

〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番
1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 金本 哲男, 外 (KANEMOTO, Tetsuo et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町 1 - 2 0
角張ビル 曙国際特許事務所 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

for depositing silicon powder on the base plate; a step for forming a molten silicon layer by scanning the base plate with a molding energy ray to form a molten silicon layer; and a step for cooling the molten silicon layer to form a solidified silicon layer. In the method, a cycle including the step for depositing the silicon powder, the step for forming the molten silicon layer, and the step for forming the solidified silicon layer is repeatedly performed.

(57) 要約: 高純度シリコンの積層造形方法であって、真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、前記真空処理容器の内部に配置されたベースプレートを加熱する工程と、前記ベースプレート上にシリコン粉末を堆積させる工程と、前記ベースプレート上で造形用エネルギー線を走査させて熔融シリコン層を形成する工程と、前記熔融シリコン層を冷却して凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する。

明 細 書

発明の名称：

高純度シリコンの積層造形方法、半導体製造装置用部品の積層造形方法、
半導体製造装置用部品及び半導体製造装置用部品の形成方法

技術分野

[0001] 本開示は、高純度シリコンの積層造形方法、半導体製造装置用部品の積層造形方法、半導体製造装置用部品及び半導体製造装置用部品の形成方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1は、第1のセラミックの原料と第1のセラミックとは異なる第2のセラミックの原料とを供給しながら、原料にエネルギービームを照射する工程を含む、部品の形成方法を開示している。

特許文献2は、部品の表面状態に応じて部品の原料を供給しながら、原料にエネルギービームを照射する工程を含む、部品の形成方法を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-201087号公報

特許文献2：特開2019-201088号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示にかかる技術は、積層造形法により、高純度のシリコン含有材料で構成される半導体製造装置用部品を適切に造形する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様は、高純度シリコンの積層造形方法であって、真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、前記真空処理容器の内部に配置された

ベースプレートを加熱する工程と、前記ベースプレート上にシリコン粉末を堆積させる工程と、前記ベースプレート上で造形用エネルギー線を走査させて熔融シリコン層を形成する工程と、前記熔融シリコン層を冷却して凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、積層造形法により、高純度のシリコン含有材料で構成される半導体製造装置用部品を適切に造形することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]プラズマ処理システムの構成例を示す断面図である。

[図2]積層造形装置の構成例を示す断面図である。

[図3]凝固用材料の製造方法の一例を示す説明図である。

[図4]凝固用材料としての複合材料粉末の構成例を示す説明図である。

[図5]凝固用材料としての混合材料粉末の構成例を示す説明図である。

[図6]実施の形態にかかる積層造形処理の主な工程を示すフロー図である。

[図7]電子ビーム照射時の凝固用材料の温度変化の一例を示す説明図である。

[図8]図7に示した際の凝固用材料のエネルギー密度変化を示す説明図である。

[図9]電子ビーム照射時の凝固用材料の温度変化の一例を示す説明図である。

[図10]図9に示した際の凝固用材料のエネルギー密度変化を示す説明図である。

[図11]実施の形態にかかる半導体製造装置用部品の修復処理の主な工程を示すフロー図である。

[図12]積層造形処理に係る各種パラメータと造形体の密度の関係を示す表である。

[図13]成形された造形体のアウトラインを示す説明図である。

[図14]電子ビームの電流とスキャンスピードを変動させてプロットしたグラ

フである。

[図15A]半導体製造装置用部品の断面における多結晶状組織を示す説明図である。

[図15B]半導体製造装置用部品の断面における多結晶状組織を示す説明図である。

[図16A]半導体製造装置用部品の断面における単結晶状組織を示す説明図である。

[図16B]半導体製造装置用部品の断面における単結晶状組織を示す説明図である。

[図17]他の実施形態に係るプラズマ処理システムの構成例を示す断面図である。

[図18]傾斜造形により構成された造形体の構成例を示す説明図である。

[図19]傾斜造形により構成された造形体の構成例を示す説明図である。

[図20]傾斜造形により構成された造形体の構成例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0008] 半導体デバイスの製造プロセスでは、チャンバ内に供給された処理ガスを励起させてプラズマを生成することで、チャンバの内部空間に配置された半導体基板（以下、単に「基板」という。）に対して、エッチング処理、成膜処理、拡散処理などの各種プラズマ処理が行われる。

[0009] プラズマ処理を実行するプラズマ処理装置の内部には、高純度のシリコン含有材料により構成されたチャンバ内部材が配置される。しかしながら、このシリコン含有材料は、割れや欠けを生じることなく複雑形状に成形することが困難であり、成形されるチャンバ内部材の形状や寸法に制約がある。

[0010] ところで、積層造形法（いわゆる３Ｄプリンタ技術）を用いて、複雑形状で造形が難しい造形物を成形することが行われている。積層造形法では、導電性を有する金属材料を用いた積層造形は実現されているが、さらに、上記したチャンバ内部材を構成する高純度なシリコン含有材料を用いた積層造形の実現が期待されている。期待される高純度とは、純度９９％以上、例えば

、純度 99.99%、99.999%及び99.9999%である。さらに高純度が求められる場合は、例えば、純度 99.999999999%である。

[0011] 本開示にかかる技術は、上記事情に鑑みてなされたものであり、積層造形法により、高純度のシリコン含有材料で構成される半導体製造装置用部品を適切に造形する。以下、実施形態にかかる積層造形法、及び当該積層造形法により成形された半導体製造装置用部品が適用されるプラズマ処理システムについて、図面を参照しながら説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する要素においては、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0012] <プラズマ処理システム>

図 1 は、プラズマ処理システムの構成例を説明するための図である。一実施形態において、プラズマ処理システムは、プラズマ処理装置 1 及び制御部 2 を含む。プラズマ処理システムは、一例として容量結合型のプラズマ処理装置 1 を有する。

[0013] 容量結合型のプラズマ処理装置 1 は、プラズマ処理チャンバ 10、ガス供給部 20、電源 30 及び排気システム 40 を含む。また、プラズマ処理装置 1 は、基板支持部 11 及びガス導入部を含む。基板支持部 11 は、プラズマ処理チャンバ 10 内に配置される。ガス導入部は、少なくとも 1 つの処理ガスをプラズマ処理チャンバ 10 内に導入するように構成される。ガス導入部は、シャワーヘッド 13 を含む。シャワーヘッド 13 は、基板支持部 11 の上方に配置される。一実施形態において、シャワーヘッド 13 は、プラズマ処理チャンバ 10 の天部 (ceiling) の少なくとも一部を構成する。プラズマ処理チャンバ 10 の内部には、シャワーヘッド 13、プラズマ処理チャンバ 10 の側壁 10a 及び基板支持部 11 により規定されたプラズマ処理空間 10s が形成される。プラズマ処理チャンバ 10 は、少なくとも 1 つの処理ガスをプラズマ処理空間 10s に供給するための少なくとも 1 つのガス供給口と、プラズマ処理空間 10s からガスを排出するための少なくとも

1つのガス排出口とを有する。プラズマ処理チャンバ10は接地される。シャワーヘッド13及び基板支持部11は、プラズマ処理チャンバ10とは電氣的に絶縁される。

[0014] 基板支持部11は、本体部111及びリングアセンブリ112を含む。本体部111の上面は、基板Wを支持するための中央領域111aと、リングアセンブリ112を支持するための環状領域111bとを有する。ウェハは基板Wの一例である。環状領域111bは、平面視で中央領域111aを囲んでいる。基板Wは、中央領域111a上に配置され、リングアセンブリ112は、中央領域111a上の基板Wを囲むように環状領域111b上に配置される。従って、中央領域111aは、基板Wを支持するための基板支持面とも呼ばれ、環状領域111bは、リングアセンブリ112を支持するためのリング支持面とも呼ばれる。

[0015] 一実施形態において本体部111は、基台1110及び静電チャック1111を含む。一実施形態において、基台1110は、シリコン(Si)又は炭化シリコン(SiC)等のシリコン含有材料により構成される。基台1110は下部電極として機能し得る。静電チャック1111は、基台1110の上に配置される。静電チャック1111はセラミック部材1111aと、セラミック部材1111a内に配置される静電電極1111bとを含む。セラミック部材1111aは、中央領域111aを有する。一実施形態において、セラミック部材1111aは、環状領域111bも有する。なお、環状静電チャックや環状絶縁部材のような、静電チャック1111を囲む他の部材が環状領域111bを有してもよい。この場合、リングアセンブリ112は、環状静電チャック又は環状絶縁部材の上に配置されてもよく、静電チャック1111と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。また、後述するRF(Radio Frequency)電源31及び／又はDC(Direct Current)電源32に接続される少なくとも1つのRF／DC電極が下部電極として機能する。後述するバイアスRF信号及び／又はDC信号が少なくとも1つのRF／DC電極に供給される場合、RF／DC

電極はバイアス電極とも呼ばれる。なお、基台 1 1 1 0 の導電性部材と少なくとも 1 つの R F 又は D C 電極とが複数の下部電極として機能してもよい。また、静電電極 1 1 1 1 b が下部電極として機能してもよい。従って、基板支持部 1 1 は、少なくとも 1 つの下部電極を含む。基台 1 1 1 0（下部電極）は、実施の形態にかかる積層造形法により成形される半導体製造装置用部品であり得る。

[0016] リングアセンブリ 1 1 2 は、1 又は複数の環状部材を含む。一実施形態において、1 又は複数の環状部材は、1 又は複数のエッジリングと少なくとも 1 つのカバーリングとを含む。エッジリングは、導電性材料又は絶縁材料で形成され、カバーリングは、絶縁材料で形成される。リングアセンブリ 1 1 2 は、実施の形態にかかる積層造形法により成形される半導体製造装置用部品であり得る。

[0017] また、基板支持部 1 1 は、静電チャック 1 1 1 1、リングアセンブリ 1 1 2 及び基板 W のうち少なくとも 1 つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでもよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路 1 1 1 0 a、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路 1 1 1 0 a には、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。一実施形態において、流路 1 1 1 0 a が基台 1 1 1 0 内に形成され、1 又は複数のヒータが静電チャック 1 1 1 1 のセラミック部材 1 1 1 1 a 内に配置される。また、基板支持部 1 1 は、基板 W の裏面と中央領域 1 1 1 a との間の間隙に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでもよい。

[0018] シャワーヘッド 1 3 は、ガス供給部 2 0 からの少なくとも 1 つの処理ガスをプラズマ処理空間 1 0 s 内に導入するように構成される。シャワーヘッド 1 3 は、少なくとも 1 つのガス供給口 1 3 a、少なくとも 1 つのガス拡散室 1 3 b、及び複数のガス導入口 1 3 c を有する。ガス供給口 1 3 a に供給された処理ガスは、ガス拡散室 1 3 b を通過して複数のガス導入口 1 3 c からプラズマ処理空間 1 0 s 内に導入される。また、シャワーヘッド 1 3 は、少なくとも 1 つの上部電極を含む。なお、ガス導入部は、シャワーヘッド 1 3

に加えて、側壁10aに形成された1又は複数の開口部に取り付けられる1又は複数のサイドガス注入部（SGI: Side Gas Injector）を含んでもよい。一実施形態において、シャワーヘッド13（上部電極）は、シリコン（Si）又は炭化シリコン（SiC）等のシリコン含有材料により構成される。すなわち上部電極は、実施の形態にかかる積層造形法により成形される半導体製造装置用部品であり得る。

[0019] ガス供給部20は、少なくとも1つのガスソース21及び少なくとも1つの流量制御器22を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部20は、少なくとも1つの処理ガスを、それぞれに対応のガスソース21からそれぞれに対応の流量制御器22を介してシャワーヘッド13に供給するように構成される。各流量制御器22は、例えばマスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器を含んでもよい。さらに、ガス供給部20は、少なくとも1つの処理ガスの流量を変調又はパルス化する1又はそれ以上の流量変調デバイスを含んでもよい。

[0020] 電源30は、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介してプラズマ処理チャンバ10に結合されるRF電源31を含む。RF電源31は、少なくとも1つのRF信号（RF電力）を少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に供給するように構成される。これにより、プラズマ処理空間10sに供給された少なくとも1つの処理ガスからプラズマが形成される。従ってRF電源31は、プラズマ処理チャンバ10において1又はそれ以上の処理ガスからプラズマを生成するように構成されるプラズマ生成部の少なくとも一部として機能し得る。また、バイアスRF信号を少なくとも1つの下部電極に供給することにより、基板Wにバイアス電位が発生し、形成されたプラズマ中のイオン成分を基板Wに引き込むことができる。

[0021] 一実施形態において、RF電源31は、第1のRF生成部31a及び第2のRF生成部31bを含む。第1のRF生成部31aは、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に結合され、プラズマ生成用のソースRF信号（ソー

スRF電力)を生成するように構成される。一実施形態において、ソースRF信号は、10MHz～150MHzの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、異なる周波数を有する複数のソースRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のソースRF信号は、少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に供給される。

