

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年3月9日(09.03.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/038591 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 29/36 (2006.01) C23C 16/42 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/074724
- (22) 国際出願日: 2016年8月25日(25.08.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-170814 2015年8月31日(31.08.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー(DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP). 一般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: 岡本 武志(OKAMOTO Takeshi); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 近藤 宏行(KONDO Hiroyuki); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 金村 高司(KANEMURA Takashi); 〒4488661 愛知県刈谷

市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 宮原 真一朗(MIYAHARA Shinichiro); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 海老原 康裕(EBIHARA Yasuhiro); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 恩田 正一(ONDA Shoichi); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 土田 秀一(TSUCHIDA Hidekazu); 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目6番1号 一般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); 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目6番1号 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内 Kanagawa (JP). 田沼 良平(TANUMA Ryohei); 〒2400196 神奈川県横須賀市長坂二丁目6番1号 一般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: 金 順姫(JIN Shunji); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦2丁目13番19号 瀧定ビル6階 Aichi (JP).

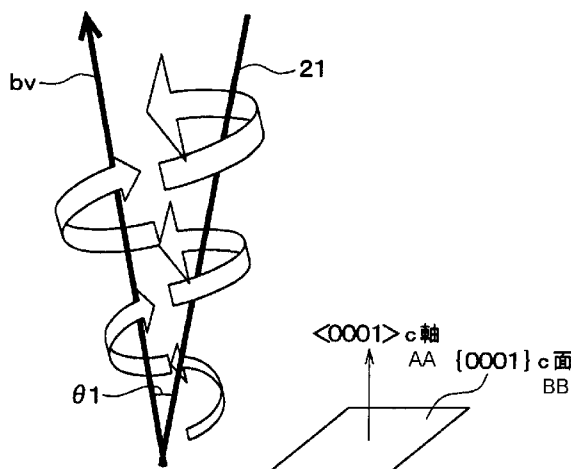
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,

[続葉有]

(54) Title: SILICON CARBIDE SINGLE CRYSTAL, SILICON CARBIDE SINGLE CRYSTAL WAFER, SILICON CARBIDE SINGLE CRYSTAL EPITAXIAL WAFER, ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 炭化珪素単結晶、炭化珪素単結晶ウェハ、炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハ、電子デバイス

[図3]



AA... <0001> c-AXIS
BB... {0001} c-PLANE

(57) Abstract: In this silicon carbide single crystal, a threading dislocation (20) is present, whereof the dislocation line (21) traverses the c-plane while the Burgers vector (bv) has at least a component in the c-axis direction. Among the threading dislocations, the density is 300/cm² or less for the threading dislocations where the angle (θ1) formed by the Burgers vector and the direction of the dislocation line is greater than 0° and 40° or less, and the density is 30/cm² or less for the threading dislocations where the angle is greater than 40°.

(57) 要約: 炭化珪素単結晶において、転位線(21)がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル(bv)が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位(20)が存在する。貫通転位のうち、バーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度(θ1)が0°より大きく40°以内である貫通転位の密度が300個/cm²以下とされ、角度が40°よりも大きな貫通転位の密度が30個/cm²以下とされている。



CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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

ロシア (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：

炭化珪素単結晶、炭化珪素単結晶ウェハ、炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハ、電子デバイス

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2015年8月31日に出願された日本特許出願番号2015-170814号に基づくもので、ここにその記載内容を援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、炭化珪素（以下、SiCという）単結晶、SiC単結晶ウェハ、SiC単結晶エピタキシャルウェハ、電子デバイスに関するものである。

背景技術

[0003] 高品質なSiC単結晶として、特許文献1に記載のものがある。この特許文献1のSiC単結晶は、螺旋転位を、ひずみが大きな転位とひずみが小さな転位とにバーガースベクトルのみを用いて区分けし、ひずみが大きな転位の密度が低くされていることを要件としている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-159351号公報

発明の概要

[0005] ところで、本発明者がデバイス特性と貫通転位との関係を調べた結果、SiC単結晶中に存在する貫通転位には、バーガースベクトルの向きと転位線の向きとのなす角度が大きな転位がある。この角度が大きい転位がSiC単結晶中に多く存在すると、デバイス特性が著しく悪化することがわかった。

[0006] 本開示は、デバイス特性を改善できる高品質なSiC単結晶、SiC単結晶ウェハ、SiC単結晶エピタキシャルウェハを提供することを目的とする。また、本開示は、デバイス特性が改善された電子デバイスを提供すること

を他の目的とする。

[0007] 本開示の第一態様に係る炭化珪素単結晶においては、転位線がc面を貫通するとともに、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位が存在する。貫通転位のうち、バーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、角度が 40° よりも大きな貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている。

[0008] このようにバーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が大きいことでひずみが大きな貫通転位の密度が低い炭化珪素単結晶を電子デバイスに用いることで、デバイス特性を改善することができる。よって、これによれば、高品質な炭化珪素単結晶を提供できる。

[0009] 本開示の第二態様に係る炭化珪素単結晶ウェハにおいては、転位線がc面を貫通するとともに、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位が存在する。貫通転位のうち、バーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、角度が 40° よりも大きな貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている。

