/Si比を 1.25 以下とする。

[0016] 上記SiCエピタキシャルウェハの製造方法において、C/Si比は 1.10 以下であってもよい。

[0017] 上記SiCエピタキシャルウェハの製造方法において、前記SiCエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/cm²以下のSiCエピタキシャルウェハを選別してもよい。

[0018] 本発明の一態様に係るラージピット欠陥検出方法は、共焦点微分干渉光学

系を有する共焦点顕微鏡を用いて、S i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層中のラージピット欠陥を検出する。

[0019] 本発明の一態様に係る欠陥識別方法は、S i C単結晶基板上にS i Cエピタキシャル層が形成されたS i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡によって測定した、前記S i C単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンの位置と前記S i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥の位置とを対比することによって、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥を他の欠陥から識別する。

[0020] 本発明の一態様に係る欠陥識別方法は、S i C単結晶基板上にS i Cエピタキシャル層が形成されたS i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡とフォトルミネッセンス装置とを用いて、前記S i C単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するS i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥とダウンフォールに起因するS i Cエピタキシャル層の欠陥とを識別する。

[0021] 本発明の一態様に係る欠陥識別方法は、S i C単結晶基板上にS i Cエピタキシャル層が形成されたS i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡とフォトルミネッセンス装置とを用いて、前記S i C単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するS i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥と前記S i C単結晶基板中の貫通転位に起因するS i Cエピタキシャル層の欠陥とを識別する。

発明の効果

[0022] 本発明のS i Cエピタキシャルウェハによれば、デバイスキラ欠陥である、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥が低減されたエピタキシャルウェハを提供できる。

本発明のS i Cエピタキシャルウェハの製造方法によれば、デバイスキラ

一欠陥である、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥が低減されたS i Cエピタキシャルウェハの製造方法を提供できる。

本発明のラージピット欠陥検出方法によれば、S i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層中のラージピット欠陥を検出できるラージピット欠陥検出方法を提供できる。

本発明の欠陥識別方法によれば、S i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層中の基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥を識別できる欠陥識別方法を提供できる。

本発明の欠陥識別方法によれば、S i C単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するS i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥とダウンフォールに起因するS i Cエピタキシャル層の欠陥とを識別できる欠陥識別方法を提供できる。

本発明の欠陥識別方法によれば、S i C単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するS i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥と前記S i C単結晶基板中の貫通転位に起因するS i Cエピタキシャル層の欠陥とを識別できる欠陥識別方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]共焦点微分干渉光学系を用いた表面検査装置である共焦点顕微鏡によって得られた、基板カーボンインクルージョンの像（左側）と、該基板カーボンインクルージョン起因の4種類の欠陥の像（右側）であり、（a）はラージピット欠陥、（b）は三角欠陥、（c）は斜線状欠陥、（d）はバンプ欠陥を含む像である。

[図2]基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥近傍の断面のS T E M像である。

[図3]単結晶基板の転位に起因する通常のピットのS T E M像である。

[図4]基板のカーボンインクルージョンそのものの断面S T E M像である。

[図5]カーボンインクルージョン部分のE D Xデータである。

[図6]4 H－S i C部分のE D Xデータである。

[図7]エピタキシャル層形成後のバンプ欠陥の共焦点顕微鏡画像と断面S T E M像である。

[図8]図7で示した断面S T E M像のバンプ欠陥に変換されたカーボンインクルージョン部分の拡大像とE D Xデータである。

[図9]C / S i 比に対応する、デバイスキラ欠陥であるラージピット欠陥および三角欠陥への変換率の変化を調べた結果を示すグラフである。

[図10]C / S i 比に対応する、非デバイスキラ欠陥であるバンプ欠陥および斜線状欠陥への変換率の変化を調べた結果を示すグラフである。

[図11]デバイスキラ欠陥と非デバイスキラ欠陥への変換率のエピタキシャル膜の膜厚依存性を示すグラフである。

[図12]左側の像は、S i Cエピタキシャルウェハ表面の、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥近傍のS I C A像であり、右側の像はそれのP L 像である。

[図13]左側の像は、S i Cエピタキシャルウェハ表面の、単結晶基板上のダウンフォールに起因するピット近傍のS I C A像であり、右側の像はそれのP L 像である。

[図14] (a) は、S i Cエピタキシャルウェハ表面の基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥 (L a r g e - p i t) および基板の貫通転位 (T D) を起点とした欠陥近傍のS I C A像を示し、(b) は、それらのP L 像を示す。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、本発明を適用したS i Cエピタキシャルウェハ及びその製造方法について、図面を用いてその構成を説明する。なお、以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際と同じであるとは限らない。また、以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明の効果を奏する範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[0025] (S i Cエピタキシャルウェハ)

本発明の一実施形態に係るS i Cエピタキシャルウェハは、オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-S i C単結晶基板上にS i Cエピタキシャル層が形成されたS i Cエピタキシャルウェハであって、前記S i Cエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/ cm^2 以下である。

[0026] 本発明のS i Cエピタキシャルウェハに用いる4H-S i C単結晶基板は、オフ角が例えば、 0.4° 以上、 8° 以下のものである。典型的には、 4° のものが挙げられる。

[0027] 本発明の一実施形態に係るS i Cエピタキシャルウェハは、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-S i C単結晶基板を用いている点が特徴の一つである。

[0028] S i Cエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/ cm^2 以下とする理由は、ラージピット欠陥がデバイスキラ欠陥だからからである。

すなわち、ラージピット欠陥を含むS i Cエピタキシャルウェハにより作製したショットキーバリアダイオードを作製し、逆バイアス電圧を印加して逆リーク電流を測定したところ、低い逆バイアス電圧で大きな電流リークが発生した。従って、ラージピット欠陥は、最終的な半導体デバイスのキラ欠陥になりうる欠陥であることがわかったものである。従って、三角欠陥と同様に、ラージピット欠陥の密度を低減することは重要である。一方で、バンプ欠陥および斜線状欠陥を含むショットキーバリアダイオードでは電流リークが発生しなかった。

本発明者は、そのラージピット欠陥を低減する方法を見出し、本発明のS i Cエピタキシャルウェハに想到したものである。以下、それについてまず説明する。

[0029] (基板のカーボンインクルージョンに起因した表面欠陥種)

本発明者は、鋭意検討の結果、S i C単結晶基板表面の共焦点顕微鏡像を得て、基板表面におけるカーボンインクルージョンの位置および数を確認した後、そのS i C単結晶基板上にS i Cエピタキシャル層を形成してS i Cエピタキシャルウェハを作製し、S i Cエピタキシャル層表面の共焦点顕微鏡像を得て、そのS i Cエピタキシャル層表面の共焦点顕微鏡像を基板表面の共焦点顕微鏡像と突き合わせて、各カーボンインクルージョンがS i Cエピタキシャル層においてどのような欠陥種になって現れたのかを確認・検討した。これによって、S i C単結晶基板のカーボンインクルージョンは、S i Cエピタキシャル層においてほぼ4種類の欠陥種に変換（転換）されることを見出し、その変換率を決定した。ここで、欠陥種の同定は難しいものであるが、本発明は、基板カーボンインクルージョンとそれに起因する欠陥との関係についての情報が少なかった現状において、「少なくとも主な」欠陥種を特定したことに大きな意義がある。

[0030] 図1に、共焦点微分干渉光学系を用いた表面検査装置である共焦点顕微鏡（レーザーテック株式会社製、S I C A 6 X）によって得られた、その4種類の欠陥の像（以下、S I C A像ということがある。）を示す。図1（a）～（d）のそれぞれにおいて、右側のS I C A像がS i Cエピタキシャル層表面のS I C A像であり、それぞれ順に、ラージピット欠陥、三角欠陥、斜線状欠陥、バンプ欠陥である。図1（a）～（d）のそれぞれにおいて、左側のS I C A像は基板表面のS I C A像である。左側のS I C A像では、後述する通り基板カーボンインクルージョンの像が観察される。

図1に像を示したS i Cエピタキシャルウェハは、後述する図9～図11に示したデータを得たS i Cエピタキシャルウェハと同様の製造方法で、C／S i比を1．1として得られたものである。以下の図2～図8及び図12～図14で像を示したS i Cエピタキシャルウェハについても同様である。

[0031] S i C単結晶基板のカーボンインクルージョン、および、上記4種類の欠陥の特徴を述べる。

S i C単結晶基板のカーボンインクルージョンは共焦点顕微鏡で見ること

とができるものであり、基板表面のS i C A像において黒いピットに見える欠陥である。S i C単結晶基板のカーボンインクリュージョンは、結晶形成途中に飛来したカーボンの塊がインゴットに取り込まれることにより生成するものである。同一インゴットであっても、S i C単結晶基板によって位置が変わる。後述する通り、S i C単結晶基板のカーボンインクリュージョンでは、カーボンのピークが強く検出されるため、S i C単結晶基板のカーボンインクリュージョンによる欠陥を、他の欠陥と区別することが可能になる。

