

(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6月28日(28.06.2018)



(10) 国際公開番号

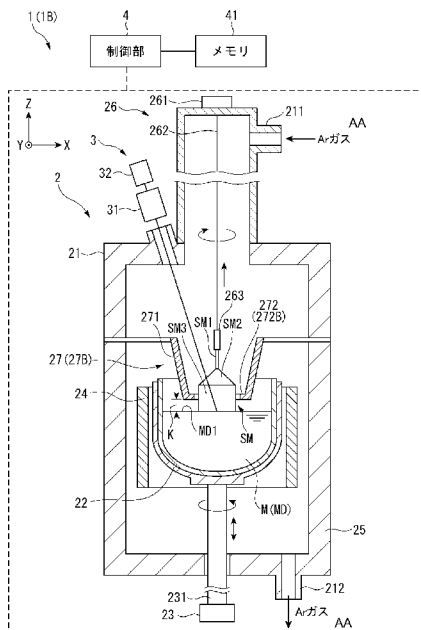
WO 2018/116590 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 29/06 (2006.01) C30B 15/20 (2006.01)
C30B 15/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/036992
- (22) 国際出願日: 2017年10月12日(12.10.2017)
- (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 2016-249119 2016年12月22日(22.12.2016) 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: 鳴嶋 康人 (NARUSHIMA Yasuhito); 〒1058634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社SUMCO内 Tokyo (JP). 宇都 雅之 (UTO Masayuki); 〒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: 特許業務法人樹之下知的財産事務所 (KINOSHITA & ASSOCIATES); 〒1670051 東京都杉並区荻窪五丁目26番13号3階 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.
- (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,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING SILICON SINGLE CRYSTAL, HEAT SHIELD, AND SINGLE CRYSTAL PULLING DEVICE

(54) 発明の名称: シリコン単結晶の製造方法、熱遮蔽体および単結晶引き上げ装置

[図2]



4 Control unit
41 Memory
AA Ar gas

(57) Abstract: Provided is a method for producing a silicon single crystal using a single crystal pulling device which includes a crucible (22), a crucible driving unit (23), a pulling unit (26), a cylindrical heat shield (27) that has a circular lower end, and a chamber (21). This method grows a silicon single crystal (SM) using the heat shield (27), which satisfies formula (1). (1) $R \leq 1.27 \times C$ C: radius (mm) of straight body portion (SM3) of silicon single crystal (SM) R: inner radius (mm) of lower end of heat shield (27)

(57) 要約: 坩堝(22)と、坩堝駆動部(23)と、引き上げ部(26)と、下端部が円形の筒状に形成された熱遮蔽体(27)と、チャンバ(21)とを備える単結晶引き上げ装置を用いたシリコン単結晶の製造方法であって、以下の式(1)を満たす熱遮蔽体(27)を用いてシリコン単結晶(SM)を育成する。 $R \leq 1.27 \times C$ (1) C: シリコン単結晶(SM)の直胴部(SM3)の半径(mm) R: 熱遮蔽体(27)の下端部における内径の半径(mm)

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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：

シリコン単結晶の製造方法、熱遮蔽体および単結晶引き上げ装置

技術分野

[0001] 本発明は、シリコン単結晶の製造方法、熱遮蔽体および単結晶引き上げ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、低電気抵抗率のシリコン単結晶が求められている。このようなシリコン単結晶の製造方法として、赤リンなどのn型ドーパントを添加する方法があるが、有転位化が発生する場合があります、この不具合を抑制する検討がなされている（例えば、特許文献1参照）。

特許文献1に記載の方法では、シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液に種子結晶を着液する際に、ドーパント添加融液と種子結晶との温度差を50～97Kにする。さらに、熱遮蔽板とドーパント添加融液液面との距離を、シリコン単結晶の直胴部を成長させる期間の開始時点では、20mm～30mmにし、肩部と直胴部との境界部分から引き上げ方向と反対方向に200mm離れた位置以降の直胴部の成長期間では、6mm～15mmにしている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5420548号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献1のような方法では、シリコン単結晶のボトム部（直胴部の上端（引き上げ方向端部）の固化率を0%、下端を100%とした場合における固化率が60%以上の部分）において、組成的過冷却現象により有転位化が発生する場合があります、有転位化の発生をより抑制できる製造

方法が望まれている。

[0005] 本発明は、有転位化の発生を抑制可能なシリコン単結晶の製造方法、熱遮蔽体および単結晶引き上げ装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明のシリコン単結晶の製造方法は、シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、種子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲むように設けられ、下端部が円形の筒状に形成された熱遮蔽体と、前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備える単結晶引き上げ装置を用いたシリコン単結晶の製造方法であって、以下の式（１）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とする。

$$R \leq 1.27 \times C \quad \dots \quad (1)$$

C：前記シリコン単結晶の直胴部の半径（mm）

R：前記熱遮蔽体の下端部における内径の半径（mm）

[0007] 本発明によれば、式（１）を満たす熱遮蔽体を用いて、シリコン単結晶外縁から熱遮蔽体の下端部内縁までの距離を所定値より短くして、これらの間からのドーパント添加融液の放熱を抑制することで、シリコン単結晶のボトム部における引き上げ方向の温度勾配を、式（１）を満たさない場合と比べて大きくすることができる。したがって、組成的過冷却現象による有転位化の発生を抑制できる。

なお、「下端部が円形の筒状」とは、下方に向かうにしたがって縮径または増径する円錐台筒状、上下方向のいずれの位置でも直径が同じ円筒状、円錐台筒状と円筒状とを組み合わせた形状、縮径する円錐台筒状と増径する円錐台筒状とを組み合わせた形状などが例示できる。

[0008] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、前記熱遮蔽体の下端部の内縁から外縁側に凹む切欠部が設けられた前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン

単結晶を育成することが好ましい。

[0009] 本発明によれば、上面視において切欠部を介してドーパント添加融液を露出させることができ、液面の高さ位置確認のための液面露出範囲を十分に確保することができる。したがって、シリコン単結晶の育成中に、ドーパント添加融液の液面と熱遮蔽体下端との距離が所定値になるように坩堝を上昇させることで、シリコン単結晶のバッチ間での熱履歴や不純物濃度（酸素濃度など）を一定にすることができ、品質が安定したシリコン単結晶を得られる。

[0010] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、以下の式（２），（３）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

$$0.926 \leq R/A \quad \cdots \quad (2)$$

$$R/A \leq 0.969 \quad \cdots \quad (3)$$

A：前記熱遮蔽体の下端部の中心から上面視での前記切欠部における前記下端部の径方向最深部までの距離（mm）

[0011] R/A が0.926未満の場合、切欠部が深すぎて（Aが大きすぎて）、ドーパント添加融液液面におけるシリコン単結晶外周方向の温度分布が不安定になる。この温度分布不安定化の影響で固液界面に高温のシリコン融液が入り込むと、シリコン単結晶が溶かされ（リメルトが起こり）再度固化し、例えば中心が下方向に凹む曲面状の成長縞が発生する。その結果、図1に示すように、上方向に凹みかつ直胴部の径方向全域に発生した成長縞のうち最下部の成長縞P1と、この成長縞P1の下側に発生し下方向に凹む成長縞のうち最上部の成長縞P2との間、かつ、シリコン単結晶SMの肩部の外周部に、リメルト成長領域Qが形成される。このリメルト成長領域Qの影響により、シリコン単結晶のトップ部（直胴部における固化率が0%以上20%以下の領域と肩部）に有転位化が発生するおそれがある。

R/A が0.969を超える場合、切欠部が浅すぎて（Aが小さすぎて）、液面露出範囲を十分に確保できず、ドーパント添加融液の液面の高さ位置

を確認することが困難になるおそれがある。

本発明によれば、式（２）を満たすことでシリコン単結晶のトップ部の有転位化発生を抑制でき、式（３）を満たすことで液面の高さ位置を容易に確認しながらシリコン単結晶の品質を安定させることができる。

[0012] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、以下の式（４），（５）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

$$0.051 \leq H/L \quad \dots \quad (4)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \dots \quad (5)$$

H：上面視における前記切欠部の最大幅（mm）

L：前記切欠部が無いと仮定した場合における前記熱遮蔽体の下端部の内周の長さ（mm）

[0013] H/Lが0.051未満の場合、切欠部の幅が狭すぎて、液面露出範囲を十分に確保できず、ドーパント添加融液の液面の高さ位置を確認することが困難になるおそれがある。

H/Lが0.070を超える場合、切欠部の幅が広すぎて、ドーパント添加融液液面におけるシリコン単結晶外周方向の温度分布が不安定になり、上述のようなリメルトに起因して、シリコン単結晶のトップ部に有転位化が発生するおそれがある。

本発明によれば、式（５）を満たすことでシリコン単結晶のトップ部の有転位化発生を抑制でき、式（４）を満たすことで液面の高さ位置を容易に確認しながらシリコン単結晶の品質を安定させることができる。

なお、Hは、切欠部が複数の場合には、各切欠部の最大幅の合計値である。

[0014] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、１個の前記切欠部が設けられた前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

[0015] 本発明によれば、切欠部を複数設ける場合と比べて、その最大幅を大きくすることができ、液面露出範囲を十分に確保できる。その結果、ドーパント

添加融液の液面の高さ位置を容易に確認できる。

[0016] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、前記シリコン単結晶の育成中に、前記切欠部を介して露出する前記ドーパント添加融液の液面を撮像し、この撮像結果に基づき前記ドーパント添加融液の液面の高さ位置を検出し、前記液面と前記熱遮蔽体下端との距離が所定値になるように前記坩堝を上昇させることが好ましい。