[0022] 第2のRF生成部31bは、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極に結合され、バイアスRF信号(バイアスRF電力)を生成するように構成される。バイアスRF信号の周波数は、ソースRF信号の周波数と同じであっても異なってもよい。一実施形態において、バイアスRF信号は、ソースRF信号の周波数よりも低い周波数を有する。一実施形態において、バイアスRF信号は、100kHz～60MHzの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第2のRF生成部31bは、異なる周波数を有する複数のバイアスRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のバイアスRF信号は、少なくとも1つの下部電極に供給される。また、種々の実施形態において、ソースRF信号及びバイアスRF信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。

[0023] また、電源30は、プラズマ処理チャンバ10に結合されるDC電源32を含んでもよい。DC電源32は、第1のDC生成部32a及び第2のDC生成部32bを含む。一実施形態において、第1のDC生成部32aは、少なくとも1つの下部電極に接続され、第1のDC信号を生成するように構成される。生成された第1のバイアスDC信号は、少なくとも1つの下部電極に印加される。一実施形態において、第2のDC生成部32bは、少なくとも1つの上部電極に接続され、第2のDC信号を生成するように構成される。生成された第2のDC信号は、少なくとも1つの上部電極に印加される。

[0024] 種々の実施形態において、第1及び第2のDC信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。この場合、電圧パルスのシーケンスが少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に印加される。電圧パ

ルスは、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよい。一実施形態において、DC信号から電圧パルスのシーケンスを生成するための波形生成部が第1のDC生成部32aと少なくとも1つの下部電極との間に接続される。従って、第1のDC生成部32a及び波形生成部は、電圧パルス生成部を構成する。第2のDC生成部32b及び波形生成部が電圧パルス生成部を構成する場合、電圧パルス生成部は、少なくとも1つの上部電極に接続される。電圧パルスは、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、電圧パルスのシーケンスは、1周期内に1又は複数の正極性電圧パルスと1又は複数の負極性電圧パルスとを含んでもよい。なお、第1及び第2のDC生成部32a、32bは、RF電源31に加えて設けられてもよく、第1のDC生成部32aが第2のRF生成部31bに代えて設けられてもよい。

[0025] 排気システム40は、例えばプラズマ処理チャンバ10の底部に設けられたガス排出口10eに接続され得る。排気システム40は、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によって、プラズマ処理空間10sの内部圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0026] 制御部2は、本開示において述べられる種々の工程をプラズマ処理装置1に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部2は、ここで述べられる種々の工程を実行するようにプラズマ処理装置1の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部2の一部又は全てがプラズマ処理装置1に含まれてもよい。制御部2は、処理部2a1、記憶部2a2及び通信インターフェース2a3を含んでもよい。制御部2は、例えばコンピュータ2aにより実現される。処理部2a1は、記憶部2a2からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部2a2に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。取得されたプログラムは、記憶部2a2に格納され、処理部2a1によっ

て記憶部 2 a 2 から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ 2 a に読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース 2 a 3 に接続されている通信回線であってもよい。処理部 2 a 1 は、CPU (Central Processing Unit) であってもよい。記憶部 2 a 2 は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース 2 a 3 は、LAN (Local Area Network) 等の通信回線を介してプラズマ処理装置 1 との間で通信してもよい。

[0027] なお、上記実施形態においてはプラズマ処理装置 1 で形成されるプラズマが容量結合プラズマ (CCP: Capacitively Coupled Plasma) である場合を例に説明を行ったが、プラズマ処理空間において形成されるプラズマは、誘導結合プラズマ (ICP: Inductively Coupled Plasma)、ECR プラズマ (Electron-Cyclotron-resonance plasma)、ヘリコン波励起プラズマ (HWP: Helicon Wave Plasma)、又は、表面波プラズマ (SWP: Surface Wave Plasma) 等であってもよい。また、AC (Alternating Current) プラズマ生成部及び DC (Direct Current) プラズマ生成部を含む、種々のタイプのプラズマ生成部が用いられてもよい。一実施形態において、AC プラズマ生成部で用いられる AC 信号 (AC 電力) は、100 kHz ~ 10 GHz の範囲内の周波数を有する。従って、AC 信号は、RF (Radio Frequency) 信号及びマイクロ波信号を含む。一実施形態において、RF 信号は、100 kHz ~ 150 MHz の範囲内の周波数を有する。

[0028] 以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされ

てもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

[0029] <積層造形方法>

続いて、以上のように構成されたプラズマ処理システムが備える、シリコン含有材料により構成された半導体製造装置用部品（図1に示した例においては基台1110、リングアセンブリ112及び／又はシャワーヘッド13）の積層造形方法について説明する。

[0030] 実施の形態にかかる積層造形処理は、積層造形装置200の内部で行われる。図2は、一実施形態に係る積層造形装置200の構成の概略を示す説明図である。

[0031] 図2に示すように積層造形装置200は、チャンバ210、粉末貯蔵部220、電子ビーム（EB：Electron Beam）照射システム（以下、EB照射システム）230及びリコーター240を備える。

[0032] 真空処理容器としてのチャンバ210の内部には、上面で半導体製造装置用部品の積層造形が行われる、ベースプレートとしての造形用プレート211が配置されている。造形用プレート211は、後述の凝固用材料と同一材料（本実施形態においてはシリコン（Si：4.3ppm（室温））、又は線膨張係数が近い材料（例えばチタン（Ti：8.8ppm（室温））以下の線膨張係数を有する材料）で構成され得る。

なお、造形用プレート211は図示しない温度調節部により温度制御可能に構成されている。一例として、温度調節部はヒータ、伝熱媒体、流路、後述のEB照射システム230又はこれらの組み合わせであり得る。

なお、造形用プレート211には、当該造形用プレート211の温度を測定するための温度センサ（図示せず）が接続され得る。

[0033] 造形用プレート211の下部には、当該造形用プレート211の高さ位置を調整可能な昇降台212が設けられている。後述の粉末貯蔵部220からのシリコン粉末は、当該造形用プレート211の上面に向けて供給可能に構成され、造形用プレート211は、この昇降台212の昇降動作によりシリ

コン粉末の供給位置と、造形用電子ビームが照射される造形位置との間で移動自在に構成されている。

[0034] 粉末貯蔵部 220 には、実施の形態にかかる積層造形方法により成形される半導体製造装置用部品の原料となる材料であって、後述の EB 照射システム 230 からの造形用電子ビーム（以下、単に「電子ビーム」という場合がある。）の照射により熔融され、凝固する材料（凝固用材料）、本実施形態においては純度 99% 以上の純シリコン粉末（Si）が貯蔵される。純度 99% 以上とは、例えば、純度 99.99%、99.999% 及び 99.9999% である。さらに高純度が求められる場合は、例えば、純度 99.9999999% である。

なお、一実施形態において凝固用材料としてのシリコン粉末は、平均粉末粒径（D50）が $25\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、より好適には $80\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下である。シリコン粉末の平均粉末粒径（D50）は、一例として既存の粒子径解析ーレーザ回折・散乱法（JIS Z 8825）により測定され、体積を基準に換算した粒度分布における、累積が 50% になる時の粒径が採用され得る。

[0035] なお、一実施形態において凝固用材料としてのシリコン粉末は、既往の粉末製法であるディスクアトマイズにより製造され得る。具体的に、ディスクアトマイズによるシリコン粉末の製造では、図 3 に示すように高速回転中のディスクに熔融シリコンを滴下させ、ディスクの回転力により熔融シリコンを微細な液滴として飛散させることでシリコン粉末を製造する。

このディスクアトマイズによりシリコン粉末を製造することで、例えばガスアトマイズ等の他の粉末製造方法と比較して真球に近い形状の粉末を製造できる。また、ガスアトマイズのように粉末製造に際してガスを使用しないため、粉末製造に際してのガスの巻き込みが抑制され、製造されるシリコン粉末に対するガス成分の混入等の欠陥が少ない。更に本製法によれば、回転ディスクに対して熔融シリコンを滴下することのみによってシリコン粉末が生成されるため、比較的安価でのシリコン粉末製造が可能である。

[0036] 粉末貯蔵部 220 に貯蔵されたシリコン粉末は、チャンバ 210 において、シリコン粉末の供給位置に配置された造形用プレート 211 上に供給される。

[0037] なお、粉末貯蔵部 220 に貯蔵される凝固用材料は、上記した純シリコン (Si) には限られず、純シリコン (Si) と別の種類の粉末を複合 (Composite) して一体化させた複合材料粉末であってもよい。この際、純シリコン (Si) と一体化させる材料 (複合用材料) としては、例えばカーボン (C)、シリコンカーバイド (SiC)、アルミナ (Al_2O_3)、窒化アルミニウム (AlN) 又は酸化イットリウム (Y_2O_3) 等の非金属材料や、アルミニウム (Al) 等の金属材料が挙げられる。

なお、一実施形態において凝固用材料としての上記複合材料粉末は、全体での平均粉末粒径 (D_{50}) が $25\mu m$ 以上 $300\mu m$ 以下であり、且つ、純シリコンと複合する粉末の平均粉末粒径以上の粒径である (図 4 を参照) ことが望ましい。この場合、純シリコンと複合する粉末 (図示の例ではシリコンカーバイド (SiC)) は純シリコンに完全に覆われている必要はないが、流動中に分離しない程度には結合していることが望ましい。複合材料粉末や、純シリコンと複合する粉末の平均粉末粒径 (D_{50}) は、一例として既存の粒子径解析レーザ回折・散乱法 (JIS Z 8825) により測定され、体積を基準に換算した粒度分布における、累積が 50% になる時の粒径が採用され得る。

[0038] また、積層造形装置 200 には複数の粉末貯蔵部 220 が配置されてもよい。複数の粉末貯蔵部 220 の各々には、上記した純シリコン粉末 (Si) 及び複合材料粉末に加え、これら純シリコン粉末 (Si) 及び複合材料粉末に混合 (Mixture) させるための別の種類の凝固用材料の粉末が貯蔵されてもよい。この際、純シリコン粉末 (Si) 及び複合材料粉末に混合させるための混合用材料としては、例えばカーボン (C)、シリコンカーバイド (SiC)、アルミナ (Al_2O_3)、窒化アルミニウム (AlN)、酸化イットリウム (Y_2O_3) 又はセラミック等の非金属材料や、アルミニウム (

A l) 等の金属材料、又はMMC (M e t a l M a t r i x C o m p o s i t e s) 等の複合材料などから選択される少なくともいずれかの混合用材料が貯蔵され得る。なお、実施の形態において粉末の「混合」とは、図4に示した複数の粉末を複合（一体化）した状態とは異なり、図5に示すように、単に異なる種類の粉末を独立した粉末として混ぜ合わせた状態（ふるい分け可能な状態）をいう。

この場合、後述する積層造形処理では、上記した純シリコン粉末（S i）単体による積層造形に加え、又は代えて、純シリコン粉末（S i）と上記非金属材料、上記金属材料又は上記複合材料との混合粉末による積層造形も実行され得る。

[0039] E B照射システム230はチャンバ210の内部において造形用プレート211の上方に配置される照射部としての電子銃231と、電子銃231から照射される造形用電子ビームの照射源となるヘッド232を備える。

電子銃231から照射される造形用電子ビームは、一例として図示しない焦点鏡や図示しない偏光鏡を介して、造形用プレート211上の任意の位置に照射可能に構成される。また、電子銃231から照射される造形用電子ビームのビーム径は任意に変更可能に構成される。

[0040] なお、造形用プレート211上のシリコン粉末に照射される造形用エネルギー線は電子ビームには限られず、例えばレーザ光（S L : S e l e c t i v e L a s e r）であってもよい。換言すれば、積層造形装置200は、E B照射システム230の代わりに、レーザ光照射システム（図示せず）を備えていてもよい。

[0041] リコーター240は、チャンバ210の内部において少なくとも造形用プレート211よりも上方に配置されている。リコーター240は水平方向に移動自在に構成され、粉末貯蔵部220からのシリコン粉末を造形用プレート211の上面に敷き詰める動作（いわゆるリコーティング）を行う。

[0042] なお、チャンバ210には図示しない排気システムが接続され得る。排気システムは、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によっ

て、チャンバ210の内部圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0043] また、チャンバ210には図示しない粉末回収システムが接続され得る。粉末回収システムは、一例において排気システムに接続されてもよい。粉末回収システムは、造形用プレート211上に供給され、後述の積層造形処理に用いられなかった凝固用材料、換言すればEB照射システム230からの造形用電子ビームが照射されなかった凝固用材料を回収し、再度、造形用プレート211上に供給することで、回収した凝固用材料を再利用可能に構成される。

なお、上記したように複数の粉末貯蔵部220を配置し、複数の凝固用材料を混合させた混合粉末を用いる場合、混合前の粉末の粒度分布が互いに重ならないような組み合わせを選定することで、多段のふるいをもつ粉末回収システムを利用して、混合粉末から混合前の凝固用材料の粉末をそれぞれ分離し回収することが可能となる。このように多段ふるいを介して凝固用材料の回収することで、異種粉末の同時回収が可能であり、より適切に凝固用材料の再利用が可能である。