S i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥は共焦点顕微鏡で見ることができるものであり、S i Cエピタキシャル層表面（本明細書中では「エピ表面」ということがある。）でピットに見える欠陥である。ラージピット欠陥の起点は基板のカーボンインクリュージョンおよびその一部が空乏であり、カーボンインクリュージョンから基板のオフ角度の垂直方向に沿って伸びて、深いピットが形成されたものである。ラージピット欠陥の大きさは典型的には $200 \sim 500 \mu\text{m}^2$ である。 $100 \mu\text{m}^2$ 以下の小さなラージピット欠陥は通常のピットとの区別がつきにくい、基板欠陥の位置との照合によって区別ができる。すなわち、基板表面のカーボンインクリュージョンの位置に対応する位置のピットがラージピット欠陥である。

S i Cエピタキシャル層の三角欠陥は共焦点顕微鏡で見ることができるものであり、エピ表面で三角形に見える欠陥である。起点は基板のカーボンインクリュージョンであり、カーボンインクリュージョンから基板のオフ角度の垂直方向に沿って3 Cの多形の層が伸びて、エピ表面に露出しているものである。三角欠陥としてはその他に炉内パーティクル（ダウンフォール）に起因した三角欠陥があり、S i Cエピタキシャル層の共焦点顕微鏡像では区別がつかないが、S i C単結晶基板の共焦点顕微鏡像を比較すると区別できる。

すなわち、基板カーボンインクリュージョン起因の三角欠陥は、S i C単結晶基板の共焦点顕微鏡像においてその位置に基板カーボンインクリュージ

ョンが見えるのに対して、ダウンフォールはS i C単結晶基板中に存在するものではないので、成長炉内に入れる前であれば、その共焦点顕微鏡像には存在しない。すなわち、ダウンフォールはS i Cエピタキシャルウェハの製造時にS i Cエピタキシャル層成長前にS i C単結晶基板上に落下してきたもの、あるいは、S i Cエピタキシャル層の成長中にそのS i Cエピタキシャル層上に落下してきたものである。

S i Cエピタキシャル層の斜線状欠陥は共焦点顕微鏡で見ることができるものであり、エピ表面では斜線に見える欠陥であり、積層欠陥の一部が見えているものである。起点は基板のカーボンインクルージョンであり、カーボンインクルージョンから基板のオフ角度の垂直方向に沿って斜線が伸びて、エピ表面に露出している。その他に基板の転位を起因とした斜線状欠陥があり、S i Cエピタキシャル層の共焦点顕微鏡像では区別がつかないが、S i C単結晶基板の共焦点顕微鏡像を比較すると区別できる。

S i Cエピタキシャル層のバンプ欠陥は共焦点顕微鏡で見ることができるものであり、エピ表面では埋められたバンプに見える欠陥である。カーボンインクルージョンから基板のオフ角度の垂直方向に沿って伸びたものがS i Cエピタキシャル層の成膜により一定程度埋められたものである。

[0032] 基板カーボンインクルージョン起因の、4種類の欠陥種への変換率は具体的には以下のように決定した。

S i C単結晶基板としては、(0001) S i面に対して $\langle 11-20 \rangle$ 方向に 4° のオフ角を有する、6インチの4H-S i C単結晶基板を用いた。

12枚の4H-S i C単結晶基板のそれぞれについて公知の研磨工程を行った後、研磨後の基板についてまず、共焦点顕微鏡（レーザーテック株式会社製、SICA6X）を用いてSICA像を得て、基板表面におけるカーボンインクルージョンの位置情報を記録した。各S i C単結晶基板のカーボンインクルージョンは6個～49個であり、平均は約29個であった。すなわち、基板カーボンインクルージョン密度はそれぞれ、 $0.06 \text{ 個}/\text{cm}^2 \sim 0$

、 4.7 個/ cm^2 あり、平均は約 0.28 個/ cm^2 であった。

その後、その単結晶基板をCVD装置に設置し、水素ガスによる基板表面の清浄化（エッチング）工程を行った。

次に、原料ガスとしてシラン及びプロパンを用い、キャリアガスとして水素を供給しながら、成長温度 1600°C 、C/Si比 1.22 の条件下SiCエピタキシャル成長工程を行い、膜厚 $9\mu\text{m}$ のSiCエピタキシャル層をSiC単結晶基板上に形成して、SiCエピタキシャルウェハを得た。

ここで、C/Si比とは、CとSiとの原子比である。

[0033] このSiCエピタキシャルウェハについて、再度、共焦点顕微鏡（レーザーテック株式会社製、SICA6X）を用いてSICA像を得て、そのSICA像を用いて上記4種類の欠陥に分類した。計測範囲は外周のエッジから 3mm を除くウェハ全体とした。分類した各欠陥の数に基づいて、全基板カーボンインクルージョン数に対する各欠陥数から各欠陥の変換率を算出した。

ラージピット欠陥、三角欠陥、斜線状欠陥、バンプ欠陥のそれぞれの変換率は、 24.4% 、 13.6% 、 4.3% 、 57.6% であった。

かかる変換率はSiCエピタキシャルウェハの製造条件によって変動するが、成長速度が $20\mu\text{m}/\text{時}$ 以上、成長温度が 1500°C 以上の範囲であれば、C/Si比が同一の製造条件では同様の変換率比の傾向が得られる。従って、例えば、キラー欠陥であるラージピット欠陥の密度を所定の密度以下にしたい場合には、変換率から逆算した所定のカーボンインクルージョン密度以下のSiC単結晶基板を使用すればよい。

例えば、ラージピット欠陥および三角欠陥への変換率が 24.4% 、 13.6% に基づくと、基板カーボンインクルージョン密度が上述の 0.06 個/ $\text{cm}^2 \sim 0.47$ 個/ cm^2 の場合、ラージピット欠陥、三角欠陥のそれぞれの欠陥密度は、 0.015 個/ $\text{cm}^2 \sim 0.115$ 個/ cm^2 、 0.008 個/ $\text{cm}^2 \sim 0.064$ 個/ cm^2 になる。

ラージピット欠陥への変換率が 24.4% の場合、基板カーボンインクル

ージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/ cm^2 以下のSiCエピタキシャルウェハを得たい場合には、基板カーボンインクルージョン密度が 2.0 個/ cm^2 以下のSiC単結晶基板を用いればよい。

一般的な表現をすると、ラージピット欠陥への変換率が $p\%$ の場合に、ラージピット欠陥の密度が q 個/ cm^2 以下のSiCエピタキシャルウェハを得たい場合には、基板カーボンインクルージョン密度が $(100 \times q / p)$ 個/ cm^2 以下のSiC単結晶基板を用いればよい。

[0034] 本発明のSiCエピタキシャルウェハにおいて、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度は低いほどよいが、基板カーボンインクルージョン密度の範囲に応じて、その下限を例示すると、 $0.01 \sim 0.03$ 個/ cm^2 程度となる。

[0035] 次に、各欠陥の特徴を説明する。

図2に、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥近傍の断面の、走査透過型電子顕微鏡（STEM：Scanning Transmission Electron Microscope）（株式会社日立ハイテクノロジーズ製、HF-2200）によって得られた像（STEM像）を示す。比較として、図3に単結晶基板の転位に起因する通常のピットのSTEM像を示す。

なお、図2～図4、及び、図7で示したSTEM像は、各欠陥の特徴を説明するためのものであって、寸法は図中に示した通りである。

[0036] 図2に示すSTEM像は一例であるが、STEM像において、下方の基板の位置に基板カーボンインクルージョンが見えている。また、この基板カーボンインクルージョンから異常成長部を介して伸びた転位が存在し、その転位の先の表面側にラージピット欠陥（図2中の「深いピット」）が見えている。このように、図2に示すSTEM像においては、エピ表面のラージピット欠陥の起因が基板カーボンインクルージョンであることが明確に示されている。この基板カーボンインクルージョンと表面のラージピットとの間には、図2に示されているようにエピタキシャル層中に転位が入っている場合

もあるが、入っていない場合もある。またエピ表面には大きく、深いピットが形成される。

一方、図3から明らかなように、単結晶基板の転位に起因する通常のピットのS T E M像では、基板中にカーボンインクルージョンが存在しておらず、ピットの下方には、基板の転位からエピタキシャル層に引き継がれた転位の集合がみられる。その場合、エピ表面にはごく小さなピットしか形成されない。

従って、本発明の基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥は、単結晶基板の転位に起因する通常のピットとは全く異なるものである。

[0037] 図4は、基板の異物インクルージョンの断面S T E M像であり、異物の存在が確認できる。この異物の成分をE D X (E D X : E n e r g y D i s p e r s i v e X - r a y S p e c t r o s c o p y) で確認した。

[0038] 図5は、図4で示した異物インクルージョンについてのE D Xの結果を示すものである。右上の像は図4のS T E M像のうち、異物インクルージョンの近傍を拡大したものであり、グラフは符号2で示した異物中の点の部分のE D Xの結果を示すものである。

一方、図6は、右上の像は図4のS T E M像のうち、異物インクルージョンの近傍を拡大したものであり、グラフは符号12で示した異物以外の点の部分のE D Xの結果を示すものである。

図5で示したE D Xの結果は、図6と比較してカーボンのピークが強いことから異物がカーボン（基板カーボンインクルージョン）であることを確認した。

[0039] 図7は基板カーボンインクルージョン上に、S i Cエピタキシャル層を成膜し、バンプ欠陥となった箇所の断面S T E M像である。基板のカーボンインクルージョンから転位（S T E M像においてやや濃い直線として見えている）が伸びてエピ表面に達していることがわかる。断面S T E M像の上部に示したのはバンプ欠陥（表面欠陥）の共焦点顕微鏡像（その像の右側にその像のスケールを示した）であり、点線矢印によって断面S T E M像のバンプ

