

(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23日(23.03.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/047622 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 15/26 (2006.01) **C30B 29/06** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/077069
- (22) 国際出願日: 2016年9月14日(14.09.2016)
- (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 2015-181376 2015年9月15日(15.09.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社 **SUMCO** (SUMCO CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 濱田 建(HAMADA Ken); 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社 **SUMCO** 内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 鷲頭 光宏, 外(WASHIZU Mitsuhiro et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目5番1号 第三太陽ビル7F 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, 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, 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.

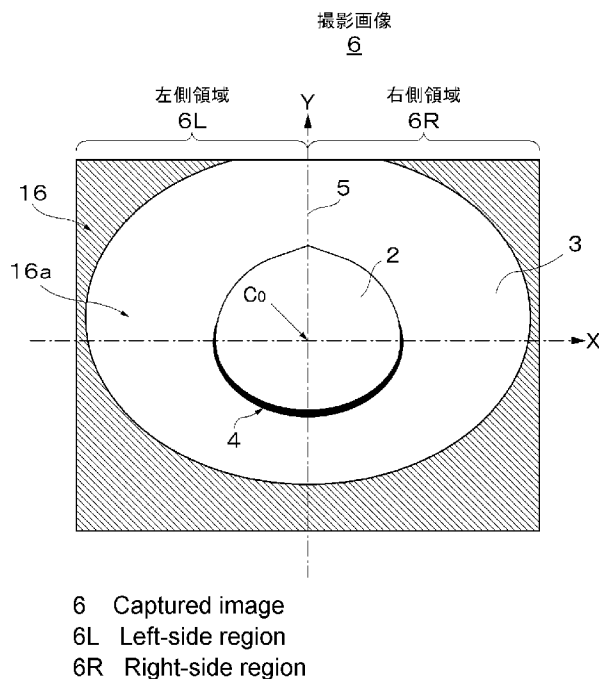
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

(54) Title: SINGLE CRYSTAL MANUFACTURING METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 単結晶の製造方法および装置



(57) Abstract: Provided are silicon single crystal manufacturing method and device which enable the presence or absence of errors in the brightness distribution of a captured image of the inside of a chamber to be determined and corrected. During a single crystal pulling step according to the Czochralski process, an image of the boundary between a single crystal 2 and a melt 3 is captured; a comparison is made between at least a portion of an image of a left-side region 6L as seen from an extending line 5 of the pulling axis of the single crystal 2, and a portion of an image of a right-side region 6R as seen from the same view; and if the difference therebetween is at least a threshold, it is determined that the brightness distribution of a captured image 6 is erroneous.

(57) 要約: チャンバー内の撮影画像の輝度分布の異常の有無を判断して補正することが可能なシリコン単結晶の製造方法および装置を提供する。チョクラルスキー法による単結晶の引き上げ工程中に単結晶2と融液3との境界部の画像をカメラで撮影し、単結晶2の引き上げ軸の延長線5から見て左側の領域6Lの少なくとも一部の画像と右側の領域6Rの少なくとも一部の画像とを比較し、両者の差が閾値以上である場合に撮影画像6の輝度分布が異常であると判断する。

明 細 書

発明の名称：単結晶の製造方法および装置

技術分野

[0001] 本発明は、チョクラルスキー法（以下、「CZ法」という）による単結晶の製造方法および装置に関し、特に、チャンバー内を撮影するカメラの撮影画像の輝度分布の異常を検査して補正する方法および装置に関するものである。

背景技術

[0002] シリコンウェーハの材料となるシリコン単結晶の多くはCZ法により製造されている。CZ法は、石英ルツボ内に収容されたシリコン融液に種結晶を浸漬し、種結晶およびルツボを回転させながら種結晶をゆっくり引き上げることにより、種結晶の下端に大きな直径の単結晶を成長させる方法である。

[0003] シリコンウェーハの製造歩留まりを高めるためには単結晶の直径変動を抑えることが重要である。単結晶の直径を一定に制御する方法として、引き上げ中の単結晶の直径を計測し、計測結果に基づいて直径が一定となるように引き上げ条件を制御する方法が知られている。例えば特許文献1には、単結晶と融液との境界部の画像をカメラで撮影し、この画像から単結晶の直径および中心位置を計測し、この計測結果に基づきヒータのパワーおよび引き上げ装置の各動作を制御する方法が記載されている。

[0004] また特許文献2には、一次元イメージセンサを用いて単結晶、融液面およびそれらの間に生ずるフュージョンリングを検知する方法が記載されている。さらに特許文献3には、フュージョンリングの位置を光学センサにて検出し、その検出結果に基づき単結晶の直径を測定する方法において、ルツボ周壁と引き上げられる単結晶との間に遮光板を配置し、ルツボによる光学的影響を排除して直径の測定誤差を低減する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2003-12395号公報

特許文献2：特開昭61-122188号公報

特許文献3：特公平5-49635号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記のように、単結晶の直径計測では、チャンバーの内部をカメラで撮影し、単結晶と融液との境界部に発生するフュージョンリングの画像から単結晶の直径を算出する。チャンバーの内部の撮影はチャンバーの上部に設けられた覗き窓を通して行われる。

[0007] しかしながら、単結晶の引き上げ工程中のチャンバー内にはシリコン融液の蒸発によってSiOガスが発生しており、このSiOガスの影響によって覗き窓のガラス面に曇りが生じ、撮影画像の輝度分布にムラが生じる場合がある。チャンバー内にはパージガスとしてのアルゴンガスが導入され、チャンバー内で発生したSiOガスはアルゴンガスと一緒にチャンバー外に排気されるが、チャンバー内のSiOガスを完全に除去することはできないため、覗き窓のガラス面へのSiOの付着を完全に防止することは難しい。チャンバーの長期間の連続使用により覗き窓のガラス面にSiOが不均一に付着して撮影画像の横軸方向の輝度分布のムラが大きくなると、シリコン単結晶の直径の誤計測につながるおそれがあり、単結晶の直径変動の原因となる。

[0008] したがって、本発明の目的は、チャンバー内を撮影するカメラの撮影画像の輝度分布を検査して輝度ムラを補正することが可能な単結晶の製造方法および装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するため、本発明による単結晶の製造方法は、チョクラルスキー法による単結晶の引き上げ工程中に前記単結晶と融液との境界部の画像をカメラで撮影し、前記単結晶の引き上げ軸の延長線よりも左側の領域の少なくとも一つの画素と前記延長線よりも右側の領域の少なくとも一つの画素とを比較した結果から撮影画像の輝度分布の異常の有無を判断することを

特徴とする。

[0010] 本発明によれば、単結晶の融液との境界部の画像が左右対称となることに着目して、撮影画像の輝度分布の対称性から輝度分布の有無を判断することができ、撮影画像の輝度分布の異常の有無を容易に検査することができる。したがって、直径変動が少ない単結晶を製造することが可能な単結晶の製造方法を提供することができる。

[0011] 本発明による単結晶の製造方法は、前記左側の領域内の第1の最大輝度と前記右側の領域内の第2の最大輝度との輝度差が閾値以上である場合に前記撮影画像の輝度分布が異常であると判断することが好ましい。この方法によれば、撮影画像の輝度分布の異常の有無を非常に少ない演算量で正確に検出することができる。

[0012] 本発明において、前記カメラは、減光率が面内で異なる減光ガラスを通して前記境界部の画像を撮影し、前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記輝度差が閾値未満となるように、前記減光ガラスにより前記撮影画像の輝度分布を調整することが好ましい。この場合において、前記減光ガラスは、減光率が一方向に変化する面内分布を有し、前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記輝度差が閾値未満となるように前記減光ガラスを前記カメラの光学軸を中心に回転させて、前記撮影画像の輝度分布を調整することが好ましい。この方法によれば、減光ガラスが持つ減光率の面内分布のムラを逆に利用して、撮影画像の輝度分布のムラを低減することができる。

[0013] 本発明による単結晶の製造方法は、前記撮影画像の輝度分布が正常である場合に当該撮影画像から固液界面における単結晶の直径を求めることが好ましい。この場合、前記撮影画像を二値化処理することにより求められる前記境界部に発生するフュージョンリングのエッジパターンから前記固液界面における前記単結晶の直径を求めることが好ましい。この方法によれば、固液界面における単結晶の直径や融液の液面レベルを正確に算出することができる。したがって、直径変動が少なく高品質な単結晶を製造することができる。