[0010] このようにひずみが大きな貫通転位の密度が低い炭化珪素単結晶ウェハを用いて電子デバイスを製造することで、デバイス特性を改善することができる。よって、これによれば、高品質な炭化珪素単結晶ウェハを提供できる。

[0011] 本開示の第三態様に係る炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハは、炭化珪素単結晶基板と、炭化珪素単結晶基板上に形成されたエピタキシャル成長層とを備える。炭化珪素単結晶基板およびエピタキシャル成長層は、転位線がc面を貫通するとともに、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位が存在する。貫通転位のうち、バーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、角度が 40° よりも大きな貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている。

[0012] このようにひずみが大きな貫通転位の密度が低い炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハを用いて電子デバイスを製造することで、デバイス特性を改善することができる。よって、これによれば、高品質な炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハを提供できる。

[0013] 本開示の第四態様に係る電子デバイスは、転位線がc面を貫通するとともに、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位が存在する炭化珪素単結晶基板を備える。炭化珪素単結晶基板は、貫通転位のうち、バーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、角度が 40° よりも大きな貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている。

[0014] 本開示の第五態様に係る電子デバイスは、炭化珪素単結晶基板と、炭化珪素単結晶基板上に形成されたエピタキシャル成長層とを備える。炭化珪素単結晶基板およびエピタキシャル成長層は、転位線がc面を貫通するとともに、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位が存在し、貫通転位のうちバーガースベクトルと転位線の向きとのなす角度が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、角度が 40° よりも大きな貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている。

[0015] これらの電子デバイスによれば、炭化珪素単結晶基板、または、炭化珪素単結晶基板およびエピタキシャル成長層は、ひずみが大きな貫通転位の密度が低いので、ひずみが大きな貫通転位の密度が高い場合と比較して、デバイス特性を改善できる。

図面の簡単な説明

[0016] 本開示についての上記目的およびその他の目的、特徴や利点は、添付の図面を参照しながら下記の詳細な記述により、より明確になる。図面において、

[図1]図1は、第1実施形態におけるSiC単結晶エピタキシャルウェハの断面図であり、

[図2]図2は、第1実施形態におけるMOSキャパシタの断面図であり、

[図3]図3は、貫通転位を示す模式図であり、

[図4]図4は、貫通転位のバーガースベクトルと転位線がなす角度と、MOSキャパシタの寿命との関係を示す図であり、及び、

[図5]図5は、他の実施形態におけるSiC単結晶ウェハの断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本開示の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、同一符号を付して説明を行う。なお、結晶の方位を示す場合、本来ならば所望の数字の上にバー（ $\bar{}$ ）を付すべきであるが、電子出願に基づく表現上の制限が存在するため、本明細書においては、所望の数字の前にバーを付すものとする。

[0018] （第1実施形態）

本実施形態では、SiC単結晶エピタキシャルウェハと、このウェハを用いて製造されるMOSキャパシタについて説明する。

[0019] 図1に示すように、SiC単結晶エピタキシャルウェハ1は、SiC単結晶基板2と、SiC単結晶基板2の表面上にエピタキシャル成長によって形成されたSiCエピタキシャル成長層3とを有する。以下では、SiC単結晶エピタキシャルウェハ1をウェハ1とも言い、SiC単結晶基板2を単結晶基板2とも言い、SiCエピタキシャル成長層3をエピ層3とも言う。単結晶基板2およびエピ層3を構成するSiC単結晶の結晶多形は4Hである。ウェハ1の表面1a（すなわち、エピ層3の表面3a）における $\{0001\}$ 面に対する $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向のオフ角度は約 4° である。エピ層3の導電型はn型である。なお、SiC単結晶は、6H、3C等の他の結晶多形であってもよい。また、ウェハ1の表面1aは、 $\{0001\}$ 面に対して $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向に 10° 以内のオフ角が設定されていればよい。

[0020] なお、ウェハ1としては、直径が100mm以上または約150mm以上のものを用いることができる。また、ウェハ1は、マイクロパイプ密度が1

個/ cm^2 未満、貫通刃状転位密度が3000個/ cm^2 未満、積層欠陥密度が0.1個/ cm^2 未満、インクルージョン密度が1個/ cm^3 未満であることが好ましい。

[0021] 図2に示すように、MOSキャパシタ10は、MOS構造を有する電子デバイスである。MOSキャパシタ10は、単結晶基板2と、SiC単結晶基板2の表面上に形成されたn型ドリフト層としてのエピ層3と、エピ層3の表面3a上に形成された酸化膜4と、酸化膜4の表面上に形成された第1電極5と、SiC単結晶基板2の裏面上に形成された第2電極6とを備えている。

[0022] このMOSキャパシタ10は、図1に示すウェハ1の表面1a上に酸化膜4を形成し、酸化膜4の表面上に第1電極5を形成し、単結晶基板2の裏面上に第2電極6を形成した後、このウェハ1を所望のサイズにダイシングすることで製造される。ウェハ1の単結晶基板2およびエピ層3が、MOSキャパシタ10の単結晶基板2およびエピ層3に対応する。このように、本明細書において、「基板」は、ダイシング前のウェハの状態を指す場合と、ウェハをダイシングした後の状態を指す場合とがある。また、本実施形態では、ウェハ1の単結晶基板2およびエピ層3と、MOSキャパシタ10の単結晶基板2およびエピ層3とが、本発明のSiC単結晶に対応する。