本発明のシリコン単結晶の製造方法において、前記シリコン単結晶の育成中に、前記切欠部を介して露出する前記ドーパント添加融液の液面にレーザ光を照射してその反射光を受光し、この受光結果に基づき前記ドーパント添加融液の液面の高さ位置を検出し、前記液面と前記熱遮蔽体下端との距離が所定値になるように前記坩堝を上昇させることが好ましい。

[0017] これらの発明によれば、撮像手段やレーザ光を用いて、ドーパント添加融液の液面の高さ位置を正確に検出でき、シリコン単結晶の品質をより安定させることができる。

[0018] 本発明のシリコン単結晶の製造方法において、下方に向かうにしたがって縮径する円錐台筒状の筒部と、前記筒部の下端部からその中心に向かって突出する円環状の円環部とを備えた前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

本発明のシリコン単結晶の製造方法において、直胴部から直径が200 mmのシリコンウェーハを取得でき、かつ、前記直胴部下端の抵抗率が $0.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $0.7 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

本発明のシリコン単結晶の製造方法において、直胴部から直径が300 mmのシリコンウェーハを取得でき、かつ、前記直胴部下端の抵抗率が $0.78 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $1.0 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の前記シリコン単結晶を育成することが好ましい。

[0019] 本発明の熱遮蔽体は、シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、種

子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備える単結晶引き上げ装置に設けられ、前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲む熱遮蔽体であって、下端部が円形の筒状に形成された筒部と、前記筒部の下端部からその中心に向かって突出する円環状の円環部とを備え、前記円環部は、その内縁から外縁側に凹む切欠部を備え、以下の式（６），（７）を満たすように構成されていることを特徴とする。

$$(C + 30) \times 0.926 \leq R \quad \cdots \quad (6)$$

$$R \leq 1.27 \times C \quad \cdots \quad (7)$$

C：前記シリコン単結晶の直胴部の半径（mm）

R：前記円環部の内径の半径（mm）

[0020] 育成中のシリコン単結晶の周囲には、当該シリコン単結晶の成長面近傍の表面張力によって、円環状のメニスカスが発生する。シリコン単結晶外周面からメニスカスの外縁までの距離（以下、「メニスカスの幅」と言う）は、ドーパント添加融液の物性により決まるため、シリコン単結晶のサイズによらずほぼ同じである。メニスカスの表面は曲面のため、この表面を撮像して液面の高さ位置を検出する場合、メニスカス表面に写った切欠部の形状が歪んでしまい、液面の高さ位置を正確に検出できないおそれがある。また、メニスカス表面にレーザ光を照射し、その反射光の受光結果に基づき液面の高さ位置を検出する場合、反射光の反射方向の予測が困難になり、受光部の適切な位置への設置が困難になるおそれがある。

しかし、メニスカスの形状は外縁に近づくほど平面に近くなり、メニスカス表面でも所定位置よりも外側であれば、切欠部の形状を適切に得ることができる上、反射方向の予測が容易になり、受光部の適切な位置への設置を容易に行うことができる。その所定位置がメニスカスの内縁からの距離が30 mmの位置である。

以下、液面におけるメニスカスの内縁と当該内縁から30 mmの位置との

間の領域であって、液面の高さ位置の検出に影響を及ぼす領域を、検出影響領域と言う。さらに、液面における検出影響領域の外側の領域であって、液面の高さ位置の検出に影響を及ぼさない領域を、検出非影響領域と言う。式（６）の「３０」は、検出影響領域の幅を意味する。

また、式（６）の「０．９２６」は、式（２）に示すように、シリコン単結晶のトップ部における有転位化発生を抑制可能な R/A の最小値である。

本発明によれば、式（６）を満たすことで、上面視における切欠部の最深部の位置を検出影響領域の外側に位置させることができ、切欠部から検出非影響領域を露出させることができる。その結果、この露出した検出非影響領域を撮像したり、検出非影響領域にレーザ光を照射することで、ドーパント添加融液の液面の高さ位置を正確に検出できる。したがって、この検出結果に基づきシリコン単結晶を製造することで、シリコン単結晶の品質を安定させることができる。また、ドーパント添加融液液面におけるシリコン単結晶外周方向の温度分布を安定させることができ、シリコン単結晶のトップ部の有転位化発生を抑制できる。

式（７）を満たすことで、上記式（１）を満たす場合と同様に、シリコン単結晶のボトム部における有転位化発生を抑制できる。

[0021] 本発明の熱遮蔽体において、前記切欠部は、以下の式（８）を満たすように設けられていることが好ましい。

$$D \leq R \times 0.08 \quad \dots \quad (8)$$

D：前記円環部の上面視における前記切欠部の最大深さ（mm）

[0022] 上面視における切欠部の最大深さは、式（２）で用いた A （本発明では、円環部の中心から切欠部における円環部の径方向最深部までの距離）から上記式（６）で用いた R を減じて得られる値であり、切欠部における円環部の径方向最深部から、切欠部が無いと仮定した場合における円環部の内縁までの距離を表す。すなわち、「 $D = A - R$ 」の関係を満たす。式（８）は、式（２）と、上記「 $D = A - R$ 」とから求まる。

本発明によれば、式（８）を満たすことで、上述のようにシリコン単結晶

のトップ部の有転位化発生を抑制できる。

[0023] 本発明の熱遮蔽体において、前記切欠部は、以下の式（９），（１０）を満たすように設けられていることが好ましい。

$$0.051 \leq H/L \quad \dots \quad (9)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \dots \quad (10)$$

H：前記円環部の上面視における前記切欠部の最大幅（mm）

L：前記切欠部が無いと仮定した場合における前記円環部の内周の長さ（mm）

本発明の熱遮蔽体において、１個の前記切欠部が設けられていることが好ましい。

[0024] 本発明の単結晶引き上げ装置は、シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、種子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲むように設けられた上述の熱遮蔽体と、前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備えることを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]リメルト成長領域の概略構成を示す図。

[図2]本発明の第１，第３実施形態に係る単結晶引き上げ装置の構成を示す模式図。

[図3]前記第１実施形態における熱遮蔽体の構成を示す模式図。

[図4]前記第１実施形態におけるシリコン単結晶の抵抗率分布の例を示すグラフ。

[図5]本発明の第２実施形態に係る単結晶引き上げ装置の構成を示す模式図。

[図6]本発明の変形例に係る熱遮蔽体の構成を示す断面図。

[図7A]本発明の他の変形例に係る熱遮蔽体の構成を示す断面図。

[図7B]本発明の他の変形例に係る熱遮蔽体の構成を示す断面図。

[図8]本発明のさらに他の変形例に係る熱遮蔽体の構成を示す断面図。

[図9]本発明のさらに他の変形例に係る熱遮蔽体の構成を示す断面図。

発明を実施するための形態

[0026] [第1実施形態]

以下、本発明の第1実施形態について図面を参照して説明する。

[単結晶引き上げ装置の構成]

図2に示すように、単結晶引き上げ装置1は、CZ法（チョクラルスキー法）に用いられる装置であって、引き上げ装置本体2と、液面位置検出手段3と、制御部4とを備えている。

引き上げ装置本体2は、チャンバ21と、坩堝22と、坩堝駆動部23と、加熱部24と、断熱筒25と、引き上げ部26と、熱遮蔽体27とを備えている。

[0027] チャンバ21の上部には、Arガスなどの不活性ガスをチャンバ21内に導入するガス導入口211が設けられている。チャンバ21の下部には、図示しない真空ポンプの駆動により、チャンバ21内の気体を排出するガス排出口212が設けられている。

坩堝22は、シリコンウェーハの原料である多結晶のシリコンを融解し、シリコン融液Mとするものである。

坩堝駆動部23は、坩堝22を所定の速度で昇降させるとともに、坩堝22の下端に接続された支持軸231を中心にして所定の速度で回転させる。

加熱部24は、坩堝22の外側に配置されており、坩堝22を加熱する。

断熱筒25は、坩堝22および加熱部24の周囲を取り囲むように配置されている。

引き上げ部26は、引き上げ駆動部261と、一端が引き上げ駆動部261に接続された引き上げケーブル262とを備えている。引き上げ駆動部261は、引き上げケーブル262を所定の速度で昇降および回転させる。引き上げケーブル262の他端には、種子結晶を保持するシードホルダ263、または、図示しないドーピング装置が取り付けられる。ドーピング装置は、ドーパントとしての赤リンを坩堝22内のシリコン融液Mにドーピングさせて

ドーパント添加融液MDを生成するためのものである。

[0028] 熱遮蔽体27は、下端部が円形の筒状に形成され、坩堝22の上方においてシリコン単結晶SMを囲むように設けられている。熱遮蔽体27は、下方に向かうにしたがって縮径する円錐台筒状の筒部271と、筒部271の下端からその中心に向かって突出する円環板状の円環部272とを備えている。

円環部272の内縁における図2の紙面手前側（+Y方向側）に位置する部分には、図3に示すように、外縁側に凹む1個の切欠部273が設けられている。

[0029] このような熱遮蔽体27は、以下の式（6）、（7）を満たすように構成されていることが好ましい。

$$(C + 30) \times 0.926 \leq R \quad \dots \quad (6)$$

$$R \leq 1.27 \times C \quad \dots \quad (7)$$

C：シリコン単結晶SMの直胴部SM3の半径（mm）

R：円環部272の内径の半径（mm）

[0030] なお、式（6）の「30（mm）」は、検出影響領域MD21の幅MLを表す。検出影響領域MD21は、メニスカスMD2に含まれる上面視で円環状かつ縦断面視で曲面状の領域であり、液面位置検出手段3における液面の高さ位置の検出に影響を及ぼす。検出影響領域MD21の外側の検出非影響領域MD22は、縦断面視でほぼ平面状あるいは平面状の領域であり、液面の高さ位置の検出に影響を及ぼさない。