[0014] また、本発明による単結晶製造装置は、覗き窓が設けられたチャンバーと、前記チャンバー内において融液を支持するルツボと、前記融液から単結晶を引き上げる引き上げ軸と、前記覗き窓を通して見える前記単結晶と前記融液との境界部の画像を撮影するカメラと、前記カメラの撮影画像を処理する画像処理部とを備え、前記画像処理部は、前記単結晶の引き上げ軸の延長線よりも左側の領域の少なくとも一つの画素と前記延長線よりも右側の領域の少なくとも一つの画素とを比較した結果から撮影画像の輝度分布の異常の有無を判断することを特徴とする。

[0015] 本発明によれば、単結晶の融液との境界部の画像が左右対称となることに着目して、撮影画像の輝度分布の対称性から輝度分布の有無を判断することができ、撮影画像の輝度分布の異常の有無を容易に検査することができる。したがって、直径変動が少ない単結晶を製造することが可能な単結晶製造装置を提供することができる。

[0016] 本発明において、前記画像処理部は、前記左側の領域内の第1の最大輝度と前記右側の領域内の第2の最大輝度との差が閾値以上である場合に前記撮影画像の輝度分布が異常であると判断することが好ましい。この構成によれば、撮影画像の輝度分布の異常の有無を非常に少ない演算量で正確に検出することができる。

[0017] 本発明による単結晶製造装置は、前記覗き窓の外側に設けられた、減光率が面内で異なる減光ガラスをさらに備え、前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記第1の最大輝度と前記第2の最大輝度との差が閾値未満となるように、前記減光ガラスにより前記撮影画像の輝度分布を調整することが好ましい。この場合において、本発明による単結晶製造装置は、減光ガラスを回転させる回転機構を有し、前記減光ガラスを前記カメラの光学軸を中心に回転させて、前記撮影画像の輝度分布を調整することが好ましい。この構成によれば、減光ガラスが持つ減光率の面内分布のムラの特性を逆に利用して、撮影画像の輝度分布のムラを低減することができる。

[0018] 本発明において、前記画像処理部は、前記撮影画像の輝度分布が正常であ

る場合に当該撮影画像から固液界面における単結晶の直径を求めることが好ましい。この場合において、前記画像処理部は、前記撮影画像を二値化処理することにより求められる前記境界部に発生するフュージョンリングのエッジパターンから前記固液界面における前記単結晶の直径を求めることが好ましい。この方法によれば、固液界面における単結晶の直径や融液の液面レベルを正確に算出することができる。したがって、直径変動が少なく高品質な単結晶を製造することができる。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、単結晶の直径や融液の液面レベルの計測に用いられるカメラの撮影画像の輝度分布の異常を検出して補正することが可能な単結晶の製造方法および装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の実施の形態による単結晶製造装置の構成を概略的に示す側面断面図である。

[図2]CCDカメラで撮影される単結晶と融液との境界部の画像を模式的に示す斜視図である。

[図3]フュージョンリングから単結晶の中心の位置を算出する方法を説明するための模式図である。

[図4]撮影画像の輝度分布の検査および補正方法を説明するためのフローチャートである。

[図5]撮影画像のX軸方向の輝度ムラの測定方法を説明するための模式図である。

[図6]撮影画像の輝度ムラの補正方法を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施の形態について詳細に説明する。

[0022] 図1は、本発明の実施の形態による単結晶製造装置の構成を概略的に示す側面断面図である。

[0023] 図1に示すように、単結晶製造装置1は、チャンバー10と、チャンバー10の内面に沿って配置された断熱材11と、チャンバー10内においてシリコン融液3を支持する石英ルツボ12と、石英ルツボ12を支持するグラファイト製のサセプタ13と、サセプタ13を昇降および回転可能に支持するシャフト14と、サセプタ13の周囲に配置されたヒータ15と、石英ルツボ12の上方に配置された熱遮蔽体16と、石英ルツボ12の上方であってシャフト14と同軸上に配置された単結晶引き上げワイヤー17と、チャンバー10の上方に配置されたワイヤー巻き取り機構18と、チャンバー10内を撮影するCCDカメラ19とを備えている。

[0024] チャンバー10は、メインチャンバー10aと、メインチャンバー10aの上部開口に連結された細長い円筒状のプルチャンバー10bとで構成されており、石英ルツボ12、サセプタ13、ヒータ15および熱遮蔽体16はメインチャンバー10a内に設けられている。サセプタ13はチャンバー10の底部中央を貫通して鉛直方向に設けられたシャフト14の上端部に固定されており、シャフト14はシャフト駆動機構22によって昇降および回転駆動される。

[0025] ヒータ15は、石英ルツボ12内に充填されたシリコン原料を溶融してシリコン融液3を生成するために用いられる。ヒータ15はカーボン製の抵抗加熱式ヒータであり、サセプタ13内の石英ルツボ12を取り囲むように設けられている。

[0026] 熱遮蔽体16は、ヒータ15および石英ルツボ12からの輻射熱による単結晶2の加熱を防止すると共に、シリコン融液3の温度変動を抑制するために設けられている。熱遮蔽体16は上方から下方に向かって直径が縮小した逆円錐台形状の部材であり、シリコン融液3の上方を覆うと共に、育成中の単結晶2を取り囲むように設けられている。熱遮蔽体16の材料としてはグラファイトを用いることが好ましい。熱遮蔽体16の下端部は石英ルツボ12の内側に位置するので、石英ルツボ12を上昇させても熱遮蔽体16と干渉することがない。熱遮蔽体16の中央には単結晶2の直径よりも大きな開

口部 16 a が設けられており、単結晶 2 は開口部 16 a を通って上方に引き上げられる。

[0027] 石英ルツボ 12 の上方には、単結晶 2 の引き上げ軸であるワイヤー 17 と、ワイヤー 17 を巻き取るワイヤー巻き取り機構 18 が設けられている。ワイヤー巻き取り機構 18 はワイヤー 17 と共に単結晶 2 を回転させる機能を有している。ワイヤー巻き取り機構 18 はプルチャンバー 10 b の上方に配置されており、ワイヤー 17 はワイヤー巻き取り機構 18 からプルチャンバー 10 b 内を通過して下方に延びており、ワイヤー 17 の先端部はメインチャンバー 10 a の内部空間まで達している。図 1 には、育成途中の単結晶 2 がワイヤー 17 に吊設された状態が示されている。単結晶 2 の引き上げ時には種結晶をシリコン融液 3 に浸漬し、石英ルツボ 12 と種結晶をそれぞれ回転させながらワイヤー 17 を徐々に引き上げることで単結晶 2 を成長させる。

[0028] プルチャンバー 10 b の上部にはチャンバー 10 内にアルゴンガスを導入するためのガス吸気口 10 c が設けられており、メインチャンバー 10 a の底部にはチャンバー 10 内のアルゴンガスを排気するためのガス排気口 10 d が設けられている。アルゴンガスはガス吸気口 10 c からチャンバー 10 内に導入され、その導入量はバルブにより制御される。また密閉されたチャンバー 10 内のアルゴンガスはガス排気口 10 d からチャンバー 10 の外部へ排気されるので、チャンバー 10 内の SiO ガスや CO ガスを回収してチャンバー 10 内を清浄に保つことが可能となる。図示していないが、ガス排気口 10 d には配管を介して真空ポンプが接続されており、真空ポンプでチャンバー 10 内のアルゴンガスを吸引しながらバルブでその流量を制御することでチャンバー 10 内は一定の減圧状態に保たれている。

[0029] メインチャンバー 10 a の上部には内部を観察するための覗き窓 10 e が設けられており、CCD カメラ 19 は覗き窓 10 e の外側に設置されている。CCD カメラ 19 は覗き窓 10 e から熱遮蔽体 16 の開口部 16 a を通して見える単結晶 2 とシリコン融液 3 との境界部の画像を撮影する。CCD カ