[0023] 図1、2に示すように、ウェハ1、MOSキャパシタ10の単結晶基板2およびエピ層3には、貫通転位20が存在する。この貫通転位20は、原子面が転位線21の周りで螺旋状に配置された結晶欠陥である。この貫通転位20は、転位線21がSiC単結晶のc面を貫通し、バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有する転位である。

[0024] ここで、c面は $\{0001\}$ 面であり、c軸は $\langle 0001 \rangle$ 軸である。バーガースベクトルが少なくともc軸方向の成分を有するとは、バーガースベクトルがc軸方向の成分のみを有する場合と、バーガースベクトルがc軸方向の成分と他の軸方向の成分とを有する場合を含む意味である。バーガースベクトルがc軸方向の成分と他の軸方向の成分とを有する場合としては、b

$v = a + c$ 、 $b \cdot v = m + c$ 、 $b \cdot v = 2a + c$ の場合が挙げられる。ここで、 $b \cdot v$ はバーガースベクトルを示し、 a は $1/3 \langle 11-20 \rangle$ 方向のベクトルを示し、 c は $\langle 0001 \rangle$ 方向のベクトルを示し、 m は $\langle 1-100 \rangle$ 方向のベクトルを示す。

[0025] さらに、この貫通転位20は、図3に示すように、バーガースベクトル $b \cdot v$ の向きと転位線21の向きとがずれている転位である。バーガースベクトル $b \cdot v$ と転位線21の向きとのなす角度 $\theta 1$ が大きいほど、ひずみが増加する。なお、この角度 $\theta 1$ の取り得る範囲は、 0° よりも大きく、 90° よりも小さい($0^\circ < \theta 1 < 90^\circ$)。

[0026] そこで、本実施形態では、単結晶基板2およびエピ層3は、このような貫通転位20のうちバーガースベクトル $b \cdot v$ と転位線の向きとのなす角度 $\theta 1$ が 0° より大きく 40° 以内($0^\circ < \theta 1 \leq 40^\circ$)である貫通転位20の密度が300個/ cm^2 以下とされ、角度 $\theta 1$ が 40° よりも大きな($\theta 1 > 40^\circ$)貫通転位20の密度が30個/ cm^2 以下とされている。好ましくは、単結晶基板2およびエピ層3は、角度 $\theta 1$ が 20° 以内($0^\circ < \theta 1 \leq 20^\circ$)である貫通転位20の密度が300個/ cm^2 以下とされ、角度 $\theta 1$ が 20° よりも大きな($\theta 1 > 20^\circ$)貫通転位20の密度が30個/ cm^2 以下とされる。さらに好ましくは、単結晶基板2およびエピ層3は、角度 $\theta 1$ が 7° 以内($0^\circ < \theta 1 \leq 7^\circ$)である貫通転位20の密度が300個/ cm^2 以下とされ、角度 $\theta 1$ が 7° よりも大きな($\theta 1 > 7^\circ$)貫通転位20の密度が30個/ cm^2 以下とされる。角度 $\theta 1$ が 0° より大きく 40° 以内とは、角度 $\theta 1$ が 0° より大きく 40° 以内の要件を満たす角度であることを意味し、角度 $\theta 1$ の大きさが均一である場合に限らず、不均一である場合も含まれる。角度 $\theta 1$ が 20° 以内、 7° 以内についても同様である。

[0027] バーガースベクトル $b \cdot v$ は、LACBED法(大角度収束電子回折法: Large-angle convergent-beam electron diffraction)によって求められる。例えば、電子線をデフォーカスさせ試料に照射すると、転位周辺のひずみによりHOLZ線が分裂する。そこで、分裂したHOLZ線をシミュレーション

により指数付けする。H O L Z線の指数と分裂数から貫通転位20のバーガースベクトル b_v を解析することが可能である。

[0028] 転位線21の向きは、TEM（透過電子顕微鏡：transmission electron microscope）の3D（三次元）観察法によって求められる。通常のTEM観察では、電子線入射方向と垂直な方向の転位の傾きは評価可能であるが、平行な方向の傾きは評価できない。すなわち、電子線入射方向と平行な面内での転位の傾きは評価できない。そこで、入射電子線方向または試料を傾斜させることで、所定の入射方向と平行な方向の傾きを評価する。

[0029] 例えば、電子線回折像から入射方向を $[1-100]$ に合わせて観察することで、 $\langle 0001 \rangle$ 軸から $[11-20]$ 方向の傾斜角度を観察できる。なお、 $\langle 0001 \rangle$ 軸方向は電子線回折像から判断する。次に、電子線照射方向を $\langle 0001 \rangle$ 軸に対称に回転させる。これにより、観察される転位の傾きが変化する。その変化量から $[1-100]$ 方向の傾きを計算し求める。

[0030] 転位線21の向きは、共焦点機能を有するフォトルミネッセンス装置（3DPL）を用いて求めたり、共焦点機能を有するラマン分光装置（3Dラマン）を用いて求めたりすることも可能である。