[0031] 切欠部273は、以下の式（8）、（9）、（10）を満たすように構成されていることが好ましい。

$$D \leq R \times 0.08 \quad \dots \quad (8)$$

D：上面視における切欠部273の最大深さ（最深部274の深さ）（mm）

$$0.051 \leq H/L \quad \dots \quad (9)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \dots \quad (10)$$

H：上面視における切欠部 273 の最大幅 (mm)

L：切欠部 273 が無いと仮定した場合における円環部 272 の内周の長さ (mm)

[0032] 切欠部 273 は、式 (8) に加えて、以下の式 (11) を満たすように構成されていることが好ましい。

$$R \times 0.03 \leq D \quad \dots \quad (11)$$

[0033] 以上のように、切欠部 273 は、式 (6) を満たす形状のため、上面視における切欠部 273 の最深部 274 の位置を、検出影響領域 MD 21 の外側に位置させることができる。切欠部 273 は、式 (9) を満たすため十分な幅を有し、式 (11) を満たすため十分な深さを有する形状になる。その結果、上面視において切欠部 273 から検出非影響領域 MD 22 を十分に露出させることができる。

なお、式 (7)，(11) の R の定義を「熱遮蔽体 27 の下端部における内径の半径」と読み替えることができ、式 (9)，(10) の L の定義を「切欠部 273 が無いと仮定した場合における熱遮蔽体 27 の下端部の内周の長さ」と読み替えることができる。

[0034] 液面位置検出手段 3 は、ドーパント添加融液 MD の液面 MD 1 の高さ位置を検出する。液面位置検出手段 3 は、撮像部 31 と、位置算出部 32 とを備えている。

撮像部 31 は、例えば CCD カメラであり、切欠部 273 を介して露出するドーパント添加融液 MD の液面 MD 1 を撮像する。

位置算出部 32 は、撮像部 31 の撮像結果に基づいて、液面 MD 1 の高さ位置を算出する。

[0035] 制御部 4 は、メモリ 41 に記憶された情報や作業者の設定入力、液面位置検出手段 3 における液面 MD 1 の高さ位置の検出結果などに基づいて、チャンバ 21 内のガス流量や炉内圧、加熱部 24 による坩堝 22 の加熱温度、坩堝 22 やシリコン単結晶 SM の回転数などを制御して、シリコン単結晶 SM を製造する。

[0036] [シリコン単結晶の製造方法]

次に、シリコン単結晶SMの製造方法について説明する。

なお、本実施形態では、直胴部SM3から直径が200mmのシリコンウェーハを取得可能なシリコン単結晶SMを製造する場合を例示するが、300mm、450mmなど、他の直径のシリコンウェーハを取得可能なシリコン単結晶SMを製造してもよい。

直胴部SM3の直径は、シリコンウェーハの直径が200mmの場合、201mm以上230mm以下、シリコンウェーハの直径が300mmの場合、301mm以上340mm以下、シリコンウェーハの直径が450mmの場合、451mm以上510mm以下にすることが好ましい。

直径が200mmのシリコンウェーハ用（200mmウェーハ用）の場合、直胴部SM3の下端（固化率100%の位置）における抵抗率は、 $0.5\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $0.7\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であることが好ましく、例えば、図4の例1や例2に示すような抵抗率分布となることが好ましい。

直径が300mmのシリコンウェーハ用（300mmウェーハ用）の場合、直胴部SM3の下端における抵抗率は、 $0.78\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $1.0\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であることが好ましく、例えば、図4の例3や例4に示すような抵抗率分布となることが好ましい。

[0037] まず、単結晶引き上げ装置1の制御部4は、シリコン単結晶SMに要求される品質、例えば抵抗率、酸素濃度を満足するための引き上げ条件である不活性ガスの流量、チャンバ21内部の圧力、坩堝22やシリコン単結晶SMの回転数、加熱部24の加熱条件などを設定する。なお、この設定条件は、作業者が入力したものであってもよいし、作業者が入力した目標の酸素濃度などにに基づき制御部4が演算して求めたものであってもよい。

[0038] 次に、制御部4は、加熱部24を制御して坩堝22を加熱することで、当該坩堝22内のポリシリコン素材（シリコン原料）およびドーパントとしての赤リンを融解させ、ドーパント添加融液MDを生成する。その後、制御部4は、ガス導入口211からチャンバ21内に不活性ガスを所定の流量で導

入するとともに、チャンバ２１内の圧力を減圧して、チャンバ２１内を減圧下の不活性雰囲気維持する。

その後、制御部４は、種子結晶をドーパント添加融液MDに浸漬して、坩堝２２および引き上げケーブル２６２を所定方向に回転させながら引き上げケーブル２６２を引き上げることで、ネック部SM１、肩部SM２、直胴部SM３および図示しないテール部を有するシリコン単結晶SMを育成する。

[0039] このシリコン単結晶SMの育成中、単結晶引き上げ装置１は、液面MD１と円環部２７２の下面との距離Kが所定値になるように坩堝２２を上昇させる。以下、距離Kが所定値になるように坩堝２２の上昇を制御する処理をギャップ制御と言う。このギャップ制御において、品質が安定したシリコン単結晶を得られるように、距離Kは、シリコン単結晶SMの固化率に応じて変化させることが好ましい。

まず、液面位置検出手段３は、撮像部３１で切欠部２７３を介して露出するドーパント添加融液MDの液面MD１を撮像する。このとき、上面視において切欠部２７３から検出非影響領域MD２２が十分に露出しているため、撮像部３１は、この検出非影響領域MD２２に写った歪みがない切欠部２７３の鏡像を容易に撮像することができる。位置算出部３２は、撮像部３１で撮像された切欠部２７３の鏡像の位置に基づいて、液面MD１の高さ位置を算出する。

制御部４は、位置算出部３２での算出結果に基づいて、ギャップ制御を行う。

[0040] [第１実施形態の作用効果]

上記実施形態では、式（７）を満たす熱遮蔽体２７を用いているため、シリコン単結晶SMと円環部２７２との間からのドーパント添加融液MDの放熱を抑制でき、シリコン単結晶SMのボトム部における引き上げ方向の温度勾配を大きくすることができる。したがって、組成的過冷却現象によるボトム部における有転位化の発生を抑制できる。

[0041] 熱遮蔽体 27 に切欠部 273 を設けているため、上面視における液面 MD1 の位置確認のための液面露出範囲を十分に確保することができる。したがって、シリコン単結晶 SM の育成中に、ギャップ制御を行うことで、シリコン単結晶 SM のバッチ間での熱履歴や不純物濃度を一定にすることができ、シリコン単結晶 SM の品質を安定させることができる。

[0042] 切欠部 273 が式 (8) , (10) を満たす形状のため、式 (8) を満たさずに切欠部 273 が深すぎる場合や、式 (10) を満たさずに切欠部 273 の幅が広すぎる場合と比べて、液面 MD1 におけるシリコン単結晶 SM 外周方向の温度分布を安定させることができる。したがって、リメルトに起因するシリコン単結晶 SM のトップ部における有転位化の発生を抑制できる。

特に、切欠部 273 を 1 個だけ設けているため、その最大幅を大きくすることができ、液面露出範囲を十分に確保できる。その結果、液面 MD1 の高さ位置を容易に確認できる。

[0043] [第 2 実施形態]

次に、本発明の第 2 実施形態について図 5 を参照して説明する。

第 1 実施形態の単結晶引き上げ装置 1 と第 2 実施形態の単結晶引き上げ装置 1A との相違点は、液面 MD1 の高さ位置検出に撮像を用いる液面位置検出手段 3 の代わりに、レーザ光を用いる液面位置検出手段 3A を適用した点である。

液面位置検出手段 3A は、発光部 31A と、受光部 32A と、位置算出部 33A とを備えている。

[0044] 単結晶引き上げ装置 1A におけるシリコン単結晶 SM の育成中、液面位置検出手段 3A は、発光部 31A で切欠部 273 を介して露出するドーパント添加融液 MD の液面 MD1 にレーザ光 NL を照射する。受光部 32A は、液面 MD1 からの反射光 NR を受光する。このとき、上面視において切欠部 273 から検出非影響領域 MD22 が十分に露出しているため、レーザ光 NL が検出非影響領域 MD22 に入射され、反射光 NR の反射角は、レーザ光 NL の入射角とほぼ同じになる。このため、反射光 NR の反射方向の予測が容

易になり、受光部 3 2 A の適切な位置への設置が容易になる。

位置算出部 3 3 A は、受光部 3 2 A における反射光 N R の受光位置に基づいて、液面 M D 1 の高さ位置を算出する。

そして、制御部 4 は、位置算出部 3 3 A での算出結果に基づいて、ギャップ制御を行う。

[0045] [第 3 実施形態]

次に、本発明の第 3 実施形態について図 2, 5 を参照して説明する。

第 1 実施形態の単結晶引き上げ装置 1 と第 3 実施形態の単結晶引き上げ装置 1 B との相違点は、円環部 2 7 2 に切欠部 2 7 3 が設けられた熱遮蔽体 2 7 の代わりに、円環部 2 7 2 B に切欠部が設けられていない熱遮蔽体 2 7 B を適用した点である。

このような構成では、単結晶引き上げ装置 1 B におけるシリコン単結晶 S M の育成中、液面位置検出手段 3 は、シリコン単結晶 S M と円環部 2 7 2 B 内縁との間から露出する液面 M D 1 を撮像部 3 1 で撮像し、位置算出部 3 2 で液面 M D 1 の高さ位置を算出する。そして、制御部 4 は、位置算出部 3 2 での算出結果に基づいて、ギャップ制御を行う。