欠陥（表面欠陥）との対応を示した。

図7において矢印で示した転位がエピ表面に達した箇所が、図7の上部に示したバンプ欠陥の端に相当していた。

図8は、図7で示したバンプ欠陥に対応するインクルージョン部分の拡大像とその近傍のEDX測定スペクトルである。図8で示したEDXでも、インクルージョン部分（上側データ）でインクルージョン外の部分（下側データ）よりカーボンのピークが強いことから異物がカーボンであることを確認した。

図7及び図8より、図7で示したバンプ欠陥が基板カーボンインクルージョンに起因していることがわかる。

[0040] (SiCエピタキシャルウェハの製造方法)

本発明の一実施形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造方法は、オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハを製造する方法であって、前記SiC単結晶基板上にエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程を有し、前記エピタキシャル成長工程において、SiCエピタキシャル層の厚み方向での成長速度を $5 \sim 100 \mu\text{m}/\text{時}$ とし、成長温度を 1500°C 以上とし、C/Si比を1.25以下とする。

本発明のSiCエピタキシャルウェハの製造方法では、「オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板」を準備することが前提となる。

[0041] 本発明のSiCエピタキシャルウェハの製造方法では、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板を用いることが特徴の一つである。好ましくは、 $0.1 \sim 4.5$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する基板であり、より好ましくは、 $0.1 \sim 3.5$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する基板であり、さらにより好ましくは、 $0.1 \sim 2.5$ 個/ cm^2 の基板カー

ボンインクリュージョン密度を有する基板である。

[0042] 図9及び図10は、(0001) Si面に対して $\langle 11-20 \rangle$ 方向に 4° のオフ角を有する6インチの4H-SiC単結晶基板であって、基板カーボンインクルージョン密度が $0.1 \sim 6.0$ 個/cm²のSiC単結晶基板を用い、公知の研磨工程および基板表面の清浄化（エッチング）工程を行った後、原料ガスとしてシラン及びプロパンを用い、キャリアガスとして水素を供給しながら、SiCエピタキシャル成長工程を行い、膜厚 $30 \mu\text{m}$ のSiCエピタキシャル層をSiC単結晶基板上に形成して得たSiCエピタキシャルウェハについて、成長温度を 1600°C とし、C/Si比については0.80、0.95、1.10、1.22に変えた場合のそれぞれのSiCエピタキシャルウェハについて、各欠陥種への変換率の変化を調べた結果を示すものである。各欠陥種への変換率は、後述する成長温度及び成長速度の範囲においてはほとんど影響を受けなかった。

[0043] 図9は、デバイスキラ欠陥であるラージピット欠陥および三角欠陥への変換率の変化を調べた結果であり、図10は、斜線状欠陥およびバンプ欠陥への変換率の変化を調べた結果である。

[0044] 図9に示す通り、ラージピット欠陥への変換率は、C/Si比が大きくなるほど、大きくなった。具体的には、C/Si比が0.80、0.95、1.10、1.22のそれぞれで、0%、0.6%、4.5%、16.1%であり、C/Si比が1.10を超えると、ラージピット欠陥への変換率は5%を超えた。従って、ラージピット欠陥への変換率を5%以下に抑えるためには、C/Si比を1.10以下に抑える必要がある。なお、図9においては、ラージピット欠陥および三角欠陥を合わせた変換率を、キラ欠陥への変換率として示した。

[0045] また、三角欠陥への変換率もラージピット欠陥への変換率ほどではないが、C/Si比が大きくなるほど、ほぼ大きくなる傾向であった。三角欠陥への変換率はいずれのC/Si比においても3%以下と低かった。具体的には、C/Si比が0.80、0.95、1.10、1.22のそれぞれで、1

． 7 %、 2． 6 %、 2． 2 %、 2． 7 %であった。

[0046] ラージピット欠陥および三角欠陥を合わせたキラ欠陥への変換率は、 C/Si 比が大きくなるほど、大きくなった。具体的には、 C/Si 比が0． 80、0． 95、1． 10、1． 22のそれぞれで、1． 7 %、3． 2 %、6． 7 %、18． 8 %であり、 C/Si 比が1． 10を超えると、キラ欠陥への変換率は6 %を超えた。従って、キラ欠陥への変換率を6 %以下に抑えるためには、 C/Si 比を1． 10以下に抑える必要がある。

[0047] これに対して、図10に示す通り、バンプ欠陥（Bump）への変換率は C/Si 比が大きくなるほど、小さくなった。具体的には、 C/Si 比が0． 80、0． 95、1． 10、1． 22のそれぞれで、97． 2 %、94． 8 %、92． 7 %、79． 6 %であり、 C/Si 比が1． 10以下では、バンプ欠陥への変換率は92 %を超えた。従って、バンプ欠陥への変換率を92 %以上に高めるためには、 C/Si 比を1． 10以下にする必要がある。

[0048] また、斜線状欠陥への変換率はバンプ欠陥への変換率とは異なり、 C/Si 比が変わっても大きく変化しなかった。具体的には、 C/Si 比が0． 80、0． 95、1． 10、1． 22のそれぞれで、1． 1 %、1． 9 %、0． 6 %、1． 6 %であり、いずれの C/Si 比でも、斜線状欠陥への変換率は2 %未満と小さい値であった。

[0049] バンプ欠陥および斜線状欠陥を合わせた非キラ欠陥への変換率は、 C/Si 比が大きくなるほど、小さくなった。具体的には、 C/Si 比が0． 80、0． 95、1． 10、1． 22のそれぞれで、98． 3 %、96． 7 %、93． 3 %、81． 2 %であり、 C/Si 比が1． 10では、非キラ欠陥への変換率は93 %を超えた。従って、非キラ欠陥への変換率は93 %以上に高めるためには、 C/Si 比を1． 10以下にする必要がある。

[0050] 各欠陥種への変換率とエピ膜厚（エピタキシャル膜の厚み）の関係を調査した。 C/Si 比を1． 22と固定し、エピ膜厚を9 μm 、15 μm 、30 μm として、デバイスキラ欠陥と非デバイスキラ欠陥への変換率を図11にまとめた。膜厚が大きくなるほど、キラ欠陥への変換率は小さくなっ

た。具体的には、膜厚が9、15、30 μm のそれぞれで38.1%、24.5%、18.8%であり、C/Si比が1.22の場合、エピ膜厚が30 μm でキラ欠陥への変換率は20%以下に抑えられた。すなわち、各欠陥種への変換率は、C/Si比とともに、エピ膜厚にも影響を受けることを見出した。言い換えると、各欠陥への変換率は、C/Si比とエピ膜厚の2つのパラメータにより制御することができる。一般的に、C/Si比が大きい方が不純物濃度の均一性が良くなる。不純物の濃度の均一性を優先するためにC/Si比を大きくしたい場合、エピ膜厚を厚くすることでキラ欠陥への変換率が抑えられる。

[0051] 本発明の一実施形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造方法では、エピタキシャル成長工程におけるC/Si比は1.25以下である。図9に示した結果に基づくと、ラージピット欠陥への変換率を低減するためにはC/Si比は1.22以下であることが好ましく、1.15以下であることがより好ましく、1.10以下であることがさらに好ましい。ラージピット欠陥への変換率を低減するためには、C/Si比はさらに小さい値であることが好ましい。C/Si比を1.22以下にするとラージピット欠陥への変換率を16%以下にすることができ、C/Si比を1.10以下にするとラージピット欠陥への変換率を4.5%以下にすることができ、C/Si比を1.05以下にするとラージピット欠陥への変換率を3.0%以下にすることができ、C/Si比を1.0以下にするとラージピット欠陥への変換率を2.0%以下にすることができ、C/Si比を0.95以下にするとラージピット欠陥への変換率を0.6%以下にすることができ、C/Si比を0.90以下にするとラージピット欠陥への変換率を0%にすることが可能となる。

本発明の一実施形態に係るSiCエピタキシャルウェハの製造方法では、エピ膜厚は特に限定するものではない。エピ膜厚が10 μm より薄い場合はC/Si比をより小さくするのが好ましい。エピ膜厚が15 μm より厚い場合では多少C/Si比が大きくても良い。

[0052] 本発明の一実施形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造方法では特に限定するものではないが、エピタキシャル成長工程における成長速度は5 ~ 1 0 0 $\mu\text{m}/\text{時}$ である。

成長速度が速い方が、生産性が上がるため、成長速度は2 0 $\mu\text{m}/\text{時}$ 以上であることが好ましく、4 0 $\mu\text{m}/\text{時}$ 以上であることがより好ましく、6 0 $\mu\text{m}/\text{時}$ 以上であることがさらに好ましい。

[0053] 本発明の一実施形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造方法では、エピタキシャル成長工程における成長温度は1 5 0 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上である。温度が低すぎると積層欠陥が増えるため、温度が高すぎると、炉内部材の劣化の問題があるため、成長温度は1 5 0 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上であることが好ましく、1 5 5 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上であることがより好ましく、1 6 0 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上であることがさらに好ましい。また、上限としては例えば、1 7 5 0 $^{\circ}\text{C}$ 程度が挙げられる。

[0054] 本発明の一実施形態に係るS i Cエピタキシャルウェハの製造方法において、エピタキシャル成長前に、S i Cエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が0. 5 個/ cm^2 以下のS i Cエピタキシャルウェハを選別する工程を設けてもよい。