メラ 19 の撮影画像はグレースケールであることが好ましいが、カラー画像であってもよい。CCD カメラ 19 は画像処理部 20 に接続されており、撮影画像は画像処理部 20 で処理され、処理結果は制御部 21 において引き上げ条件の制御に用いられる。

[0030] CCD カメラ 19 によって撮影された画像は、単結晶 2 の引き上げ軸と交差する単結晶製造装置 1 の斜め上方から撮影されたものであるため歪んでいる。この歪みは、理論式あるいは補正テーブルを用いて補正することができる。この補正により、引き上げ軸と平行な方向から撮影した場合に得られる歪みのない画像に変換することができる。

[0031] 覗き窓 10 e の外側であって CCD カメラ 19 の光学軸 19 z 上には減光ガラス 24 が設けられている。減光ガラス 24 は CCD カメラ 19 への入射光量を減光する光学部品であり、ガラスの表面に金 (Au) が蒸着された耐熱性が高いものが用いられる。しかし、このような減光ガラス 24 は、製造上の理由から減光率 (光透過率) の面内分布を完全に均一にすることが難しく、減光率の面内分布にはムラがある。多くの場合、減光ガラス 24 の減光率の面内偏差は 5 ~ 15 % であり、例えば減光ガラス 24 の左半分には減光率が相対的に高い領域、右半分には減光率が相対的に低い領域が存在する場合がある。詳細は後述するが、減光ガラス 24 の減光率のムラが撮影画像の左右対称な輝度分布に悪影響を与えないようにするため、通常、減光ガラス 24 の減光率が最も大きく変化する方向は撮影画像の縦軸と平行に設定される。

[0032] 本実施形態による減光ガラス 24 は円形であり、CCD カメラ 19 の光学軸 19 z を中心に回転自在に設けられている。減光ガラス 24 は手動で回転させることができ、あるいは回転機構 25 によって回転駆動される。回転機構 25 は制御部 21 からの指示に従って動作して減光ガラス 24 を回転させる。制御部 21 は、画像処理部 20 による画像の処理結果に基づいて減光ガラス 24 を所定量回転させる。

[0033] シリコン単結晶 2 の製造では、石英ルツボ 12 内に多結晶シリコンなどの

原料を充填し、ワイヤー 17 の先端部に種結晶を取り付ける。次に石英ルツボ 12 内のシリコン原料をヒータ 15 で加熱してシリコン融液 3 を生成する。

[0034] 単結晶の引き上げ工程では、まず単結晶を無転位化するためダッシュネック法によるシード絞り（ネッキング）を行う。次に、必要な直径の単結晶を得るために直径が徐々に広がったショルダー部を育成し、単結晶が所望の直径になったところで直径が一定に維持されたボディ部を育成する。ボディ部を所定の長さまで育成した後、無転位の状態で単結晶を融液 3 から切り離すためにテール絞り（テール部の育成）を行なう。

[0035] 単結晶の引き上げ工程中は、単結晶 2 の直径および融液 3 の液面レベルを制御するため、CCDカメラ 19 で単結晶 2 と融液 3 との境界部の画像を撮影し、撮影画像から固液界面における単結晶 2 の中心位置を算出し、さらにこの単結晶 2 の中心位置から固液界面における単結晶の直径および融液の液面レベル（ギャップ幅 ΔG ）を算出する。制御部 21 は、単結晶 2 の直径が目標直径となるようにワイヤー 17 の引き上げ速度、ヒータ 15 のパワー等の引き上げ条件を制御する。また制御部 21 は、液面レベルが目標レベル（一定レベル）となるように石英ルツボ 12 の上下方向の位置を制御する。

[0036] 融液の液面レベルには二つの意味がある。一つは石英ルツボ 12 内の液面レベルであり、この液面レベルは主に単結晶 2 が成長して融液が消費されることによって徐々に低下し、また石英ルツボ 12 が変形してその容積が変化した場合にも変化することがある。もう一つは、ヒータ 15 や熱遮蔽体 16 などのチャンバー 10 内の固定構造物から見た液面レベルであり、これは上述した石英ルツボ 12 内の液面レベルの変化に加えて、チャンバー 10 内の石英ルツボ 12 を上下方向に移動させることによっても変化する。本明細書において「液面レベル」と言うときは、特に断らない限り後者のことを言うものとする。

[0037] CCDカメラ 19 は、単結晶 2 と融液 3 との境界部を斜め上方から撮影するため、境界部に発生するフュージョンリングの全体を撮影することはでき

ない。そのため、フュージョンリングの一部から単結晶2の中心位置を特定し、単結晶2の直径および融液3の液面レベルを算出しなければならない。

[0038] 図2は、CCDカメラ19で撮影される単結晶2と融液3との境界部の画像を模式的に示す斜視図である。

[0039] 図2に示すように、画像処理部20は、単結晶2と融液3との境界部に発生するフュージョンリング4の中心位置、つまり固液界面における単結晶2の中心 C_0 の位置を算出し、この中心 C_0 の位置から固液界面における単結晶2の直径および融液3の液面レベルを算出する。単結晶2の中心 C_0 の位置は、単結晶2の引き上げ軸の延長線5と融液面との交点である。CCDカメラ19や熱遮蔽体16が設計上の決められた位置に決められた角度で正確に設置されていれば、撮影画像中のフュージョンリング4の位置から単結晶2の中心 C_0 の位置を幾何光学的に算出し、さらに単結晶2の直径や液面レベルを算出することが可能である。

[0040] フュージョンリング4はメニスカスで反射した光によって形成されるリング状の高輝度領域であり、メニスカスは表面張力によって単結晶2との境界部に形成される融液3の屈曲面である。フュージョンリング4は単結晶2の全周に発生するが、ある一方向からフュージョンリング4を見ると、単結晶2の裏側のフュージョンリング4を見ることはできない。また熱遮蔽体16の開口部16aと単結晶2との間の隙間からフュージョンリング4を見ると、単結晶2の直径が大きい場合には、視認方向の最も手前側（図中下側）に位置するフュージョンリング4の一部も熱遮蔽体16の裏側に隠れてしまうため見ることはできない。したがって、フュージョンリング4の視認できる部分は、視認方向から見て手前左側の一部4Lと手前右側の一部4Rだけである。本発明は、このようにフュージョンリング4の一部しか観察できない場合でも単結晶2の直径や融液3の液面レベルを算出することが可能である。

[0041] 図3は、フュージョンリング4から単結晶の中心 C_0 の位置を算出する方法を説明するための模式図である。

[0042] 図3に示すように、単結晶の中心 C_0 の位置の算出では、CCDカメラ19で撮影した二次元画像中に2本の測定ライン L_1 、 L_2 を設定する。2本の測定ライン L_1 、 L_2 は、フュージョンリング4と2回交差し且つ単結晶の中心 C_0 を通過する引き上げ軸の延長線5と直交する直線である。なお撮影画像のY軸（縦軸）は引き上げ軸の延長線5と一致しており、X軸（横軸）は引き上げ軸の延長線5と直交する方向に設定されている。なお、図3に示すフュージョンリング4は単結晶の外周と一致する理想的な形状とする。

[0043] 測定ライン L_1 （第1の測定ライン）は単結晶の中心 C_0 よりも単結晶の外周側であって、撮影画像の下側に設定される。また測定ライン L_2 （第2の測定ライン）は、測定ライン L_1 よりもさらに単結晶の外周側（撮影画像のさらに下側）に設定される。撮影画像のXY座標の原点O（0，0）に対する単結晶の中心 C_0 の座標を（0， Y_0 ）とすると、中心 C_0 から測定ライン L_1 までの距離（第1の距離）は（ $Y_1 - Y_0$ ）となり、測定ライン L_2 までの距離（第2の距離）は（ $Y_2 - Y_0$ ）となる。

[0044] 測定ライン L_1 は測定ライン L_2 よりも単結晶の中心寄りに設定されるが、中心 C_0 に近すぎると単結晶の直径が減少したときにフュージョンリング4が単結晶の陰に隠れてしまい、中心 C_0 の位置を検出できなくなる。そのため、測定ライン L_1 は中心 C_0 からある程度離れた位置に設定することが好ましい。なお、測定ライン L_1 、 L_2 の初期設定時には単結晶の中心 C_0 の位置が不明であるので、種結晶の着液位置を単結晶の仮の中心位置とする。