[0046] 以上の熱遮蔽体 2 7 B は、上記式 (7) に加えて以下の式 (12) を満たすように構成されていることが好ましい。

$$1. \quad 1.7 \times C \leq R \quad \dots \quad (12)$$

[0047] 式 (12) を満たすことで、円環部 2 7 2 B がシリコン単結晶 S M に接触することを抑制できる。

また、熱遮蔽体 2 7 B が式 (7) を満たすため、シリコン単結晶 S M と円環部 2 7 2 B との間からのドーパント添加融液 M D の放熱を抑制できる。したがって、シリコン単結晶 S M のボトム部における引き上げ方向の温度勾配を大きくすることができ、組成的過冷却現象によるボトム部における有転位化の発生を抑制できる。

[0048] [変形例]

なお、本発明は上記実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要

旨を逸脱しない範囲内において種々の改良ならびに設計の変更などが可能であり、その他、本発明の実施の際の具体的な手順、及び構造などは本発明の目的を達成できる範囲で他の構造などとしてもよい。

[0049] 例えば、単結晶引き上げ装置 1 や単結晶引き上げ装置 1 A において、熱遮蔽体 2 7 の代わりに図 7 A、図 7 B に示す熱遮蔽体 2 7 C、2 7 D を適用してもよい。

熱遮蔽体 2 7 C の円環部 2 7 2 C には、切欠部 2 7 3 C と切欠部 2 7 5 C とが設けられている。切欠部 2 7 3 C と切欠部 2 7 5 C とは、液面 MD 1 におけるシリコン単結晶 SM 外周方向の温度分布を安定させるために、シリコン単結晶 SM の中心を挟んで対称の位置に設けられていることが好ましい。

熱遮蔽体 2 7 D の円環部 2 7 2 D には、切欠部 2 7 3 D と切欠部 2 7 5 D とが設けられている。

熱遮蔽体 2 7 C、2 7 D は、式 (6)、(7) を満たすことが好ましい。

切欠部 2 7 3 C、2 7 5 C、2 7 3 D、2 7 5 D は、式 (8)、(9)、(10)、(11) を満たすことが好ましい。式 (9)、(10) については、切欠部 2 7 3 C、2 7 3 D の最大幅 H 1、切欠部 2 7 5 C、2 7 5 D の最大幅 H 2 のそれぞれが当該式 (9)、(10) を満たしていてもよいし、最大幅 H 1 と最大幅 H 2 との合計幅 H が、当該式 (9)、(10) を満たしていてもよい。なお、式 (8)、(11) における D は、切欠部 2 7 3 C、2 7 5 C、2 7 3 D、2 7 5 D の最深部 2 7 4 C、2 7 6 C、2 7 4 D、2 7 6 D の深さである。

[0050] また、単結晶引き上げ装置 1 や単結晶引き上げ装置 1 A において、熱遮蔽体 2 7 の代わりに図 8、9 に示す下端部が円形の筒状に形成された熱遮蔽体 2 7 E、2 7 F を適用してもよい。

図 8 に示すように、熱遮蔽体 2 7 E は、下方に向かうにしたがって縮径する円錐台筒状の筒部 2 7 1 E のみから構成されている。熱遮蔽体 2 7 E における筒部 2 7 1 E の外周方向の一部には、上方に延びる切欠部 2 7 3 E が設けられている。なお、二点鎖線で示すように、筒部 2 7 1 E の下端から外側

に鰐状に突出する外側突出部 277E を設けてもよい。

熱遮蔽体 27E は、以下の式 (1)、上記式 (6) を満たすことが好ましい。切欠部 273E は、以下の式 (4)、(5)、上記式 (8)、(11) を満たすことが好ましい。なお、式 (8)、(11) における D は、上面視での切欠部 273E の最深部 274E の深さである。

$$R \leq 1.27 \times C \quad \dots (1)$$

C : シリコン単結晶 SM の直胴部 SM3 の半径 (mm)

R : 熱遮蔽体 27E の下端部における内径の半径 (mm)

$$0.051 \leq H/L \quad \dots (4)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \dots (5)$$

H : 上面視における切欠部 273E の最大幅 (mm)

L : 切欠部 273E が無いと仮定した場合における熱遮蔽体 27E の下端部の内周の長さ (mm)

[0051] 図 9 に示すように、熱遮蔽体 27F は、下方に向かうにしたがって縮径する円錐台筒状の筒部 271F のみから構成され、切欠部を備えていない。

熱遮蔽体 27F は、上記式 (1) に加えて、上記式 (12) を満たすことが好ましい。

[0052] 図 6 に示す熱遮蔽体 27B を図 5 に示す単結晶引き上げ装置 1A に適用してもよい。

熱遮蔽体の円環部に設ける切欠部の個数は、3 個以上であってもよいし、形状は半円状など上記形状以外の形状でもよい。

ギャップ制御において、目視により液面 MD1 の高さ位置を認識してもよいし、液面 MD1 の高さ位置を検出せずに過去の製造実績に基づき坩堝 22 を上昇させてもよい。

筒部 271, 271E, 271F は、下方に向かうにしたがって増径する円錐台筒状、上下方向のいずれの位置でも直径が同じ円筒状、円錐台筒状と円筒状とを組み合わせた形状、縮径する円錐台筒状と増径する円錐台筒状とを組み合わせた形状など、下端部が円形の筒状であればいずれの形状であつ

てもよい。

実施例

[0053] 次に、本発明を実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの例によってなんら限定されるものではない。

[0054] [実験1：熱遮蔽体の円環部の内径半径とシリコン単結晶ボトム部における有転位化との関係]

[シリコン単結晶の製造方法]

{実験例1}

熱遮蔽体として、図6に示すように円環部に切欠部が設けられておらず、かつ、以下の表1に示すように円環部の内径の半径（内径半径） R が140mmのものを準備した。この実験例1の熱遮蔽体を図2に示すような単結晶引き上げ装置にセットし、200mmウェーハ用（実際の直胴部の半径 C が102.5mm）、かつ、図4の例1または例2に示すように、直胴部の下端における狙いの抵抗率が $0.5\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $0.7\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下のシリコン単結晶を製造した。なお、ドーパントを赤リンにした。

[0055] {実験例2～9}

実験例2～5については、内径半径 R が表1に示すような値の熱遮蔽体を用いたこと以外は、実験例1と同様の条件でシリコン単結晶を製造した。

実験例6～9については、内径半径 R が表1に示すような熱遮蔽体を用いたことと、300mmウェーハ用（実際の直胴部の半径 C が153.5mm）にしたことと、図4の例3または例4に示すように、直胴部の下端における狙いの抵抗率を $0.78\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $1.0\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下にしたこと以外は、実験例1と同様の条件でシリコン単結晶を製造した。

[0056]

[表1]

	狙いの抵抗率	円環部 (熱遮蔽体の 下端部)の 内径半径 R (mm)	単結晶の 半径 C (mm)	円環部 内径割合 R/C	トライ数	合格数	ボトム部の 無転位化率
実験例1	0.7mΩ・cm以下	140	102.5	1.37	2	0	0%
実験例2		135	102.5	1.32	3	1	33%
実験例3		130	102.5	1.27	5	4	80%
実験例4		125	102.5	1.22	2	2	100%
実験例5		120	102.5	1.17	1	1	100%
実験例6	1.0mΩ・cm以下	200	153.5	1.30	2	0	0%
実験例7		195	153.5	1.27	3	2	67%
実験例8		190	153.5	1.24	4	4	100%
実験例9		185	153.5	1.21	8	8	100%

[0057] [考察]

実験例1～9における円環部内径割合（ R/C ）、シリコン単結晶の製造本数（トライ数）、ボトム部に有転位化が発生していないシリコン単結晶の本数（合格数）、ボトム部の無転位化率（合格数／トライ数）を表1に示す。

表1に示すように、実験例3～5、実験例7～9において、ボトム部の無転位化率が66%を超えた。このときの円環部内径半径（ R/C ）は、1.27以下であった。

このように、シリコン単結晶外縁から円環部内縁までの距離をある程度短くすることで、これらの間からのドーパント添加融液の放熱が抑制され、その結果、ボトム部における引き上げ方向の温度勾配が大きくなり、組成的過冷却現象による有転位化の発生が抑制されたと考えられる。

以上のことから、 R/C が1.27以下となるように、つまり式（7）を満たすように熱遮蔽体を構成することで、ボトム部における有転位化の発生を抑制できることが確認できた。

[0058] [実験2：熱遮蔽体の切欠部形状とシリコン単結晶トップ部における有転位化との関係]

[シリコン単結晶の製造方法]

{実験例 10}

熱遮蔽体として、図3に示すように円環部に1個の切欠部が設けられ、かつ、円環部の内径半径R、上面視における切欠部の最大幅H、円環部の中心から切欠部の最深部までの距離Aが以下の表2に示すような値のものを準備した。この実験例10の熱遮蔽体を図2に示すような単結晶引き上げ装置にセットし、200mmウェーハ用、かつ、図4の例1または例2に示すように、直胴部の下端における狙いの抵抗率が $0.7\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下のシリコン単結晶を製造した。

[0059] {実験例 11～13}

内径半径R、最大幅H、距離Aが表2に示すような熱遮蔽体を用いたこと以外は、実験例10と同様の条件でシリコン単結晶を製造した。

[0060]

[表2]

