

(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
2014 年 12 月 18 日(18.12.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/199571 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 29/36 (2006.01) **C30B 25/16** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/002695
- (22) 国際出願日: 2014 年 5 月 22 日(22.05.2014)
- (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 2013-123800 2013 年 6 月 12 日(12.06.2013) 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: 牧野 英美(MAKINO, Emi); 〒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). 小島 淳(KOJIMA, Jun); 〒

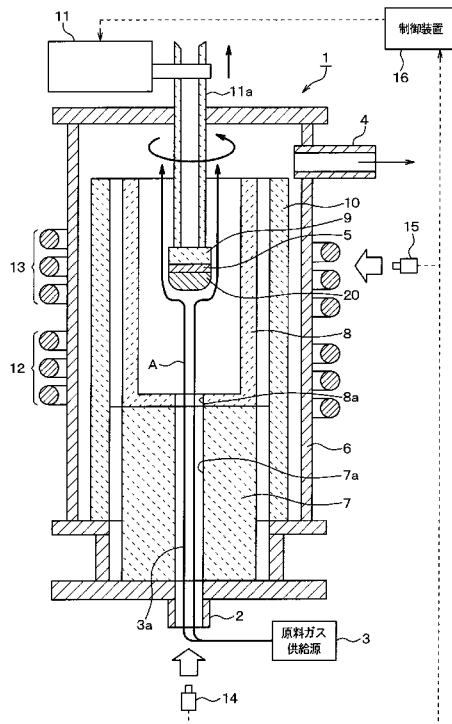
4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 徳田 雄一郎(TOKUDA, Yuuichirou); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 土田 秀一(TSUCHIDA, Hidekazu); 〒1008126 東京都千代田区大手町 1-6-1 一般財団法人電力中央研究所内 Tokyo (JP). 鎌田 功穂(KAMATA, Isaho); 〒1008126 東京都千代田区大手町 1-6-1 一般財団法人電力中央研究所内 Tokyo (JP). 星乃 紀博(HOSHINO, Norihiro); 〒1008126 東京都千代田区大手町 1-6-1 一般財団法人電力中央研究所内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 金 順姫(KIN, Junhi); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦 2 丁目 1 3 番 1 9 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: PRODUCTION METHOD FOR SILICON CARBIDE SINGLE CRYSTAL

(54) 発明の名称: 炭化珪素単結晶の製造方法



(57) Abstract: In this production method for a SiC single crystal, a pedestal (9) is disposed inside a heating container (8) configuring a reaction chamber in which a SiC single crystal (20) is grown, a seed crystal (5) is adhered to the pedestal (9), the SiC single crystal is grown on the seed crystal by subjecting a starting-material gas to thermal decomposition in the heating container, the growth rate of the SiC single crystal is compared with a threshold range centred on a target value, if the growth rate is within the threshold range, the rotation speed of the seed crystal is maintained, in cases when the growth rate is greater than an upper-limit value of the threshold range, the rotation speed is maintained or reduced, and in cases when the growth rate is less than a lower-limit value of the threshold range, the rotation speed is increased.

(57) 要約: SiC 単結晶の製造方法は、SiC 単結晶 (20) を成長させる反応室を構成する加熱容器 (8) 内に台座 (9) を配置し、該台座 (9) に種結晶 (5) を貼り付け、前記加熱容器にて原料ガスを加熱分解して該種結晶に SiC 単結晶を成長させ、前記 SiC 単結晶の成長速度と、狙い値を中心とした閾範囲とを比較判定し、前記閾範囲内であれば、種結晶の回転速度を維持し、前記閾範囲の上限値よりも大きい場合には、前記回転速度を維持もしくは低下させ、前記閾範囲の下限値よりも小さい場合には、前記回転速度を上昇させることを備える。

3 Starting-material-gas supply source
16 Control device

WO 2014/199571 A1



IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, 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.

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).

(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ

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：炭化珪素単結晶の製造方法

関連出願の相互参照

[0001] 本開示は、2013年6月12日に出願された日本出願番号2013-123800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、パワーMOSFET等の素材に利用することができる炭化珪素（以下、SiCという）単結晶の製造方法に関するものである。

背景技術

[0003] 従来、SiC単結晶を種結晶上に成長させるSiC単結晶の製造方法として、例えば特許文献1に示す方法が提案されている。この製造方法では、SiC単結晶にて構成される種結晶の表面にSiC原料ガスを供給するというガス成長法により、種結晶の表面にSiC単結晶を成長させる。このとき、SiC原料ガスが当る位置が成長表面の中心位置からずれていても成長表面へのガス供給量が均一になるようにすること、および、SiC単結晶の周囲に生成されるSiC多結晶との固着防止のために、SiC単結晶を回転させている。また、SiC単結晶の成長表面が凹形状になる凹面成長だと品質の劣化を招くため、成長表面が平坦なフラット成長もしくは凸形状となる凸面成長となるように、成長表面での温度分布を制御しながらSiC単結晶を成長させている。

[0004] しかしながら、SiC単結晶の成長時間の短縮化、ひいては低コスト化のためには、さらなるSiC単結晶の高速成長が望まれる。SiC単結晶を高速成長させるためには、SiC単結晶の成長表面に衝突するSiC原料ガスの流速を大きくすれば良く、それを実現するためには、例えば、種結晶の真下においてSiC原料ガスの供給口の開口幅を狭めるなどの手法が考えられる。ところが、供給口の開口幅を狭めると、SiC原料ガスが供給される範囲が狭くなるため、成長表面内において成長速度が不均一になるという問題

を発生させる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2002-154898号公報

発明の概要

[0006] 本開示は、高品質なSiC単結晶をさらに高速成長させられるSiC単結晶の製造方法を提供することを目的とする。

[0007] 本開示の第一の態様において、炭化珪素単結晶の製造方法は、炭化珪素単結晶を成長させる反応室を構成する加熱容器内に台座を配置し、該台座に種結晶を貼り付け、前記加熱容器を通じて炭化珪素の原料ガスを供給することで、前記加熱容器にて前記原料ガスを加熱分解して前記種結晶の表面に供給し、該種結晶の表面に前記炭化珪素単結晶を成長させ、前記炭化珪素単結晶の成長速度が狙い値を中心とした閾範囲内であるか、その閾範囲の上限値よりも大きいか、もしくは閾範囲の下限值より小さいかを判定し、前記閾範囲内であれば、種結晶の回転速度を維持し、前記閾範囲の上限値よりも大きい場合には、前記回転速度を維持もしくは低下させ、前記閾範囲の下限值よりも小さい場合には、前記回転速度を上昇させることを備える。

[0008] 上記の方法において、所定の回転速度で台座および種結晶を回転させることでSiC単結晶の成長表面を回転させ、SiC単結晶の成長速度が増加するか低下するか、凸面成長しているか凹面成長しているかに基づいて、回転速度を制御するようにしている。具体的には、成長速度が狙い値を中心とした閾範囲の上限値よりも大きければ回転速度を維持もしくは低下させ、閾範囲の下限值よりも小さければ回転速度を上昇させる。凸面成長であれば回転速度を維持もしくは低下させ、凹面成長であれば回転速度を上昇させる。このように、SiC単結晶の成長表面を例えば500rpm以上で高速回転させることによって高速成長を可能としつつ、成長速度に応じて回転速度を制御することでSiC単結晶がフラット成長もしくは凸面成長となるように制御できる。これにより、高品質なSiC単結晶をさらに高速成長させること

が可能となる。

図面の簡単な説明

- [0009] 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。その図面は、
- [図1]図1は、本開示の第1実施形態にかかる結晶製造装置の断面図であり、
- [図2]図2は、S i C単結晶の成長表面を回転させていない場合と回転速度を変化させて回転させた場合それぞれについての成長表面の各部での成長速度を表した図であり、
- [図3]図3は、S i C単結晶の成長面の中心となる結晶中心と外周位置となる結晶端それぞれについて、回転速度に対する成長速度の変化を表した図であり、
- [図4]図4は、成長速度とフラット度との関係を示した図であり、
- [図5]図5は、本開示の第3実施形態にかかる結晶製造装置の断面図であり、
- [図6]図6は、本開示の第4実施形態で説明するS i C原料ガスを導入しない状態でシャフトを高速回転させたときの種結晶のエッチング速度を示した図であり、
- [図7]図7は、加熱容器内の温度変化に対するS i C原料ガスの供給量およびシャフトの回転速度の関係を示した図であり、
- [図8]図8は、第4実施形態の変形例で説明する加熱容器内の温度変化に対するS i C原料ガスの供給量およびシャフトの回転速度の関係を示した図であり、
- [図9]図9は、本開示の第5実施形態にかかる結晶製造装置の部分拡大断面図であり、
- [図10]図10は、図9中のX-X断面図であり、
- [図11]図11は、図9中のXI-XI断面図であり、
- [図12]図12は、本開示の第6実施形態にかかる結晶製造装置の断面図であり、
- [図13]図13は、図12に示す結晶製造装置における台座近傍の拡大断面図

であり、

[図14]図14は、図13のXIV-XIV線上においてシャフトの切断した断面の斜視図である。

発明を実施するための形態

[0010] 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。

[0011] (第1実施形態)

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。

[0012] (第1実施形態)

本開示の第1実施形態について説明する。まず、図1を参照して、本実施形態のSiC単結晶の製造方法が適用されるSiC単結晶製造装置（以下、単に結晶製造装置という）について説明する。

[0013] 図1に示すように、結晶製造装置1に底部に流入口2が備えられており、この流入口2を通じて、原料ガス供給源3からのSiC原料ガス3aをキャリアガスやエッチングガスと共に導入する。また、結晶製造装置1には、上部に流出口4が備えられており、この流出口4を通じてSiC原料ガス3aのうちの未反応ガスなどを排出する。そして、結晶製造装置1は、装置内に配置したSiC単結晶基板からなる種結晶5上にSiC単結晶を成長させることにより、SiC単結晶20のインゴットを形成する。

[0014] 具体的には、結晶製造装置1には、原料ガス供給源3、真空容器6、下部断熱材7、加熱容器8、台座9、外周断熱材10、回転引上機構11、第1、第2加熱装置12、13、温度測定部14、成長量および形状観測部15および制御装置16が備えられている。