[0044] また、以上のように構成された積層造形装置200は制御部250を有する。制御部250は、本開示において述べられる種々の積層造形処理に係る工程を積層造形装置200に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部250は、ここで述べられる種々の工程を実行するように積層造形装置200の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部250の一部又は全てが積層造形装置200に含まれてもよい。制御部250は、処理部250a1、記憶部250a2及び通信インターフェース250a3を含んでもよい。制御部250は、例えばコンピュータ250aにより実現される。処理部250a1は、記憶部250a2からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部250a2に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。

。取得されたプログラムは、記憶部250a2に格納され、処理部250a1によって記憶部250a2から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ250aに読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース250a3に接続されている通信回線であってもよい。処理部250a1は、CPU (Central Processing Unit) であってもよい。記憶部250a2は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース250a3は、LAN (Local Area Network) 等の通信回線を介してプラズマ処理装置1との間で通信してもよい。

[0045] 図6は、以上のように構成された積層造形装置200を用いて行われる積層造形処理の主な工程の一例を示すフロー図である。なお、以下の説明においては、上述したように凝固用材料として純度99%以上の純シリコン粉末を使用し、電子ビーム方式の積層造形処理により半導体製造装置用部品を成形する場合を一例として説明を行う。

[0046] 半導体製造装置用部品の積層造形にあたっては、先ず、当該積層造形に係る事前準備を行う。具体的には、積層造形に係る制御的な事前準備（図6のステップSt0-1～ステップSt0-2）と、積層造形に係る装置的な事前準備（図6のステップSt0-3～ステップSt0-4）を順次行う。

[0047] 積層造形に係る制御的な事前準備では、先ず、製造対象の半導体製造装置用部品のCADデータ（3Dデータ）をスライスデータに変換する（ステップSt0-1）。具体的には、後述の積層造形処理では、造形用プレート211への凝固用材料の供給（積層）と、供給された凝固用材料の冷却（凝固）とを繰り返すことで半導体製造装置用部品を製造する。このため、製造する半導体製造装置用部品の完成形データ（3DのCADデータ）を、凝固用材料の積層方向に対する1層当たりの単位データ（スライスデータ）に分解する。

そして積層造形装置200では、このスライスデータ毎に凝固用材料の供給条件（供給位置や供給量（供給厚み））、及び造形用電子ビームの照射条件を適用（ステップS t 0-2）し、決定された照射条件に基づいて、EB照射システム230からの造形用電子ビームの照射を制御する。

[0048] なお、積層造形処理に用いられる半導体製造装置用部品のCADデータは、予め記憶部250a2に格納されていてもよく、又は、必要なときに、記憶媒体を介して取得されてもよい。

[0049] 積層造形に係る機械的な事前準備では、先ず、チャンバ210内の予め定められた位置に、造形基材たる造形用プレート211を配置する（ステップS t 0-3）。この時プレート下部には電荷の蓄積を回避するためのアース線と、温度制御用の温度センサが接続される。

チャンバ210内に造形用プレート211を配置すると、次いで、当該造形用プレート211の周辺に断熱層を形成する（ステップS t 0-4）。具体的には、図2に示したようにチャンバ210内に配置された造形用プレート211の下部に凝固用材料たる純シリコン粉末を充填する。このように造形用プレート211の周辺に断熱層を形成することで、後述の積層造形処理に際して造形用プレート211の温度が低下することが抑制され、より効果的に半導体製造装置用部品の積層造形を実施できる。

[0050] 積層造形の事前準備が完了すると、次に、図示しない排気システムによりチャンバ210の内部を真空排気する（図6のステップS t 1）。ステップS t 1においては、チャンバ210の内部を高真空、好適には 1.0×10^{-4} Torr以下まで真空排気することが望ましい。

[0051] チャンバ210の内部圧力が 1.0×10^{-4} Torrを超える場合、又は、単にチャンバ210の内部を不活性ガスと置換のみした場合、実施の形態にかかる積層造形処理により成形される半導体製造装置用部品への不純物（例えば空気等）の混入量が増加する。

この点、本実施形態によれば、チャンバ210の内部を 1.0×10^{-4} Torr以下まで真空排気することで、チャンバ210内の不純物量を減少で

き、この結果、低不純物の半導体製造装置用部品を成形できる。

[0052] チャンバ210の真空排気が完了すると、次に、図示しないガス供給部からチャンバ210の内部に不活性ガス（例えばヘリウム（He）ガス）を供給し、チャンバ210内の雰囲気調整する（図6のステップSt2）。

[0053] 次に、シリコン粉末を供給する前の造形用プレート211を加熱（予熱）する（図6のステップSt3）。ステップSt3においては、造形用プレート211の温度を、800℃以上であって、且つ、後の工程で供給される凝固用材料（シリコン粉末）の融点よりも低い温度に昇温する。

[0054] なお、以降の一連の積層造形のプロセスにおいては、半導体製造装置用部品の成形が完了するまで、造形用プレート211の温度を予熱温度（800℃以上且つシリコン粉末の融点よりも低い温度）で保持する。

[0055] 造形用プレート211の温度が800℃未満となった場合、後述するように、後の電子ビーム照射工程（後述のステップSt6）においてシリコン粉末が飛散し、積層造形処理を停止する必要があるおそれがある。

一方、造形用プレート211の予熱温度がシリコン粉末の融点以上となった場合、造形用プレート211の上面近傍でシリコン粉末が溶融し、この結果、造形用プレート211の位置ズレが生じるおそれがある。また、このようにシリコン粉末が溶融して粘性を持つことで、前述のリコーティングに際してリコーター240にシリコン粉末が付着し、この結果、造形用プレート211とリコーター240が固着してしまうおそれもある。

[0056] なお、造形用プレート211の加熱方法は特に限定されるものではない。例えば、造形用プレート211の内部又は外部に配置された加熱機構（図示せず）を用いて加熱を行ってもよい。また例えば、造形用プレート211の上部に配置されたEB照射システム230から造形用プレート211に向けて造形用電子ビームを照射し、照射された造形用電子ビームのエネルギーにより加熱をおこなってもよい。

[0057] 造形用プレート211が所望の温度まで予熱されると、次に粉末貯蔵部220に貯蔵されたシリコン粉末を造形用プレート211上に供給し、堆積さ

せる（図6のステップS t 4）。この時、造形用プレート2 1 1は、昇降台2 1 2によりシリコン粉末の供給位置に配される。ステップS t 4においては、後の電子ビーム照射工程（後述のステップS t 6）において適切に造形用プレート2 1 1上に堆積されたシリコン粉末層（以下、「堆積粉末」という場合がある。）を熔融させるため、造形用プレート2 1 1上に堆積されるシリコン粉末の厚み（層厚）が、当該シリコン粉末の粉末粒径近傍の厚みとなるように、シリコン粉末の堆積量（供給量）が制御されることが望ましい。造形用プレート2 1 1上に堆積されるシリコン粉末の厚みは、好適には80 μm 以上である。ただし、シリコン粉末の厚みは、80 μm 以上に限定されるものではない。

[0058] ここで、一実施形態において造形用プレート2 1 1上に供給されるシリコン粉末としては、平均粉末粒径（D 5 0）が25 μm 以上300 μm 以下、より好適には80 μm 以上150 μm 以下であるシリコン粉末が選択される。

シリコン粉末の平均粒径が25 μm 未満である場合、後の電子ビーム照射工程（後述のステップS t 6）においてシリコン粉末が飛散して積層造形処理を停止する必要があるおそれや、成形される半導体製造装置用部品の密度が低下するおそれがある。

一方、シリコン粉末の平均粒径が300 μm を超える場合、半導体製造装置用部品は成形されるものの、当該半導体製造装置用部品の造形精度（分解能）が低下し、所望の形状で半導体製造装置用部品を成形できないおそれがある。

[0059] 対し、シリコン粉末の平均粒径が80 μm 以上150 μm 以下である場合、後の電子ビーム照射工程（後述のステップS t 6）におけるシリコン粉末の飛散を好適に抑制しつつ、所望の形状及び密度で半導体製造装置用部品を成形できる。

また、電子ビーム照射工程（後述のステップS t 6）では、後述するように造形用プレート2 1 1上に堆積された1層のシリコン粉末に対して、多段

での（複数回の）造形用電子ビームの照射を行うことで当該シリコン粉末の飛散を抑制することを図っている。しかしながら、このように平均粒径が $80\mu\text{m}$ 以上のシリコン粉末を使用することで、当該シリコン粉末の飛散を抑制できるため、後述するように、多段での造形用電子ビームの照射に代えて単発での（1回の）造形用電子ビームの照射で半導体製造装置用部品を成形できる。

[0060] 造形用プレート211上に所望の厚みでシリコン粉末が堆積されると、次に、堆積粉末としてのシリコン粉末の加熱（予熱）を行う（図6のステップSt5）。なお、シリコン粉末は予熱された造形用プレート211からの伝熱や、造形用プレート211の加熱を行うための前記した加熱機構（図示せず）、又はEB照射システム230からの造形用電子ビームの照射により所望の予熱温度（ 800°C 以上）まで昇温される。

[0061] ここで、シリコン粉末の温度が 800°C 未満となった場合、前述したように、後の電子ビーム照射工程（後述のステップSt6）において堆積したシリコン粉末が飛散し、造形を停止する必要があるおそれがある。

具体的には、特に、後の電子ビーム照射工程（後述のステップSt6）においてシリコン粉末に対して電子ビームが照射された場合、電子ビームが照射されたシリコン粉末には電荷が蓄積される。かかる場合、電荷が蓄積されたシリコン粉末の間でクーロン力が発生し、これによりシリコン粉末が飛散するおそれがある。

[0062] そこで本実施形態においては、後の電子ビーム照射工程（後述のステップSt6）に先立って、堆積粉末を予熱する。

このようにシリコン粉末を加熱することにより隣接するシリコン粉末同士が結着され、この結果、シリコン粉末の間に機械的な締結力が発生することや、粉末1粒当たりの重量が増加することによって、当該シリコン粉末が飛散することが抑制される。

また本実施形態によれば、このようにシリコン粉末同士が結着されることで導通性が向上する。これにより、電子ビームの照射により蓄積される電荷

を、結着されたシリコン粉末及び上述したアース線を介して下方（造形用プレート211方向）へと逃がすことができ、シリコン粉末の飛散を更に適切に抑制できる。

[0063] なお、このステップSt5においてEB照射システム230からの造形用電子ビームの照射によりシリコン粉末の予熱を行う場合には、特に予熱の初期段階において、シリコン粉末の温度を段階的に上昇させる。換言すれば、造形用電子ビームの出力を段階的に上昇させる。

このように造形用電子ビームの出力を段階的に上昇させることで、特にシリコン粉末同士の結着が進行していない予熱の初期段階での電荷の蓄積が抑制され、より適切にシリコン粉末同士の結着を進行させ、シリコン粉末の飛散を抑制できる。

[0064] シリコン粉末が所望の温度まで予熱されると、次に、EB照射システム230から造形用プレート211上のシリコン粉末に向けて電子ビームを照射する（図6のステップSt6）。この時、造形用プレート211は、昇降台212により造形位置に配される。ステップSt6では、電子銃231からの電子ビームの照射位置を、造形用プレート211の上でスキャン（走査）させる。そしてステップSt6においては、造形用プレート211上のシリコン粉末に電子ビームを照射することで、電子ビームの照射位置においてシリコン粉末を部分的に溶融させることで、シリコン粉末を相互に結着させる。以下、シリコン粉末の結着により造形用プレート211上に形成されるシリコン粉末の層を「溶融シリコン層（溶融層）」という場合がある。

[0065] ここで、本ステップSt6においては、図7に示すように造形用プレート211上のシリコン粉末に対して多段（図7の例では3段）で電子ビームを照射する。多段で照射される電子ビームの各段間の時間的な照射間隔は、直前の電子ビームの照射により加熱されたシリコン粉末が、電子ビーム照射前の予熱温度（800℃以上）まで降温（冷却）された後に、次の電子ビームが照射されるような照射間隔で制御される。

[0066] またこの時、図8に示すように、造形物（電子ビームの照射対象であるシ

リコン粉末)の最表面温度が段階的に上昇するように、多段で照射される電子ビームのエネルギー密度を制御する。換言すれば、多段で照射する電子ビームのうち、後段で照射する電子ビームのエネルギー密度が、前段で照射する電子ビームのエネルギー密度と比較して高くなるように、電子ビームの照射を制御する。

[0067] 上記したように、電子ビームの照射対象であるシリコン粉末の温度が800℃未満となった場合、当該電子ビームの照射に際してシリコン粉末が飛散するおそれがある。しかしながら、この一方で、例えば図9及び図10に示すようにシリコン粉末の加熱を単発の電子ビームの照射により行う場合、すなわち一のシリコン粉末の温度を1発の電子ビームの照射により一気に上昇させた場合にも、シリコン粉末が飛散するおそれがある。