	実験例10	実験例11	実験例12	実験例13
円環部(熱遮蔽体の下端部)の内径半径R(mm)	117.5	125.0	125.0	125.0
単結晶の半径C(mm)	102.5	102.5	102.5	102.5
円環部内径割合R/C	1.15	1.22	1.22	1.22
切欠部の最大幅H(mm)	56	51	55	55
切欠部が無いと仮定した場合における円環部(熱遮蔽体の下端部)内周の長さL(mm) ($=2\pi R$)	738	785	785	785
切欠部幅割合H/L	0.076	0.065	0.070	0.070
円環部(熱遮蔽体の下端部)の中心から切欠部の最深部までの距離A(mm)	129	132	135	129
切欠部深さ割合R/A	0.911	0.947	0.926	0.969
切欠部の最大深さD(mm) ($=A-R$)	11.5	7.0	10.0	4.0
トライ数	5	20	5	10
合格数	1	17	4	9
トップ部の無転位化率	20%	85%	80%	90%
ギャップ制御の安定性 A:安定、B:不安定	B	A	A	A
式(6) ($122.7 \leq R$)の充足性 A:充足する、B:充足しない	B	A	A	A
R×0.08の値	9.4	10	10	10
式(8) ($D \leq R \times 0.08$)の充足性 A:充足する、B:充足しない	B	A	A	A

[0061] [考察]

実験例10～13における円環部内径割合 (R/C)、切欠部が無いと仮定した場合における円環部内周の長さ L ($L = 2\pi R$)、切欠部幅割合 (H/L)、切欠部深さ割合 (R/A)、切欠部の最大深さ D ($=A-R$)、トライ数、合格数、直胴部におけるトップ部の無転位化率 (合格数/トライ数)、ギャップ制御の安定性を表2に示す。

表2に示すように、実験例11～13において、トップ部の無転位化率が80%を超え、かつ、ギャップ制御を安定して行えた。一方で、実験例10では、トップ部の無転位化率が20%と低くなり、かつ、ギャップ制御を安

定して行えなかった。

実験例 11～13 の切欠部幅割合 (H/L) は、0.065 以上 0.070 以下であり、切欠部深さ割合 (R/A) は、0.926 以上 0.969 以下であった。

なお、ギャップ制御を安定して行えたとは、液面 MD1 と円環部 272 の下面との距離 K を設定値 $\pm 2\text{ mm}$ の範囲で制御できたということである。

[0062] H/L が 0.070 を超える場合、つまり切欠部の幅が広すぎる場合、トップ部の無転位化率が低くなるのは、ドーパント添加融液液面におけるシリコン単結晶外周方向の温度分布が不安定になり、その結果、シリコン単結晶の肩部にリメルトに起因するリメルト成長領域が形成され、トップ部に有転位化が発生したためと考えられる。

また、切欠部の最大幅 H は、ギャップ制御を行うに際し液面露出範囲を十分に確保するためには、40 mm 以上あることが好ましい。このことから、 H/L が 0.051 ($=40/785$) 以上となるように熱遮蔽体を構成することが好ましい。

以上のことから、式 (9)、(10) を満たすように熱遮蔽体を構成することで、トップ部における有転位化の発生を抑制できるとともに、適切なギャップ制御により品質が安定したシリコン単結晶を得られることができることが確認できた。

[0063] R/A が 0.926 未満の場合、つまり切欠部が深すぎる場合、トップ部の無転位化率が低くなるのは、切欠部の幅が広すぎる場合と同様に、ドーパント添加融液液面におけるシリコン単結晶外周方向の温度分布が不安定になったためと考えられる。

また、 R/A が 0.969 を超える場合、つまり切欠部が浅すぎる場合、ギャップ制御を行うに際し液面露出範囲を十分に確保できないおそれがある。

以上のことから、以下の式 (2)、(3) を満たすように熱遮蔽体を構成することで、トップ部における有転位化の発生を抑制できるとともに、適切

なギャップ制御により品質が安定したシリコン単結晶を得られることができることが確認できた。

$$0.926 \leq R/A \quad \cdots \quad (2)$$

$$R/A \leq 0.969 \quad \cdots \quad (3)$$

[0064] ここで、シリコン単結晶の周囲には必然的にメニスカスが発生するため、より安定したギャップ制御を行いシリコン単結晶の品質を高めるためには、メニスカスの検出非影響領域を切欠部から露出させることが好ましい。そのためには、切欠部の最深部の位置を検出影響領域の外側に位置させる必要がある。

上述のように検出影響領域の幅は30mmであり、式(2)から R/A （切欠部深さ割合）の最小値が0.926と決まっていることから、式(2)の「A」に「C（シリコン単結晶の半径）+30（検出影響領域の幅）」を代入して変形することで、式(6)を得ることができる。

[0065] 式(6)に実験例10～13のCの値を代入すると、「 $122.7 \leq R$ 」という式が得られる。この式の充足性を確認すると、実験例11～13は充足するが、実験例10は充足しない。この結果は、表2におけるギャップ制御の安定性の評価結果と一致する。

したがって、式(6)を満たすように熱遮蔽体を構成することで、ギャップ制御の安定性を図ることができ、その結果、より品質が安定したシリコン単結晶を得られることができることが確認できた。

[0066] また、上述したメニスカスを考慮に入れた切欠部の深さについて検討すると、切欠部の最大深さDは「 $A-R$ 」で表される。式(2)から R/A の最小値が0.926と決まっていることから、式(2)に「 $A-R$ 」を代入して変形することで、式(8)を得ることができる。

式(8)に実験例10～13のRの値を代入して、その充足性を確認すると、実験例11～13は充足するが、実験例10は充足しない。この結果は、表2におけるギャップ制御の安定性の評価結果と一致する。

したがって、好ましくは、式(6)に加えて、式(8)を満たすように熱

遮蔽体を構成することで、ギャップ制御の安定性を図ることができ、より品質が安定したシリコン単結晶を得られることができることが確認できた。

符号の説明

[0067] 1, 1 A, 1 B…単結晶引き上げ装置、2 1…チャンバ、2 2…坩堝、2 3…坩堝駆動部、2 6…引き上げ部、2 7, 2 7 B, 2 7 C, 2 7 D, 2 7 E, 2 7 F…熱遮蔽体、2 7 1…筒部、2 7 2, 2 7 2 B, 2 7 2 C, 2 7 2 D…円環部、2 7 3, 2 7 3 C, 2 7 3 D, 2 7 3 E, 2 7 3 F, 2 7 5 C, 2 7 5 D…切欠部、MD…ドーパント添加融液、SM…シリコン単結晶、SM 3…直胴部。

請求の範囲

- [請求項1] シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、
 前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、
 種子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、
 前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲むように設けられ、下端部が円形の筒状に形成された熱遮蔽体と、
 前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備える単結晶引き上げ装置を用いたシリコン単結晶の製造方法であって、
 以下の式（１）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

$$R \leq 1.27 \times C \quad \dots \quad (1)$$

C：前記シリコン単結晶の直胴部の半径（mm）

R：前記熱遮蔽体の下端部における内径の半径（mm）

- [請求項2] 請求項１に記載のシリコン単結晶の製造方法において、
 前記熱遮蔽体の下端部の内縁から外縁側に凹む切欠部が設けられた前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

- [請求項3] 請求項２に記載のシリコン単結晶の製造方法において、
 以下の式（２），（３）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

$$0.926 \leq R/A \quad \dots \quad (2)$$

$$R/A \leq 0.969 \quad \dots \quad (3)$$

A：前記熱遮蔽体の下端部の中心から上面視での前記切欠部における前記下端部の径方向最深部までの距離（mm）

- [請求項4] 請求項２または請求項３に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

以下の式（４），（５）を満たす前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

$$0.051 \leq H/L \quad \cdots \quad (4)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \cdots \quad (5)$$

H：上面視における前記切欠部の最大幅（mm）

L：前記切欠部が無いと仮定した場合における前記熱遮蔽体の下端部の内周の長さ（mm）

[請求項5] 請求項４に記載のシリコン単結晶の製造方法において、
１個の前記切欠部が設けられた前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項6] 請求項２から請求項５のいずれか一項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

前記シリコン単結晶の育成中に、前記切欠部を介して露出する前記ドーパント添加融液の液面を撮像し、この撮像結果に基づき前記ドーパント添加融液の液面の高さ位置を検出し、前記液面と前記熱遮蔽体下端との距離が所定値になるように前記坩堝を上昇させることを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項7] 請求項２から請求項５のいずれか一項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

前記シリコン単結晶の育成中に、前記切欠部を介して露出する前記ドーパント添加融液の液面にレーザ光を照射してその反射光を受光し、この受光結果に基づき前記ドーパント添加融液の液面の高さ位置を検出し、前記液面と前記熱遮蔽体下端との距離が所定値になるように前記坩堝を上昇させることを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項8] 請求項１から請求項７のいずれか一項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

下方に向かうにしたがって縮径する円錐台筒状の筒部と、前記筒部の下端部からその中心に向かって突出する円環状の円環部とを備えた

前記熱遮蔽体を用いて前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項9] 請求項1から請求項8のいずれか一項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

直胴部から直径が200mmのシリコンウェーハを取得でき、かつ、前記直胴部下端の抵抗率が $0.5\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $0.7\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項10] 請求項1から請求項8のいずれか一項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、

直胴部から直径が300mmのシリコンウェーハを取得でき、かつ、前記直胴部下端の抵抗率が $0.78\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $1.0\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の前記シリコン単結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

[請求項11] シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、

前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、

種子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、

前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備える単結晶引き上げ装置に設けられ、前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲む熱遮蔽体であって、

下端部が円形の筒状に形成された筒部と、

前記筒部の下端部からその中心に向かって突出する円環状の円環部とを備え、

前記円環部は、その内縁から外縁側に凹む切欠部を備え、以下の式(6)、(7)を満たすように構成されていることを特徴とする熱遮蔽体。

$$(C + 30) \times 0.926 \leq R \quad \dots \quad (6)$$

$$R \leq 1.27 \times C \quad \dots \quad (7)$$

C : 前記シリコン単結晶の直胴部の半径 (mm)

R : 前記円環部の内径の半径 (mm)

[請求項12]

請求項11に記載の熱遮蔽体において、

前記切欠部は、以下の式(8)を満たすように設けられていることを特徴とする熱遮蔽体。

$$D \leq R \times 0.08 \quad \dots \quad (8)$$

D : 前記円環部の上面視における前記切欠部の最大深さ (mm)