[0015] 原料ガス供給源3は、キャリアガスやエッチングガスと共にSiおよびCを含有するSiC原料ガス3aを流入口2より供給する。例えば、SiC原

料ガス 3 a としては、シラン、四塩化珪素等のシラン系ガスとプロパン等の炭化水素系ガスの混合ガスを用いている。

[0016] 真空容器 6 は、石英ガラスなどで構成され、中空円筒状の部材で構成されている。真空容器 6 は、キャリアガスやエッチングガスおよび S i C 原料ガス 3 a の導入導出が行え、かつ、結晶製造装置 1 の他の構成要素を収容すると共に、その収容している内部空間の圧力を真空引きすることにより減圧できる構造とされている。この真空容器 6 の底部に S i C 原料ガス 3 a などの流入口 2 が設けられ、上部（具体的には側壁の上方位置）に S i C 原料ガス 3 a などの流出口 4 が設けられている。

[0017] 下部断熱材 7 は、円筒形状を為しており、真空容器 6 に対して同軸的に配置され、中空部により S i C 原料ガス 3 a などが導入されるガス導入管 7 a を構成している。下部断熱材 7 は、例えば黒鉛や表面を T a C（炭化タantal）、N b C（炭化ニオブ）、Z r C（炭化ジルコニウム）などの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などで構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。なお、下部断熱材 7 は温度測定用の穴を有してもよい。

[0018] 加熱容器 8 は、種結晶 5 の表面に S i C 単結晶 2 0 を成長させる反応室を構成しており、例えば黒鉛や表面を T a C、N b C、Z r C などの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛または T a C、N b C、Z r C などの高融点金属炭化物などで構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。この加熱容器 8 は、台座 9 を囲むように、台座 9 に対して S i C 原料ガス 3 a の流動方向の上流側より下流側まで配置されている。この加熱容器 8 により、流入口 2 から供給された S i C 原料ガス 3 a を種結晶 5 に導くまでに、S i C 原料ガス 3 a に含まれたパーティクルを排除しつつ、S i C 原料ガス 3 a を加熱分解している。

[0019] 具体的には、加熱容器 8 は、中空円筒状部材を有した構造とされ、本実施形態の場合は有底円筒状部材で構成されている。加熱容器 8 には、底部に下部断熱材 7 の中空部と連通させられるガス導入口 8 a が備えられ、下部断熱

材 7 の中空部を通過してきた S i C 原料ガス 3 a がガス導入口 8 a を通じて加熱容器 8 内に導入される。

[0020] 台座 9 は、加熱容器 8 の中心軸と同軸的に配置された円盤状部材であり、例えば黒鉛や表面を T a C、N b C、Z r C などの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などまたは T a C、N b C、Z r C などの高融点金属炭化物で構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。この台座 9 に、種結晶 5 が貼り付けられ、種結晶 5 の表面に S i C 単結晶 2 0 を成長させる。

[0021] 外周断熱材 1 0 は、加熱容器 8 や台座 9 の外周を囲むことで、加熱容器 8 とそれよりも外周側とを断熱する。本実施形態の場合、外周断熱材 1 0 は、例えば円筒形状で構成されており、真空容器 6 および加熱容器 8 に対して同軸的に配置されている。この外周断熱材 1 0 も、例えば黒鉛や表面を T a C、N b C、Z r C などの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などで構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。

[0022] 回転引上機構 1 1 は、ギヤやモータなどを備えた機構を有し、シャフト 1 1 a を例えば一定トルクで回転させつつ、シャフト 1 1 a の引上げを行う。シャフト 1 1 a は、一端が台座 9 のうちの種結晶 5 の貼付面と反対側の面に接続されており、他端が回転引上機構 1 1 の本体に接続されている。このシャフト 1 1 a も、例えば黒鉛や表面を T a C などの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などで構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。このような構成により、シャフト 1 1 a と共に台座 9、種結晶 5 および S i C 単結晶 2 0 の回転および引き上げが行え、S i C 単結晶 2 0 の成長表面が所望の温度分布となるようにしつつ、S i C 単結晶 2 0 の成長に伴って、その成長量に応じた引き上げ量に調整できる。また、S i C 単結晶 2 0 の成長表面を回転させることができる。

[0023] 第 1、第 2 加熱装置 1 2、1 3 は、誘導加熱用コイルやヒータによって構成され、真空容器 6 の周囲を囲むように配置されている。これら第 1、第 2 加熱装置 1 2、1 3 は、それぞれ独立して温度制御できるように構成されて

いる。このため、より細やかな温度制御を行うことができる。第1加熱装置12は、加熱容器8の下方と対応した位置に配置されている。第2加熱装置13は、台座9と対応した位置に配置されている。このような配置とされているため、第1、第2加熱装置12、13を制御することにより、SiC単結晶20の成長表面の温度分布をSiC単結晶20の成長に適した温度に調整できる。

[0024] 成長量および形状観測部15は、SiC単結晶20の成長量と成長表面の形状の観測を行う。成長量および形状観測部15は、例えばX線照射器などにより構成され、加熱容器8や外周断熱材10の外側からSiC単結晶20の成長表面に対してX照射を行うことによって、成長表面の形状を観測し、その観測結果に応じた情報を制御装置16にフィードバックしている。

[0025] 温度測定部14は、SiC単結晶20の成長表面の温度や成長表面内での温度分布の測定を行う。温度測定部14は、放射温度計およびCCDカメラなどにより構成され、本実施形態の場合には、流入口2やガス導入管7aを通じてSiC単結晶20の成長表面の各所の温度を測定し、その測定結果に応じた情報を制御装置16にフィードバックしている。なお、ここでは温度測定部14を流入口2側に配置する場合を例に挙げているが、加熱容器8や外周断熱材10に測定用窓を形成し、その測定用窓を通じてSiC単結晶20の成長表面の各所の温度を測定できるようにしても良い。

[0026] 制御装置16は、成長量および形状観測部15や温度測定部14から送られてくる情報に基づいて、回転引上機構11によるシャフト11aの回転速度および引上量の制御を行う。具体的には、制御装置16は、成長量および形状観測部15での観測結果に基づいてSiC単結晶20の各所での成長速度（または成長量）を測定し、それに基づいてシャフト11aの回転速度と引き上げ量を制御する。また制御装置16は、温度測定部14での測定結果に基づいてSiC単結晶20の成長表面の温度や温度分布が結晶成長に適した値になるように第1、第2加熱装置12、13を調整し、温度や温度分布により結晶形状を予測し回転速度と引き上げ量を制御する。また、温度分布

により結晶形状を予測し、回転速度を制御する。

[0027] このような構造により、本実施形態にかかる結晶製造装置 1 が構成されている。続いて、本実施形態にかかる結晶製造装置 1 を用いた S i C 単結晶 20 の製造方法について説明する。

[0028] まず、台座 9 に種結晶 5 を取り付け、第 1、第 2 加熱装置 12、13 を制御し、所望の温度分布を付ける。具体的には、種結晶 5 の表面において S i C 原料ガス 3a が表面反応により結晶化されることで S i C 単結晶が成長しつつ、加熱容器 8 内において結晶化レートよりも昇華レートの方が高くなる温度となるようにする。

[0029] また、真空容器 6 を所望圧力にしつつ、必要に応じて A r や H e などの不活性ガスによるキャリアガスや H₂ や H C l などのエッチングガスを導入しながら原料ガス導入管 7a を通じて S i C 原料ガス 3a を導入する。これにより、図 1 中の矢印 A で示したように、S i C 原料ガス 3a が流動し、種結晶 5 に供給されて S i C 単結晶 20 を成長させることができる。

[0030] このとき、成長量および形状観測部 15 および温度測定部 14 の観測および測定結果を制御装置 16 に入力し、その結果に基づいて制御装置 16 に回転引上機構 11、第 1、第 2 加熱装置 12、13 を制御させる。具体的には、制御装置 16 では、成長量および形状観測部 15 の観測結果に基づいて S i C 単結晶 20 の成長量と成長表面の形状を観測し、S i C 単結晶 20 の各所での成長速度を測定すると共に、その成長速度に基づいてシャフト 11a の回転速度および引き上げ量を制御する。また制御装置 16 では、温度測定部 14 の測定結果に基づいて S i C 単結晶 20 の成長表面の各所の温度を測定し、S i C 単結晶 20 の成長表面の温度や温度分布が結晶成長に適した値になるように第 1、第 2 加熱装置 12、13 を調整し、温度や温度分布により結晶形状を予測し回転速度と引き上げ量を制御する。

[0031] 従来では、S i C 単結晶の成長表面へのガス供給量の均一化および S i C 単結晶とその周囲に生成される S i C 多結晶との固着防止のために S i C 単結晶を回転させているが、回転速度は非常に遅い一定速度（5 r p m 程度）

とされている。しかしながら、このようにS i C単結晶の成長表面を低速回転させても、単にガス供給量の均一化およびS i C単結晶とS i C多結晶との固着防止を実現できるだけである。これに対して、本発明者らは、S i C単結晶20の成長表面を高速回転させると、その回転速度に応じて成長速度が変化することを見出した。これに基づき、本実施形態では、S i C単結晶20の成長過程においてはシャフト11aを高速回転させることでS i C単結晶20の成長表面を高速回転させ、その回転によってS i C単結晶20の成長速度および成長表面の形状を制御する。以下、この制御方法について、図2～図3を参照して説明する。

[0032] S i C単結晶20の成長表面を高速回転させると、S i C原料ガス3aが形成する成長表面付近の境界層、つまりS i C原料ガス3aの原料濃度の薄い部分と濃い部分の境界となる濃度勾配の大きな層の厚みを薄くできる。このため、S i C単結晶20の成長表面から原料濃度の濃い部分までの距離が短くなり、S i C原料ガス3a内の原料が成長のために消費されても直ぐに次の原料が供給されるようになって、原料の新陳代謝を促進させることが可能になる。これにより、S i C単結晶20の成長速度を向上させることが可能になる。また、S i C単結晶20の成長表面の回転速度に応じて、S i C単結晶20の成長表面内において成長速度が異なっており、それに応じて成長表面の形状も変化する。このため、S i C単結晶20の成長表面の回転速度を調整することで、凸面成長もしくはフラット成長となるように制御できる。

[0033] S i C単結晶20の回転数を変化させた場合のS i C単結晶20の径方向に対する成長速度分布についてシミュレーションを行った。シミュレーションでは、6インチ（半径75mm程度）の種結晶5上にS i C単結晶20を成長させ、成長中にS i C単結晶20の成長表面を回転させていない場合と500rpm～5000rpmで回転速度を変化させた場合それぞれについて成長表面の成長速度を調べた。また、S i C単結晶20の成長面の中心となる結晶中心と外周位置となる結晶端それぞれについて、回転速度に対する