この点、本実施形態に係る積層造形処理では、図7に示したように、シリコン粉末の温度が段階的に上昇するように、一のシリコン粉末に対して電子ビームを多段で(複数回)照射する。これにより、電子ビームの照射対象であるシリコン粉末が段階的に溶融、結合される。そして、このように溶融、結合されたシリコン粉末に対して溶融シリコン層(溶融層)を本形成するための電子ビーム(多段で照射される電子ビームの内、最後段の電子ビーム)を照射する。換言すれば、本ステップSt6では、シリコン粉末を段階的に溶融、結合させるための電子ビーム(多段で照射される電子ビームの内、最後段以外の電子ビーム)と、シリコン粉末から溶融シリコン層を本形成するための電子ビーム(多段で照射される電子ビームの内、最後段の電子ビーム)を連続的に照射する。

これにより、本実施形態に係る積層造形処理における電子ビーム照射工程(ステップSt6)では、シリコン粉末の飛散を抑制しつつ、適切に溶融シリコン層を形成できる。

[0068] なお、上記したように造形用プレート211上に供給されたシリコン粉末の平均粒径が80μm以上であり、かつ凝固用材料が純シリコン粉末のみで構成される場合、粉末1粒当たりの重量の増加により、電子ビームの照射に

よる凝固用材料の飛散が抑制される。

かかる点を鑑みて、凝固用材料が純シリコン粉末のみで構成され、当該シリコン粉末の平均粒径が $80\mu\text{m}$ 以上である場合には、多段での造形用電子ビームの照射に代えて、図9に示した単発での（1回の）電子ビームの照射により熔融シリコン層の形成を行ってもよい。このように電子ビームの多段照射を単発照射に省略して熔融シリコン層を形成することで、半導体製造装置用部品の造形に係る時間を大幅に短縮できる。

[0069] なお、実施の形態にかかる凝固用材料（純シリコン粉末）に電子ビームを走査させて熔融シリコン層（半導体製造装置用部品）を適切に形成するためには、電子ビームの照射に係る各種パラメータについて、以下の関係式（1）又は関係式（2）に基づいて調整を行う。

関係式（1）＝（〔電圧〕×〔電流〕）／（〔ビーム径〕×〔スキャンスピード〕）

関係式（2）＝（〔電圧〕×〔電流〕）／（〔ビーム径〕×〔スキャンスピード〕×〔粉末1層の厚さ〕）

但し、各種パラメータの単位は以下の通りとする。

電圧〔kV〕

電流〔mA〕

ビーム径（直径）〔mm〕

スキャンスピード〔mm/sec〕

粉末1層（堆積粉末）の厚さ〔mm〕

[0070] 一実施形態において関係式（1）は、0.3以上3.0以下を満たすことが望ましく、より好適には0.5以上3.0以下を満たすことが望ましい。

一実施形態において関係式（2）は、5.3以上50.0以下を満たすことが望ましく、より好適には8.4以上50.0以下を満たすことが望まし

い。

[0071] 関係式(1)が3.0を超える場合、又は、関係式(2)が50.0を超える場合、電子銃231から照射される電子ビームのエネルギーが過剰になり、これによりシリコン粉末が過剰に溶融され、成形される半導体製造装置用部品の形状を適切に制御できなくなるおそれがある。

一方、関係式(1)が0.3未満となる場合、又は、関係式(2)が5.3未満となる場合、電子銃231から照射される電子ビームのエネルギーが必要量に達せず、積層造形装置200における積層造形処理の最中において造形物(半導体製造装置用部品)が造形用プレート211から剥離され、積層造形工程を継続できなくなるおそれがある。

さらに、関係式(1)が0.5以上となる場合、又は、関係式(2)が8.4以上となる場合、造形物(半導体製造装置用部品)は所望の形状で成形でき、かつ成形された半導体製造装置用部品の密度を高めることができる。

[0072] 以上を鑑みて、本実施形態においては、上記関係式(1)が0.3以上3.0以下、より好適には0.5以上3.0以下を満たし、又は、上記関係式(2)が5.3以上50.0以下、より好適には8.4以上50.0以下を満たすことが望ましい。

[0073] なお、上記関係式(1)又は上記関係式(2)は、凝固用材料(純シリコン粉末)に対して電子ビームを単発で照射する場合の照射条件、又は、電子ビームを多段で照射する場合においては少なくとも最後段の電子ビームの照射条件に適用され得る。

[0074] 造形用プレート211上のシリコン粉末が溶融され、溶融シリコン層が形成されると、次に、溶融したシリコン粉末の冷却を行う(図6のステップSt7)。ステップSt7では、溶融シリコン層を冷却により凝固させ、凝固させる。以下、凝固された溶融シリコン層を「凝固シリコン層(凝固層)」という場合がある。

[0075] なお、溶融シリコン層の冷却は短時間で行われること、すなわち溶融シリコン層は急冷凝固されることが望ましく、具体的には、溶融シリコン層の冷

却（凝固）時間は１秒以下であることが望ましい。

[0076] なお、熔融シリコン層の冷却方法は特に限定されるものではなく、例えばチャンバ２１０内での自然放熱によって冷却され得る。

[0077] 本実施形態においては、以上のシリコン粉末の堆積（ステップＳｔ４）、シリコン粉末の熔融（ステップＳｔ５、ステップＳｔ６）及び熔融シリコン層の凝固（ステップＳｔ７）を含む一連のプロセスのサイクルを、図６に示すように、所望の半導体製造装置用部品の形状が得られるまで繰り返し実行する。

なお、２サイクル目以降のステップＳｔ４においては、造形用プレート２１１上加え、当該サイクルよりも前のサイクルで成形された凝固シリコン層（下地となる材料層）の上に、凝固用材料としての純シリコン粉末を供給する。

換言すれば、２サイクル目以降の積層造形においては、一の凝固シリコン層上に、他の凝固シリコン層を積層して形成する。

[0078] その後、所望の回数のサイクルが繰り返し行われると、更なる積層造形処理のプロセス（ステップＳｔ４～ステップＳｔ７）のサイクルが必要か判定され、必要と判定された場合（半導体製造装置用部品の成形が完了していない場合）、図６に示すようにステップＳｔ４に戻りステップＳｔ４～ステップＳｔ７のプロセスが繰り返される。また、更なる積層造形処理のプロセスのサイクルが不要であると判定された場合（所望の形状の半導体製造装置用部品が得られた場合）、積層造形処理を終了する。

[0079] 積層造形処理の終了に際しては、成形された半導体製造装置用部品、及び造形用プレート２１１を含むチャンバ２１０の内部が降温され、更に必要に応じて熱処理される（図６のステップＳｔ８、ステップＳｔ９）。

その後、チャンバ２１０の内部から成形された半導体製造装置用部品が取り出される。チャンバ２１０から取り出された半導体製造装置用部品には、その後、必要に応じて加工、形成や修復が施されてもよい（図６のステップＳｔ１０）。

[0080] なお、上記実施形態においては積層造形処理のプロセスのサイクル（ステップS t 4～ステップS t 7）を繰り返し実行したが、成形される半導体製造装置用部品の用途目的に応じて、当該繰り返しは省略されてもよい。すなわち、積層造形処理のプロセスは一度のみ行われてもよい。

[0081] <成形された半導体製造装置用部品の形成（修復）方法>

次に、以上のように成形された半導体製造装置用部品の形成（修復：ステップS t 10）方法の一例について説明する。図11は、半導体製造装置用部品の形成（修復）処理（以下、単に修復処理という。）の主な工程の一例を示すフロー図である。修復処理は、例えば、図1のプラズマ処理装置1内におけるプラズマ処理により消耗したシリコンを含有する半導体製造装置用部品に対して行われる。プラズマ処理により消耗するシリコンを含有する半導体製造装置用部品は、図1に示した例においては、基台1110、リングアセンブリ112及び／又はシャワーヘッド13である。また、修復処理は、プラズマ処理により消耗した場合だけでなく、種々の要因により欠損及び／又は破損した半導体製造装置用部品に対しても行われる。

[0082] 半導体製造装置用部品の修復に際しては、先ず、修復対象の半導体製造装置用部品の3Dデータを、3Dスキャナを用いて取得する（図11のステップS t 10-1）。3Dデータは、消耗量、消耗位置（消耗領域）、消耗形状などのデータで構成される。取得した3Dデータは、3Dスキャナの制御装置（図示せず）へと出力される。

[0083] 次に、ステップS t 10-1で取得した3Dデータと、修復対象の半導体製造装置用部品を成形するための3Dデータ（例えば、図6のステップS t 10-1で使用するCADデータ）とを比較する（図11のステップS t 10-2）。

より具体的には、半導体製造装置用部品の完成形の3DデータであるCADデータと、ステップS t 10-1で取得した修復対象の半導体製造装置用部品の3Dデータとを比較することで、両データの差分値を取得する。取得された差分値（消耗量）が予め定められた閾値を超えた場合は、この差分値

が閾値を超えた部分を、修復対象の半導体製造装置用部品における修復が必要な部分（以下、「消耗部分」）として特定する。

[0084] 半導体製造装置用部品の消耗部分が特定されると、次に、当該半導体製造装置用部品の修復（図 11 のステップ S t 10-3）を開始する。半導体製造装置用部品の修復方法は、一例において図 6 に示した積層造形処理と同様であり、一例において上記した積層造形装置 200 を用いて行われる。

すなわち、ステップ S t 10-2 で特定された消耗部分を積層造形処理における処理対象部分とみなし、消耗部分へのシリコン粉末の供給、堆積、シリコン粉末の加熱（予熱）、シリコン粉末への電子ビームの照射、及び熔融したシリコン粉末の冷却を含む一連のプロセスのサイクルを繰り返し実施する。

[0085] ただし、この半導体製造装置用部品の修復処理に際しては、上記した造形用プレート 211 上に代えて修復対象の半導体製造装置用部品上にシリコン粉末を供給する。かかる観点を鑑みて、一連の修復処理においては、半導体製造装置用部品の修復が完了するまで、造形用プレート 211 に代えて半導体製造装置用部品の温度を少なくとも予熱温度（800℃以上且つシリコン粉末の融点よりも低い温度）で保持することが好ましい。また、造形用プレート 211 に代えて、少なくとも半導体製造装置用部品が凝固用材料と同一材料、又は線膨張係数が近い材料で構成されることが好ましい。換言すれば、半導体製造装置用部品を構成する材料と同一材料、又は線膨張係数が近い材料を、凝固用材料として選定する。

[0086] なお、かかる半導体製造装置用部品の修復処理に際しても、凝固用材料として上記した純シリコン粉末を用いる場合には、上記関係式（1）又は上記関係式（2）に基づいて電子ビームの照射条件を調整することが望ましい。

また、修復処理に係るその他の条件、例えば修復対象の半導体製造装置用部品上に堆積させるシリコン粉末の条件（種類、粒径や混合比率等）やチャンバ 210 の内部圧力、半導体製造装置用部品の加熱方法などは、上記した積層造形方法と同様であってもよい。

[0087] その後、所望の回数のサイクルが繰り返し行われると、更なる修復処理のプロセスのサイクルが必要か判定され、必要と判定された場合（半導体製造装置用部品の修復が完了していない場合）、再度のプロセスが繰り返される。また、更なる修復処理のプロセスのサイクルが不要であると判定された場合（所望の形状の半導体製造装置用部品に修復された場合）、修復処理を終了する。

[0088] 修復処理の終了に際しては、修復された半導体製造装置用部品、及び造形用プレート211を含むチャンバ210の内部が降温（図11のステップSt10-4）され、更に必要に応じて熱処理（図11のステップSt10-5）される。

その後、チャンバ210の内部から修復された半導体製造装置用部品が取り出され（図11のステップSt10-6）、一連の半導体製造装置用部品の修復処理が完了する。

[0089] なお、上記した3Dデータの比較（ステップSt10-2）において取得された差分値（消耗量）が予め定められた閾値を超えていない場合には、図11に示したように、半導体製造装置用部品の修復（ステップSt10-3～ステップSt10-5）を行うことなく、同半導体製造装置用部品をチャンバ210の内部から搬出（ステップSt10-6）してもよい。

[0090] <実施の形態にかかる積層造形方法の効果>

以上の実施形態にかかる積層造形方法によれば、上記関係式（1）を、0.3以上3.0以下、望ましくは0.5以上3.0以下とし、又は、上記関係式（2）を、5.3以上50.0以下、望ましくは8.4以上50.0以下とすることで、純度99%以上の純シリコン粉末を凝固用材料として使用する場合であっても、適切に半導体製造装置用部品を成形、修復できる。

[0091] 図12は、各種パラメータを変更することにより上記関係式（1）及び上記関係式（2）の値をそれぞれ調整した場合における、それぞれの条件で成形された半導体製造装置用部品の密度、及び相対密度を示す表である。