[0055] (ラージピット欠陥検出方法)

本発明の一実施形態に係るラージピット欠陥検出方法は、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡を用いて、S i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層中のラージピット欠陥を検出する。

[0056] S i Cエピタキシャル層のラージピット欠陥は基板カーボンインクリュージョンが起点であるから、S i C単結晶基板の共焦点顕微鏡像とS i Cエピタキシャルウェハ（すなわち、S i Cエピタキシャル層）の共焦点顕微鏡像とを対比することにより、S i CエピタキシャルウェハにおけるS i Cエピタキシャル層中のラージピット欠陥を容易に検出することができる。各欠陥の座標が出力され、かつ欠陥像が詳細に観察できるS I C A 6 X装置を使用することによって、基板とエピタキシャルウェハの対比が容易にできるようになった。

[0057] (欠陥識別方法 (第1実施形態))

本発明の第1実施形態に係る欠陥識別方法は、SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡によって測定した、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンの位置と前記SiCエピタキシャル層のラージピット欠陥の位置とを対比することによって、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥を識別する。

[0058] (欠陥識別方法 (第2実施形態))

本発明の第2実施形態に係る欠陥識別方法は、SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡と近赤外フォトルミネッセンス装置(NIR-PL)とを用いて、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するSiCエピタキシャル層のラージピット欠陥とダウンフォールに起因するSiCエピタキシャル層の欠陥とを識別するものである。

[0059] 図12の左側(表面)に、SiCエピタキシャルウェハ表面の基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥近傍のSICA像、右側(NIR)にそれを近赤外フォトルミネッセンス装置(レーザーテック株式会社製、SICA87)を用いてバンドパス(630~780nm)の受光波長で得られたPL像を示す。比較として、図13に単結晶基板上のダウンフォールに起因するピット(欠陥)のSICA像およびPL像をそれぞれ左側(表面)、右側(NIR)に示す。

[0060] SICA像においては、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥とダウンフォール起因のピットとはいずれも丸状形状であって明確な区別はつきにくい。これに対して、PL像では、ダウンフォール起因のピットは丸状形状であるのに対して、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥は蜘蛛の巣状であることが多く、この場合には両者の区別は明

確である。

なお、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥のPL像が丸状形状である場合であっても、SiC単結晶基板のSiCA像で観察されるカーボンインクルージョンの位置を比べれば、ダウンフォールを起点としたピットと区別ができる。また、近赤外フォトルミネッセンス装置において、バンドパス400～678nm又はバンドパス370～388nmの受光波長でラージピット欠陥のPL像を比べると、蜘蛛の巣部分は黒く、核にあたる部分は白く見えるので、図13と同様に見えるダウンフォールに起因したピットと区別できる。

[0061] (欠陥識別方法(第3実施形態))

本発明の第3実施形態に係る欠陥識別方法は、SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡と近赤外フォトルミネッセンス装置とを用いて、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するSiCエピタキシャル層のラージピット欠陥と前記SiC単結晶基板中の貫通転位に起因するSiCエピタキシャル層の欠陥とを識別するものである。

[0062] 図14(a)に、SiCエピタキシャルウェハ表面の基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥(Large-pit)および基板の貫通転位(TD)に起因する欠陥近傍のSiCA像、図14(b)に、それを近赤外フォトルミネッセンス装置(レーザーテック株式会社製、SiCA87)を用いてバンドパス(630～780nm)の受光波長で得られたPL像を示す。

[0063] 基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥および基板の貫通転位を起点とした欠陥は、図14(a)のSiCA像上では類似した見え方をしているが、図14(b)のPL像においては、基板の貫通転位を起点とした欠陥は発光がないのに対して、ラージピット欠陥の方は蜘蛛の巣状に見えており、明確に区別することができる。

産業上の利用可能性

[0064] 本発明のS i Cエピタキシャルウェハ及びその製造方法は例えば、パワー半導体用S i Cエピタキシャルウェハとして、また、その製造方法として利用することができる。

請求の範囲

- [請求項1] オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハであって、
- 前記SiCエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/ cm^2 以下であることを特徴とするSiCエピタキシャルウェハ。
- [請求項2] オフ角を有し、 $0.1 \sim 6.0$ 個/ cm^2 の基板カーボンインクルージョン密度を有する4H-SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハを製造する方法であって、
- 前記SiC単結晶基板上にエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程を有し、
- 前記エピタキシャル成長工程において、成長速度を $5 \sim 100 \mu\text{m}$ /時とし、成長温度を 1500°C 以上とし、C/Si比を 1.25 以下とすることを特徴とするSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項3] C/Si比を 1.10 以下とすることを特徴とする請求項2に記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項4] 前記SiCエピタキシャル層に含まれる、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥の密度が 0.5 個/ cm^2 以下のSiCエピタキシャルウェハを選別することを特徴とする請求項2または3のいずれかに記載のSiCエピタキシャルウェハの製造方法。
- [請求項5] 共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡を用いて、SiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層中のラージピット欠陥を検出するラージピット欠陥検出方法。
- [請求項6] SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、

共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡によって測定した、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンの位置と前記SiCエピタキシャル層のラージピット欠陥の位置とを対比することによって、基板カーボンインクルージョン起因のラージピット欠陥を他の欠陥から識別する欠陥識別方法。

[請求項7]

SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、

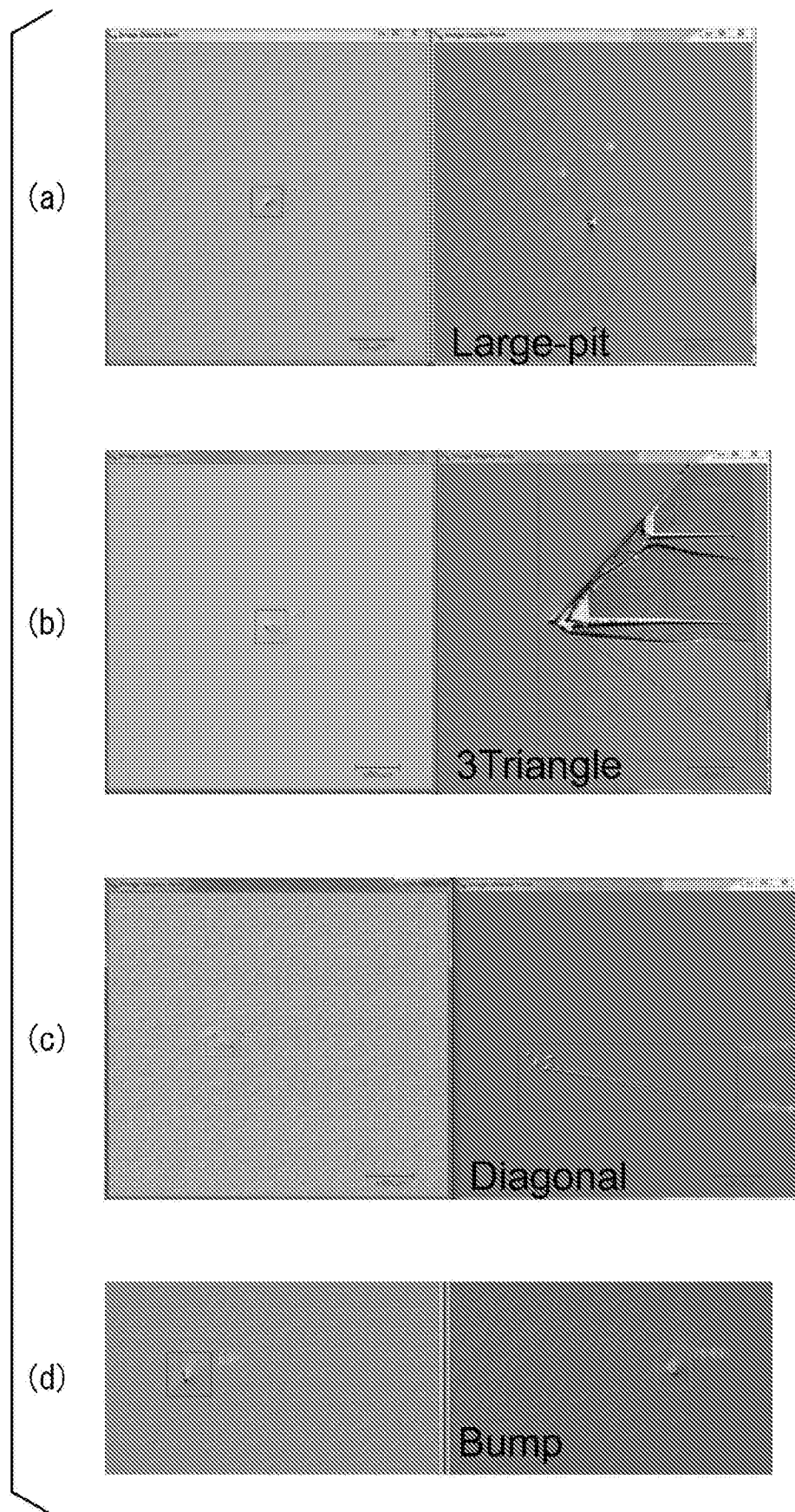
共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡とフォトルミネッセンス装置とを用いて、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するSiCエピタキシャル層のラージピット欠陥とダウンフォールに起因とするSiCエピタキシャル層の欠陥とを識別する欠陥識別方法。