成長速度の変化について調べた。その結果を示したのが図2～図3である。

[0034] 図2および図3に示されるように、SiC単結晶20の成長表面を回転させていない場合にはSiC単結晶20の成長表面のうちの結晶中心の方が結晶端（外縁部）よりも成長速度が小さくなる。このような状況で成長を続けると、SiC単結晶20の成長表面の形状が凹形状、つまり結晶中心の方が結晶端よりも凹んだ凹面成長になる。一方、SiC単結晶20の結晶表面を回転させた場合には、SiC単結晶20の回転速度が速くなるほど、結晶中心での成長速度が結晶端での成長速度よりも大きくなる。このような状況で成長を続けると、SiC単結晶20の成長表面の形状が凸形状、つまり結晶中心の方が結晶端よりも突き出した凸面成長になる。したがって、SiC単結晶20の成長表面の回転速度に基づいて、成長表面の形状や成長速度を制御することが可能であることが判る。

[0035] また、SiC単結晶20の成長速度は、図3に示すようにSiC単結晶20の成長表面を回転させていない場合と比較して、結晶中心では大きくなるが結晶端では変化が無い。より詳しくは結晶端から所定距離内側（5mm程度内側）の位置では、SiC単結晶20の成長表面の回転の有無および回転速度に拘わらず成長速度が等しくなる。この成長速度が等しくなる位置（ $r = 70\text{ mm}$ ）を等成長位置として、この等成長位置でのSiC単結晶20の成長速度に対する結晶中心の成長速度を正規化したものを成長表面の平坦度合を示したフラット度と定義すると、回転速度とフラット度との関係は図4のように表される。ここでは、SiC単結晶20の成長表面がフラット、凸形状、凹形状それぞれの場合において、回転速度とフラット度との関係を調べてある。また、フラット度は、結晶中心からの距離を r （結晶中心は $r = 0\text{ mm}$ 、結晶端は $r = 70\text{ mm}$ ）とし、成長速度を $G_r(r)$ として、結晶中心と結晶端との成長速度の差（ $G_r(0) - G_r(70)$ ）を結晶中心の成長速度 $G_r(0)$ で割った値としてある。

[0036] フラット度は、SiC単結晶20の結晶中心と結晶端での成長速度が等しくなるときに0となり、結晶中心の方が結晶端よりも成長速度が大きいと正

の値（凸形状）、その逆になる場合には負の値（凹形状）になる。図4から判るように、SiC単結晶20の成長表面がフラットの状態においては、回転速度が1000rpm以下でフラット度が0になる。このため、SiC単結晶20の成長表面をフラット化もしくは凸面化するには比較的小さな回転速度でSiC単結晶20の成長表面を回転させれば良い。また、SiC単結晶20の成長表面が凸形状の状態においては、回転速度が500rpmを超えるとフラット度が0もしくは正の値になる。この場合には、フラットの場合よりも低い回転数でSiC単結晶20の成長表面を回転させても、フラット化もしくは凸面化することができる。さらに、SiC単結晶20の成長表面が凹形状の状態においては、回転速度が1000rpmよりも大きいとフラット度が0もしくは正の値になる。この場合には、フラットの場合よりも高い回転数でSiC単結晶20の成長表面を回転させないと、フラット化もしくは凸面化することができない。

[0037] このため、例えばSiC単結晶20の成長表面を1000rpmの回転速度で回転させながらSiC単結晶20を成長させ、成長量および形状観測部15での観測結果に基づいて結晶中心および結晶端の成長速度を求める。また、結晶端の成長速度が所定の成長速度（例えば単位時間当たりの成長速度1mm/h）のときの結晶中心での成長速度の狙い値を中心とした閾範囲（例えば $1.2 \pm \alpha$ mm/h）を設定する。そして、結晶中心での成長速度が閾範囲内であるか、その閾範囲の上限値よりも大きいか、もしくは閾範囲の下限値より小さいかを判定する。そして、結晶中心での成長速度が閾範囲内であればフラットであることから同じ回転速度のままに制御する。また、閾範囲の上限値よりも大きければ凸面成長であることから、回転速度を維持することで凸面成長を維持するか、もしくは、回転速度を低下させることでフラット化させる。例えば、回転速度を500rpm未満に下げることで凹面化させ、徐々にフラットに近づけられるようにする。さらに、閾範囲の下限値よりも小さければ凹面成長であることから、回転速度を上昇させることで徐々にフラットに近づけたり、凸面成長させられるようにする。このように

して、S i C単結晶20の成長表面がフラットもしくは凸面状となるように制御することができる。なお、ここでは閾範囲をある程度幅を持った範囲としたが、狙い値のみとしても良い。

[0038] 以上説明したように、所定の回転速度でS i C単結晶20の成長表面を高速回転させつつ、S i C単結晶20が凸面成長しているか凹面成長しているかに基づいて、回転速度を制御するようにしている。具体的には、S i C単結晶20の結晶中心での成長速度が狙い値を中心とした閾範囲の上限値よりも大きければ回転速度を維持もしくは低下させ、閾範囲の下限值よりも小さければ回転速度を上昇させる。このように、S i C単結晶20の成長表面を高速回転させることによって高速成長を可能としつつ、成長速度に応じて回転速度を制御することでS i C単結晶20が凸面成長もしくはフラット成長となるように制御できる。これにより、高品質なS i C単結晶20をさらに高速成長させることが可能となる。

[0039] (第2実施形態)

本開示の第2実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対してS i C単結晶20の成長表面の回転速度の制御方法を変更したものであり、その他については第1実施形態と同様であるため、第1実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0040] 第1実施形態では、S i C単結晶20の成長表面のうちの結晶中心での成長速度が成長表面の形状を表していることから、成長速度に基づいてS i C単結晶20の成長表面の回転速度を制御したが、成長表面の結晶形状に基づいて制御するようにしても良い。すなわち、S i C単結晶20の成長表面の結晶形状が凸形状である場合には、回転速度を維持することで凸面成長を維持するか、もしくは、回転速度を低下させることでフラット化させる。また、S i C単結晶20の成長表面の結晶形状が凹形状である場合には、回転速度を上昇させることでフラット化させたり、凸面成長させられるようにする。このように、S i C単結晶20の成長表面の結晶形状に基づいてS i C単結晶20の成長表面の回転速度を制御するようにしても、第1実施形態と同

様の効果を得ることができる。

[0041] なお、S i C単結晶20の成長表面の形状については成長量および形状観測部15によって観測されることから、この形状観測部15での観測結果に基づいて、S i C単結晶20の成長表面の回転速度を制御すれば良い。

[0042] (第3実施形態)

本開示の第3実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対してS i C単結晶20の製造方法に適用される結晶製造装置1の構成を変更したものであり、その他については第1実施形態と同様であるため、第1実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0043] 図5に示すように、本実施形態の結晶製造装置1では、シャフト11aにバランスウェイト11bを備えてある。具体的には、シャフト11aは図示しないシール部などによってシールされた状態で真空容器6の外部に突き出した構造とされているが、この真空装置6の外部に突き出した部分にバランスウェイト11bが備えられている。バランスウェイト11bは、シャフト11aを中心として径方向に延びる支持バー11cと、支持バー11cに対してスライド可能に構成されるウェイト部11dとを有した構成とされている。例えば支持バー11cはシャフト11aを中心として180°ずれた方向に延びるような対称な配置で取り付けられている。そして、バランスウェイト11bにおけるウェイト部11dのスライド位置、つまりウェイト部11dの周回距離rは、制御装置16によって制御可能とされている。また、シャフト11aには荷重センサとしてのロードセル11eが備えられ、シャフト11aに加わっている荷重、具体的には台座9や種結晶5およびS i C単結晶20の重さを含めたシャフト11aの重さを測定し、制御装置16にフィードバックしている。制御装置16は、上記した温度測定部14の測定結果や成長量および形状観測部15の観測結果に加えてロードセル11eでの測定結果に基づいて、バランスウェイト11bにおけるウェイト部11dのスライド位置を調整している。

[0044] 上記したように、回転引上機構11では、例えばシャフト11aを一定ト

ルクで回転させる定トルク制御によってS i C単結晶20の成長表面の回転数を制御している。このため、制御装置16によってウェイト部11dのスライド位置が調整されると、そのスライド位置に対応する周回距離rに応じたシャフト11aの回転速度を変化させられる。これに基づき、制御装置16によってウェイト部11dのスライド位置を調整することで、S i C単結晶20の成長表面の回転速度を変化させている。

[0045] 具体的には、結晶が小さいS i C単結晶20の成長初期段階においては、周回距離rが大きくなるようにウェイト部11dのスライド位置を調整することで、成長速度を低くしながらより高品質な結晶となるようにする。また、S i C単結晶20が大きくなるに連れて、周回距離rが小さくなるようにウェイト部11dのスライド位置を径方向内方に移動させ、成長速度を上昇させてS i C単結晶20を高速成長させるようにする。そして、成長速度が狙い値となるようにS i C単結晶20の成長表面を高速回転させつつ、例えば第1実施形態と同様に、成長速度が閾範囲の上限値よりも大きければ回転速度を維持もしくは低下させ、閾範囲の下限值よりも小さければ回転速度を上昇させる。または、第2実施形態と同様に、S i C単結晶20の成長表面の形状が凸形状であればS i C単結晶20の成長表面の回転速度を維持もしくは低下させ、凹形状であれば回転速度を上昇させる。

[0046] このように、シャフト11aに対してバランスウェイト11bを備えつつ、ウェイト部11dのスライド位置を調整することで、S i C単結晶20の成長に合わせて成長表面の回転速度を調整できる。また、S i C単結晶20の成長速度もしくは成長表面の形状に合わせてS i C単結晶20の成長表面の回転速度を調整することも可能となる。

[0047] (第4実施形態)

本開示の第4実施形態について説明する。本実施形態は、第1～第3実施形態に対してS i C単結晶20のS i C原料ガス3aの導入方法を変更したものであり、その他については第1～第3実施形態と同様であるため、第1～第3実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0048] 本実施形態では、S i C単結晶20の成長開始時と成長中および成長終了時において、S i C原料ガス3aの導入量を変えるようにする。