なお、図12に示す「密度 $[g/cm^3]$ 」は成形された半導体製造装置用

部品の実測密度を表し、「相対密度 [%]」は凝固用材料としてのシリコン粉末の密度を「100」とした場合における半導体製造装置用部品の相対密度を表す。

[0092] 図12において比較例1は関係式(1)が0.3以上となるが、関係式(2)が5.3未満となる場合、比較例2は関係式(1)が3.0を超過し、且つ関係式(2)も50.0を超過する場合の結果を示す。

図12において実施例1は関係式(1)が0.3以上0.5未満、且つ関係式(2)が5.3以上8.4未満となる場合、実施例2及び実施例3は関係式(1)が0.5以上3.0以下、且つ関係式(2)が8.4以上50.0以下の条件を満たす場合の結果を示す。

[0093] なお、図12に示す全ての条件での積層造形に際して、常時、造形用プレート211の温度を800℃以上に保持した。

[0094] また図13は、図12に示したそれぞれの条件で成形された半導体製造装置用部品のアウトラインを示す説明図である。具体的には、上記比較例2、実施例1、実施例2及び実施例3の条件で成形された半導体製造装置用部品のアウトラインをそれぞれ示す。なお、これらアウトラインは、X線CTスキャンにより撮影された画像である。

[0095] 図12の比較例1においては、関係式(2)が5.3未満となり、上述したように、電子銃231から照射される電子ビームのエネルギーが弱く、積層造形処理の最中において造形物が造形用プレート211から剥離した。すなわち、半導体製造装置用部品を適切に成形することができなかった。

[0096] 図12の比較例2においては、成形された半導体製造装置用部品の相対密度は100.0となり、すなわち凝固用材料としてのシリコン粉末の状態から不純物が混入することなく、相対密度99%を超える緻密な半導体製造装置用部品を成形できた。

一方で、関係式(1)が3.0を超過、且つ関係式(2)が50.0を超過し、上述したように、電子銃231から照射される電子ビームのエネルギーが強く、図13に示したように成形された半導体製造装置用部品の形状が

大きく崩れて（扁平形状になって）しまった。換言すれば、所望の形状の半導体製造装置用部品を得ることができなかった。

[0097] 図12の実施例1においては、図13に示したように、半導体製造装置用部品の形状が崩れず、すなわち所望の形状の半導体製造装置用部品を得ることができた。

一方で、関係式(1)が0.3以上0.5未満、且つ関係式(2)が5.3以上8.4未満の条件では、成形された半導体製造装置用部品の密度が低下（相対密度97.9%）した。

[0098] 図12の実施例2及び実施例3においては、関係式(1)が0.5以上3.0以下、且つ関係式(2)が8.4以上50.0以下の条件を満たした。この結果、図12に示したように成形された半導体製造装置用部品の相対密度が実施例2では100.2、実施例3では100.3となり、すなわち凝固用材料としてのシリコン粉末の状態から不純物が混入することなく、相対密度99%を超える緻密な半導体製造装置用部品を成形できた。

また、図13に示したように半導体製造装置用部品の形状が崩れず、すなわち所望の形状の半導体製造装置用部品を得ることができた。

[0099] 以上、本発明者らは、図12及び図13に示したように、凝固用材料としての純シリコン粉末（純度99%以上）を使用する場合、上記関係式(1)が0.3以上3.0以下、又は上記関係式(2)が5.3以上50.0以下の条件を満たすことで、所望の形状で造形物（半導体製造装置用部品）を成形できることを知見した。

また、特に上記関係式(1)が0.5以上3.0以下、又は上記関係式(2)が8.4以上50.0以下の条件を満たすことで、所望の形状で、且つ高密度（相対密度99%以上）な造形物（半導体製造装置用部品）を成形できることを知見した。

[0100] また、本発明者らは、電子ビームを用いた積層造形処理において、電子ビームの出力の電流と電子ビームのスキャンスピードを調整することで、造形後の造形物（半導体製造装置用部品）の結晶組織（シリコンの結晶組織）を

制御できることを知見した。すなわち、電子ビームの電流とスキャンスピードを調整することで、半導体製造装置用部品を単結晶シリコン又は多結晶シリコンに制御できる。

[0101] 具体的に本発明らは、図 1 4 に示すように電子ビームの電流とスキャンスピードを変動させた条件で積層造形処理を行い、成形された半導体製造装置用部品の結晶組織を観察した。その結果、図 1 4 中、白丸 (○) で示す条件では結晶組織は単結晶状組織となり、黒丸 (●) で示す条件では結晶組織は多結晶状組織となった。

[0102] 図 1 5 は、半導体製造装置用部品の断面における多結晶状組織を示し、図 1 5 A は造形方向に平行方向の断面図であり、図 1 5 B は造形方向に垂直方向の断面図である。図 1 5 における色の濃淡は結晶方位の向きを示しており、色の濃さが同等の結晶は同等の方位を向いている結晶である。この多結晶状組織は、図 1 4 中の黒丸 (●) の 1 つの条件、すなわち電流が 4. 0 0 m A で、スキャンスピードが 2 0 0 0 m m / s の条件で得られた。図 1 5 A 及び図 1 5 B に示すように、いずれの方向の断面においても、異なる方位の結晶粒が複数形成されている。また、黒丸 (●) の他の条件においても同様に、多結晶状組織の半導体製造装置用部品が成形された。

[0103] 図 1 6 は、半導体製造装置用部品の断面における単結晶状組織を示し、図 1 6 A は造形方向に平行方向の断面図であり、図 1 6 B は造形方向に垂直方向の断面図である。図 1 6 における色の濃淡は図 1 5 と同様に結晶方位の向きを示しており、色の濃さが同等の結晶は同等の方位を向いている結晶である。この単結晶状組織は、図 1 4 中の白丸 (○) の 1 つの条件、すなわち電流が 3. 6 7 m A で、スキャンスピードが 6 4 0 m m / s の場合であり、図 1 2 に示した実施例 3 に相当する条件で得られた。図 1 6 に示すように、いずれの方向の断面においても、略同じ方位の単結晶状組織が得られた。また、白丸 (○) の他の条件、すなわち電流が 4. 3 3 m A で、スキャンスピードが 7 5 3 m m / s の場合であり、図 1 2 に示した実施例 2 に相当する条件においても同様に、単結晶状組織の半導体製造装置用部品が成形された。

- [0104] ここで、電子ビームの電流が小さく、且つ、スキャンスピードが小さい方が、結晶が成長しやすく、単結晶状組織を形成しやすい。そして、上述した図14に示した例に基づき、電子ビームの電流が4.33mA以下であり、且つ、スキャンスピードが753mm/s以下の条件において、単結晶状組織の半導体製造装置用部品を成形することができる。
- [0105] また、単結晶状組織を得るための電流とスキャンスピードの上限値は上述のとおりであるが、電流とスキャンスピードの下限値は、上記関係式(1)が0.3以上3.0以下、又は上記関係式(2)が5.3以上50.0以下の条件を満たす値である。かかる場合、上述したように所望の形状の半導体製造装置用部品を得ることができる。
- [0106] 以上、電子ビームのスキャンスピードを調整することで、造形後の半導体製造装置用部品の結晶組織を制御できる。そして、単結晶状組織の半導体製造装置用部品の場合、多結晶状組織に比べて、粒界や結晶粒毎にプラズマ処理における消耗量に差が出ることを抑制し、部品表面の形状が変化することを抑制することができる。
- [0107] なお、本実施形態では、積層造形処理を行って半導体製造装置用部品を成形する場合について説明したが、当該積層造形処理を行ってシリコン基板を成形してもよい。
- [0108] 上述したように、上記関係式(1)が0.3以上3.0以下、又は上記関係式(2)が5.3以上50.0以下の条件を満たすことで、所望の形状でシリコン基板を成形できる。特に上記関係式(1)が0.5以上3.0以下、又は上記関係式(2)が8.4以上50.0以下の条件を満たすことで、所望の形状で、且つ高密度(相対密度99%以上)なシリコン基板を成形できる。
- [0109] また、上述したように電子ビームのスキャンスピードを調整することで、造形後のシリコン基板の結晶組織を制御できる。具体的には、電子ビームの電流が4.33mA以下であり、且つ、スキャンスピードが753mm/s以下の条件において、単結晶状組織のシリコン基板を成形することができる。

。そして、単結晶状組織のシリコン基板の場合、多結晶状組織に比べて、結晶内での電子の移動速度が速く、例えばシリコン基板をＩＣチップに用いる場合、当該ＩＣチップの性能を向上させることができる。

[0110] ここで、従来、単結晶状組織のシリコン基板を製造する際には、例えばブリッジマン法などの一方向性凝固を活用した手法や、チョクラルスキー法などの種結晶を引き上げながら徐々に成長させる方法が存在する。また、単結晶状組織のシリコン基板は例えばＩＣチップに用いられ、工業的に非常に需要の高い材料である。しかしながら、ブリッジマン法やチョクラルスキー法などの方法を用いて単結晶状組織のシリコン基板を製造する場合、製造速度が遅くなる。特にチョクラルスキー法を用いた場合、製造できるサイズに制限がある。

[0111] この点、本実施形態では、電子ビームを用いた積層造形処理を行ってシリコン基板を成形するので、高速で、且つ所望の形状でシリコン基板を製造することができる。更に上述したように電子ビームのスキャンスピードを調整することで、シリコン基板の結晶組織を単結晶状組織に制御することができる。

[0112] 上述したように積層造形法は、従来、導電性を有する金属材料を用いた部品造形に主に適用されてきたが、高純度なシリコン等の半導体材料を用いた部品造形への適用も期待されている。この点、本実施形態にかかる積層造形方法を適用することで、シリコン粉末（半導体材料）を用いた部品に対しても積層造形法を用いることができる。

[0113] また、以上の実施形態にかかる積層造形方法によれば、図６に示した繰り返し実行されるプロセスのサイクル（ステップＳｔ４～ステップＳｔ７）に際して、各サイクルで形成される溶融シリコン層の各層を、各サイクルで冷却して凝固させる（ステップＳｔ７）。

このように、造形用プレート２１１上に供給されたシリコン粉末を各溶融後に冷却することで温度が安定化し、半導体製造装置用部品の造形品質を安定化させることができる。

[0114] また、以上の実施形態にかかる積層造形方法によれば、図6に示した一連の積層造形処理、より具体的には図6に示したステップSt3～ステップSt7に際して、半導体製造装置用部品を成形するための造形用プレート211の温度、または修復対象の半導体製造装置用部品の温度を800℃以上に保持する。

これにより、当該一連の積層造形処理に際して造形用プレート211や半導体製造装置用部品の上に供給されたシリコン粉末が飛散することが抑制され、更に適切に半導体製造装置用部品の成形を行うことができる。

[0115] また更に、本実施形態に係る積層造形装置200によれば、ベースプレートとしての造形用プレート211が、凝固用材料と同一材料（本実施形態においてはシリコン（Si：RT=4.3ppm））、又は線膨張係数が近い材料（例えばチタン（Ti：RT=8.8ppm）以下の線膨張係数を有する材料）で構成される。これにより、積層造形処理に際して造形用プレート211及び凝固用材料の加熱が行われた際に、これら造形用プレート211と凝固用材料の間での熱膨張量に大きな差が生じることが抑制され、この結果、プロセス中に造形用プレート211から造形物が剥離することが適切に抑制される。

[0116] なお、上記実施形態においては積層造形処理における造形用プレート211上、または修復処理における半導体製造装置用部品上の堆積粉末に対して電子ビームを照射して熔融層を形成する場合を例に説明を行ったが、堆積粉末に照射する造形用電子ビームは、上述したようにレーザ光であってもよい。

[0117] また、上記実施形態においては図1に示した基台1110、リングアセンブリ112及び／又はシャワーヘッド13を成形される半導体製造装置用部品の例として示したが、成形される半導体製造装置用部品はこれに限られない。

例えば、本開示の技術に係る積層造形処理で成形される半導体製造装置用部品は、平面視で基板支持部11の周囲を囲むように配置されるバッフルブ

レート300（図17を参照）であってもよい。

また例えば、本開示の技術に係る積層造形処理で成形される半導体製造装置用部品は、プラズマ処理チャンバ10の内部において、側壁10aや基板支持部11の側面に沿って配置されるシールド部材310（図17を参照）であってもよい。

[0118] また、上記実施形態においては凝固用材料が純度99%以上のシリコン粉末である場合を例に説明を行ったが、使用されるシリコン粉末の純度は必ずしも純度99%以上でなくてもよい。換言すれば、凝固用材料はシリコン含有材料であってもよい。

[0119] 具体的には、上記の造形に使用する粉末に使用する凝固用材料は、純シリコン（Si）以外に純シリコン（Si）との別の種類の粉末とを一体化させた複合材料粉末（図4を参照）であってもよい。その際に純シリコン（Si）と組み合わせる材料としては、例えばカーボン（C）、シリコンカーバイド（SiC）、アルミナ（ Al_2O_3 ）、窒化アルミニウム（AlN）又は酸化イットリウム（ Y_2O_3 ）等の非金属材料や、アルミニウム（Al）等の金属材料が挙げられる。