[0045] 次に、測定ライン L_1 とフュージョンリング4との2つの交点 D_1 、 D_1' および測定ライン L_2 とフュージョンリング4との2つの交点 D_2 、 D_2' を検出する。フュージョンリング4と第1の測定ライン L_1 との一方の交点 D_1 の座標を（ X_1 ， Y_1 ）とし、他方の交点 D_1' の座標を（ X_1' ， Y_1 ）とし、フュージョンリング4と第2の測定ライン L_2 との一方の交点 D_2 の座標を（ X_2 ， Y_2 ）とし、他方の交点 D_2' の座標を（ X_2' ， Y_2 ）とする。

[0046] そして、測定ライン L_1 上の2つの交点 D_1 、 D_1' 間の間隔（第1の間隔）を $W_1 = X_1' - X_1$ とし、測定ライン L_2 上の2つの交点 D_2 、 D_2' 間の間隔（

第2の間隔)を $W_2 = X_2' - X_2$ とし、フュージョンリング4の半径をRとするとき、(1)式および(2)式が得られる。

$$[0047] \quad (R/2)^2 = (W_1/2)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 \quad \dots (1)$$

$$[0048] \quad (R/2)^2 = (W_2/2)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 \quad \dots (2)$$

[0049] そして(1)式および(2)式から、単結晶の中心 C_0 のY座標 Y_0 は(3)式のようになる。

$$[0050] \quad Y_0 = \{ (W_1^2 - W_2^2) / 4 (Y_1 - Y_2) + (Y_1 + Y_2) \} / 2 \quad \dots (3)$$

[0051] したがって、撮影画像中の単結晶2の中心 C_0 の位置の座標(0, Y_0)を求めることができる。こうして得られた単結晶2の中心 C_0 の位置を用いて、単結晶の直径Rおよび融液3の液面レベルを求めることができる。

[0052] フュージョンリング4と測定ライン L_1 , L_2 との交点の検出では、フュージョンリング4の輝度の閾値を用いて撮影画像を二値化処理し、この撮影画像からフュージョンリング4のエッジパターンを検出し、このエッジパターンと測定ラインとの交点をフュージョンリング4の交点とする。フュージョンリングは一定の幅を有する帯状の高輝度領域であるため、交点を正確に求めるためにはフュージョンリング4をラインパターンとする必要があるからである。

[0053] フュージョンリング4の輝度の閾値は、撮影画像中の最大輝度に所定の係数(例えば0.8)を乗じた値である。係数はフュージョンリングを正しく特定できる適切な値とする必要があり、引き上げ条件に応じて0.6~0.95の範囲内で適宜変更してもよい。撮影画像中の最大輝度は、一つの画素が単独で最大輝度を持つものを対象としてもよく、ノイズの影響を抑えるため、最大輝度またはこれに近い輝度を持つ画素が複数個連続するものを対象としてもよい。

[0054] 上記のように、撮影画像の輝度分布は引き上げ軸の延長線5を中心に左右対称となる。しかし、引き上げ工程中に融液3から蒸発したSiO₂が覗き窓10eのガラス面に付着し、SiO₂の付着量の増加によって覗き窓10eの

光透過率の面内分布が不均一となることにより、覗き窓 10 e を通して撮影された画像の輝度分布にもムラが生じる。このような輝度ムラは結晶直径の算出誤差の原因となる。例えば、300 mm ウェーハ用単結晶の育成において 20 % の輝度ムラは約 2.0 mm の直径計測誤差となる。そこで本実施形態では、以下に示す方法により輝度ムラの影響を排除する。

[0055] 図 4 は、撮影画像の輝度分布の検査および補正方法を説明するためのフローチャートである。また図 5 は、撮影画像の X 軸方向の輝度ムラの測定方法を説明するための模式図である。

[0056] 図 4 に示すように、撮影画像の輝度分布の検査では、まず単結晶の引き上げ工程中のチャンバー 10 内を CCD カメラ 19 で撮影する（ステップ S 1）。単結晶の引き上げ工程中は直径計測のために単結晶 2 と融液 3 との境界部を常に撮影しているので、この撮影画像を輝度分布の検査に利用すればよい。

[0057] 撮影画像の輝度分布の検査は、単結晶の引き上げ工程中に撮影される画像の一部に対して行ってもよく、すべての画像に対して行ってもよい。輝度分布の検査の処理負荷は軽いので、すべての画像に対して行うことは容易である。

[0058] 輝度分布の最初の検査は、ボディ部育成工程よりも前に行うことが必要である。ボディ部育成工程を開始する前に直径計測の誤差原因を排除することにより、ボディ部の直径制御の精度を高めることができる。ここで、輝度分布の最初の検査をシード絞り工程に行う場合には、引き上げ工程中のできるだけ早い段階から直径制御の精度を高めることができる。一方、ショルダ一部育成工程に行う場合には、フュージョンリングの直径がある程度大きくなっているので、輝度ムラを検出しやすいという利点がある。

[0059] 次に、撮影画像の X 軸方向の輝度ムラを測定する（ステップ S 2）。輝度ムラの測定では、図 5 に示すように、撮影画像 6 中の Y 軸、つまり単結晶 2 の引き上げ軸の延長線 5 よりも左側の領域 6 L 内の最大輝度（第 1 の最大輝度）と延長線 5 よりも右側の領域 6 R 内の最大輝度（第 2 の最大輝度）とを

比較する。その結果、2つの最大輝度の差（輝度差）が閾値以上である場合には、撮影画像6の輝度分布が異常であると判断する（ステップS3Y）。

[0060] 例えば、撮影画像6中の最大輝度（第1および第2の最大輝度のどちらか一方）の5%を閾値とし、輝度差が5%以上である場合には撮影画像のX軸方向の輝度ムラが大きく、輝度分布が左右非対称となることから、輝度分布が異常であると判断する。また輝度差が5%未満の場合には輝度ムラが許容範囲内に収まっていることから、輝度分布が正常であると判断する。そして、撮影画像の輝度分布が正常である場合（ステップS3N）には、引き上げ工程をそのまま続ける。

[0061] 一方、撮影画像の輝度分布が異常である場合には、減光ガラス24をCCDカメラ19の光学軸19zを中心に回転させて、輝度差が閾値未満となるように減光ガラス24の向きを調整する（ステップS4）。制御部21は画像処理部20の処理結果に従って回転機構25に制御信号を送り、減光ガラス24の向きを自動的に調整する。減光ガラス24の向きを変えることにより、覗き窓10eの光透過率のムラを減光ガラス24の減光率（光透過率）のムラと相殺させることができ、撮影画像のX軸方向の輝度ムラを小さくすることができる。

[0062] 図6（a）～（c）は、撮影画像の輝度ムラの補正方法を説明する模式図である。

[0063] 図6（a）に示すように、新しいチャンバー10の使用開始時やクリーニング直後の覗き窓10eのガラス面にSiO₂の付着はなく、光透過率のムラはない。したがって、覗き窓10eが原因で撮影画像6に輝度ムラが発生することはない。この場合、撮影画像6の輝度ムラの原因は減光ガラス24の光透過率のムラであるため、撮影画像6から減光ガラス24の光透過率のムラの影響を排除する。通常、減光ガラス24の向きは光透過率が最も大きく変化する一方向（矢印参照）が撮影画像の縦軸と平行となるように設定される。

[0064] 減光ガラス24の向きは、減光ガラス24を一周回転させながら撮影画像

6のX軸方向の輝度分布をチェックして、撮影画像6の輝度ムラが最小になる減光ガラス24の向きを見つけ出すことにより設定することができる。すなわち、減光ガラス24の好ましい向きを手探りで変えてみて一番良い結果が得られたところに設定する。これにより減光ガラス24の光透過率のムラの影響を排除することができる。減光ガラス24の減光率のムラの向きがY軸方向に設定されている場合、撮影画像6のX軸方向の輝度ムラは発生しないので、直径計測の誤差を小さくすることができる。