[0031] バーガースベクトル b_v と転位線21のなす角度は、空間図形における二つのベクトルのなす角度を求める算出方法を用いて求められる。

[0032] 貫通転位20の密度は、SiC単結晶の所定の面における 1 cm^2 あたりに存在する貫通転位20の個数を数えることで求められる。例えば、エピ層3に対して、KOHを含む溶融塩を用いたエッチングを行い、TEMや光学顕微鏡を用いて、略六角形形状のエッチピットが観察された貫通転位20の数を数える。観察する面としては、c面から傾斜した面であって傾斜角度が 10° 以下の面を用いる。観察する領域は、 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の大きさの領域である。なお、観察する領域は、 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の大きさ以上の領域であっても、 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の大きさ未満であってもよい。ただし、観察領域が十分な大きさを有していない場合、正確な転位密度を評価できないため、観察する領域は $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の大きさ以上の領域であることが好ましい。

[0033] ここで、図4に、上記したMOSキャパシタ10の寿命と、単結晶基板2およびエピ層3に存在する貫通転位20のバーガスベクトル b_v と転位線21とがなす角度 θ_1 との関係について、本発明者が調べた実験結果を示す。

[0034] この実験では、図4中の点P1～P6のように、貫通転位20の角度 θ_1 が所定の大きさ以下のものの密度が所定の大きさであるウェハ1を用いた。また、実験で用いたウェハ1のうち点P1、P2、P3のウェハ1については、各点の角度を超える貫通転位の密度が30個/cm²以下のものであった。例えば、点P3のウェハ1は、点P3の角度よりも大きな貫通転位20の密度が30個/cm²以下のものであった。図4中の点P1、P2、P3についての近似曲線TL1は、各点を最小二乗法により指数関数で近似することで求めたものである。

[0035] また、図4中の点P1、P2、P4、P5、P6のウェハ1については、貫通転位20のバーガスベクトル b_v は $a+c$ であった。また、点P3のウェハ1については、貫通転位20のバーガスベクトル b_v は $m+c$ であった。用いたウェハ1は、特許第3745668号に記載の製造方法によって製造されたものである。また、用いたウェハ1は、表面1aが{0001}面に対して $\langle 11-20 \rangle$ 方向に約4°のオフ角が設定されたものである。また、密度を測定した貫通転位20は、表面1aに到達していたものである。

[0036] MOSキャパシタ10の寿命の測定では、MOSキャパシタ10に対して逆方向に一定の電圧を印加し、リーク電流値が所定値に増加するまでの時間を測定した。

[0037] 図4に示す実験結果より、2000秒以上の寿命を持つような高品質デバイスを作製するためには、角度 θ_1 が0°より大きく40°以内の貫通転位20が300個/cm²以下に抑えられており、角度 θ_1 が40°より大きな貫通転位20が30個/cm²以下に抑えられていればよいことがわかった。また、5000秒以上の寿命を持つような高品質デバイスを作製するために

は、角度 θ_1 が 0° より大きく 20° 以内の貫通転位20が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下に抑えられており、角度 θ_1 が 20° より大きな貫通転位20が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下に抑えられていればよいことがわかった。さらに、 10000 秒以上の寿命を持つような高品質デバイスを作製するためには、角度 θ_1 が 0° より大きく 7° 以内の貫通転位20が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下に抑えられており、角度 θ_1 が 7° より大きな貫通転位20が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下に抑えられていればよいことがわかった。

[0038] なお、図4は、ウェハ1に存在する貫通転位の角度 θ_1 が特定の大きさ以下である場合の実験結果であるが、この実験結果より、角度 θ_1 の大きさが不均一であっても、角度 θ_1 が 40° よりも小さければ、 2000 秒以上の寿命を持つ高品質なデバイスを作製できることが推測できる。

[0039] 以上の説明の通り、本実施形態のウェハ1は、単結晶基板2およびエピ層3に存在する貫通転位20のうちバーガスベクトル b_v と転位線21の向きとのなす角度 θ_1 が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位20の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、角度 θ_1 が 40° よりも大きな貫通転位20の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされている。本実施形態のウェハ1は、好ましくは、角度 θ_1 が 20° 以内である貫通転位20の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、角度 θ_1 が 20° よりも大きな貫通転位20の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされる。本実施形態のウェハ1は、さらに好ましくは、角度 θ_1 が 7° 以内である貫通転位20の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、角度 θ_1 が 7° よりも大きな貫通転位20の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされる。

[0040] このように、本実施形態のウェハ1は、ひずみが大きな貫通転位の密度が低くされている。したがって、本実施形態のウェハ1を用いて、MOSキャパシタ10を製造することで、MOSキャパシタ10の寿命を長くできる。

[0041] また、本実施形態のMOSキャパシタ10は、単結晶基板2およびエピ層3に存在する貫通転位20のうちバーガスベクトル b_v と転位線21の向きとのなす角度 θ_1 が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位20の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、角度 θ_1 が 40° よりも大きな貫通転位20