換言すれば、本実施形態にかかる積層造形装置200では、純シリコン粉末（Si）、及び／又は、純シリコン粉末（Si）に上記非金属材料又は上記金属材料の少なくともいずれかの材料を含んだ複合材料粉末により半導体製造装置用部品の製作が可能である。

[0120] 以下、純シリコン粉末（Si）と非金属材料としてのシリコンカーバイド（SiC）を複合した粉末（複合材料粉末）を使用した場合を一例として説明を行う。純シリコン粉末（Si）と非金属材料としてのシリコンカーバイド（SiC）の複合材料粉末により製作が可能な半導体製造装置用部品は、例えば、基台1110である。基台1110を、純シリコン粉末（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の複合材料粉末で形成することで、基台1110の線膨張係数と静電チャック1111の線膨張係数の差を低減させることができる。これにより、プラズマ処理中に基台1110と静電チャック1

1 1 1 と間に発生する熱応力の影響を抑制することができる。

[0121] 凝固用材料に対する電子ビームの照射条件（例えば上記関係式（１）や上記関係式（２））は、凝固用材料を構成するシリコン（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の複合比率や組成により変化し得る。かかる観点を鑑みて、このように複合材料粉末を用いて積層造形を行う場合、凝固用材料を構成するシリコンとシリコンカーバイドの複合比率は既知であること、すなわち予め定められた複合比率で凝固用材料が構成される場合を例として説明する。また、凝固用材料を構成するシリコンとシリコンカーバイドは化学的に完全に分離していることが望ましい。これらの粉末は複合比率や複合形態、粒度などの影響により、粉末の種類によって適切な条件が異なる。そのため、粉末ごとに適切な条件を選定することが望ましい。

[0122] また、シリコンに複合されるシリコンカーバイドの粒径や形状は特に限定されるものではないが、上記したように積層造形処理に際しての飛散を抑制する観点を鑑みて、複合材料粉末全体での平均粒径は $80\mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、且つ、複合するシリコンカーバイドの平均粒径以上となること（図４を参照）が望ましい。この場合、シリコンカーバイドはシリコンに完全に覆われている必要はないが、流動中に分離しない程度には結合していることが望ましい。

[0123] また、このようにシリコン（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の複合材料で造形を行う場合、凝固用材料の平均粒径に依らず、複合材料に対して図７及び図８に示した多段照射により電子ビームを照射してもよく、図９及び図１０に示した単発での（１回の）電子ビームの照射を行ってもよい。また、堆積粉末に照射する造形用電子ビームは、上述したようにレーザ光であってもよい。

[0124] なお、シリコン（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の混合材料により積層造形処理を行う場合、成形対象の半導体製造装置用部品は、シリコン（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の混合比率が徐々に変化するような構造（傾斜積層構造ともいう）をつくることも可能である（図１８を参照

）。

[0125] 具体的には、例えばシリコン（S i）で形成された造形用プレート 2 1 1 に対してシリコン（S i）とシリコンカーバイド（S i C）の混合材料で造形を行う場合、初めに、造形用プレート 2 1 1 と線膨張係数が近いシリコンの比率が高い粉末（望ましくは純シリコン粉末）により造形を行う（図 1 8 の S i 層を参照）。

次いで、積層造形処理のプロセス（図 6 に示したステップ S t 4 ～ステップ S t 7）のサイクルを繰り返すにつれ、徐々にシリコンカーバイド（S i C）の比率が高い粉末に交換していく（図 1 8 の混合層を参照）。その際の交換方法としては、上述のように積層造形装置 2 0 0 に複数の粉末貯蔵部 2 2 0 を配置し、複数の粉末貯蔵部 2 2 0 の各々にシリコン（S i）とシリコンカーバイド（S i C）の混合比率を変えた粉末を貯蔵しておき、プロセスの進行に合わせて粉末を供給する粉末貯蔵部 2 2 0 を切り替えても良い。プロセスサイクルの進行に伴うシリコンカーバイド比率の変化量は特に限定されるものではないが、可能な限り緩やかにシリコンカーバイド比率を上昇させていくことが望ましい。例えば、積層造形処理のプロセスのサイクルを繰り返すにつれ、徐々にシリコンカーバイド比率が高い粉末に連続的又は段階的に交換していく。シリコンカーバイド比率が高い粉末に段階的に交換していく場合は、各段をより細かく設定することが望ましい。

その後、積層造形処理のプロセスのサイクルを進行させ、最終的にはシリコンカーバイドの比率が高い粉末（望ましくは純シリコンカーバイド粉末）により造形を行う（図 1 8 の S i C 層を参照）。

[0126] なお、使用後の粉末は様々な混合材料が混合している状態となっているが、上述したように種々の粉末の粒度分布が被らないように粒度調整することによって、多段ふるいを用いて混合状態から分離を行うことが可能となる。

[0127] なお、このようにシリコンカーバイド比率を変化させた場合、上記したように、電子ビームの照射条件を当該比率に適した条件に適宜変更する。

[0128] 混合粉末を用いた本実施形態に係る積層造形処理によれば、このように、

シリコン（Si）とシリコンカーバイド（SiC）の混合比率が徐々に変化するように、換言すれば混合比率を傾斜化させて半導体製造装置用部品の成型を行う。これにより、線膨張係数の異なる部材（材料）間で結合力を生じさせることができ、すなわち、互いに線膨張係数の異なる材料を用いた場合であっても適切に造形物（半導体製造装置用部品）を成り立たせることができる。

また本実施形態によれば、上記したように、積層造形処理の初期においては造形用プレート211と線膨張係数が近いシリコンの比率が高い粉末により造形を行う。これにより、上記した異なる部材間（Si-SiC）での剥離を抑制できることに加え、造形用プレート211と造形物（半導体製造装置用部品）の間での剥離の発生をも適切に抑制できる。

さらに、本実施形態によれば、接着剤を用いずに異種材料を接合することができる。接着剤を用いて異種材料を接合した場合は、異種材料間の熱抵抗が高くなり、熱伝導性が低下する場合がある。しかし、本実施形態により、接着剤を用いずに異種材料を接合することができるため、高い熱伝導性を有する異種材料接合部品を得ることができる。

[0129] そして、このようにシリコン粉末と混合用材料の混合比率を傾斜化することで、特に積層造形処理の後半において、上記した造形用プレート211と凝固用材料の線膨張係数の制限、すなわち、造形用プレート211と凝固用材料の線膨張係数を略一致させる必要がなくなる。この結果、少なくとも積層造形処理の初期段階において凝固用材料と造形用プレート211と線膨張係数が略一致していれば、凝固用材料の種類は特に限定されるものではなく、成形される半導体製造装置用部品の設計自由度が大幅に向上する。

[0130] また、このようにシリコン粉末と混合用材料の混合比率を傾斜化することで、成形される半導体製造装置用部品の内部における物性（熱特性及び／又は電気的特性）を任意に調整でき、この結果、半導体製造装置用部品の内部において物性の異なる領域を意図的に作り出すことができる。この結果、半導体製造装置用部品を、図1に示したプラズマ処理システムにおける基板処

理の目的に応じて適切に設計することができる。

[0131] また、このように凝固用材料の混合比率を傾斜変化させる積層造形処理は、シリコン（Si）と非金属材料（上記例においてはシリコンカーバイド（SiC））の混合粉末を用いた積層造形に限られず、シリコン（Si）と上記した金属材料（例えばアルミニウム（Al））の混合粉末を用いた積層造形にも適用され得る。

例えば、図1に示したシャワーヘッド13を、シリコンとアルミニウムの積層造形で一体に構成することが可能になる。この場合、シャワーヘッド13のプラズマ処理面（図1に示す例では、シャワーヘッド13の下面）をシリコンで造形し、反対面をアルミニウムで造形する。

[0132] 具体的には、初めに、造形用プレート211と線膨張係数が近いシリコンの比率が高い粉末（望ましくは純シリコン粉末）により造形を行う（図19のSi層を参照）。

次いで、積層造形処理のプロセス（図6に示したステップSt4～ステップSt7）のサイクルを繰り返すにつれ、徐々にアルミニウム（Al）の比率が高い粉末に交換していき、シリコンとアルミニウムの傾斜積層構造を造形する（図19の混合層を参照）。例えば、積層造形処理のプロセスのサイクルを繰り返すにつれ、徐々にアルミニウム比率が高い粉末に連続的又は段階的に交換していく。アルミニウム比率が高い粉末に段階的に交換していく場合は、各段をより細かく設定することが望ましい。

その後、積層造形処理のプロセスのサイクルを進行させ、最終的にはアルミニウムの比率が高い粉末（望ましくは純アルミニウム粉末）により造形を行う（図19のAl層を参照）。

[0133] また、凝固用材料の混合比率を傾斜変化させる積層造形処理は、シリコン（Si）及びシリコンカーバイド（SiC）の複合材料粉末とセラミックを用いた積層造形にも適用され得る。

例えば、上述した純シリコン粉末（Si）にシリコンカーバイド（SiC）の複合材料粉末により製作した基台1110と、セラミックで製作した静

電チャック 1 1 1 1 を積層造形で一体に構成することが可能になる。

[0134] 具体的には、初めに、上述したように、シリコン (S i) とシリコンカーバイド (S i C) の複合材料粉末により基台 1 1 1 0 の造形を行う (図 2 0 の複合層を参照)。

次いで、積層造形処理のプロセス (図 6 に示したステップ S t 4 ~ ステップ S t 7) のサイクルを繰り返すにつれ、徐々にセラミックの比率が高い粉末に交換していき、シリコン (S i) 及びシリコンカーバイド (S i C) の複合材料粉末とセラミックの傾斜積層構造を造形する (図 2 0 の混合層を参照)。例えば、積層造形処理のプロセスのサイクルを繰り返すにつれ、徐々にセラミック比率が高い粉末に連続的又は段階的に交換していく。セラミック比率が高い粉末に段階的に交換していく場合は、各段をより細かく設定することが望ましい。

その後、積層造形処理のプロセスのサイクルを進行させ、最終的にはセラミックの比率が高い粉末 (望ましくは純セラミック粉末) により造形を行う (図 2 0 の C e r a m i c 層を参照)。

[0135] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

符号の説明

[0136] 2 1 0 チャンバ
2 1 1 造形用プレート
S i シリコン粉末

請求の範囲

- [請求項1] 高純度シリコンの積層造形方法であって、
真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、
前記真空処理容器の内部に配置されたベースプレートを加熱する工程と、
前記ベースプレート上にシリコン粉末を堆積させる工程と、
前記ベースプレート上で造形用エネルギー線を走査させて熔融シリコン層を形成する工程と、
前記熔融シリコン層を冷却して凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、
前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する、高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項2] 前記熔融シリコン層を形成する工程に先立ち、前記シリコン粉末を加熱する工程を更に含む、請求項1に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項3] 前記造形用エネルギー線が電子ビームである、請求項2に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項4] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(1) = (電圧 [kV] × 電流 [mA]) / (ビーム径 [mm] × スキャンスピード [mm/sec]) が、0.3以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項3に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項5] 前記関係式(1)が0.5以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項4に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項6] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(2) = (電圧 [kV] × 電流 [mA]) / (ビーム径 [mm] × スキャンスピード [mm/sec] × 粉末1層の厚さ [mm]) が、5.3以上、50.0以下、の条件を満たす、請求項3に記載の高純度シリコンの積層造形方法。

- [請求項7] 前記関係式(2)が8.4以上、50.0以下、の条件を満たす、請求項6に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項8] 前記造形用エネルギー線がレーザ光である、請求項2に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項9] 高真空状態となった前記真空処理容器の内部圧力は、 1.0×10^{-4} Torr以下である、請求項1～8のいずれか一項に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項10] 前記ベースプレートを加熱する工程においては、当該ベースプレート上で前記造形用エネルギー線を走査させることで当該ベースプレートを加熱する、請求項1～8のいずれか一項に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項11] 前記ベースプレートを加熱する工程においては、当該ベースプレートを800℃以上に加熱する、請求項10に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項12] 前記ベースプレートの温度を、少なくとも、前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記溶融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含む一連のプロセスにおいて800℃以上に保持する、請求項11に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項13] 前記ベースプレートの線膨張係数が8.8ppm以下である、請求項12に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項14] 前記ベースプレートがシリコン又はチタンの少なくともいずれかで構成される、請求項13に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項15] 前記シリコン粉末は、粉末純度が99%以上であり、且つ、粉末粒径が25 μ m以上300 μ m以下である、請求項1～8のいずれか一項に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項16] 前記シリコン粉末の粉末粒径が80 μ m以上150 μ m以下であり、前記溶融シリコン層を形成する工程において、前記シリコン粉末に対して前記造形用エネルギー線を単発で照射する、請求項15に記載の