[0065] 図6(b)に示すように、単結晶の引き上げ工程が何度も行われて覗き窓10eのガラス面へのSiO₂の付着量が増加すると、覗き窓10eのガラス面の光透過率が徐々に低下し、光透過率の面内分布にムラが発生する。覗き窓10e中の右向きの矢印は光透過率が低下する向きを示しており、左から右に向かって光透過率が小さくなることを示している。覗き窓10eのガラス面にこのような光透過率のムラが発生することにより、撮影画像のX軸方向にも輝度ムラが発生する。

[0066] 覗き窓10eに起因する撮影画像6の輝度ムラを低減するため、図6(c)に示すように、減光ガラス24の向きを調整する。この例では、減光ガラス24を反時計回りに90度回転させたことにより、覗き窓10eの光透過率のムラが減光ガラス24の光透過率のムラと相殺されて撮影画像6の輝度分布が均一になった状態が示されている。減光ガラス24の向きの調整方法は、上述のように減光ガラス24を一周回転させたときの撮影画像6のX軸方向の輝度ムラの最小値を見つけてもよく、あるいは減光ガラス24をどのくらい回転させれば良いかが分かっている場合には減光ガラス24を所定の角度だけ回転させてもよい。

[0067] 上記の補正により異常であったものを正常に補正できた場合、あるいは、撮影画像6の輝度分布が正常であった場合には、当該撮影画像から単結晶の直径を求める(ステップS5)。この場合、単結晶2と融液3との境界部に発生するフュージョンリングから固液界面における単結晶2の中心位置を算出し、この中心位置の座標とフュージョンリング上の任意の点(測定ライン

との交点)の座標とを用いて固液界面における単結晶2の直径を算出することができる。さらに、撮影画像中の単結晶2の中心位置から融液の液面レベルを算出することができる。

[0068] 以上説明したように、本実施形態によるシリコン単結晶の製造方法は、チャンバーの覗き窓10eからフュージョンリングを撮影し、単結晶2の引き上げ軸の延長線5と一致する撮影画像6のY軸よりも左側の領域内の最大輝度と右側の領域内の最大輝度とを比較したときの輝度差が閾値以上である場合に輝度分布の異常と判断するので、覗き窓10eのガラス面の曇りによる輝度ムラを少ない演算量で容易に検出することができる。また本実施形態では減光ガラス24の減光率の面内分布のムラを利用して、撮影画像6の輝度分布が異常である場合に前記輝度差が閾値未満となるように減光ガラス24の向きを調整するので、撮影画像6の輝度ムラを補正することができ、単結晶2の直径の計測精度を高めることができる。

[0069] 以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、上記の実施形態に限定されることなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

[0070] 例えば、上記実施形態においては、単結晶2の引き上げ軸の延長線5よりも左側の領域6Lの最大輝度の一画素と、延長線5よりも右側の領域6Rの最大輝度の一画素とを比較した結果から輝度分布の異常を判断しているが、本発明はこのような方法に限定されず、引き上げ軸の延長線5よりも左側の領域6Lの少なくとも一つの画素と、延長線5よりも右側の領域6Rの少なくとも一つの画素とを比較した結果から撮影画像6の輝度分布の異常の有無を判断すればよい。

[0071] また、上記実施形態においては、輝度差が閾値未満となるように減光ガラスを回転させて撮影画像の輝度分布を調整しているが、例えば減光ガラスを一方向にスライドさせて輝度分布を調整することも可能である。

[0072] また上記実施形態においてシリコン単結晶を製造する場合を例に挙げたが

、本発明はシリコン以外の単結晶の製造にも適用可能である。

符号の説明

- [0073] 1 単結晶製造装置
- 2 シリコン単結晶
- 3 シリコン融液
- 4 フュージョンリング
- 4 L フュージョンリングの手前左側の一部
- 4 R フュージョンリングの手前右側の一部
- 5 引き上げ軸の延長線
- 6 撮影画像
- 6 L 撮影画像の左側領域
- 6 R 撮影画像の右側領域
- 1 0' チャンバー
- 1 0 a メインチャンバー
- 1 0 b プルチャンバー
- 1 0 c ガス吸気口
- 1 0 d ガス排気口
- 1 0 e 覗き窓
- 1 1 断熱材
- 1 2 石英ルツボ
- 1 3 サセプタ
- 1 4 シャフト
- 1 5 ヒータ
- 1 6 熱遮蔽体
- 1 6 a 開口部
- 1 7 ワイヤー
- 1 8 ワイヤー巻き取り機構
- 1 9 C C Dカメラ

- 19 z CCDカメラの光学軸
- 20 画像処理部
- 21 制御部
- 22 シャフト駆動機構
- 24 減光ガラス
- 25 回転機構
- C_0 単結晶の中心位置
- D_1, D_1' フュージョンリングと測定ラインとの交点
- D_2, D_2' フュージョンリングと測定ラインとの交点
- L_1, L_2 測定ライン
- O 撮影画像の原点
- R 固液界面における単結晶の直径
- ΔG ギャップ幅

請求の範囲

- [請求項1] チョクラルスキー法による単結晶の引き上げ工程中に前記単結晶と融液との境界部の画像をカメラで撮影し、
- 前記単結晶の引き上げ軸の延長線よりも左側の領域の少なくとも一つの画素と前記延長線よりも右側の領域の少なくとも一つの画素とを比較した結果から撮影画像の輝度分布の異常の有無を判断することを特徴とする単結晶の製造方法。
- [請求項2] 前記左側の領域内の第1の最大輝度と前記右側の領域内の第2の最大輝度との輝度差が閾値以上である場合に前記撮影画像の輝度分布が異常であると判断する、請求項1に記載の単結晶の製造方法。
- [請求項3] 前記カメラは、減光率が面内で異なる減光ガラスを通して前記境界部の画像を撮影し、
- 前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記輝度差が閾値未満となるように、前記減光ガラスにより前記撮影画像の輝度分布を調整する、請求項2に記載の単結晶の製造方法。
- [請求項4] 前記減光ガラスは、減光率が一方向に変化する面内分布を有し、
- 前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記輝度差が閾値未満となるように前記減光ガラスを前記カメラの光学軸を中心に回転させて、前記撮影画像の輝度分布を調整する、請求項3に記載の単結晶の製造方法。
- [請求項5] 前記撮影画像の輝度分布が正常である場合に当該撮影画像から固液界面における単結晶の直径を求める、請求項1ないし4のいずれか一項に記載の単結晶の製造方法。
- [請求項6] 前記撮影画像を二値化処理することにより求められる前記境界部に発生するフュージョンリングのエッジパターンから前記固液界面における前記単結晶の直径を求める、請求項5に記載の単結晶の製造方法。
- [請求項7] 覗き窓が設けられたチャンバーと、

前記チャンバー内において融液を支持するルツボと、
前記融液から単結晶を引き上げる引き上げ軸と、
前記覗き窓を通して見える前記単結晶と前記融液との境界部の画像を撮影するカメラと、
前記カメラの撮影画像を処理する画像処理部とを備え、
前記画像処理部は、
前記単結晶の引き上げ軸の延長線よりも左側の領域の少なくとも一つの画素と前記延長線よりも右側の領域の少なくとも一つの画素とを比較した結果から撮影画像の輝度分布の異常の有無を判断することを特徴とする単結晶製造装置。

[請求項8] 前記画像処理部は、前記左側の領域内の第1の最大輝度と前記右側の領域内の第2の最大輝度との差が閾値以上である場合に前記撮影画像の輝度分布が異常であると判断する、請求項7に記載の単結晶製造装置。

[請求項9] 前記覗き窓の外側に設けられた、減光率が面内で異なる減光ガラスをさらに備え、
前記撮影画像の輝度分布が異常である場合に、前記第1の最大輝度と前記第2の最大輝度との差が閾値未満となるように、前記減光ガラスにより前記撮影画像の輝度分布を調整する、請求項8に記載の単結晶製造装置。