[請求項8]

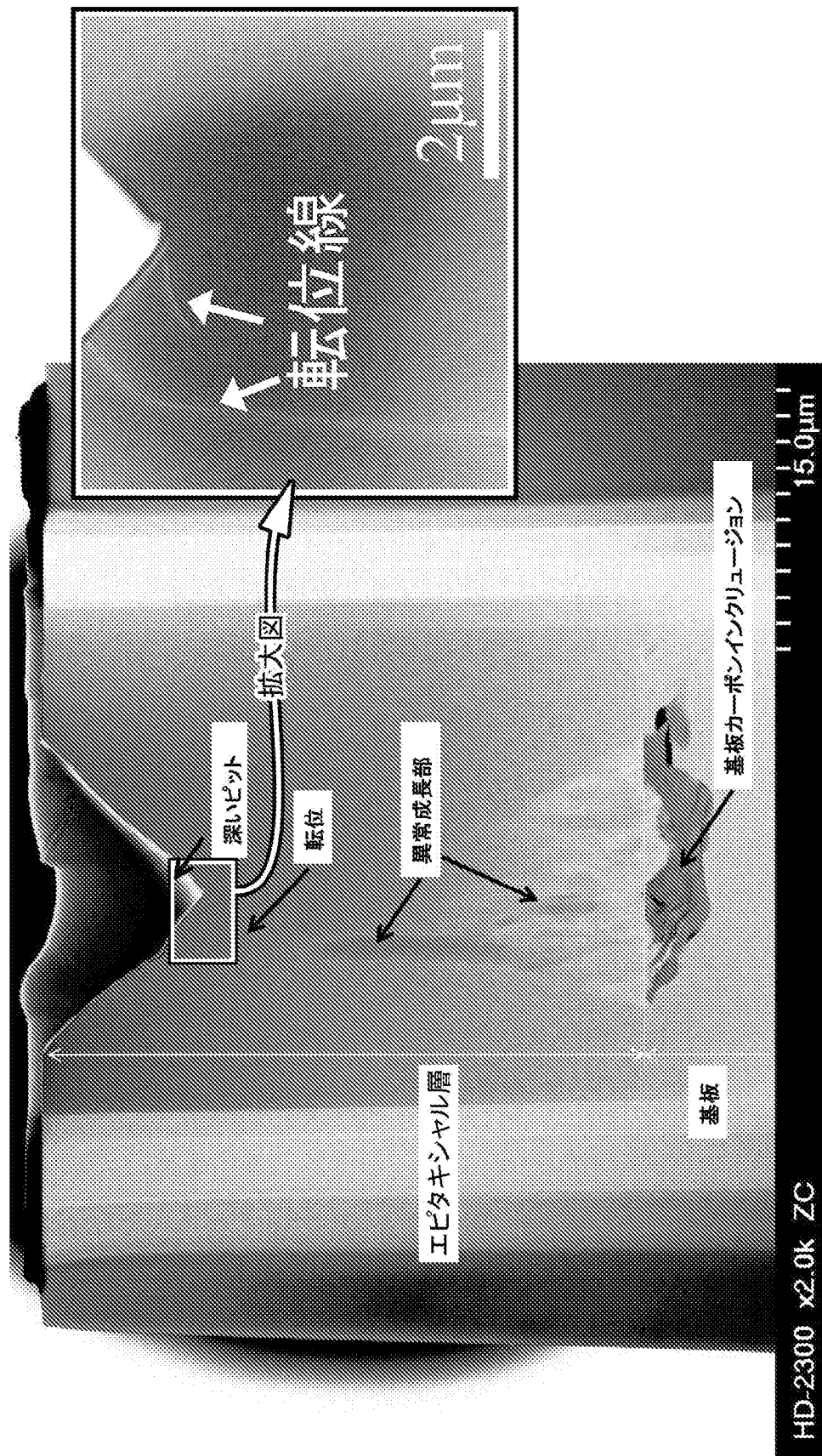
SiC単結晶基板上にSiCエピタキシャル層が形成されたSiCエピタキシャルウェハにおけるSiCエピタキシャル層の欠陥を識別する方法であって、

共焦点微分干渉光学系を有する共焦点顕微鏡とフォトルミネッセンス装置とを用いて、前記SiC単結晶基板中の基板カーボンインクルージョンに起因するSiCエピタキシャル層のラージピット欠陥と前記SiC単結晶基板中の貫通転位に起因とするSiCエピタキシャル層の欠陥とを識別する欠陥識別方法。

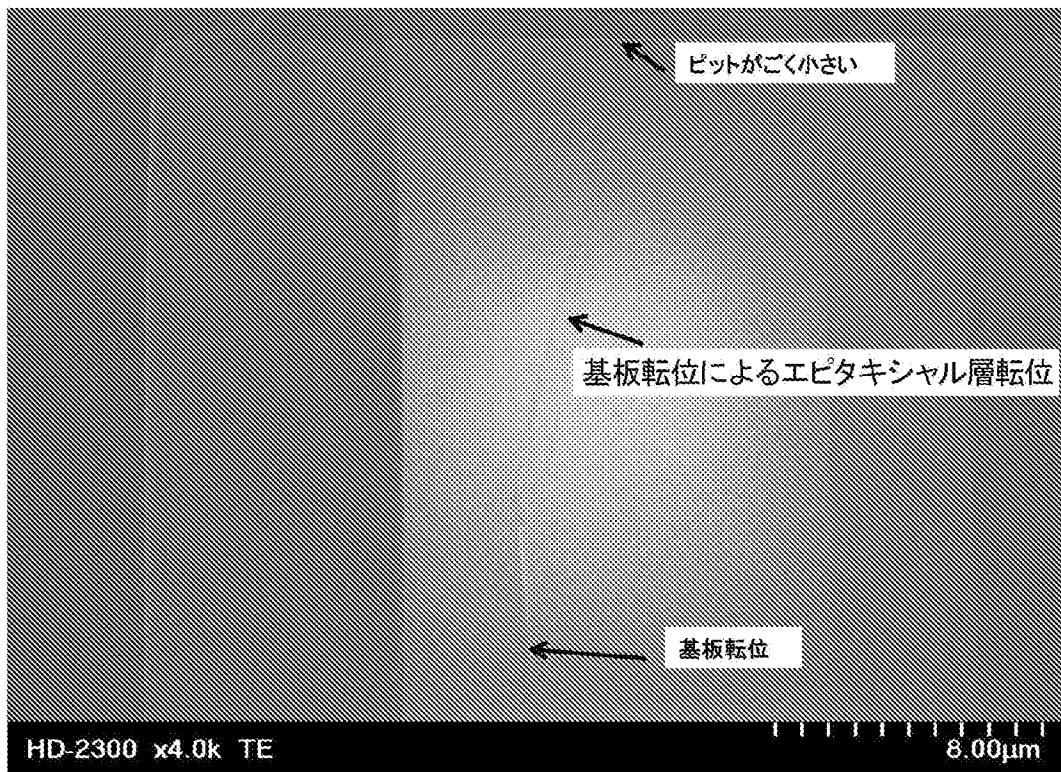
[図1]



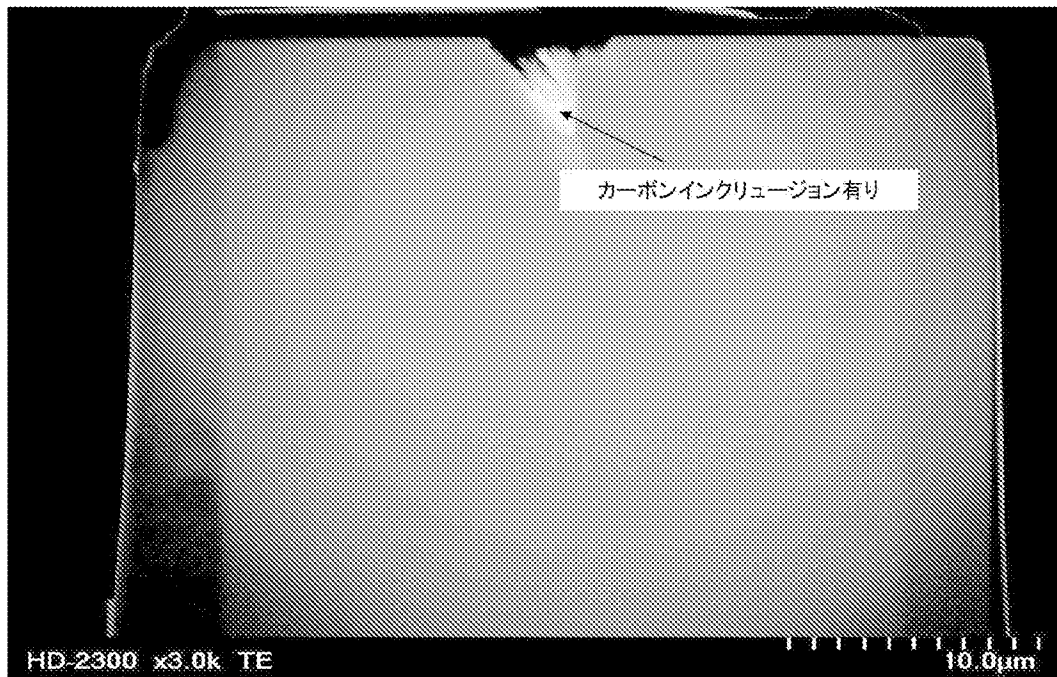
[図2]