高純度シリコンの積層造形方法。

- [請求項17] 前記シリコン粉末には、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 又はAlから選択される少なくともいずれか1つの複合用材料が複合される、請求項2に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項18] 前記シリコン粉末の粉末粒径は $80\mu m$ 以上 $150\mu m$ 以下であり、かつ、当該シリコン粉末に複合される前記複合用材料の平均粒径以上である、請求項17に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項19] 前記ベースプレート上に堆積される前記シリコン粉末には混合用材料が混合され、
当該シリコン粉末に対する前記混合用材料の混合比率は任意に変更可能に構成され、
繰り返し実行される前記サイクルの進行に伴い前記混合用材料の混合比率を上昇させる、請求項2に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項20] 前記混合用材料は、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 、Al又はセラミックの少なくともいずれか1つから選択される、請求項19に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項21] 前記溶融シリコン層を形成する工程において、前記シリコン粉末に対して前記造形用エネルギー線を連続的に複数回照射する、請求項1～8のいずれか一項に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項22] 連続的に照射される前記造形用エネルギー線のうち、後に照射される前記造形用エネルギー線のエネルギー密度を、直前に照射される前記造形用エネルギー線のエネルギー密度と比較して高くする、請求項21に記載の高純度シリコンの積層造形方法。
- [請求項23] 半導体製造装置用部品の積層造形方法であって、
真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、
前記真空処理容器の内部に配置されたベースプレートを加熱する工程と、

前記ベースプレート上にシリコン粉末を堆積させる工程と、
前記ベースプレート上で造形用エネルギー線を走査させて熔融シリコン層を形成する工程と、
前記熔融シリコン層を冷却して凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、
前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する、半導体製造装置用部品の積層造形方法。

- [請求項24] 前記熔融シリコン層を形成する工程に先立ち、前記シリコン粉末を加熱する工程を更に含む、請求項23に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項25] 前記造形用エネルギー線が電子ビームである、請求項24に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項26] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(1) = (電圧[kV] × 電流[mA]) / (ビーム径[mm] × スキャンスピード[mm/sec]) が、0.3以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項25に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項27] 前記関係式(1)が0.5以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項26に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項28] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(2) = (電圧[kV] × 電流[mA]) / (ビーム径[mm] × スキャンスピード[mm/sec] × 粉末1層の厚さ[mm]) が、5.3以上、50.0以下、の条件を満たす、請求項25に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項29] 前記関係式(2)が8.4以上、50.0以下、の条件を満たす、請求項28に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項30] 前記造形用エネルギー線がレーザ光である、請求項24に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

- [請求項31] 高真空状態となった前記真空処理容器の内部圧力は、 1.0×10^{-4} Torr 以下である、請求項23～30のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項32] 前記ベースプレートを加熱する工程においては、当該ベースプレート上で前記造形用エネルギー線を走査させることで当該ベースプレートを加熱する、請求項23～30のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項33] 前記ベースプレートを加熱する工程においては、当該ベースプレートを 800°C 以上に加熱する、請求項32に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項34] 前記ベースプレートの温度を、少なくとも、前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含む一連のプロセスにおいて 800°C 以上に保持する、請求項33に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項35] 前記ベースプレートの線膨張係数が 8.8 ppm 以下である、請求項34に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項36] 前記ベースプレートがシリコン又はチタンの少なくともいずれかで構成される、請求項35に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項37] 前記シリコン粉末は、粉末純度が99%以上であり、且つ、粉末粒径が $25 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下である、請求項23～30のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項38] 前記シリコン粉末の粉末粒径が $80 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であり、前記熔融シリコン層を形成する工程において、前記シリコン粉末に対して前記造形用エネルギー線を単発で照射する、請求項37に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。
- [請求項39] 前記シリコン粉末には、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 又はAlから選択される少なくともいずれか1つの複合用材料が複合さ

れる、請求項24に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項40] 前記シリコン粉末の粉末粒径は $80\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、当該シリコン粉末に複合される前記複合用材料の平均粒径以上である、請求項39に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項41] 前記ベースプレート上に堆積される前記シリコン粉末には混合用材料が混合され、
当該シリコン粉末に対する前記混合用材料の混合比率は任意に変更可能に構成され、
繰り返し実行される前記サイクルの進行に伴い前記混合用材料の混合比率を上昇させる、請求項24に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項42] 前記混合用材料は、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 、Al又はセラミックの少なくともいずれか1つから選択される、請求項41に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項43] 積層造形される前記半導体製造装置用部品は、
処理対象の基板を支持する基板支持部の基台、
前記基板の周囲を囲むように配置されるリングアセンブリ、又は、
前記基板支持部の上方に配置される上部電極、から選択される少なくともいずれかの半導体製造装置用部品である、請求項23～30のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項44] 前記基板支持部は、前記基台と、前記基台の上方に配置され前記基板の保持面を有する静電チャックとを含み、
前記基台と前記静電チャックとを一体に積層造形する、請求項43に記載の半導体製造装置用部品の積層造形方法。

[請求項45] 積層造形処理により造形される半導体製造装置用部品であって、
真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、
前記真空処理容器の内部に配置されたベースプレートを加熱する工程と、

前記ベースプレート上にシリコン粉末を堆積させる工程と、
前記ベースプレート上で造形用エネルギー線を走査させて熔融シリコン層を形成する工程と、
前記熔融シリコン層を冷却して凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、
前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する前記積層造形処理により積層造形された、半導体製造装置用部品。

[請求項46] 前記シリコン粉末は、粉末純度が99%以上であり、且つ、粉末粒径が $25\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下である、請求項45に記載の半導体製造装置用部品。

[請求項47] 前記シリコン粉末には、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 又はAlから選択される少なくともいずれか1つの複合用材料が複合される、請求項45に記載の半導体製造装置用部品。

[請求項48] 前記シリコン粉末の粉末粒径は $80\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、当該シリコン粉末に複合される前記複合用材料の平均粒径以上である、請求項47に記載の半導体製造装置用部品。

[請求項49] 前記ベースプレート上に堆積される前記シリコン粉末には混合用材料が混合され、
当該シリコン粉末に対する前記混合用材料の混合比率は任意に変更可能に構成され、
繰り返し実行される前記サイクルの進行に伴い前記混合用材料の混合比率を上昇させる、請求項45に記載の半導体製造装置用部品。

[請求項50] 前記混合用材料は、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 、Al又はセラミックの少なくともいずれか1つから選択される、請求項49に記載の半導体製造装置用部品。

[請求項51] 半導体製造装置用部品の形成方法であって、

修復対象の前記半導体製造装置用部品の消耗箇所を特定する工程と、
真空処理容器の内部を高真空状態にする工程と、
前記真空処理容器の内部に配置された前記半導体製造装置用部品を加熱する工程と、
前記消耗箇所にシリコン粉末を堆積させる工程と、
造形用エネルギー線を走査させて前記消耗箇所に熔融シリコン層を形成する工程と、
前記熔融シリコン層を冷却して前記消耗箇所に凝固シリコン層を形成する工程と、を含み、
前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含むサイクルを繰り返し実行する、半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項52] 前記熔融シリコン層を形成する工程に先立ち、前記シリコン粉末を加熱する工程を更に含む、請求項51に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項53] 前記造形用エネルギー線が電子ビームである、請求項52に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項54] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(1) = (電圧[kV] × 電流[mA]) / (ビーム径[mm] × スキャンスピード[mm/sec]) が、0.3以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項53に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項55] 前記関係式(1)が0.5以上、3.0以下、の条件を満たす、請求項54に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項56] 前記電子ビームの造形条件は、関係式(2) = (電圧[kV] × 電流[mA]) / (ビーム径[mm] × スキャンスピード[mm/sec] × 粉末1層の厚さ[mm]) が、5.3以上、50.0以下、の条件を満たす、請求項53に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項57] 前記関係式(2)が8.4以上、50.0以下、の条件を満たす、請

求項 56 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

- [請求項58] 前記造形用エネルギー線がレーザ光である、請求項 52 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項59] 高真空状態となった前記真空処理容器の内部圧力は、 1.0×10^{-4} Torr 以下である、請求項 51 ～ 58 のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項60] 前記半導体製造装置用部品を加熱する工程においては、当該半導体製造装置用部品上で前記造形用エネルギー線を走査させることで当該半導体製造装置用部品を加熱する、請求項 51 ～ 58 のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項61] 前記半導体製造装置用部品を加熱する工程においては、当該半導体製造装置用部品を 800°C 以上に加熱する、請求項 60 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項62] 前記半導体製造装置用部品の温度を、少なくとも、前記シリコン粉末を堆積させる工程、前記熔融シリコン層を形成する工程及び前記凝固シリコン層を形成する工程を含む一連のプロセスにおいて 800°C 以上に保持する、請求項 61 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項63] 前記半導体製造装置用部品の線膨張係数が 8.8 ppm 以下である、請求項 62 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項64] 前記半導体製造装置用部品がシリコン又はチタンの少なくともいずれかで構成される、請求項 63 に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項65] 前記シリコン粉末は、粉末純度が 99% 以上であり、且つ、粉末粒径が $25 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下である、請求項 51 ～ 58 のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。
- [請求項66] 前記シリコン粉末の粉末粒径が $80 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であり、前記熔融シリコン層を形成する工程において、前記シリコン粉末に対

して前記造形用エネルギー線を単発で照射する、請求項65に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項67] 前記シリコン粉末には、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 又はAlから選択される少なくともいずれか1つの複合用材料が複合される、請求項52に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項68] 前記シリコン粉末の粉末粒径は $80\mu m$ 以上 $150\mu m$ 以下であり、かつ、当該シリコン粉末に複合される前記複合用材料の平均粒径以上である、請求項67に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

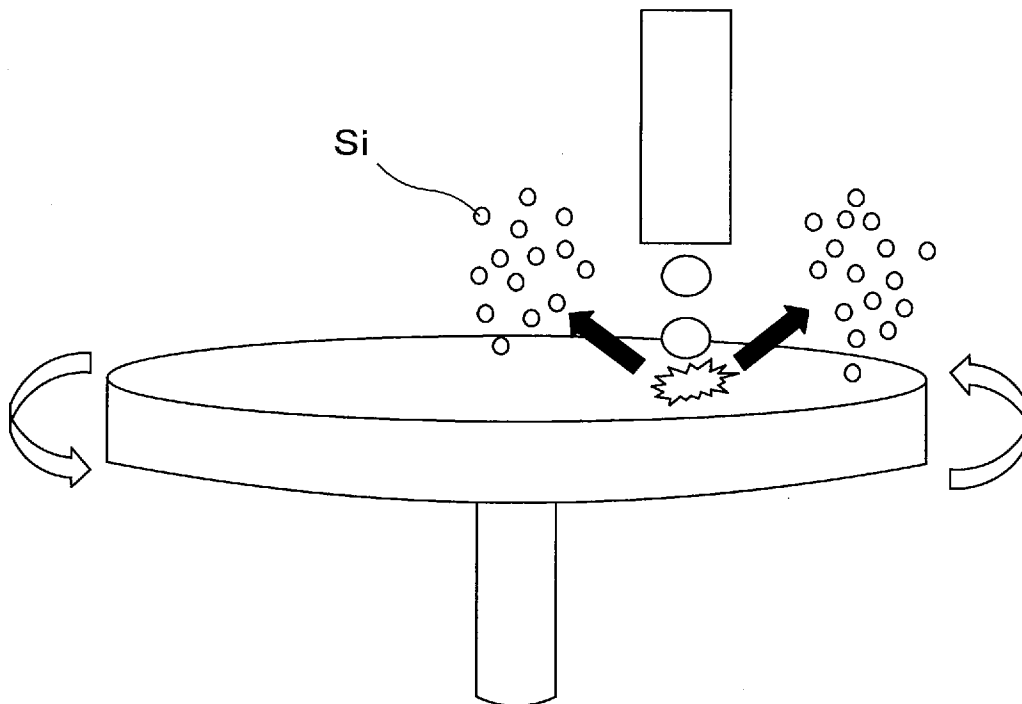
[請求項69] 前記半導体製造装置用部品上に堆積される前記シリコン粉末には混合用材料が混合され、
当該シリコン粉末に対する前記混合用材料の混合比率は任意に変更可能に構成され、
繰り返し実行される前記サイクルの進行に伴い前記混合用材料の混合比率を上昇させる、請求項52に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項70] 前記混合用材料は、C、SiC、 Al_2O_3 、AlN、 Y_2O_3 、Al又はセラミックの少なくともいずれか1つから選択される、請求項69に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