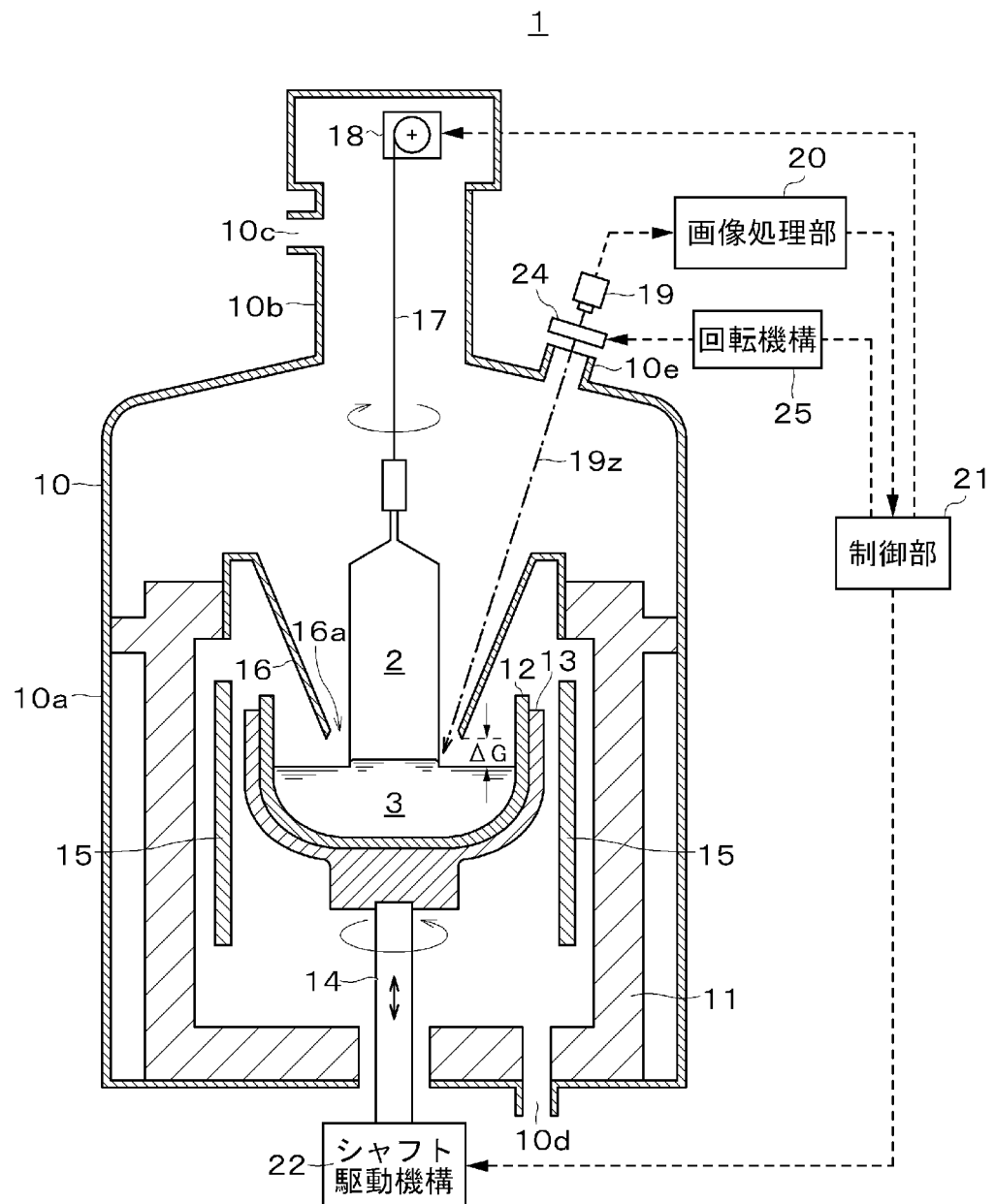
[請求項10] 前記減光ガラスを回転させる回転機構を有し、前記減光ガラスを前記カメラの光学軸を中心に回転させて、前記撮影画像の輝度分布を調整する、請求項9に記載の単結晶製造装置

[請求項11] 前記画像処理部は、前記撮影画像の輝度分布が正常である場合に当該撮影画像から固液界面における単結晶の直径を求める、請求項7ないし10のいずれか一項に記載の単結晶製造装置。

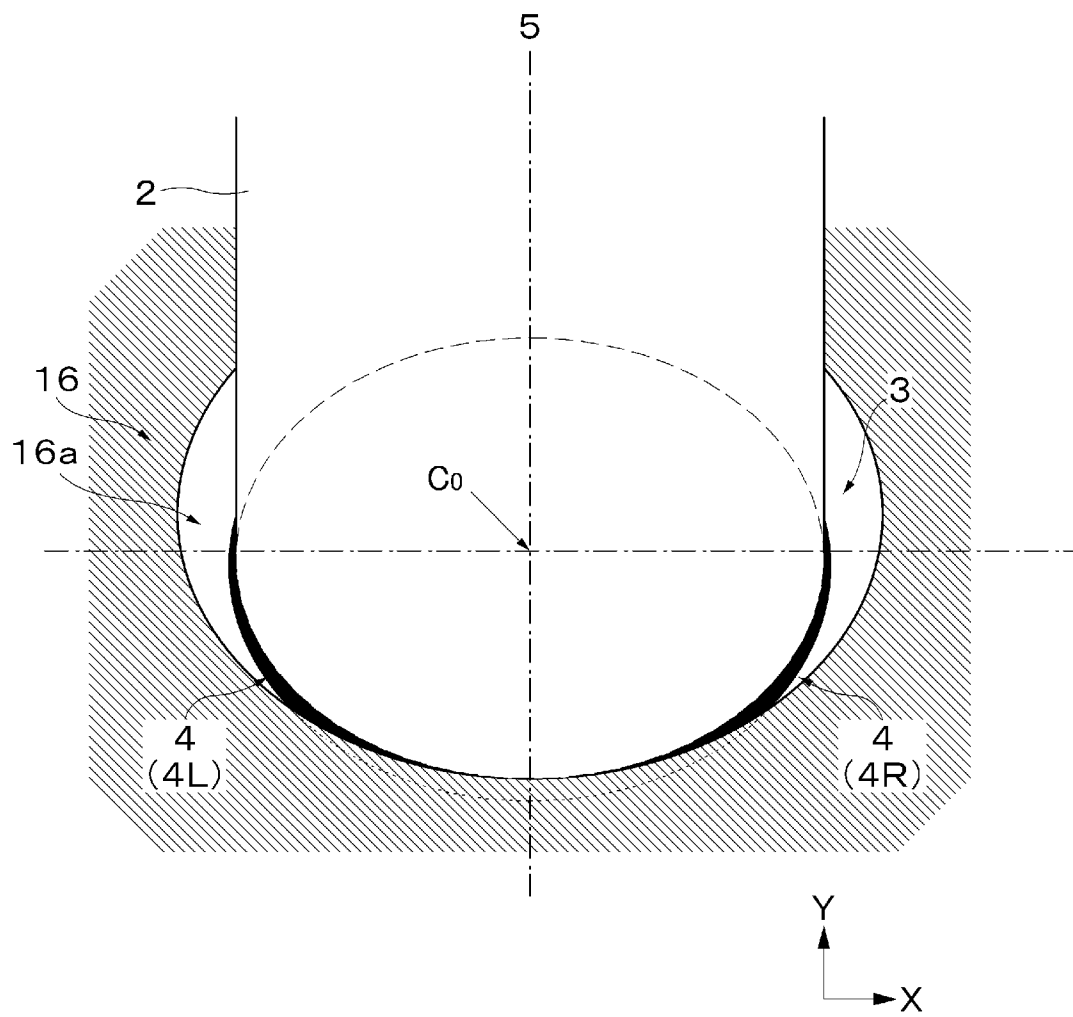
[請求項12] 前記画像処理部は、前記撮影画像を二値化処理することにより求められる前記境界部に発生するフュージョンリングのエッジパターンか