の密度が30個/cm²以下とされており、好ましくは、角度 θ_1 が20°以内である貫通転位20の密度が300個/cm²以下とされ、角度 θ_1 が20°よりも大きな貫通転位20の密度が30個/cm²以下とされており、さらに好ましくは、角度 θ_1 が7°以内である貫通転位20の密度が300個/cm²以下とされ、角度 θ_1 が7°よりも大きな貫通転位20の密度が30個/cm²以下とされている。

[0042] このように、MOSキャパシタ10を構成する単結晶基板2およびエピ層3は、ひずみが大きな貫通転位の密度が低くなっている。このため、ひずみが大きな貫通転位の密度が高い場合と比較して、MOSキャパシタ10の寿命を長くできる。すなわち、電子デバイスのデバイス特性を改善できる。

[0043] なお、本実施形態では、ウェハ1およびMOSキャパシタ10のエピ層3の表面3aが{0001}面に対して<11-20>方向に10°以内のオフ角が設定されており、この表面3aに到達するように存在する貫通転位20の角度 θ_1 と密度を特定している。これは、ひずみが大きな貫通転位20がエピ層3の表面3a近傍に存在する場合に、デバイス特性への影響が特に大きいと考えられるからである。ただし、ひずみが大きな貫通転位20がエピ層3の表面3a近傍に存在する場合に限らず、エピ層3のうち表面3a近傍以外の部位に存在する場合においても、貫通転位20がデバイス特性に悪影響を及ぼすと考えられる。したがって、角度 θ_1 と密度を特定する貫通転位20は、表面3aに到達するように、エピ層3に存在するものに限られない。

[0044] また、本実施形態のウェハ1は、特許第3745668号に記載の製造方法によって製造されたものであるが、他の製造方法によって製造されたものであってもよい。

[0045] (他の実施形態)

本開示は上記した実施形態に限定されるものではなく、下記のように、本開示の主旨を逸脱しない範囲内において適宜変更が可能である。

[0046] (1) 第1実施形態では、SiC単結晶を用いて製造される電子デバイス

の一例としてMOSキャパシタ10を挙げ、このMOSキャパシタ10の寿命について調べたが、他の電子デバイスの寿命についても図4と同様の結果が得られるものと考えられる。他の電子デバイスとしては、MOSキャパシタ以外のMOS構造を有する電子デバイスや、ダイオードを有する電子デバイスが挙げられる。MOS構造を有する電子デバイスは、MOSキャパシタ10と同様に、SiC単結晶の上に酸化膜4を介して第1電極5を形成した構造のものである。例えば、MOS構造を有する電子デバイスとしては、第1電極5をゲート電極とするMOSFETなどが挙げられる。ダイオードを有する電子デバイスとしては、ショットキーダイオードやPNダイオードが挙げられる。例えば、図2における酸化膜4を除いた構造、すなわちエピ層3の表面3aに第1電極5を形成し、第1電極5をエピ層3に対してショットキー接触させることでショットキーダイオードを構成できる。また、図2において、エピ層3の表層部にp型層を形成し、p型層に対して第1電極5をオーミック接触させることでPNダイオードを構成できる。

[0047] (2) 第1実施形態では、SiC単結晶エピタキシャルウェハ1を用いて電子デバイスを製造したが、図5に示すSiC単結晶ウェハ101を用いて電子デバイスを製造してもよい。このSiC単結晶ウェハ101は、SiC単結晶が基板状にされたものであり、エピタキシャル成長層を有していないものである。すなわち、このSiC単結晶ウェハ101は、第1実施形態のウェハ1の単結晶基板2とエピ層3のうち単結晶基板2のみで構成されたものに相当する。

[0048] このSiC単結晶ウェハ101は、第1実施形態のウェハ1の単結晶基板2と同様に、ひずみが大きな貫通転位の密度が低くなっている。このため、SiC単結晶ウェハ101を用いて、電子デバイスを製造することで、第1実施形態と同様に、電子デバイスの寿命を長くできる。

[0049] なお、このSiC単結晶ウェハ101は、表面101aが $\{0001\}$ 面に対して $\langle 11-20 \rangle$ 方向に 10° 以内のオフ角が設定されたものであり、この表面101aに到達する貫通転位20について、第1実施形態と同様

の特定がされていることが好ましい。

[0050] この場合に製造される電子デバイスは、S i C単結晶基板とS i Cエピタキシャル成長層とを有する構造に限らず、S i C単結晶基板を有しているが、エピタキシャル成長層を有していない構造のものでもよい。エピタキシャル成長層を有していない構造の電子デバイスとしては、例えば、図2に示すMOSキャパシタ10において、エピ層3が形成されておらず、エピ層3に相当する部位を単結晶基板2が構成する構造のものが挙げられる。このとき、単結晶基板2の表面がS i C単結晶ウェハ101の表面101aに対応する。

[0051] (3) 上記各実施形態は、互いに無関係なものではなく、組み合わせが明らかに不可な場合を除き、適宜組み合わせが可能である。また、上記各実施形態において、実施形態を構成する要素は、特に必須であると明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