[図3]

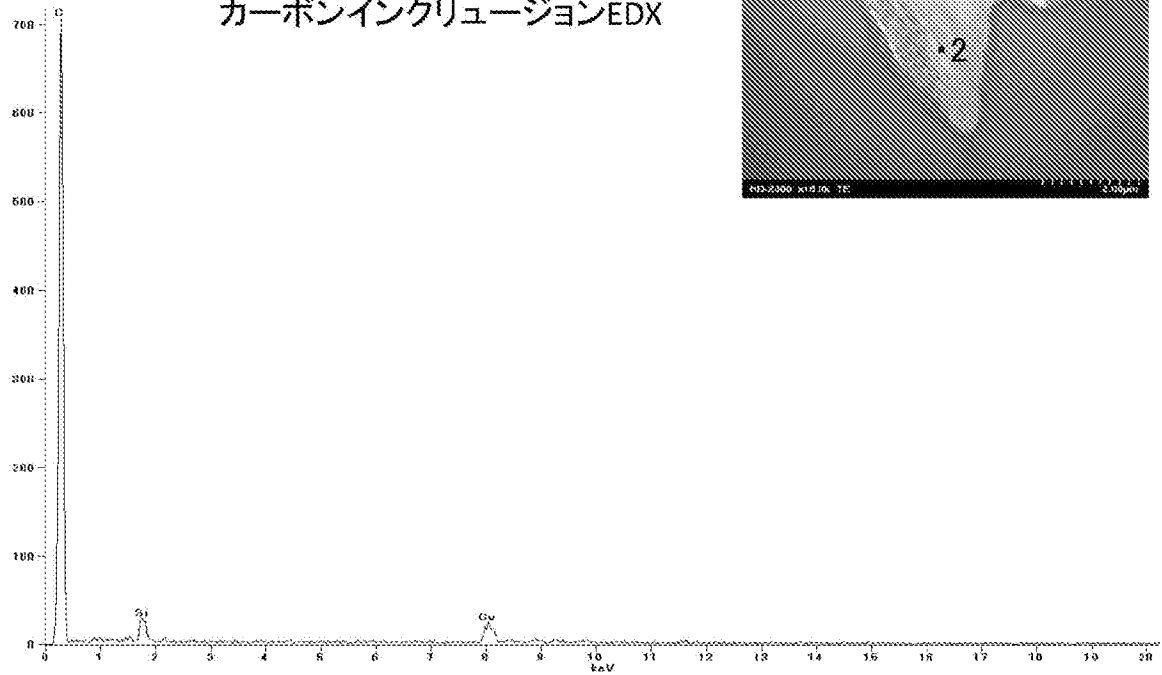


[図4]

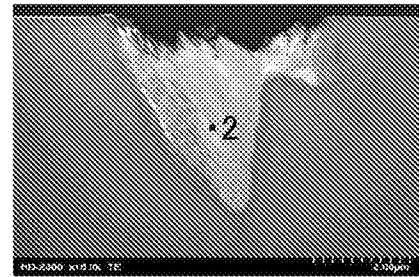


[図5]

Full scale counts: 707

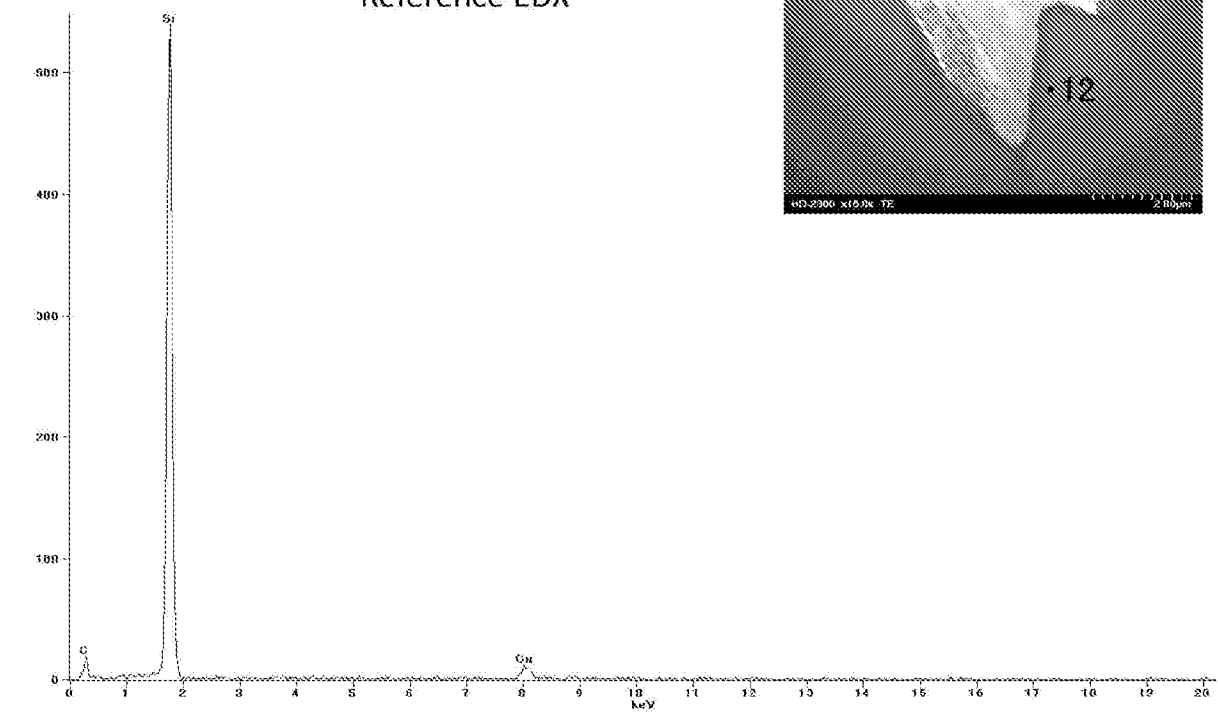


1

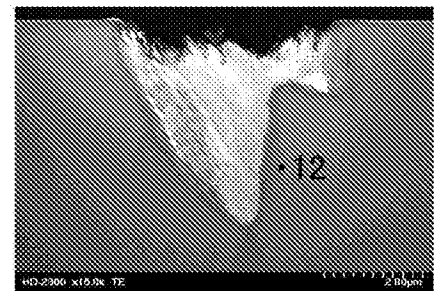


[図6]