ら前記固液界面における前記単結晶の直径を求める、請求項 1 1 に記載の単結晶製造装置。

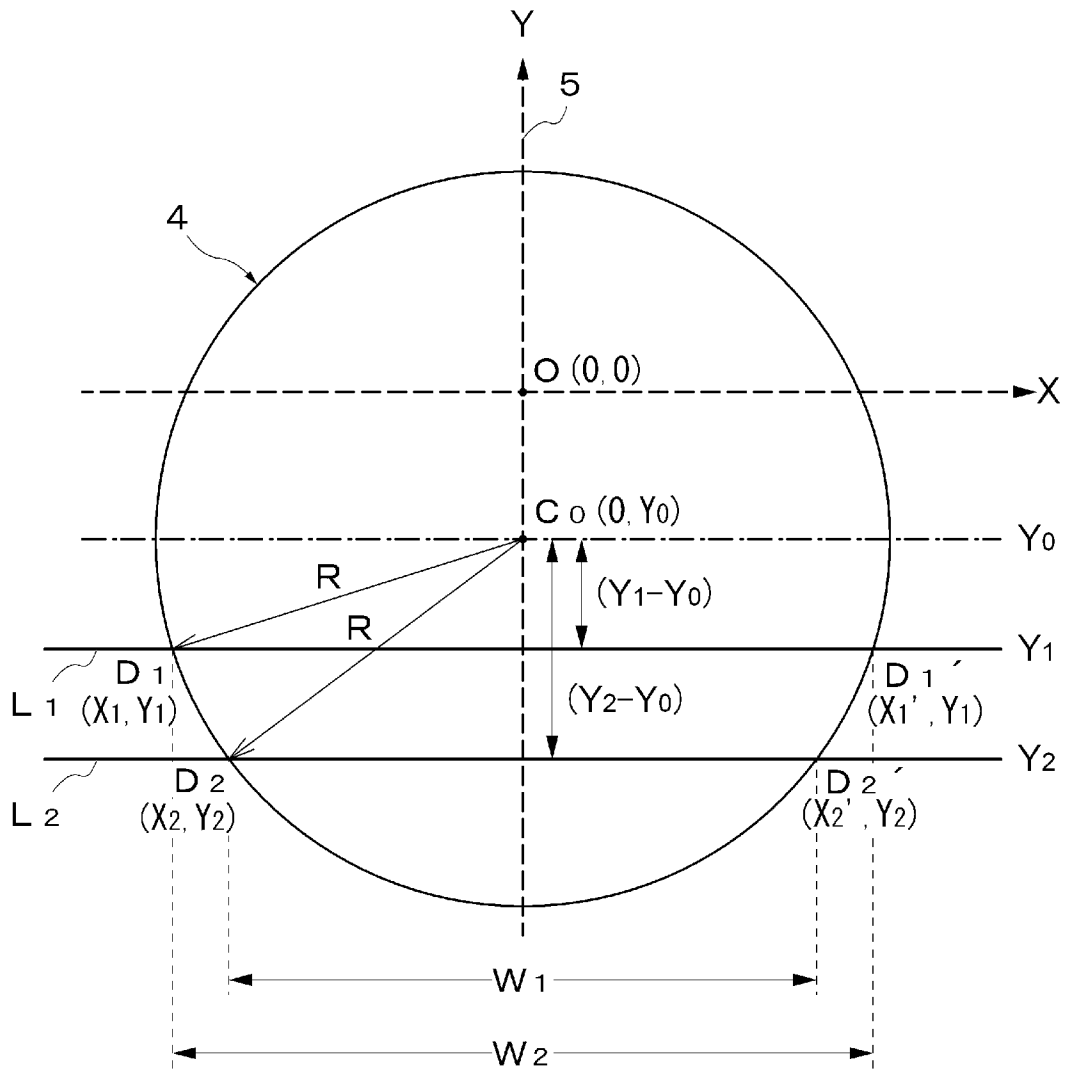
[図1]



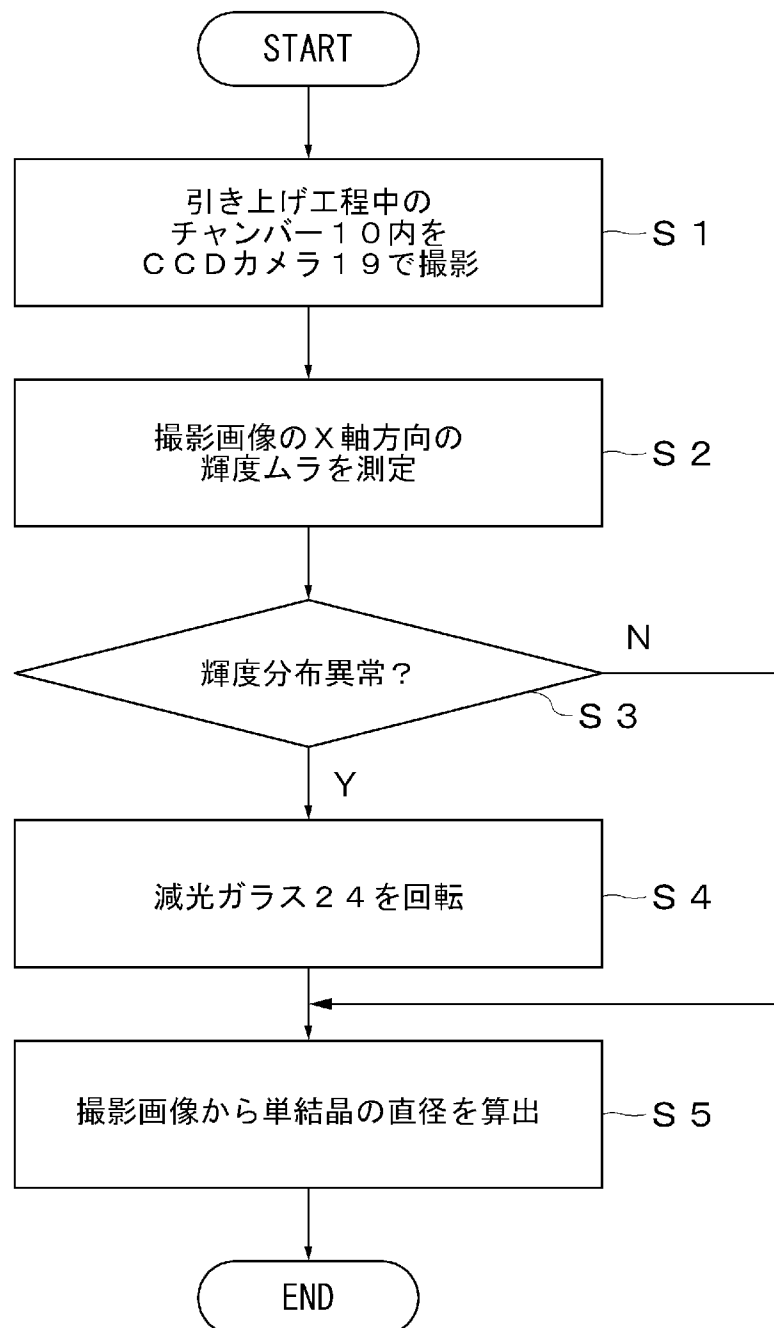
[図2]