[請求項13]

請求項11または請求項12に記載の熱遮蔽体において、

前記切欠部は、以下の式(9), (10)を満たすように設けられていることを特徴とする熱遮蔽体。

$$0.051 \leq H/L \quad \dots \quad (9)$$

$$H/L \leq 0.070 \quad \dots \quad (10)$$

H : 前記円環部の上面視における前記切欠部の最大幅 (mm)

L : 前記切欠部が無いと仮定した場合における前記円環部の内周の長さ (mm)

[請求項14]

請求項13に記載の熱遮蔽体において、

1個の前記切欠部が設けられていることを特徴とする熱遮蔽体。

[請求項15]

シリコン融液に赤リンが添加されたドーパント添加融液を収容する坩堝と、

前記坩堝を昇降および回転させる坩堝駆動部と、

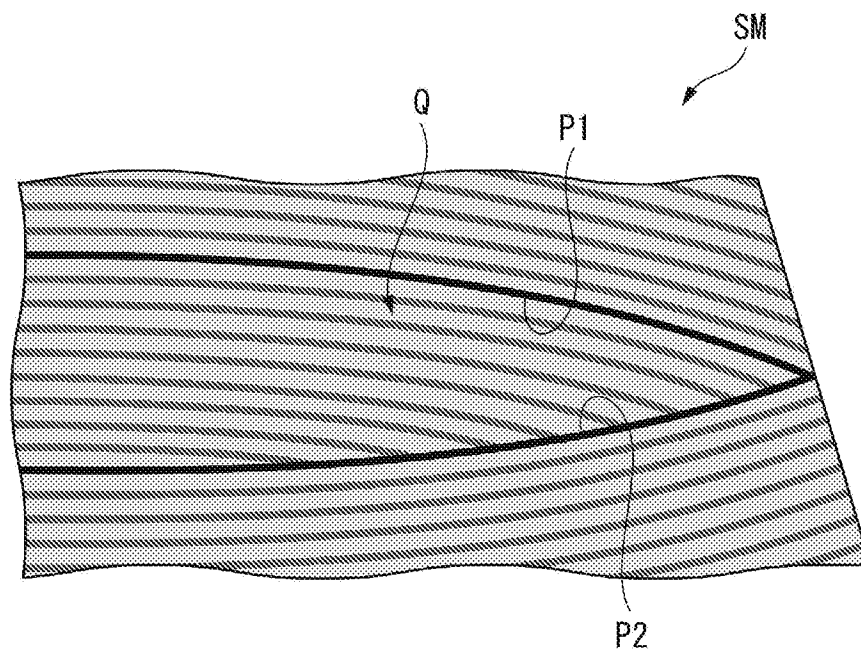
種子結晶を前記ドーパント添加融液に接触させた後に引き上げることで、シリコン単結晶を育成する引き上げ部と、

前記坩堝の上方において前記シリコン単結晶を囲むように設けられた請求項11から請求項14のいずれか一項に記載の熱遮蔽体と、

前記坩堝および前記熱遮蔽体を収容するチャンバとを備えることを

特徴とする単結晶引き上げ装置。

[図1]



[図2]

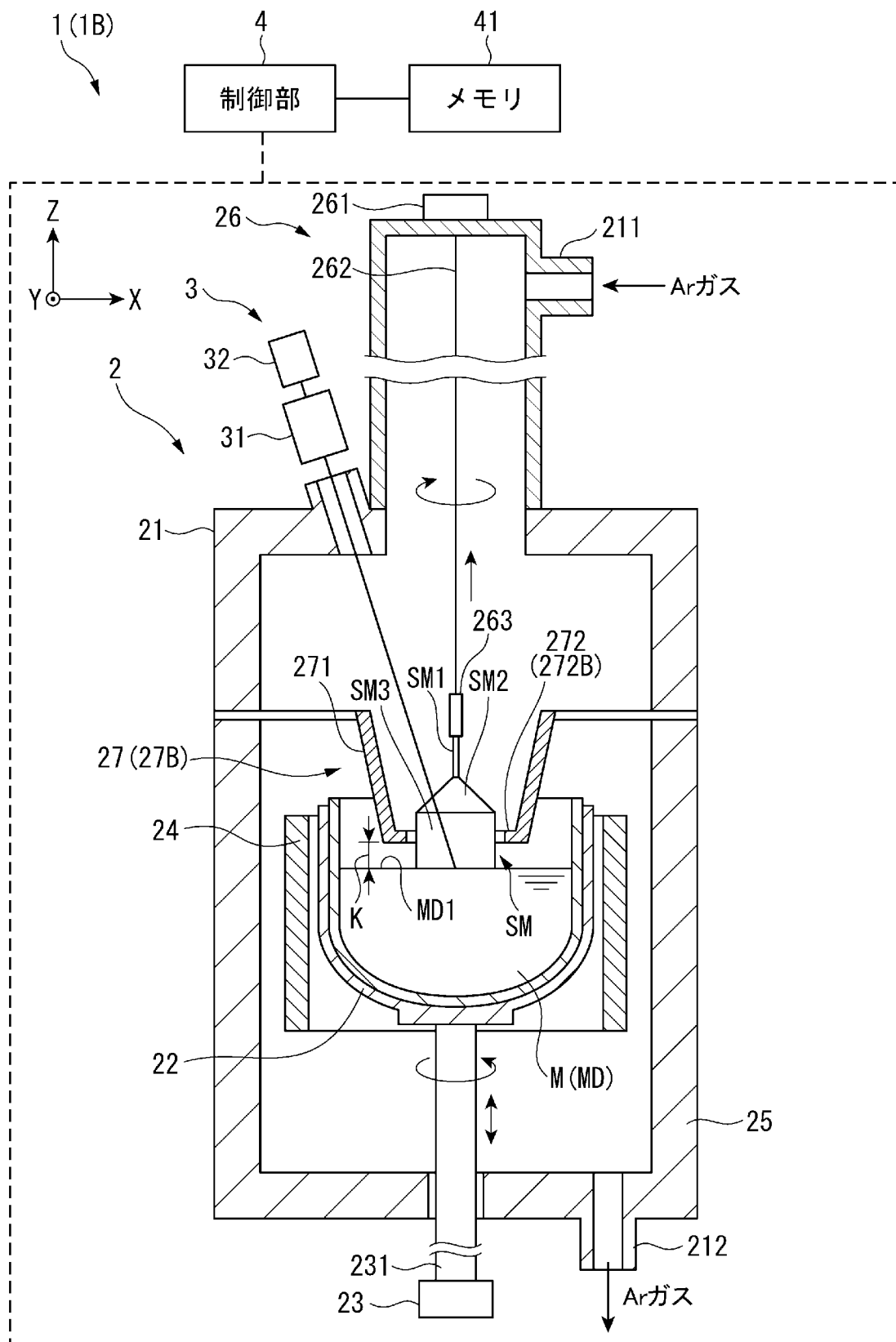
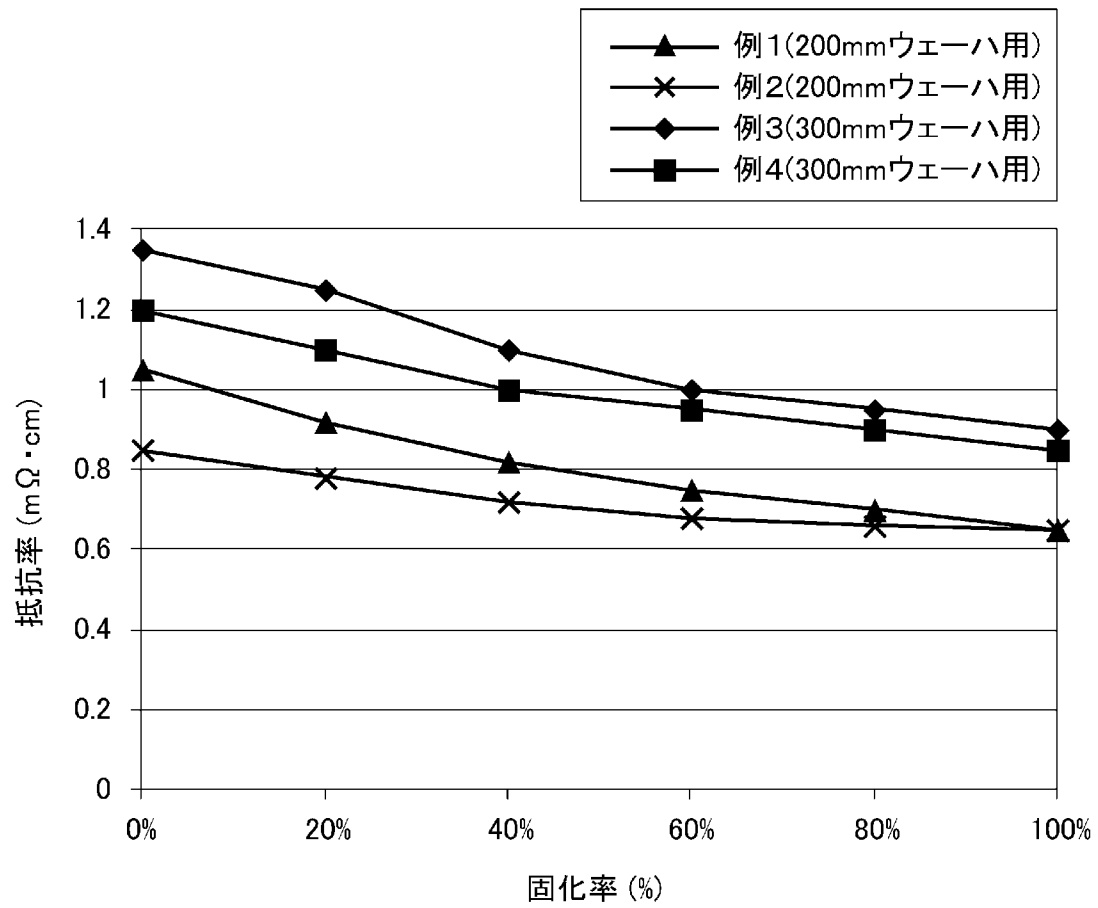
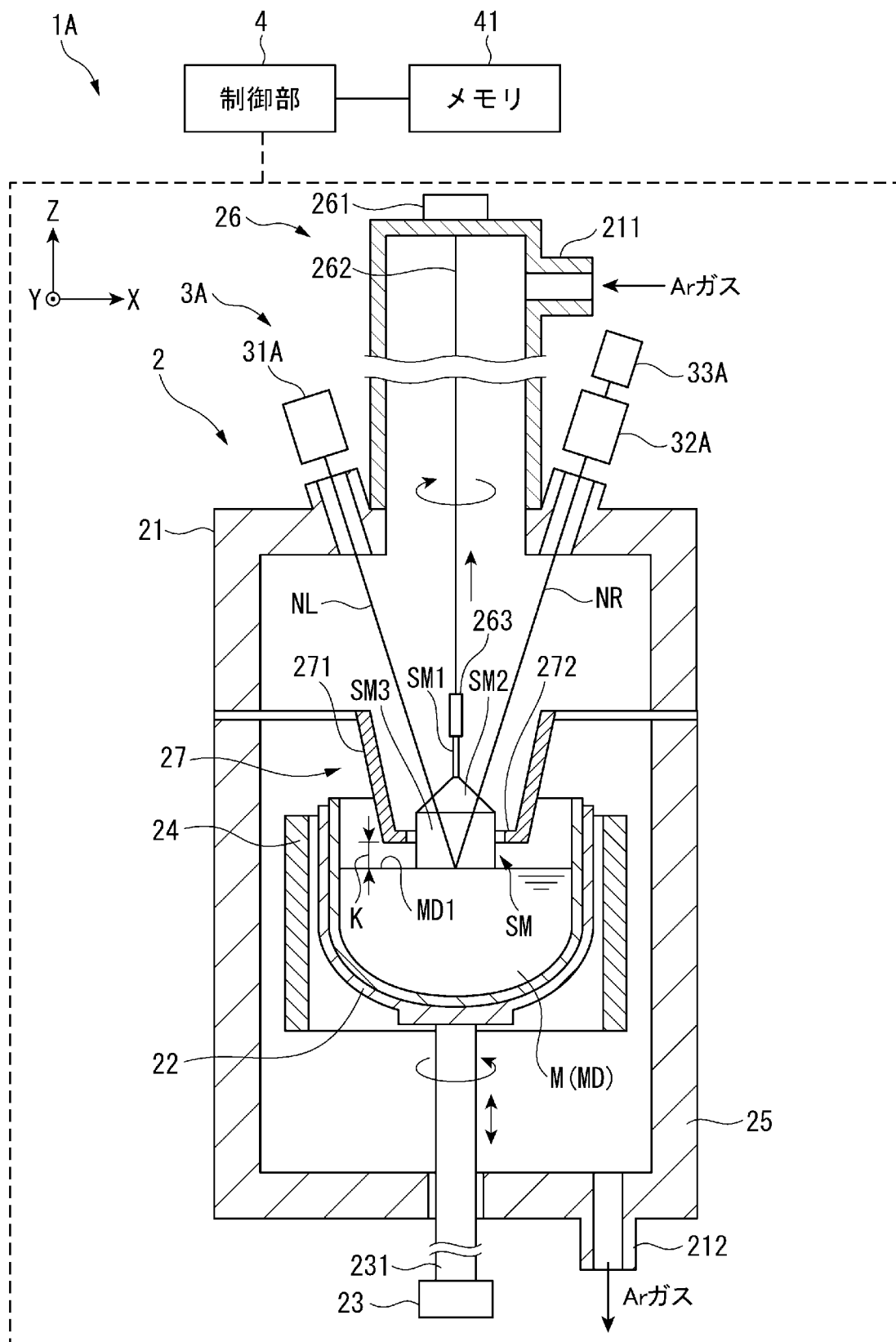