[0049] S i C単結晶20を高速成長させるためには、加熱容器8内を高温としつつ種結晶5が低温となるような温度分布とすることが望ましいが、図6に示すようにS i C原料ガス3aを導入しない状態でシャフト11aを高速回転させると、種結晶5がエッチングされる。種結晶5のエッチング速度はシャフト11aの回転数に応じて変化し、回転数が高いほどエッチング速度が大きくなる。このため、S i C原料ガス3aを加熱分解して原料が供給される前の段階、つまりS i C単結晶20の成長初期の段階となる加熱容器8の昇温中の期間には、昇温後となる成長中の温度よりもシャフト11aの回転速度を低下させる方が好ましい。また、S i C単結晶20の成長終了時に再び加熱容器8を降温する際にも、シャフト11aを高速回転させた状態にするとS i C単結晶20の表面がエッチングされてしまうため、成長中の温度よりもシャフト11aの回転速度を低下させる方が好ましい。

[0050] したがって、本実施形態では、図7に示すように、加熱容器8を昇温中の期間には、シャフト11aを回転させないもしくは従来の低速回転となるようにし、昇温が完了して成長温度に達するとシャフト11aを高速回転させるようにしている。具体的には、S i C単結晶20の結晶中心での成長速度が狙い値となる回転速度でシャフト11aを高速回転させるようもしくは従来の低速回転となるようにする。そして、S i C単結晶20の成長が終了して加熱容器8を降温させる際には、再びシャフト11aの回転を停止する。このようにすることで、加熱容器8の昇温中もしくは降温中に、種結晶5やS i C単結晶20がエッチングされてしまうことを抑制することが可能となる。

[0051] (第4実施形態の変形例)

上記第4実施形態では、加熱容器8を昇温中や降温中の期間にはシャフト11aを回転させないようにしたが、図8に示すように、加熱容器8の昇温中や降温中には、加熱容器8内の温度に比例してシャフト11aの回転速度

を変化させるようにしてもよい。このようにしても、S i C原料ガス3 aの供給が行われていない期間中のシャフト1 1 aの回転速度を抑えることができるため、第4実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0052] さらに、図8に示すようにシャフト1 1 aの回転速度を加熱容器8内の温度に比例して変化させる場合において、S i C原料ガス3 aを成長温度に達する前から導入しつつ、その導入量を回転速度に比例して変化させるようにすると好ましい。このようにすれば、シャフト1 1 aの回転速度に応じてS i C原料ガス3 aを種結晶5もしくは成長後のS i C単結晶2 0の表面に供給できることから、これらの回転に伴って表面がエッチングされてしまうことを更に抑制することが可能となる。

[0053] (第5実施形態)

本開示の第5実施形態について説明する。本実施形態は、第1～第4実施形態に対してシャフト1 1 aの回転中心のずれ(芯ぶれ)を抑制できるようにしたものであり、その他については第1～第4実施形態と同様であるため、第1～第4実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0054] 図9～図11に示すように、本実施形態の結晶製造装置1には、芯ぶれ調整機構3 0が備えられている。芯ぶれ調整機構3 0は、複数本のワイヤ3 1、通路構成部材3 2、ワイヤ制御機構3 3および偏心センサ3 4を有した構成とされている。

[0055] 複数本のワイヤ3 1は、後述するように通路構成部材3 2に備えられた通路3 2 c内における出し入れ量が調整されることで、バランスウェイトとしての役割を果たす。例えばワイヤ3 1は、高融点金属などで構成されている。

[0056] 通路構成部材3 2は、シャフト1 1 aの外周から台座9の裏面に至るように、つまりシャフト1 1 aの外周を囲む円筒部3 2 aと、台座9の裏面において径方向にフランジ状に張り出したホイール部3 2 bとを有した構造とされている。これら各部3 2 a、3 2 bは、例えば黒鉛や表面をT a C、N b C、Z r Cなどの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などで構成さ

れることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。通路構成部材 3 2 の内部にはワイヤ 3 1 の数に対応した数の通路 3 2 c が備えられている。各通路 3 2 c は、シャフト 1 1 a の中心軸を中心として周方向に等間隔に配置されており、シャフト 1 1 a の周囲においてはシャフト 1 1 a の軸方向に平行に伸び、台座 9 の裏面において径方向外方に放射状に伸びる形状とされている。このため、図 1 1 中の矢印で示したように、通路 3 2 c 内における径方向へのワイヤ 3 1 の出し入れ量に応じてシャフト 1 1 a を回転させたときのワイヤ 3 1 の周回距離が変わることで、ワイヤ 3 1 がバランスウェイトとしての役割を果たすようになっている。

[0057] ワイヤ制御機構 3 3 は、偏心センサ 3 4 での検出結果に基づいて、ワイヤ 3 1 の通路 3 2 c 内への出し入れ量を制御する。偏心センサ 3 4 は、台座 9 の裏面側、本実施形態の場合は通路構成部材 3 2 のうちのフランジ形状部分の表面から所定距離離れた位置に配置され、台座 9 の回転中心の偏心度合いを検出する。例えば、偏心センサ 3 4 は、シャフト 1 1 a の回転に基づいて台座 9 や通路構成部材 3 2 が回転させられているときの偏心センサ 3 4 から通路構成部材 3 2 のフランジ形状部分までの距離 L をモニタし、それに応じた検出信号をワイヤ制御機構 3 3 に出力する。台座 9 の回転中心が偏心した場合、つまり重心がずれた場合、回転時に台座 9 や通路構成部材 3 2 のフランジ形状部分が上下動する。このため、距離 L をモニタすることで台座 9 の回転中心の偏心度合いを検出できる。この検出結果に基づいて、ワイヤ制御機構 3 3 が通路 3 2 c 内へのワイヤ 3 1 の出し入れ量を調整することで、台座 9 の重心を調整し、回転中心の偏心を抑制することが可能になっている。

[0058] なお、本実施形態では、ワイヤ 3 1 および通路 3 2 c を 8 本ずつ備えるようにしたが、これ以外の本数であっても良い。その場合にも、シャフト 1 1 a の軸方向から見て、ワイヤ 3 1 および通路 3 2 c を台座 9 の回転中心を中心軸とした軸対称に配置してあればよい。また、ここではシャフト 1 1 a の外周を囲むように円筒部 3 2 a を備えるようにしたが、シャフト 1 1 a によって円筒部 3 2 a を構成するようにしても良い。同様に、台座 9 によってホ

イール部 3 2 b を構成するようにしても良い。

[0059] このように、芯ぶれ調整機構 3 0 を備え、ワイヤ 3 1 や通路構成部材 3 2 およびワイヤ制御機構 3 3 をシャフト 1 1 a や台座 9 および種結晶 5 と共に回転させることにより、台座 9 の重心を調整でき、回転中心の偏心を抑制することが可能となる。これにより、S i C 単結晶 2 0 の成長表面が回転に伴って変位することを抑制でき、より安定して高品質に S i C 単結晶 2 0 を成長させることが可能となる。

[0060] また、台座 9 の裏面側は、結晶製造装置 1 の中でも比較的低温となる部分であることから、その位置に芯ぶれ調整機構 3 0 を備えるようにすることで、高温により芯ぶれ調整機構 3 0 の構成部品が熱エッチングされることなどを抑制できる。

[0061] (第 6 実施形態)

本開示の第 6 実施形態について説明する。本実施形態も、第 1 ～第 4 実施形態に対してシャフト 1 1 a の回転中心のずれ（芯ぶれ）を抑制できるようにしたものであり、その他については第 1 ～第 4 実施形態と同様であるため、第 1 ～第 4 実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0062] 図 1 2 に示すように、本実施形態の結晶製造装置 1 にも、芯ぶれ調整機構 4 0 が備えられている。芯ぶれ調整機構 4 0 は、シャフト 1 1 a に設けた軸調整機構 4 1 と、台座 9 の周囲に設けた回転固定部 4 2 とを有する構成とされている。

[0063] 図 1 3 に示したように、軸調整機構 4 1 は、シャフト 1 1 a を第 1 シャフト 1 1 a a および第 2 シャフト 1 1 a b に分割することで構成される第 1、第 2 シャフト 1 1 a a、1 1 a b の連結部に備えられている。この軸調整機構 4 1 により、第 1 シャフト 1 1 a a の中心軸を第 2 シャフト 1 1 a b の中心軸に対して傾斜可能にする。具体的には、シャフト 1 1 a のうち台座 9 側を第 1 シャフト 1 1 a a、台座 9 と反対側を第 2 シャフト 1 1 a b とし、第 1、第 2 シャフト 1 1 a a、1 1 a b が連結されることでシャフト 1 1 a を構成している。

[0064] 図13および図14に示すように、第1シャフト11aaを円柱状で構成しつつ、第1シャフト11aaのうちの第2シャフト11ab側の端部に径方向に突き出した突起部41aを備えている。突起部41aは、第1シャフト11aaの外周面において周方向に等間隔に備えられており、図14に示すように本実施形態では4箇所にも備えられている。一方、第2シャフト11abのうち第1シャフト11aa側の先端には、第1シャフト11aaを挿通させつつ第1シャフト11aaを支持する支持部41bが備えられている。

[0065] 支持部41bは、例えば第2シャフト11abのうちの第1シャフト11aa側において内径を縮小させることで構成される。支持部41bには、第1シャフト11aaにおける円柱状の部分での外径寸法よりも大きく、かつ、突起部41aでの外径寸法よりも小さな挿入穴41cが備えられている。また、支持部41bには、支持部41bのうち台座9と反対側の端面において挿入穴41cの内壁面において部分的に内径を拡大させた係合溝41dが形成されている。係合溝41dは、第1シャフト11aaに備えた各突起部41aそれぞれと対応する位置に形成されており、突起部41aよりも若干大きな寸法で構成されている。

[0066] そして、支持部41bの挿入穴41c内に、突起部41aが形成された端部と反対側の端部より第1シャフト11aaが上方から挿入され、係合溝41d内に各突起部41aが嵌め込まれることで、第1、第2シャフト11aa、11abが連結されている。

[0067] また、回転固定部42は、台座9の外周面と当接するコロ42aが備えられたベアリング42bによって構成されている。回転固定部42を構成する各部は、例えば黒鉛や表面をTaC、NbC、ZrCなどの高融点金属炭化物にてコーティングした黒鉛などで構成されることで、熱エッチングが抑制できるようにしてある。回転固定部42は、台座9の回転中心に設定すべき中心軸と同軸的に配置され、回転固定部42の内径、つまりコロ42aの内側の径が台座9の外径に合わせてある。本実施形態では、回転固定部42は