請求の範囲

- [請求項1] 転位線（2 1）がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル（b v）が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位（2 0）が存在する炭化珪素単結晶（2、3）であって、
- 前記貫通転位のうち、前記バーガースベクトルと前記転位線の向きとのなす角度（ $\theta 1$ ）が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 40° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている炭化珪素単結晶。
- [請求項2] 前記角度が 20° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 20° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項1に記載の炭化珪素単結晶。
- [請求項3] 前記角度が 7° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 7° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項1に記載の炭化珪素単結晶。
- [請求項4] 転位線（2 1）がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル（b v）が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位（2 0）が存在する炭化珪素単結晶ウェハ（1 0 1）であって、
- 前記貫通転位のうち、前記バーガースベクトルと前記転位線の向きとのなす角度（ $\theta 1$ ）が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 40° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている炭化珪素単結晶ウェハ。
- [請求項5] 前記角度が 20° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 20° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項4に記載の炭化珪素単結晶ウェハ。
- [請求項6] 前記角度が 7° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2

以下とされ、前記角度が 7° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項4に記載の炭化珪素単結晶ウェハ。

[請求項7] 炭化珪素単結晶基板(2)と、
前記炭化珪素単結晶基板上に形成されたエピタキシャル成長層(3)とを備え、
前記炭化珪素単結晶基板および前記エピタキシャル成長層は、転位線(21)がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル(bv)が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位(20)が存在し、
前記貫通転位のうち、前記バーガースベクトルと前記転位線の向きとのなす角度($\theta 1$)が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 40° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハ。

[請求項8] 前記角度が 20° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 20° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項7に記載の炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハ。

[請求項9] 前記角度が 7° 以内である前記貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前記角度が 7° よりも大きな前記貫通転位の密度が 30 個/ cm^2 以下とされている請求項7に記載の炭化珪素単結晶エピタキシャルウェハ。

[請求項10] 転位線(21)がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル(bv)が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位(20)が存在する炭化珪素単結晶基板(2)を備え、
前記炭化珪素単結晶基板は、前記貫通転位のうち、前記バーガースベクトルと前記転位線の向きとのなす角度($\theta 1$)が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が 300 個/ cm^2 以下とされ、前

記角度が 40° よりも大きな前記貫通転位の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされている電子デバイス。

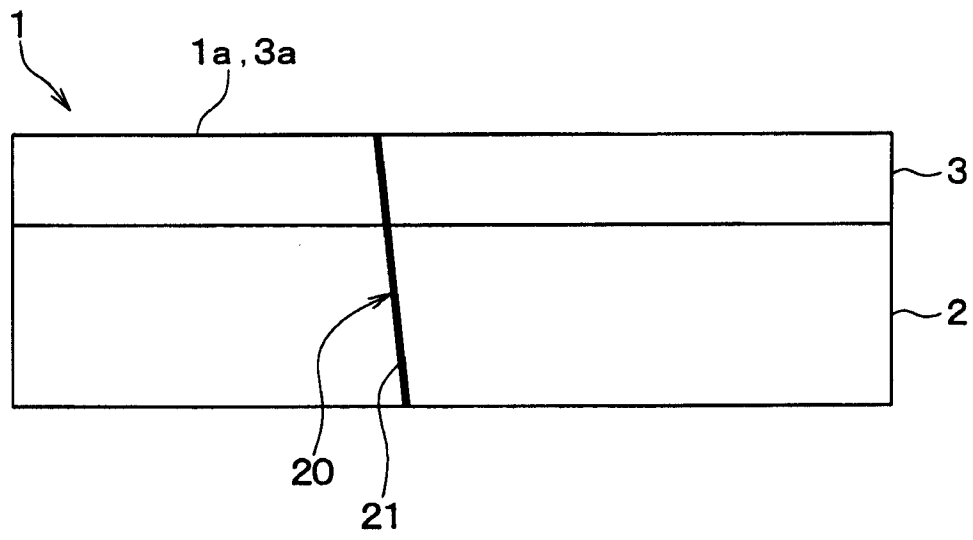
[請求項11] 炭化珪素単結晶基板（2）と、
前記炭化珪素単結晶基板上に形成されたエピタキシャル成長層（3）とを備え、

前記炭化珪素単結晶基板および前記エピタキシャル成長層は、転位線（21）がc面を貫通するとともに、バーガースベクトル（bv）が少なくともc軸方向の成分を有する貫通転位（20）が存在し、前記貫通転位のうち前記バーガースベクトルと前記転位線の向きとのなす角度（ $\theta 1$ ）が 0° より大きく 40° 以内である貫通転位の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、前記角度が 40° よりも大きな前記貫通転位の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされている電子デバイス。