Figure 1 illustrates a circular device 27 in two views: a plan view (top) and a cross-sectional view (bottom). The plan view shows concentric circles MD1, MD2, MD21, and MD22, with dimensions A, R, C, D, and H. The cross-sectional view shows the device 27 with layers MD1, MD2, MD21, and MD22, and dimensions K, ML, and SM. Coordinate systems (Y, Z) and (X, Z) are shown.

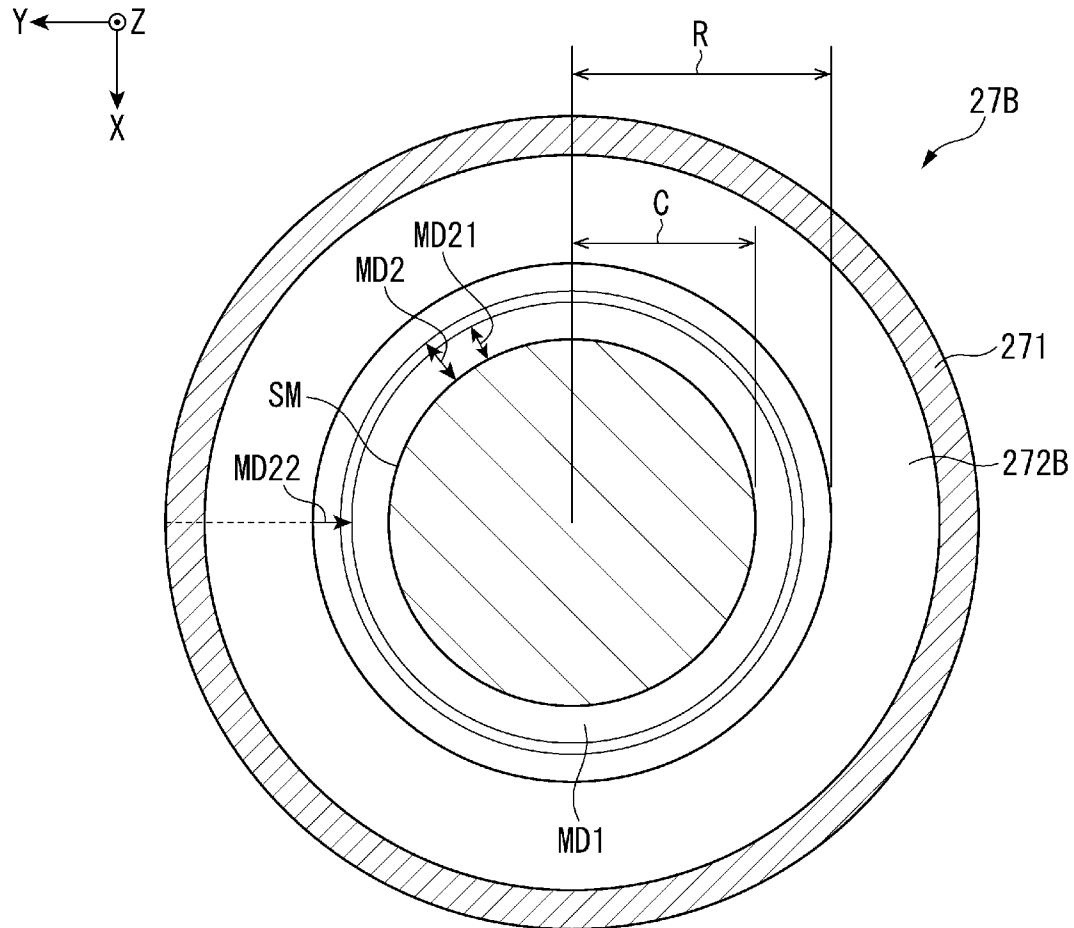
[図4]



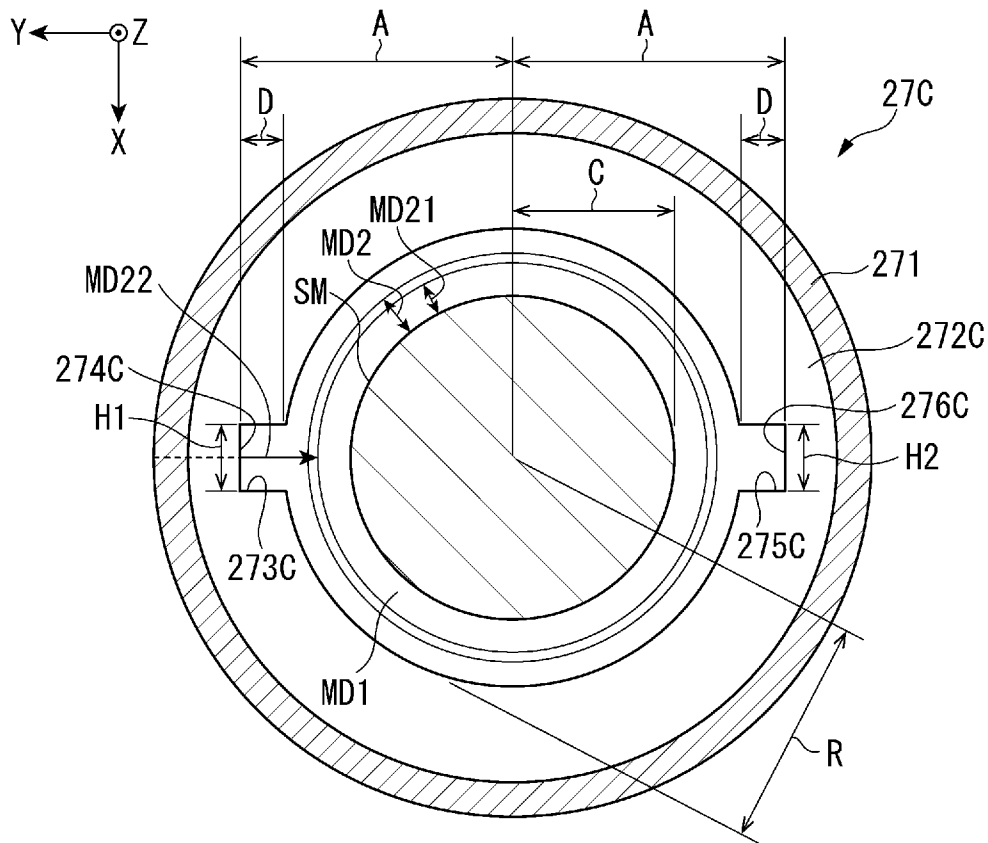
[図5]