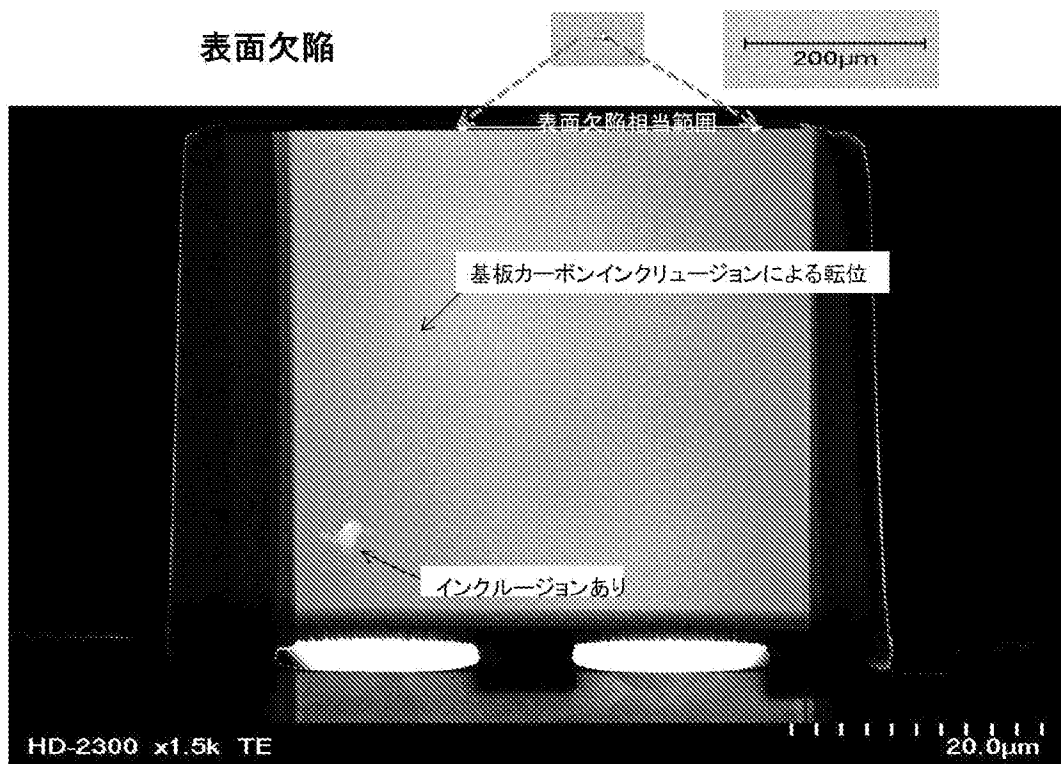
Full scale counts: 540



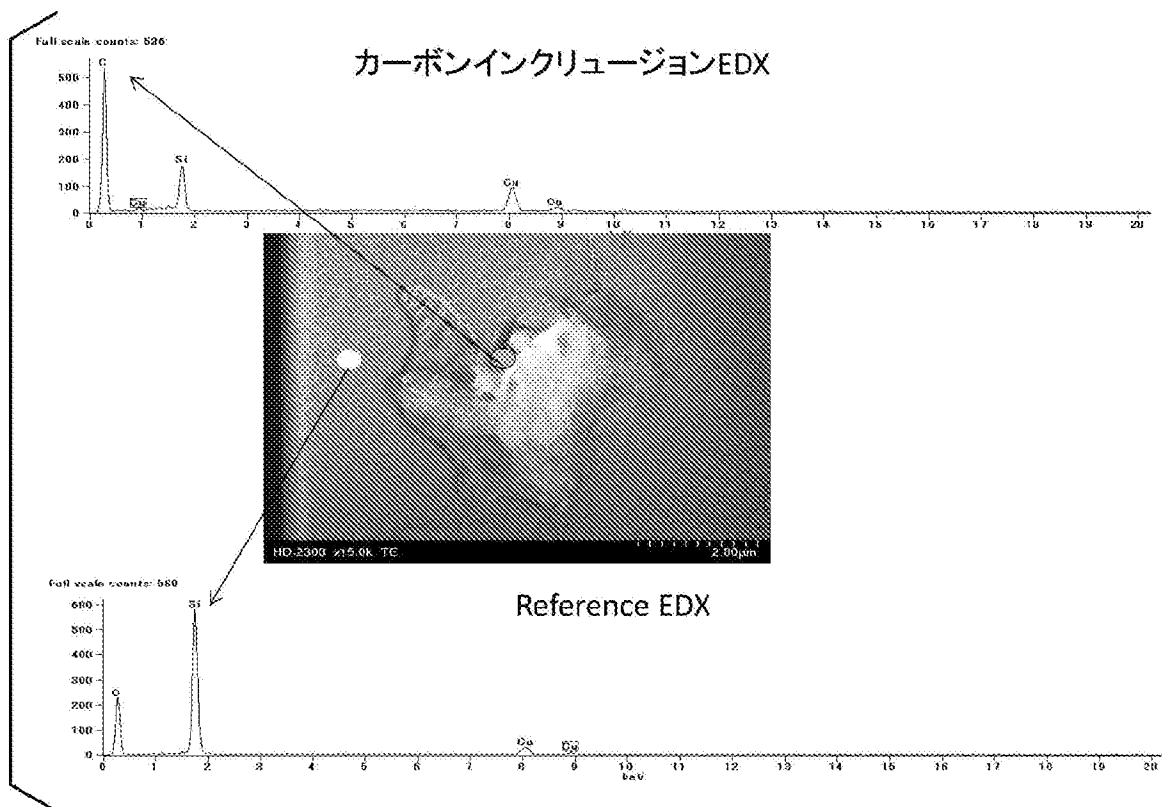
1



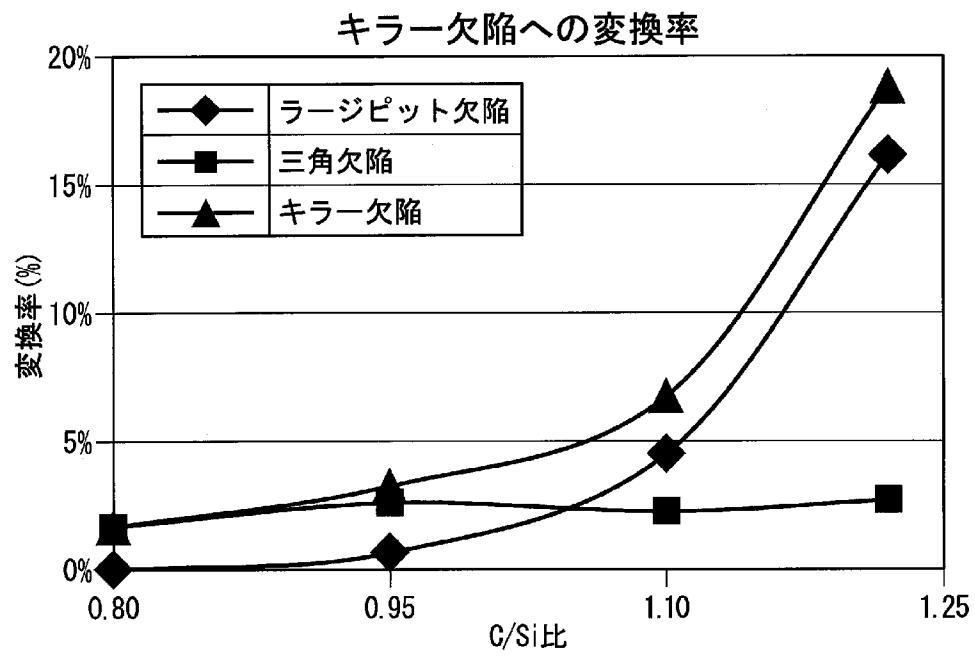
[図7]



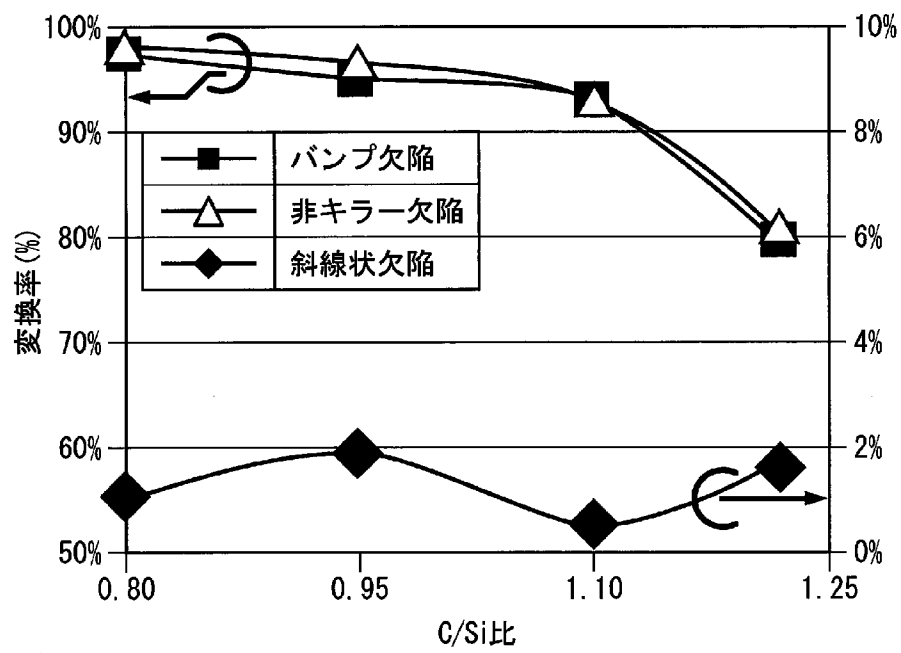
[図8]



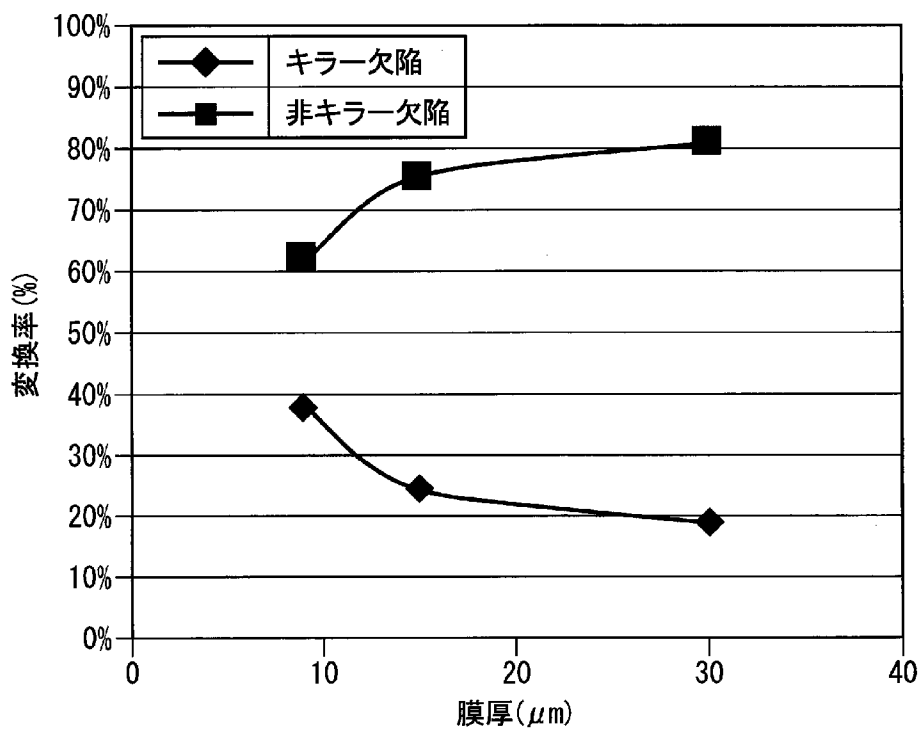
[図9]