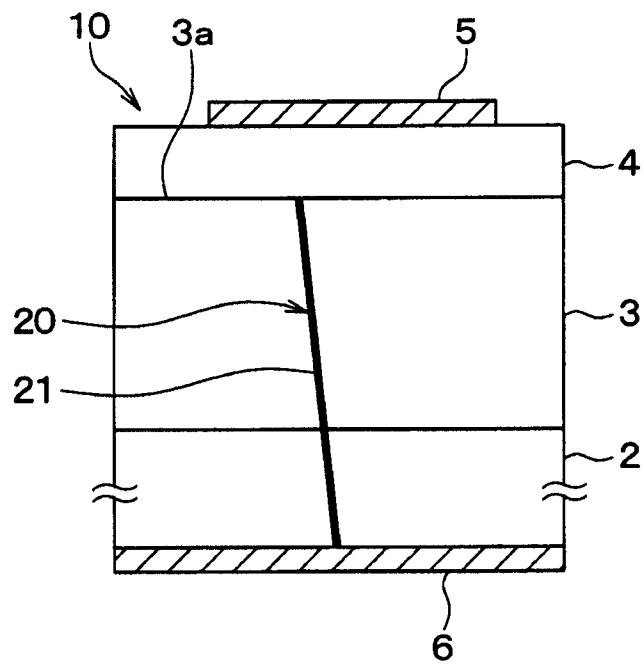
[請求項12] 前記角度が 20° 以内である前記貫通転位の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、前記角度が 20° よりも大きな前記貫通転位の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされている請求項10または11に記載の電子デバイス。

[請求項13] 前記角度が 7° 以内である前記貫通転位の密度が $300\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされ、前記角度が 7° よりも大きな前記貫通転位の密度が $30\text{個}/\text{cm}^2$ 以下とされている請求項10または11に記載の電子デバイス。

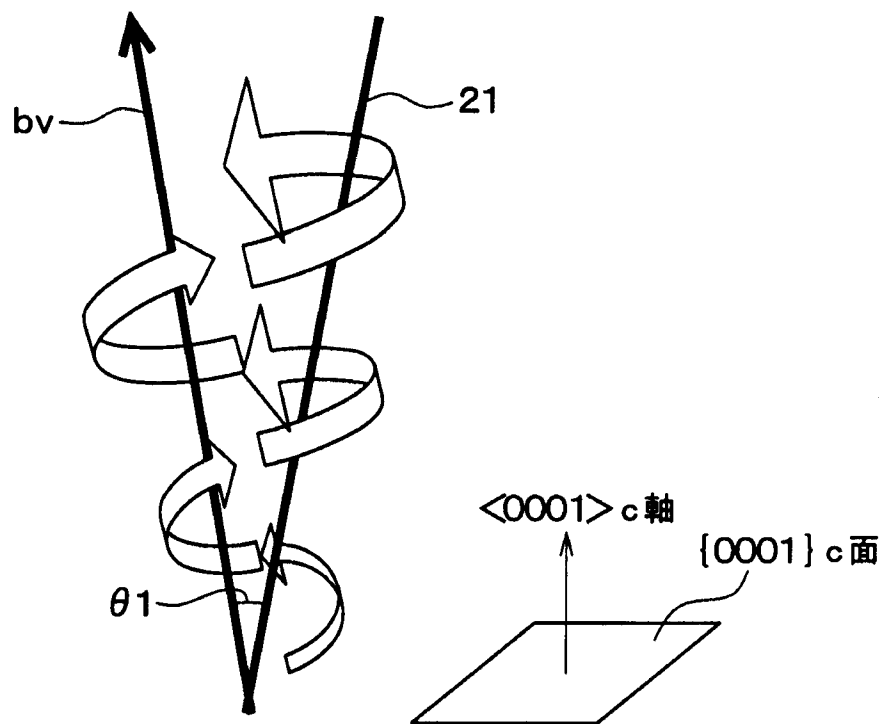
[図1]



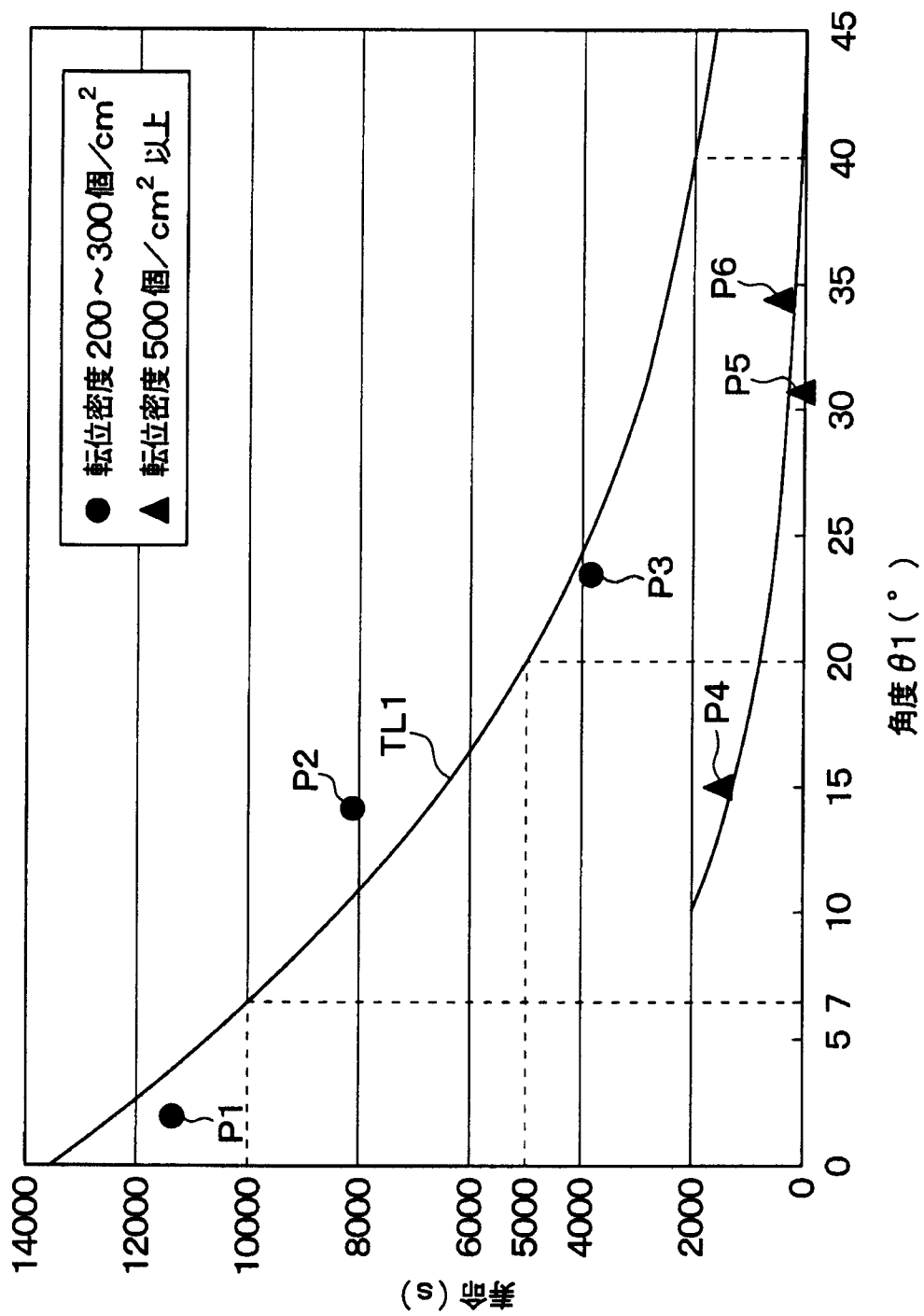
[図2]