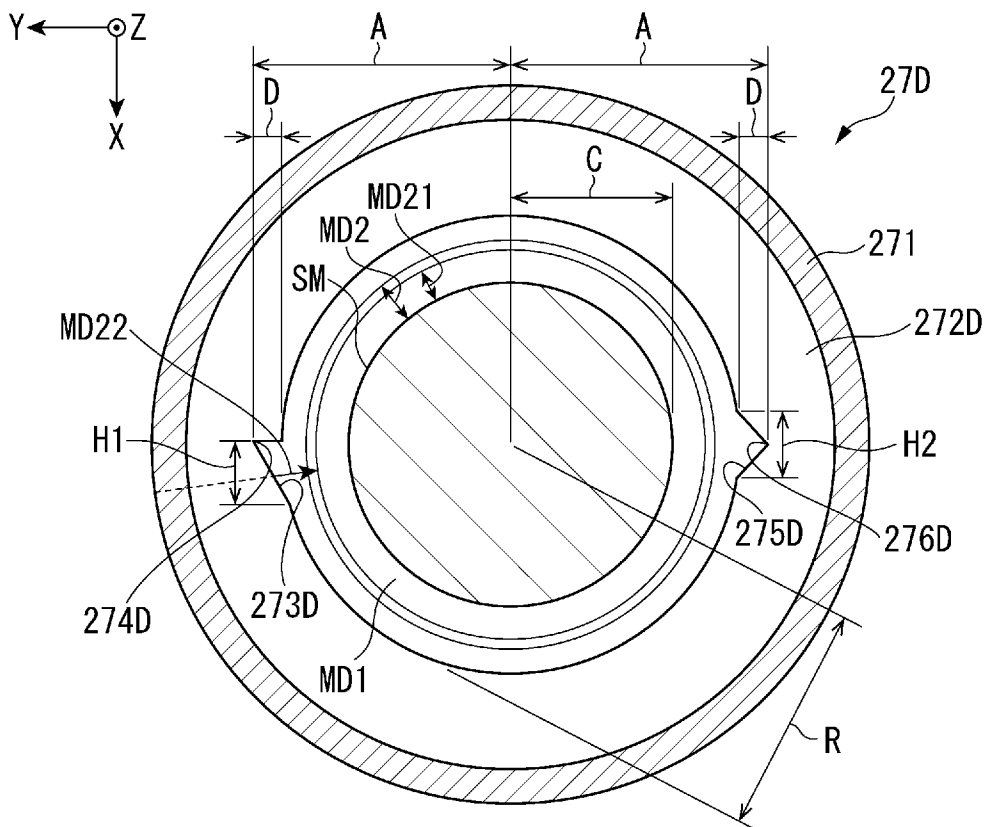
[図6]



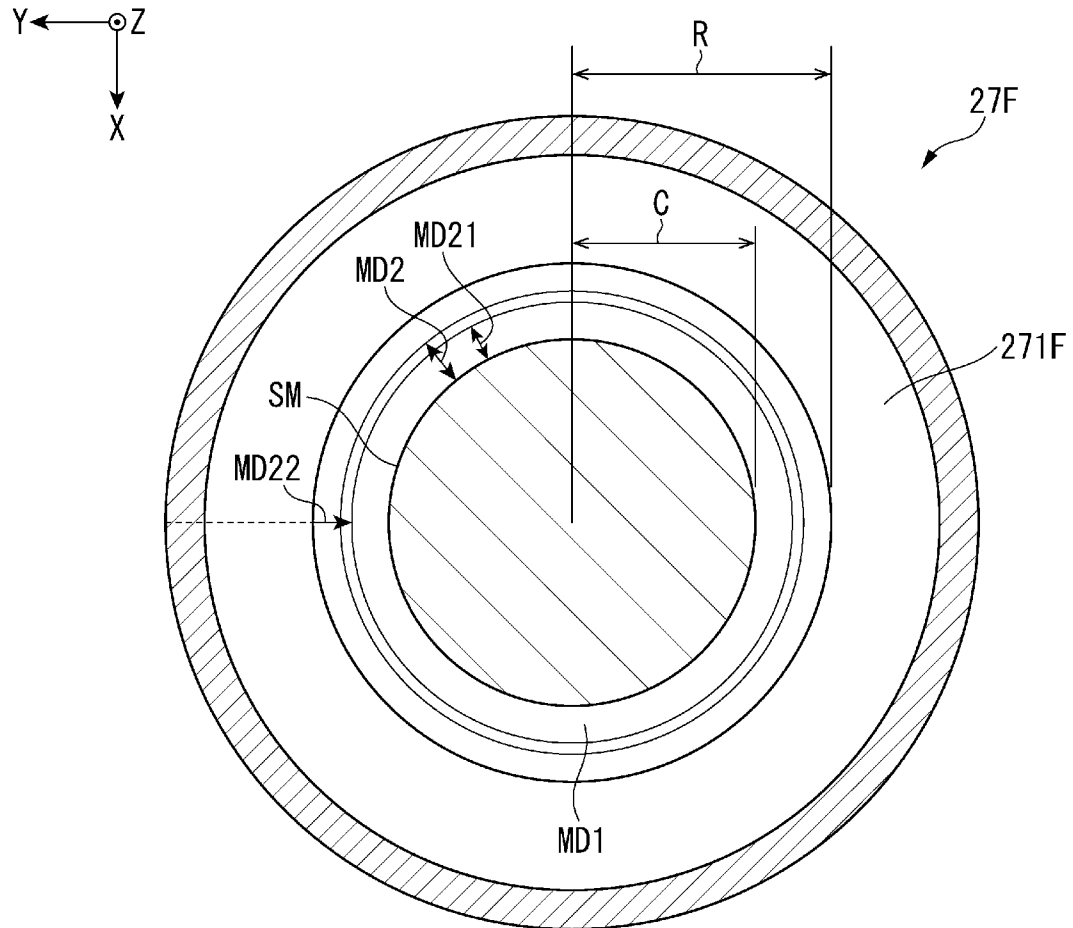
[図7A]



[図7B]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/036992

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. C30B29/06 (2006.01) i, C30B15/00 (2006.01) i, C30B15/20 (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)

Int.Cl. C30B29/06, C30B15/00, C30B15/20

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model applications of Japan	1994-2017

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.
A	JP 2016-529198 A (LG SILTRON INC.) 23 September 2016, claims 1-17, paragraphs [0036]-[0054], fig. 1-6 & US 2016/0208408 A1, claims 1-17, paragraphs [0041]-[0054], fig. 1-6 & WO 2015/030408 A1	1-15
A	JP 2013-075785 A (GLOBALWAFERS JAPAN CO., LTD.) 25 April 2013, claims 1-5, paragraph [0019], fig. 1, 2 (Family: none)	1-15

☒ 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
01 December 2017

Date of mailing of the international search report
12 December 2017

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/JP2017/036992

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 1556257 A (NINGBO LILI ELECTRONICS CO., LTD.) 22 December 2004, claims 1-5, fig. 1, 5 (Family: none)	1-15
A	JP 2010-202436 A (SUMCO CORPORATION) 16 September 2010, claims 1-3, paragraphs [0023]-[0033], fig. 1-4 (Family: none)	1-15
A	JP 2010-024129 A (SUMCO CORPORATION) 04 February 2010, claims 1, 2, fig. 1 (Family: none)	1-15
A	JP 2001-039798 A (MITSUBISHI MATERIALS SILICON CORP.) 13 February 2001, claims 1, 2, fig. 1-3 (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. C30B29/06(2006.01)i, C30B15/00(2006.01)i, C30B15/20(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. C30B29/06, C30B15/00, C30B15/20

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）

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 2016-529198 A（エルジー シルトロン インコーポレイテッド） 2016.09.23, 請求項 1-17, 段落[0036]-[0054], 図 1-6 & US 2016/0208408 A1, 請求項 1-17 段落[0041]-[0054], 図 1-6 & WO 2015/030408 A1	1-15
A	JP 2013-075785 A（グローバルウェーブズ・ジャパン株式会社） 2013.04.25, 請求項 1-5, 段落[0019], 図 1, 2（ファミリーなし）	1-15

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

01.12.2017

国際調査報告の発送日

12.12.2017

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）

森坂 英昭

4 G

4760

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	CN 1556257 A (NINGBO LILI ELECTRONICS CO LTD) 2004. 12. 22, 請求項 1-5, 図 1, 5 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2010-202436 A (株式会社 S U M C O) 2010. 09. 16, 請求項 1-3, 段落[0023]-[0033], 図 1-4 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2010-024129 A (株式会社 S U M C O) 2010. 02. 04, 請求項 1, 2, 図 1 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2001-039798 A (三菱マテリアルシリコン株式会社) 2001. 02. 13, 請求項 1-2, 図 1-3 (ファミリーなし)	1-15