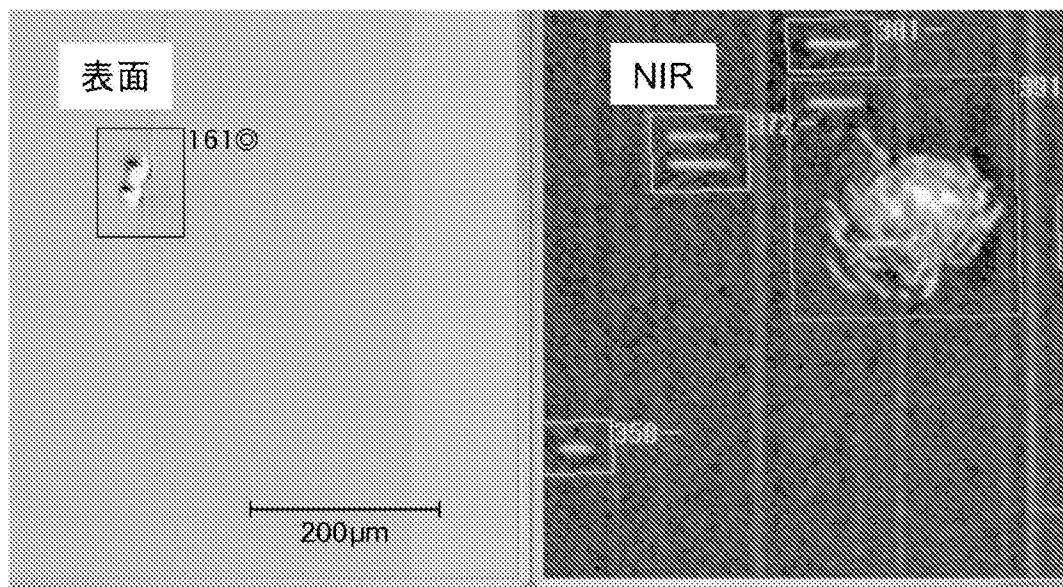
[図10]



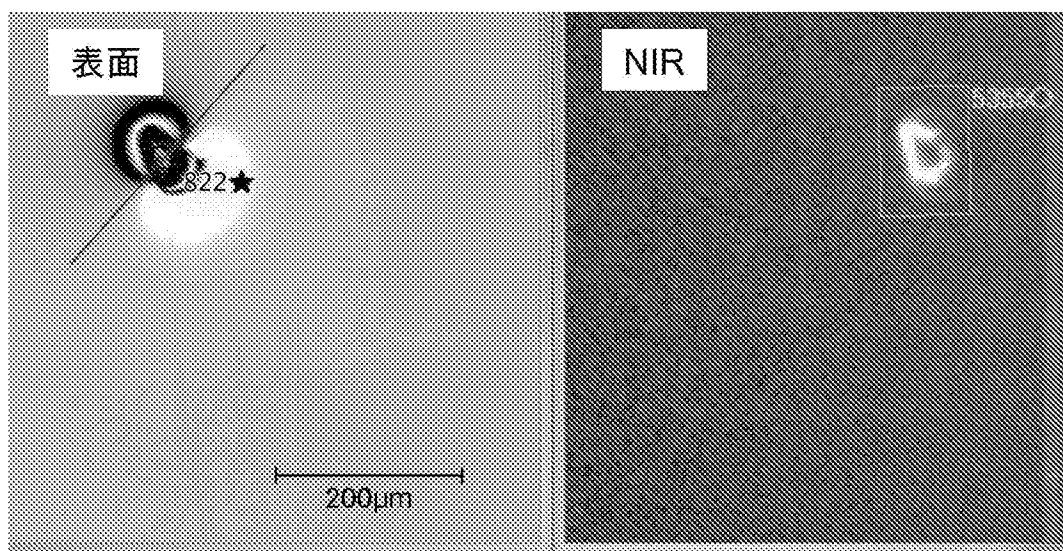
[図11]



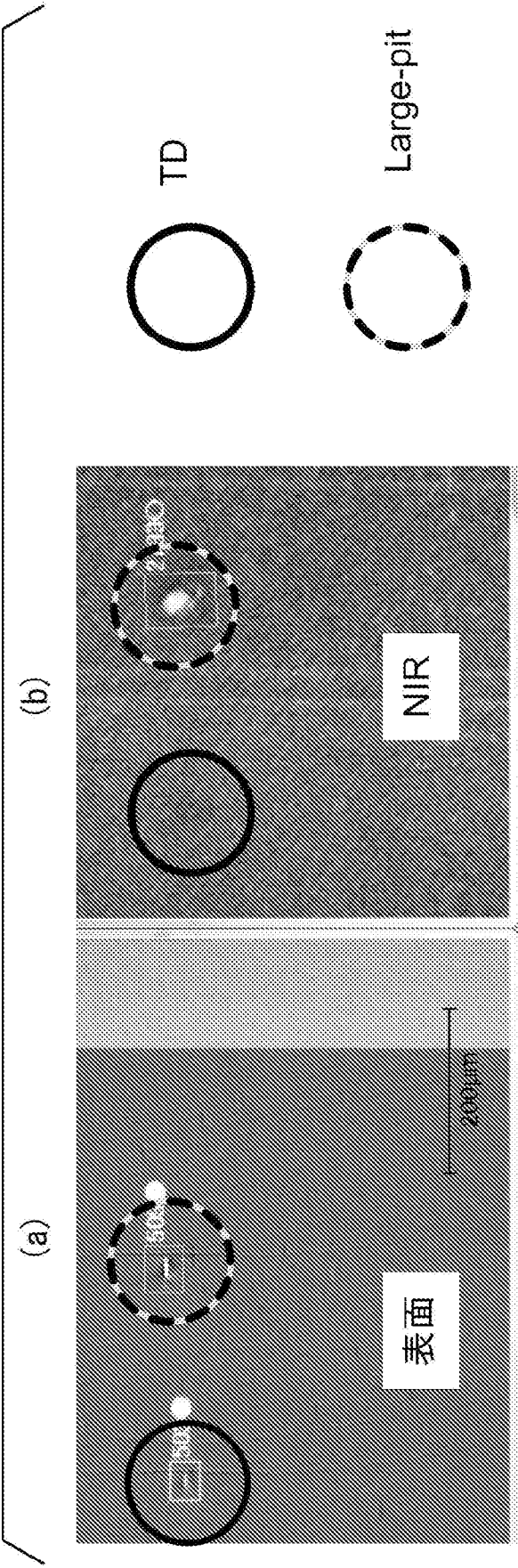
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029718

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B29/36(2006.01)i, C23C16/42(2006.01)i, C30B25/20(2006.01)i, G01N21/956(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, G01N21/00-21/956, H01L21/205, H01L29/161

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

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

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

Science Direct

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-001108 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 09 January 2014 (09.01.2014), & US 2015/0162187 A1 & US 2017/0233893 A1 & WO 2013/191201 A1	1-8
A	JP 2013-023399 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 04 February 2013 (04.02.2013), & US 2014/0145214 A1 & US 2016/0379860 A1 & WO 2013/011923 A1 & EP 2735630 A1 & CN 103649385 A & KR 10-2014-0024473 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
06 November 2017 (06.11.17)

Date of mailing of the international search report
21 November 2017 (21.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029718

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 2011-121847 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 23 June 2011 (23.06.2011), & US 2012/0280254 A1 & WO 2011/074453 A1 & EP 2514857 A1 & CN 102656297 A & KR 10-2012-0101097 A	1-8
A	JP 2014-122140 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 03 July 2014 (03.07.2014), (Family: none)	1-8
A	JP 2014-024703 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 06 February 2014 (06.02.2014), (Family: none)	1-8
A	LEONE S, et al., Improved morphology for epitaxial growth on 4° off-axis 4H-SiC substrates, Journal of Crystal Growth, 2009.04.05, Vol.311, p.3265-3272	1-8
A	HOFMANN D., et al., Analysis on defect generation during the SiC bulk growth process, Materials Science and Engineering B, 1999, Vol.61-62, p.48-53	1-8

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, G01N21/956(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, G01N21/00-21/956, H01L21/205, H01L29/161

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

Science Direct

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-001108 A (昭和電工株式会社) 2014.01.09, & US 2015/0162187 A1 & US 2017/0233893 A1 & WO 2013/191201 A1	1-8
A	JP 2013-023399 A (昭和電工株式会社) 2013.02.04, & US 2014/0145214 A1 & US 2016/0379860 A1 & WO 2013/011923 A1 & EP 2735630 A1 & CN 103649385 A & KR 10-2014-0024473 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

06.11.2017

国際調査報告の発送日

21.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

原 和秀

4G

4039

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 2011-121847 A (昭和電工株式会社) 2011.06.23, & US 2012/0280254 A1 & WO 2011/074453 A1 & EP 2514857 A1 & CN 102656297 A & KR 10-2012-0101097 A	1-8
A	JP 2014-122140 A (昭和電工株式会社) 2014.07.03, (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2014-024703 A (住友電気工業株式会社) 2014.02.06, (ファミリーなし)	1-8
A	LEONE S, et al., Improved morphology for epitaxial growth on 4° off-axis 4H-SiC substrates, Journal of Crystal Growth, 2009.04.05, Vol.311, p.3265-3272	1-8
A	HOFMANN D., et al., Analysis on defect generation during the SiC bulk growth process, Materials Science and Engineering B, 1999, Vol.61-62, p.48-53	1-8