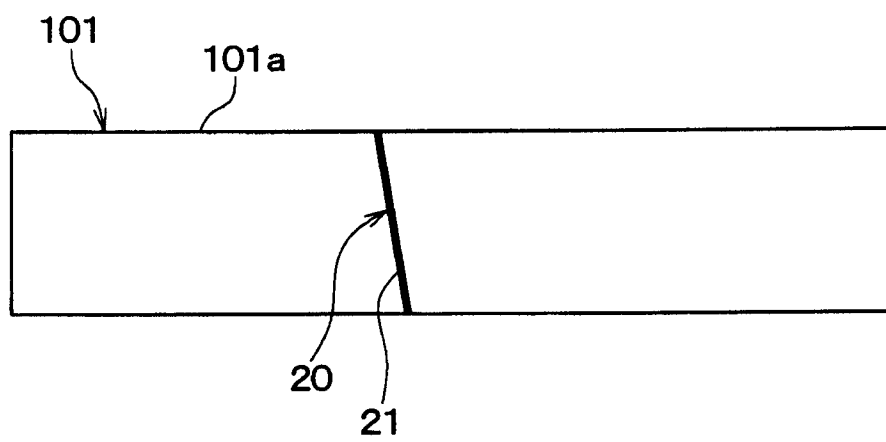
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/074724

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B29/36(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i, C23C16/42(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, C23C14/06, C23C16/42, 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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 3745668 B2 (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 15 February 2006 (15.02.2006), paragraphs [0014], [0019] to [0039] & US 2003/0070611 A1 paragraphs [0009] to [0163] & DE 10247017 A1	1-3 4-13
Y	JP 2010-184833 A (Denso Corp.), 26 August 2010 (26.08.2010), paragraphs [0038] to [0099] & US 2010/0200866 A1 paragraphs [0025] to [0121] & DE 102010001720 A1	4-13

☒ 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
12 October 2016 (12.10.16)

Date of mailing of the international search report
25 October 2016 (25.10.16)

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/JP2016/074724

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-159351 A (Denso Corp.), 04 September 2014 (04.09.2014), & US 2015/0361586 A1 & WO 2014/129103 A1 & TW 201447016 A & CN 105074059 A	1-13
A	JP 2014-227319 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 08 December 2014 (08.12.2014), (Family: none)	1-13

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, C23C14/06(2006.01)i, C23C16/42(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, C23C14/06, C23C16/42, 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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 3745668 B2 (株式会社豊田中央研究所) 2006.02.15, 段落 0014, 0019-0039 & US 2003/0070611 A1, par. 0009-0163 & DE 10247017 A1	1-3 4-13
Y	JP 2010-184833 A (株式会社デンソー) 2010.08.26, 段落 0038-0099 & US 2010/0200866 A1, par. 0025-0121 & DE 102010001720 A1	4-13

☑ 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

12.10.2016

国際調査報告の発送日

25.10.2016

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)

村岡 一磨

4 G

3 4 4 8

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 2014-159351 A (株式会社デンソー) 2014. 09. 04, & US 2015/0361586 A1 & WO 2014/129103 A1 & TW 201447016 A & CN 105074059 A	1-13
A	JP 2014-227319 A (株式会社豊田中央研究所) 2014. 12. 08, (ファミ リーなし)	1-13