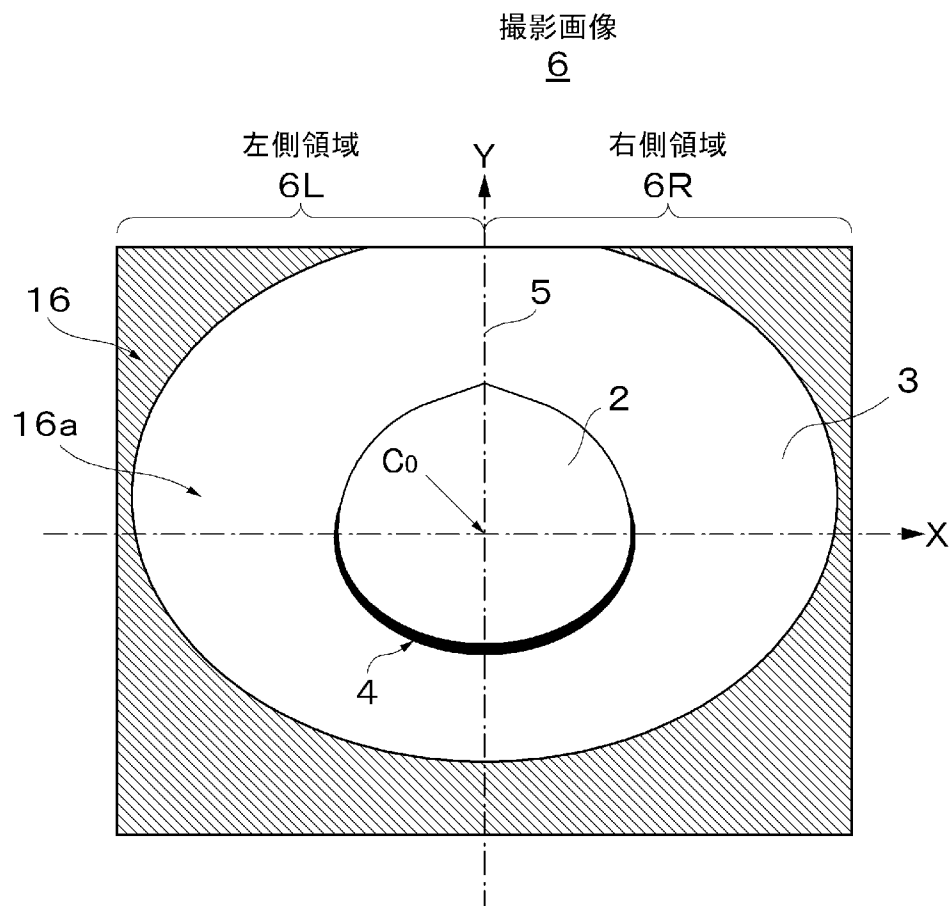
[図3]



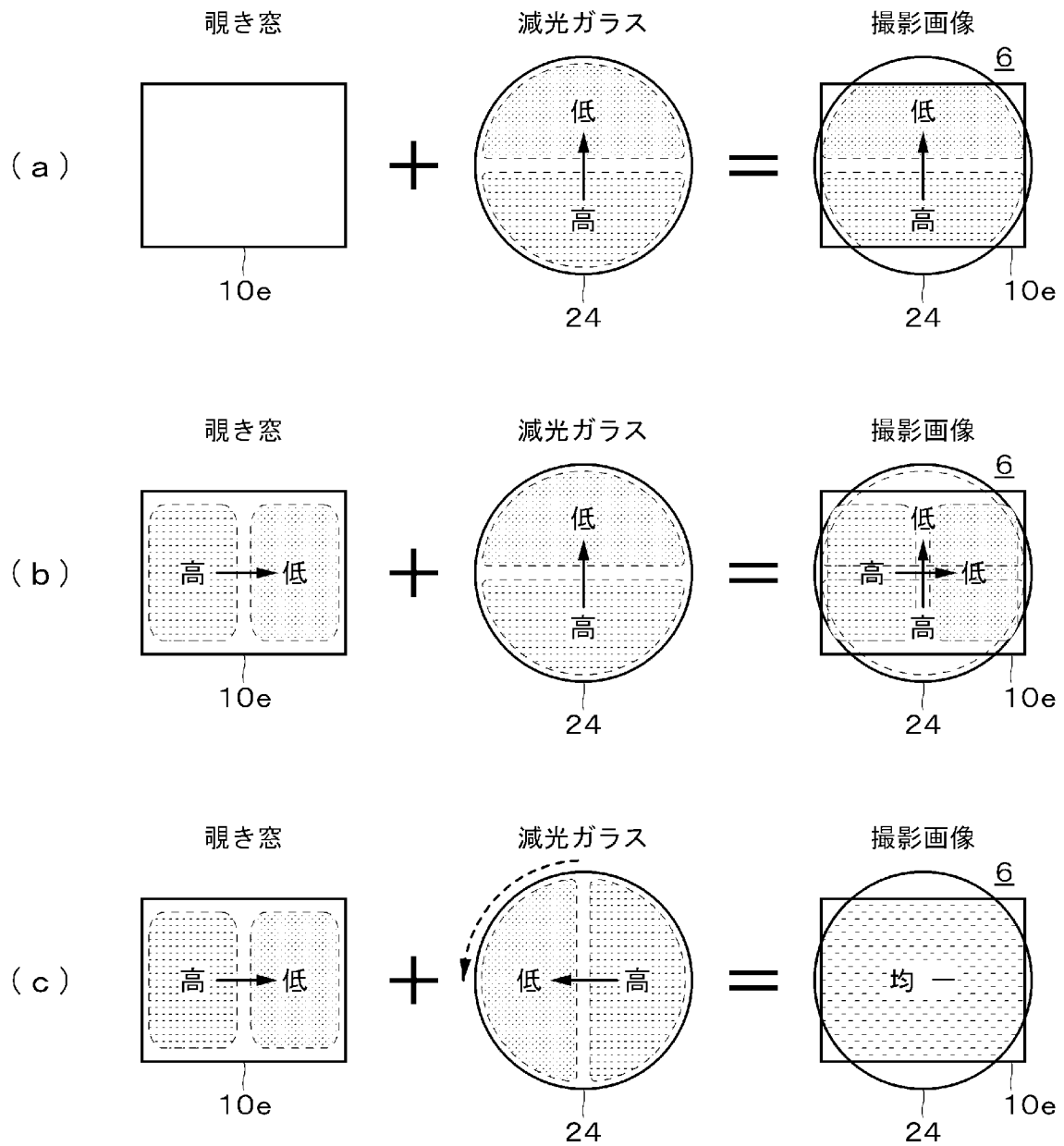
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077069

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B15/26(2006.01) i, C30B29/06(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)

C30B1/00-35/00, G01B11/00-11/30

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/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-347775 A (Furukawa Co., Ltd.), 28 December 2006 (28.12.2006), claims; paragraphs [0022] to [0023] (Family: none)	1-12
A	JP 2-164789 A (Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.), 25 June 1990 (25.06.1990), claims; page 3, lower right column, line 19 to page 4, lower right column, line 14 (Family: none)	1-12
A	JP 2005-41705 A (Toshiba Ceramics Co., Ltd.), 17 February 2005 (17.02.2005), claims; paragraph [0007] (Family: none)	1-12

☒ 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
09 November 2016 (09.11.16)

Date of mailing of the international search report
22 November 2016 (22.11.16)

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/JP2016/077069

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 2013-216556 A (SUMCO Corp.), 24 October 2013 (24.10.2013), claims; paragraphs [0019] to [0043]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-12
A	JP 2000-264779 A (Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.), 26 September 2000 (26.09.2000), claims; paragraphs [0049] to [0050]; fig. 14 & US 6572699 B1 claims; column 10, lines 7 to 41; fig. 14 & WO 2000/055396 A1 & EP 1162291 A1	1-12
P, A	JP 2016-121023 A (SUMCO Corp.), 07 July 2016 (07.07.2016), claims & US 2016/0186359 A1 claims	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C30B15/26(2006.01)i, C30B29/06(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. C30B1/00-35/00, G01B11/00-11/30

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/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-347775 A (古河機械金属株式会社) 2006. 12. 28, 特許請求の範囲, [0022]-[0023] (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2-164789 A (小松電子金属株式会社) 1990. 06. 25, 特許請求の範囲, 第3頁右下欄第19行-第4頁右下欄第14行 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2005-41705 A (東芝セラミックス株式会社) 2005. 02. 17, 特許請求の範囲, [0007] (ファミリーなし)	1-12

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

09. 11. 2016

国際調査報告の発送日

22. 11. 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)

伊藤 真明

4 G

3 6 4 0

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 2013-216556 A (株式会社 SUMCO) 2013. 10. 24, 特許請求の範囲, [0019]-[0043], [図 1]-[図 3] (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2000-264779 A (コマツ電子金属株式会社) 2000. 09. 26, 特許請求の範囲, [0049]-[0050], [図 14] & US 6572699 B1, 請求の範囲, 第 10 欄第 7 行-第 41 行, 図 14 & WO 2000/055396 A1 & EP 1162291 A1	1-12
P, A	JP 2016-121023 A (株式会社 SUMCO) 2016. 07. 07, 特許請求の範囲 & US 2016/0186359 A1, 請求の範囲	1-12