、加熱容器 8 の内壁面に固定された状態とされており、台座 9 の外周と対応する位置から更に下方位置まで延設されている。

[0068] このような構造により、本実施形態にかかる結晶製造装置 1 が構成されている。このような構成においては、第 1 シャフト 11 a a が第 2 シャフト 11 a b に対して遊びを持った遊嵌合状態となる。このため、第 1 シャフト 11 a a の中心軸を第 2 シャフト 11 a b の中心軸に対してずらしたり、傾斜させるなど変位させることが可能となる。そして、第 1 シャフト 11 a a に取り付けられた台座 9 は、固定部 4 2 に備えられたコロ 4 2 a に当接した状態でシャフト 11 a の回転に伴って回転可能となる。したがって、台座 9 の回転中心を回転固定部 4 2 の中心軸に沿って固定することが可能となり、台座 9 の重心を調整し、回転中心の偏心を抑制することが可能となる。よって、第 5 実施形態と同様の効果を得ることが可能となる。

[0069] また、回転固定部 4 2 を台座 9 の外周と対応する位置から更に下方位置まで延設していることから、S i C 単結晶 2 0 の外周を囲むように回転固定部 4 2 の内壁面を配置できる。このため、回転固定部 4 2 をガイドとして、S i C 単結晶 2 0 をガイドに沿って成長させることが可能となる。

[0070] (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、適宜変更が可能である。例えば、各実施形態に示した結晶製造装置 1 の構成部品の材質や形状、数などについては、適宜変更可能である。

[0071] 本開示は、実施例に準拠して記述されたが、本開示は当該実施例や構造に限定されるものではないと理解される。本開示は、様々な変形例や均等範囲内の変形をも包含する。加えて、様々な組み合わせや形態、さらには、それらに一要素のみ、それ以上、あるいはそれ以下、を含む他の組み合わせや形態をも、本開示の範疇や思想範囲に入るものである。

請求の範囲

- [請求項1] 炭化珪素単結晶（20）を成長させる反応室を構成する加熱容器（8）内に台座（9）を配置し、
該台座（9）に種結晶（5）を貼り付け、
前記加熱容器を通じて炭化珪素の原料ガス（3a）を供給することで、前記加熱容器にて前記原料ガスを加熱分解して前記種結晶の表面に供給し、該種結晶の表面に前記炭化珪素単結晶を成長させ、
前記炭化珪素単結晶の成長速度が狙い値を中心とした閾範囲内であるか、その閾範囲の上限値よりも大きいか、もしくは閾範囲の下限値より小さいかを判定し、
前記閾範囲内であれば、種結晶の回転速度を維持し、
前記閾範囲の上限値よりも大きい場合には、前記回転速度を維持もしくは低下させ、
前記閾範囲の下限値よりも小さい場合には、前記回転速度を上昇させることを備える炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項2] 前記種結晶の中心を中心軸として、前記台座および前記種結晶を所定の回転速度で回転させつつ、前記種結晶の表面に前記炭化珪素単結晶を成長させ、
前記炭化珪素単結晶の成長表面のうちの外周位置となる結晶端よりも該成長表面の中心となる結晶中心の方が突出している凸面成長であるか、前記結晶端よりも前記結晶中心が窪んでいる凹面成長であるかを判定し、
前記凸面成長であれば、前記回転速度を維持もしくは低下させ、
前記凹面成長であれば、前記回転速度を上昇させることをさらに備える請求項1に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項3] 前記炭化珪素単結晶の成長表面の形状を観測し、該成長表面の形状から前記凸面成長であるか前記凹面成長であるかを判定することをさらに備える請求項2に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。

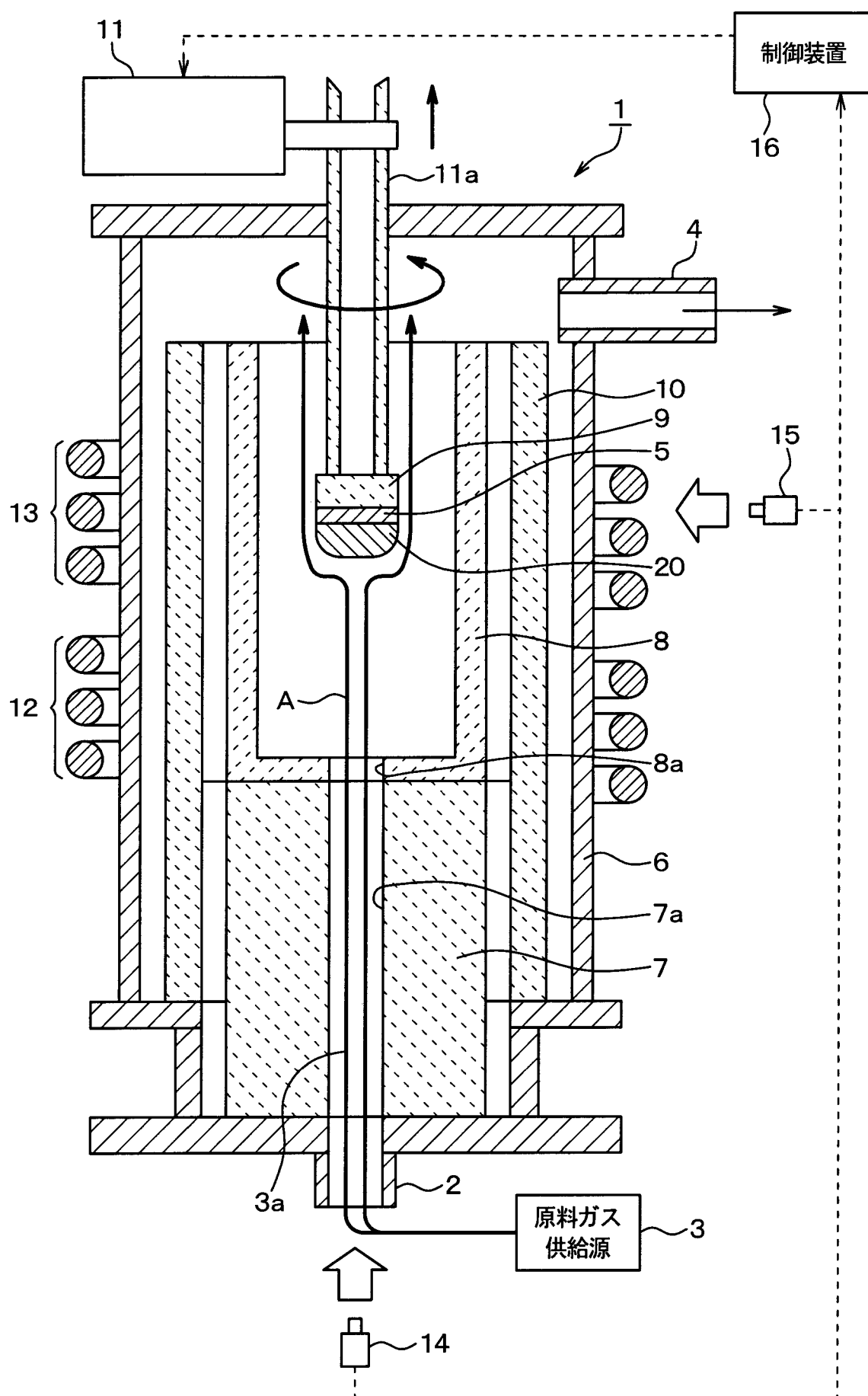
- [請求項4] 前記回転速度を0～5000rpmの範囲内において制御することをさらに備える請求項1ないし3のいずれか1つに記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項5] 前記加熱容器内の温度が前記炭化珪素単結晶を成長させる成長温度に達するまでは、前記回転速度を前記成長温度の際の回転速度よりも低下させることをさらに備える請求項4に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項6] 前記台座にシャフト（11a）を接続し、
該シャフトを一定トルクで回転させることで前記台座および前記種結晶を回転させ、
前記シャフトに該シャフトを中心として径方向に延びる支持バー（11c）と該支持バーに対してスライド可能に構成されるウェイト部（11d）とを有するバランスウェイト（11b）を配置し、前記シャフトと共に該バランスウェイトも回転させるようにし、
前記炭化珪素単結晶が大きくなるに連れて前記ウェイト部のスライド位置を前記シャフトの径方向内方に移動させることをさらに備える請求項1ないし5のいずれか1つに記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項7] 前記シャフトに、前記台座および前記種結晶の回転の中心軸を調整する芯ぶれ調整機構（30、40）を配置することをさらに備える請求項6に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項8] 前記芯ぶれ調整機構（30）は、前記シャフトの径方向に延設された通路（32c）内にワイヤ（31）を出し入れする構成により提供され、
前記ワイヤの出し入れ量を制御することで、前記台座および前記種結晶の回転の中心軸を調整する請求項7に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。
- [請求項9] 前記芯ぶれ調整機構（30）は、円盤状の前記台座の外周面に当接

するコロ（４２ a）を備えたベアリング（４２ b）により提供され、

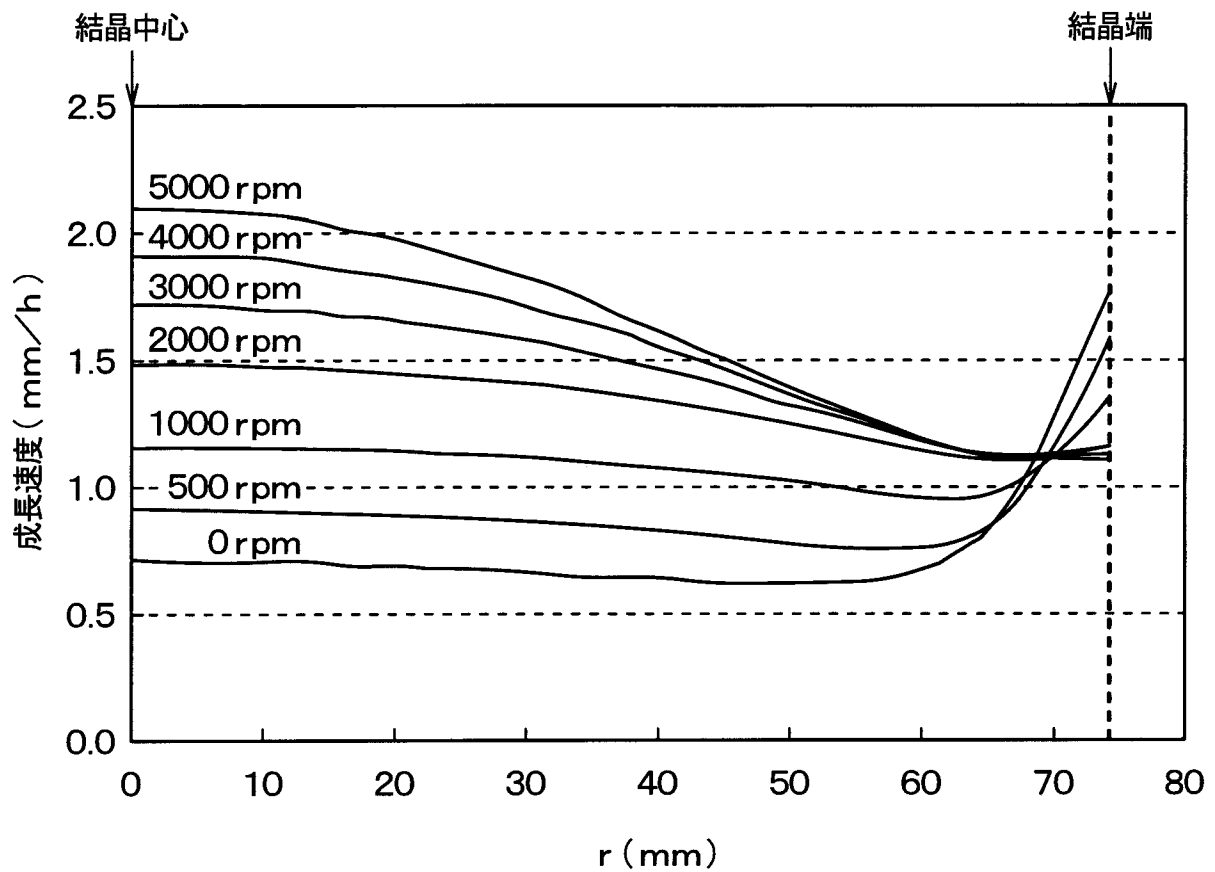
前記シャフトは、前記台座側となる第１シャフト（１１ a a）と前記台座と反対側となる第２シャフト（１１ a b）に分割され、

前記第１シャフトの中心軸を前記第２シャフトの中心軸に対して変位させることで、前記台座および前記種結晶の回転の中心軸を調整する請求項 ７に記載の炭化珪素単結晶の製造方法。

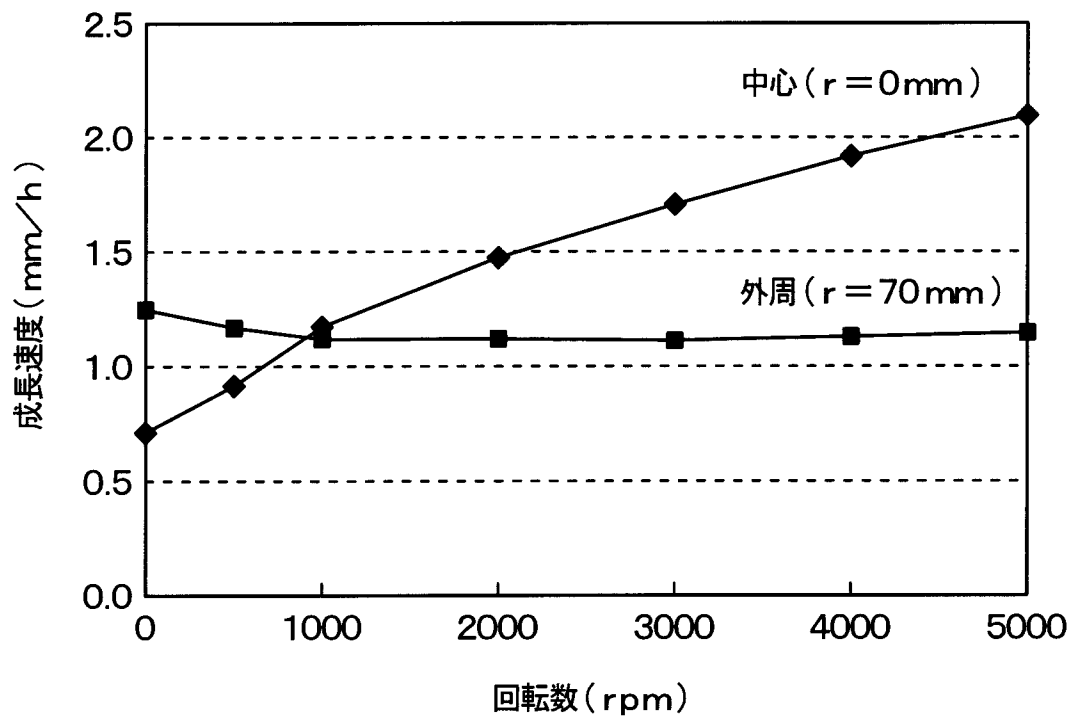
[図1]



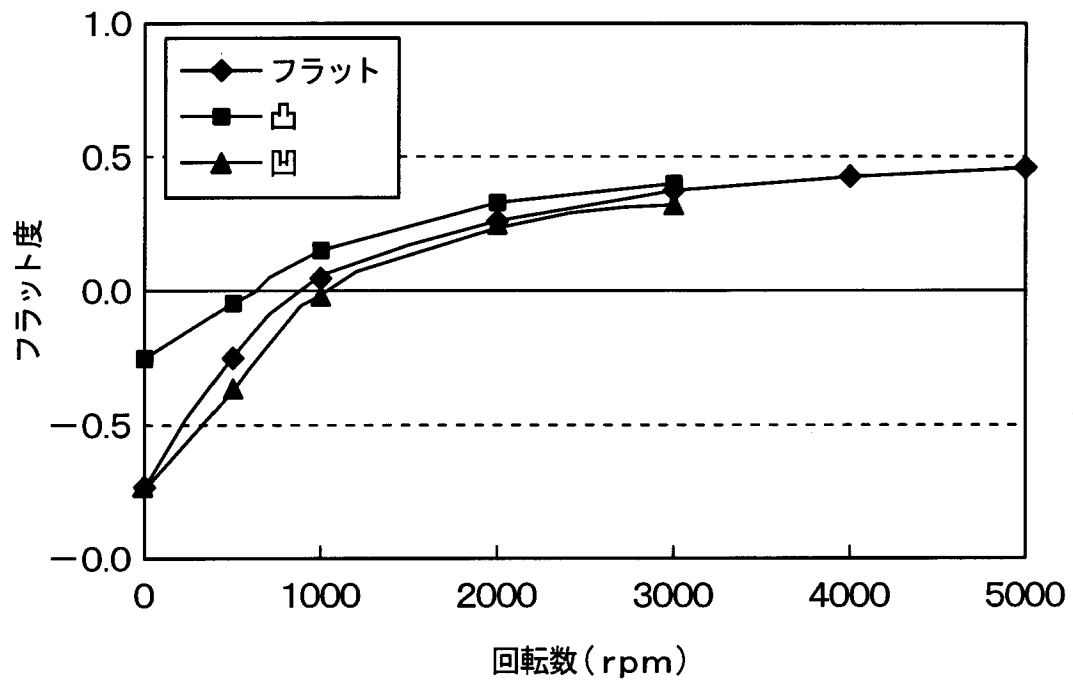
[図2]



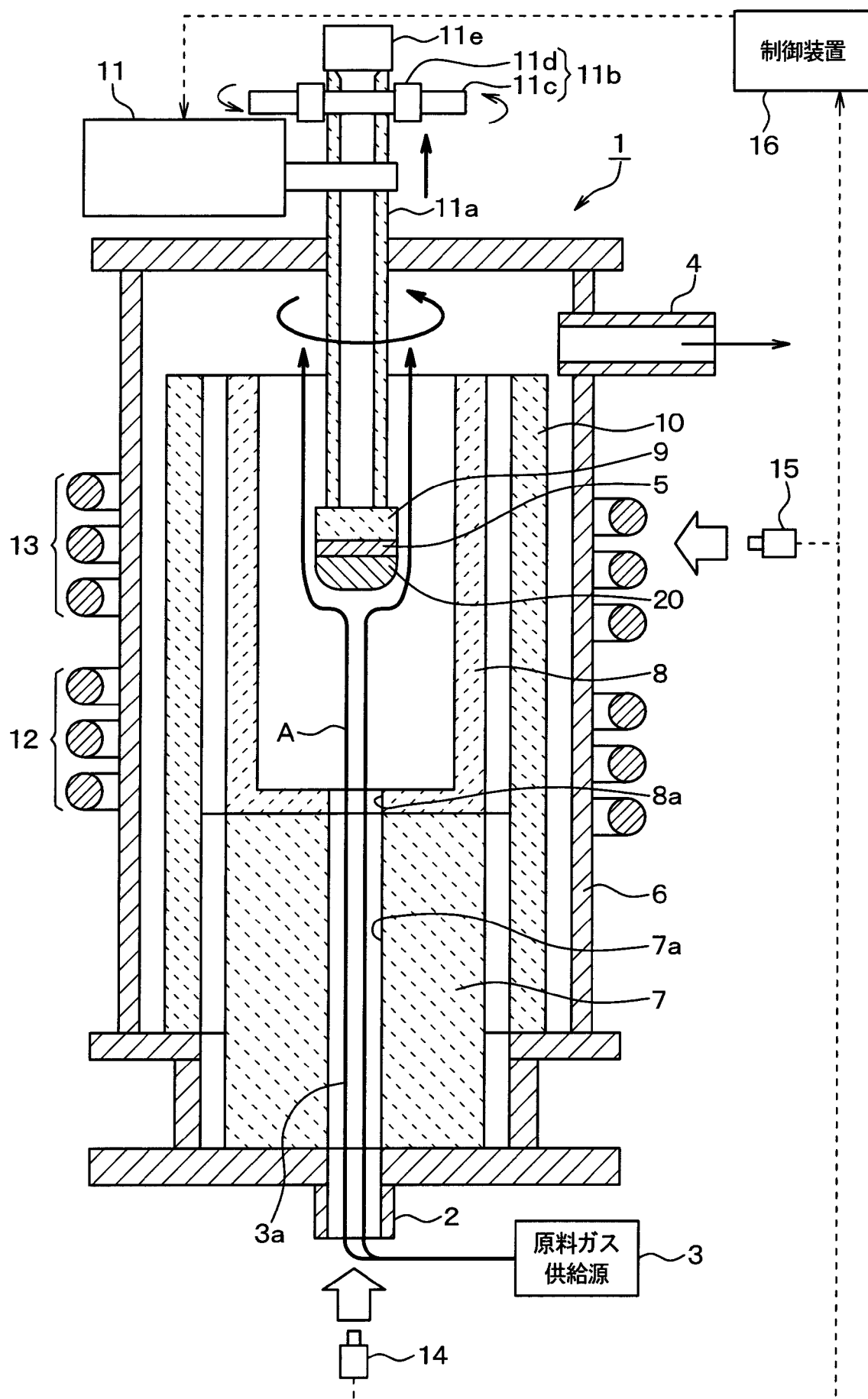
[図3]



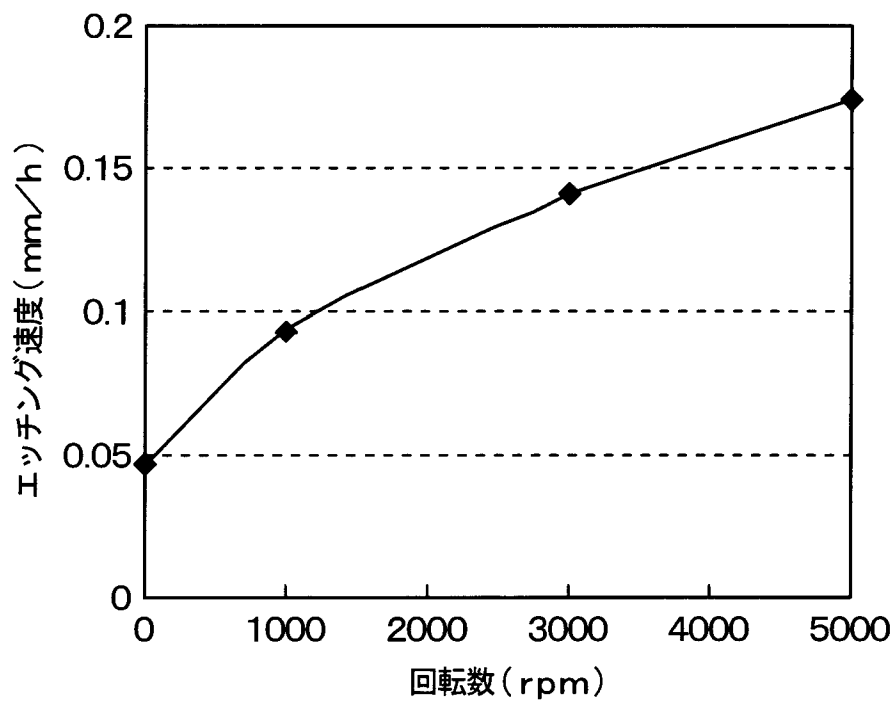
[図4]



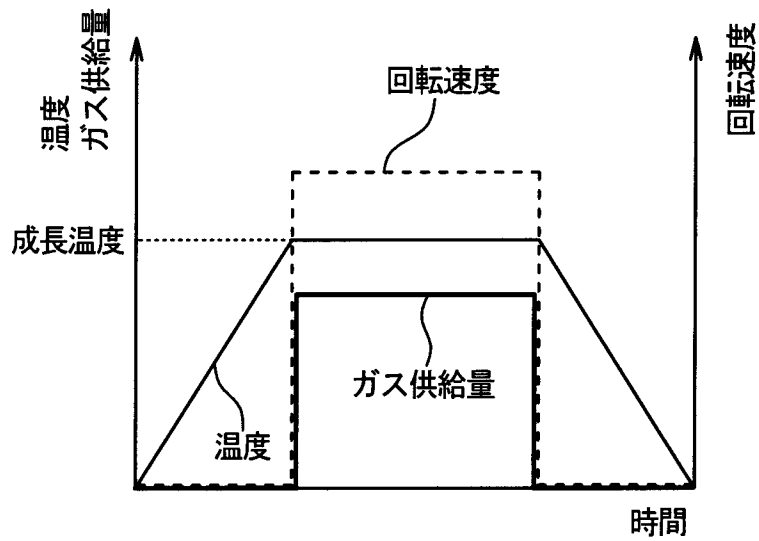
[図5]



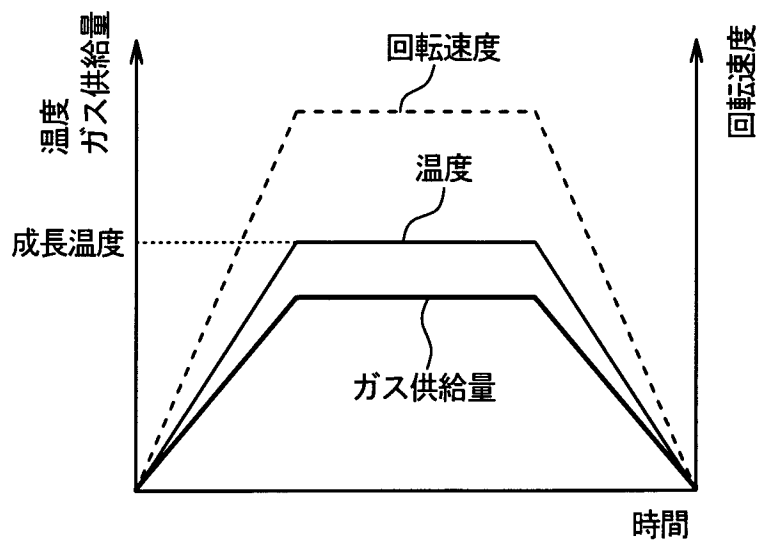
[図6]



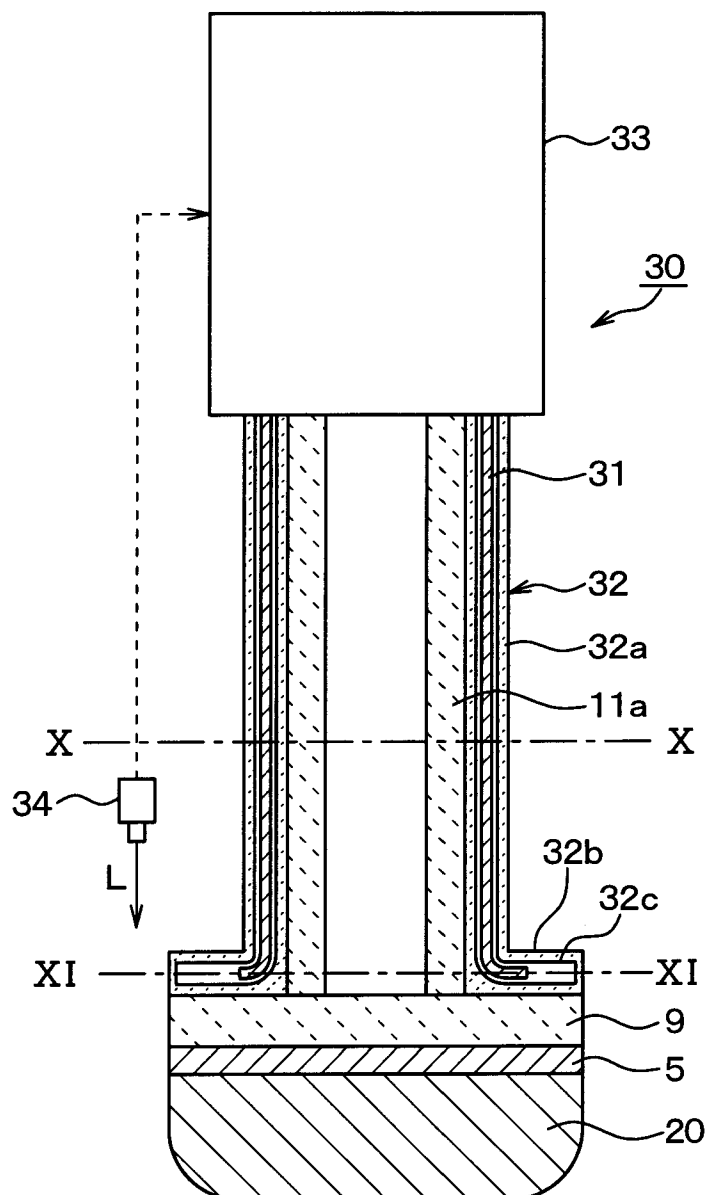
[図7]



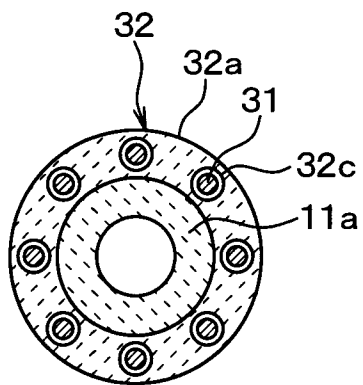
[図8]



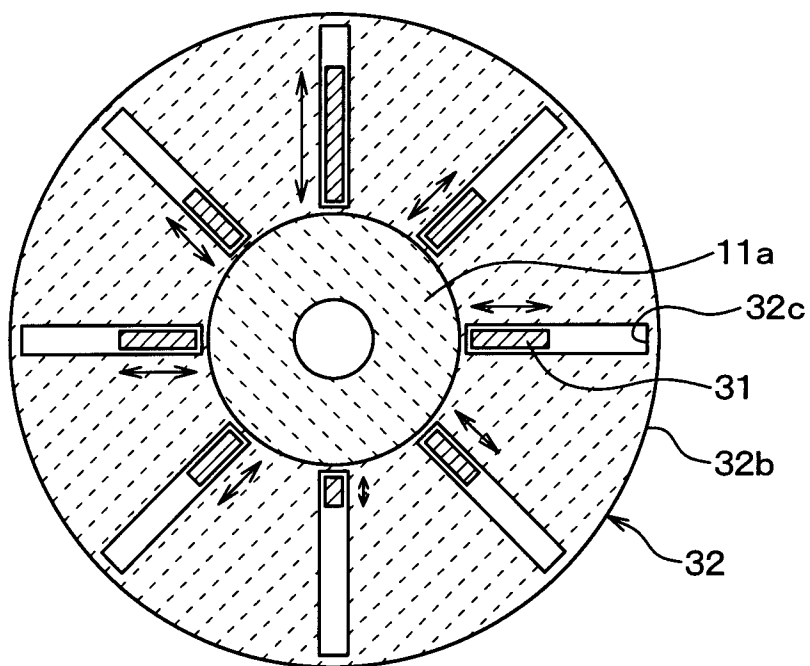
[図9]

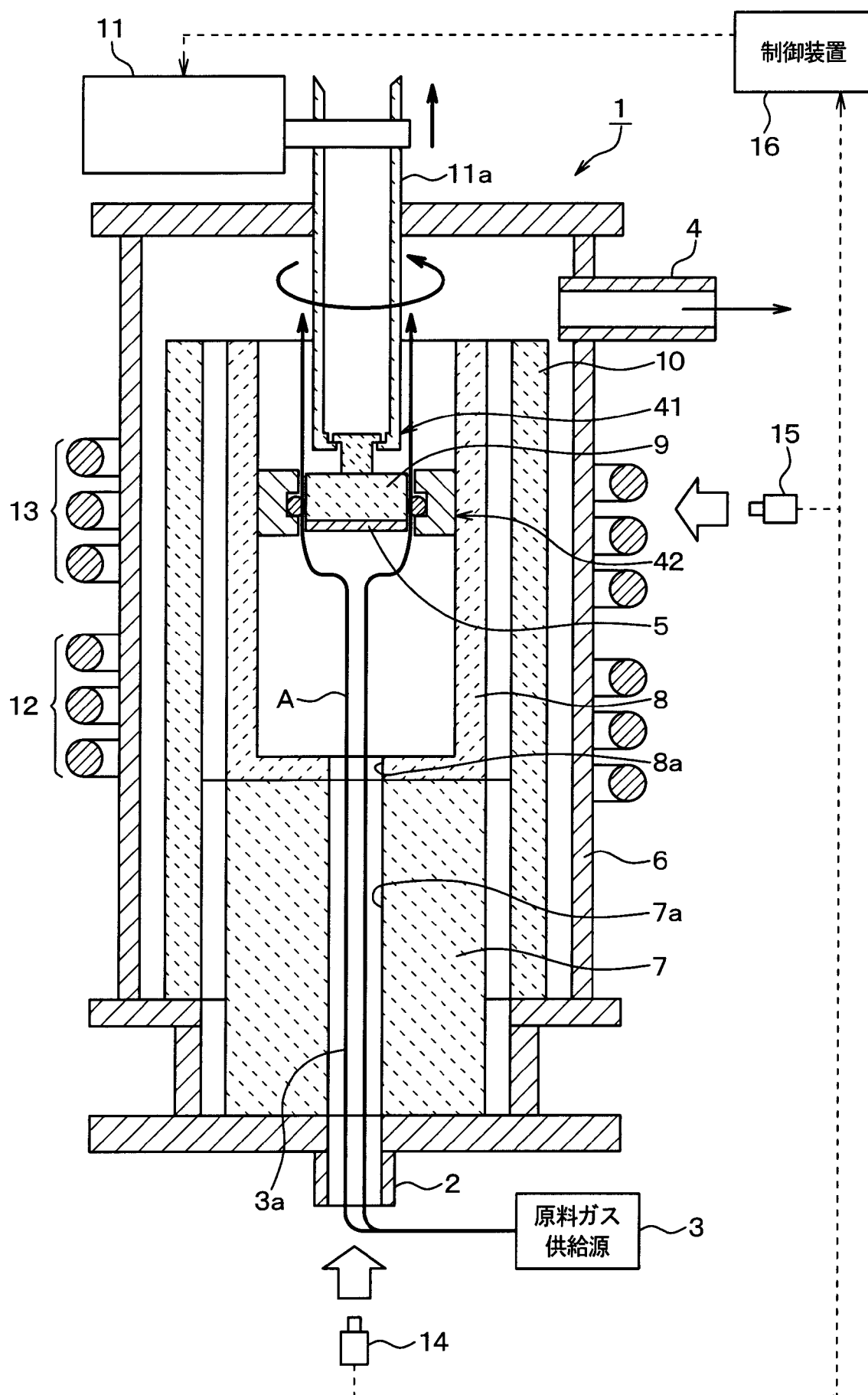


[図10]

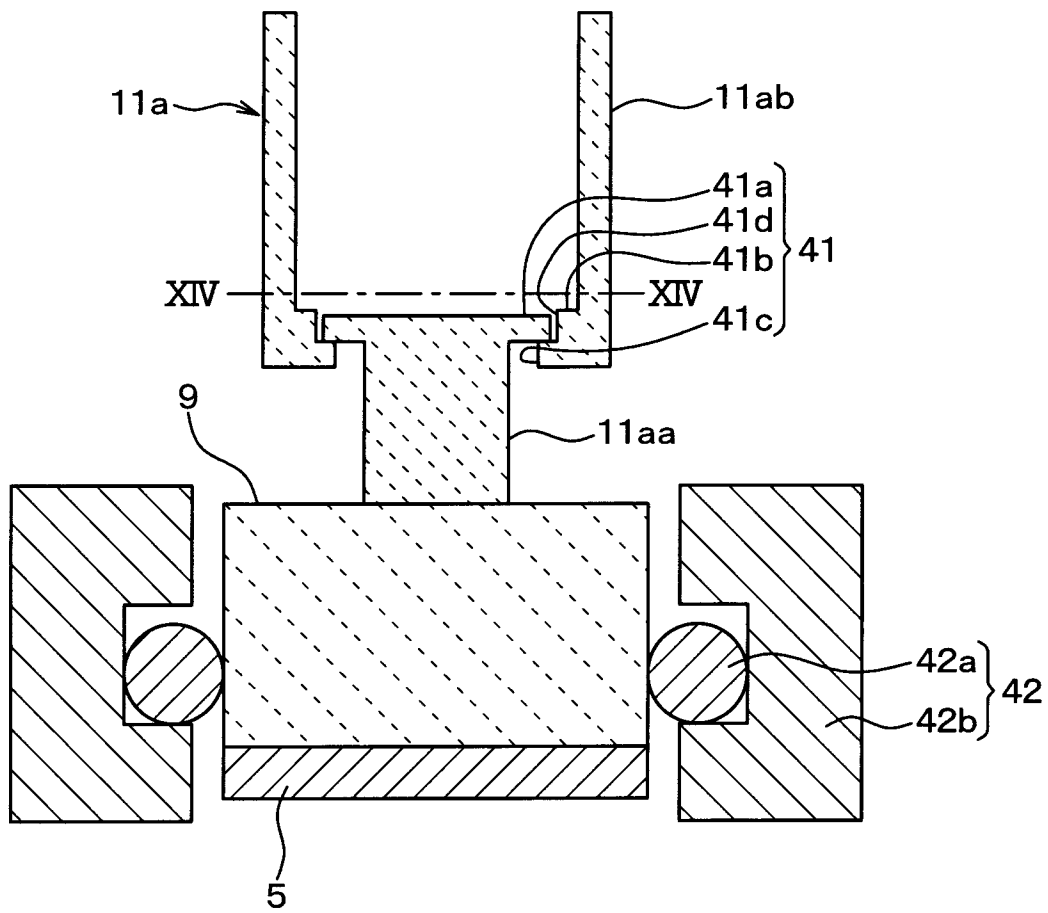


[図11]

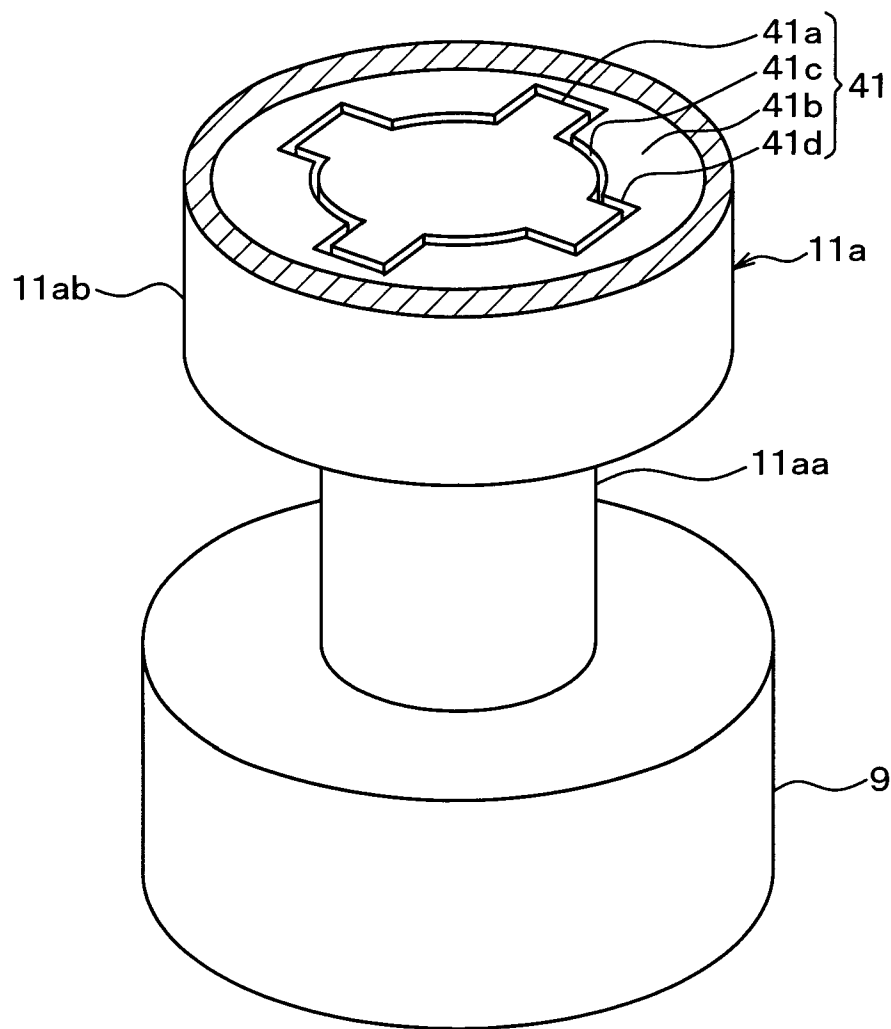




[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/002695

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B29/36(2006.01) i, C30B25/16(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, C30B25/16

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 2003-183098 A (Denso Corp.), 03 July 2003 (03.07.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2012-131679 A (Nippon Steel Corp.), 12 July 2012 (12.07.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

☐ 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
23 June, 2014 (23.06.14)

Date of mailing of the international search report
08 July, 2014 (08.07.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C30B29/36(2006.01)i, C30B25/16(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（I P C））

Int.Cl. C30B29/36, C30B25/16

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 2003-183098 A（株式会社デンソー）2003.07.03, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2012-131679 A（新日本製鐵株式会社）2012.07.12, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-9

☐ 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

2 3 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

宮崎 園子

4 G

9 2 7 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 1 6