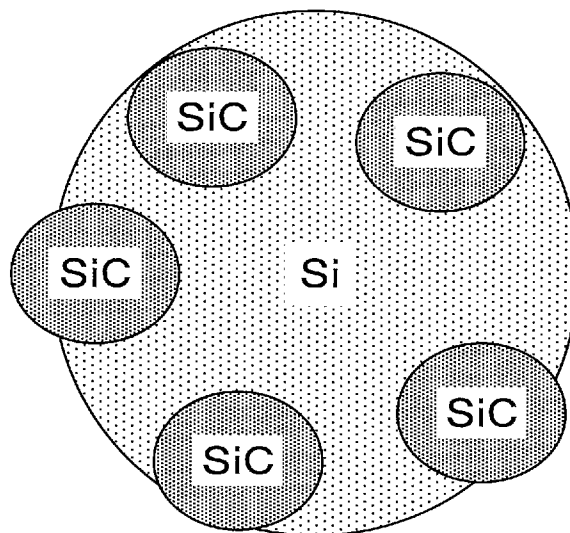
[請求項71] 前記熔融シリコン層を形成する工程において、前記シリコン粉末に対して前記造形用エネルギー線を連続的に複数回照射する、請求項51～58のいずれか一項に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

[請求項72] 連続的に照射される前記造形用エネルギー線のうち、後に照射される前記造形用エネルギー線のエネルギー密度を、直前に照射される前記造形用エネルギー線のエネルギー密度と比較して高くする、請求項71に記載の半導体製造装置用部品の形成方法。

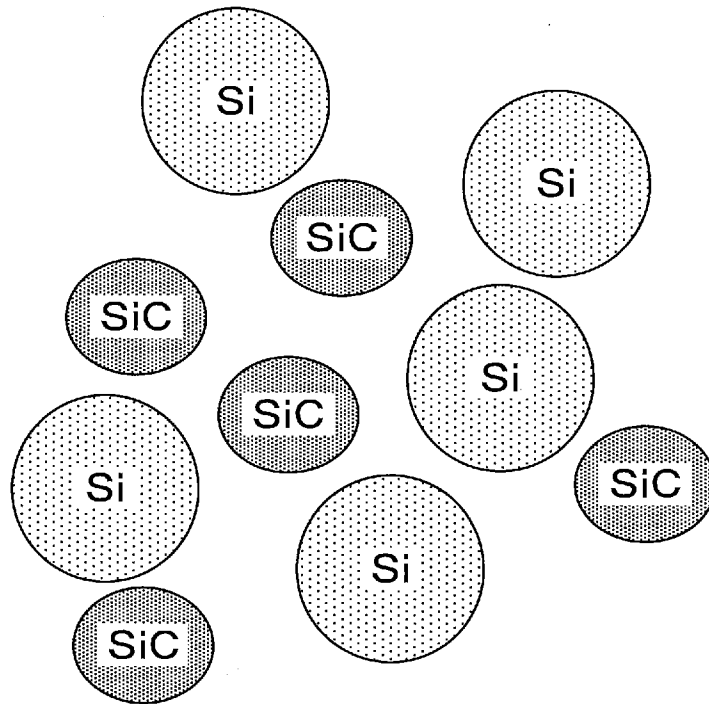
[図3]



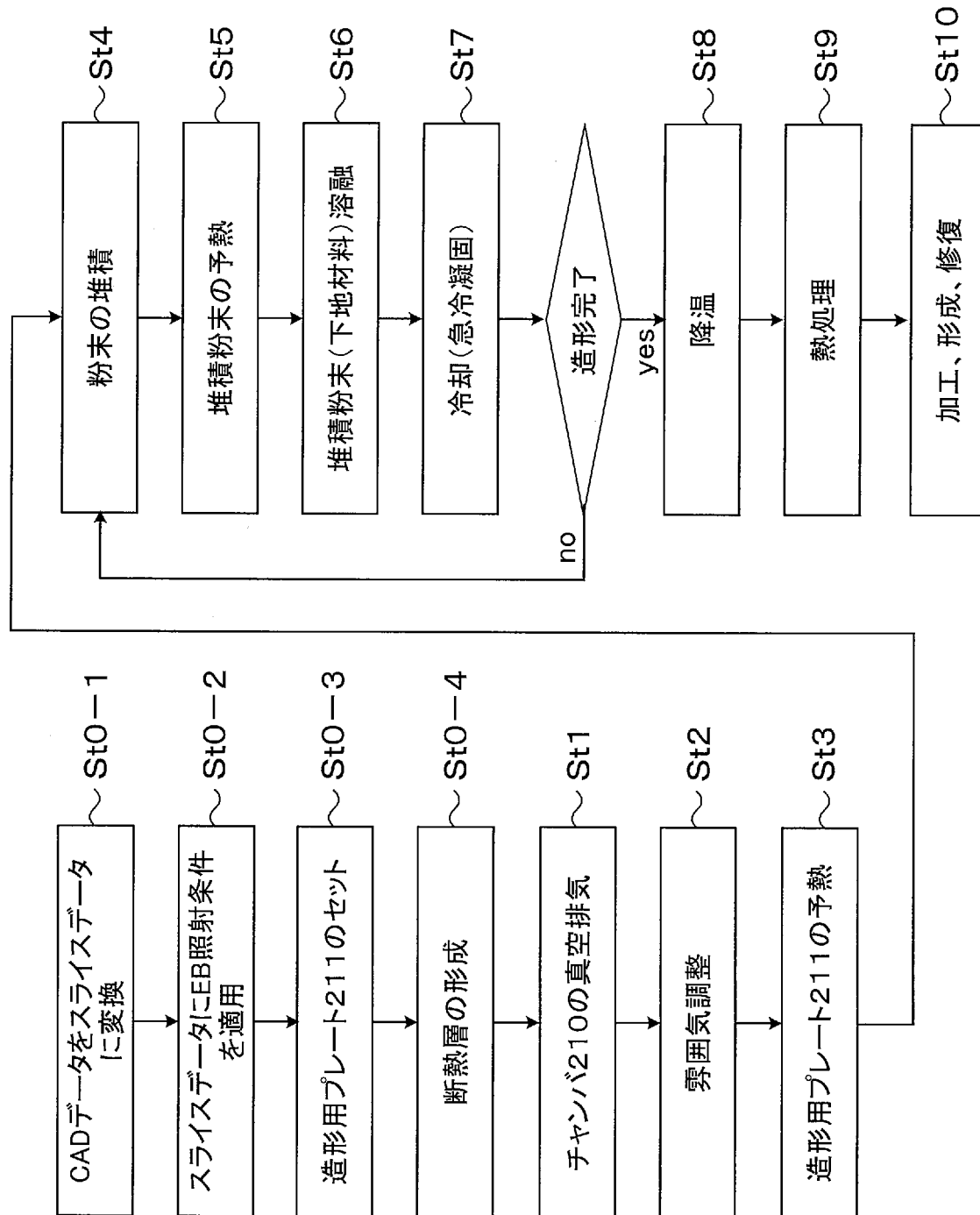
[図4]



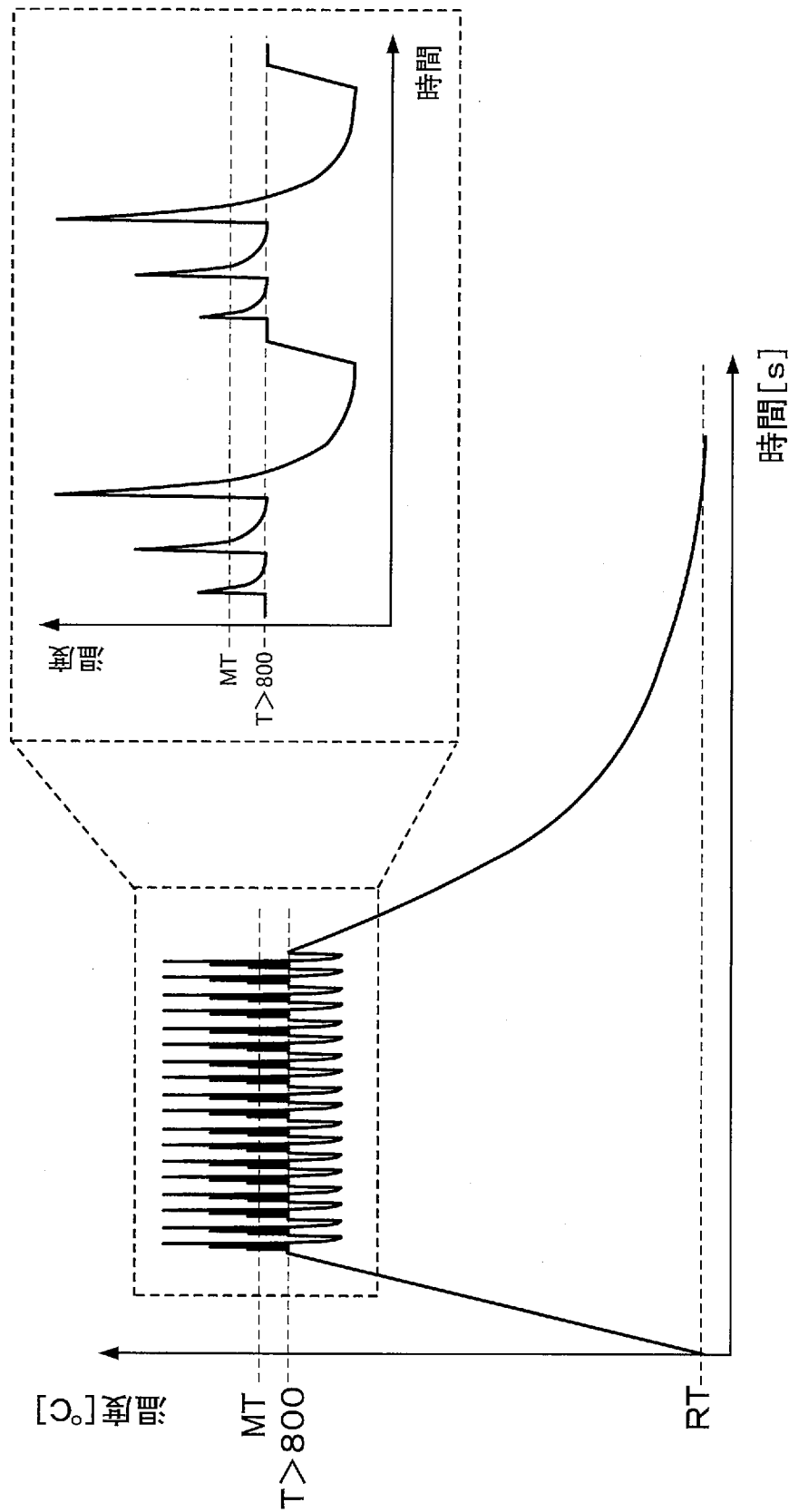
[図5]



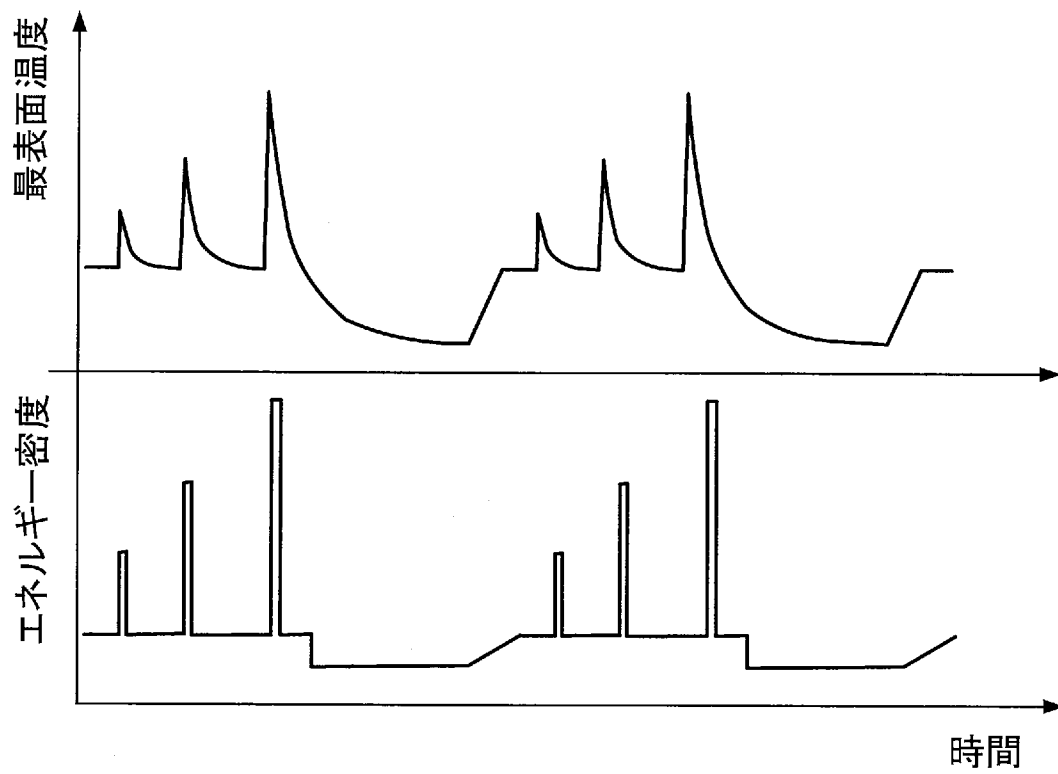
[図6]



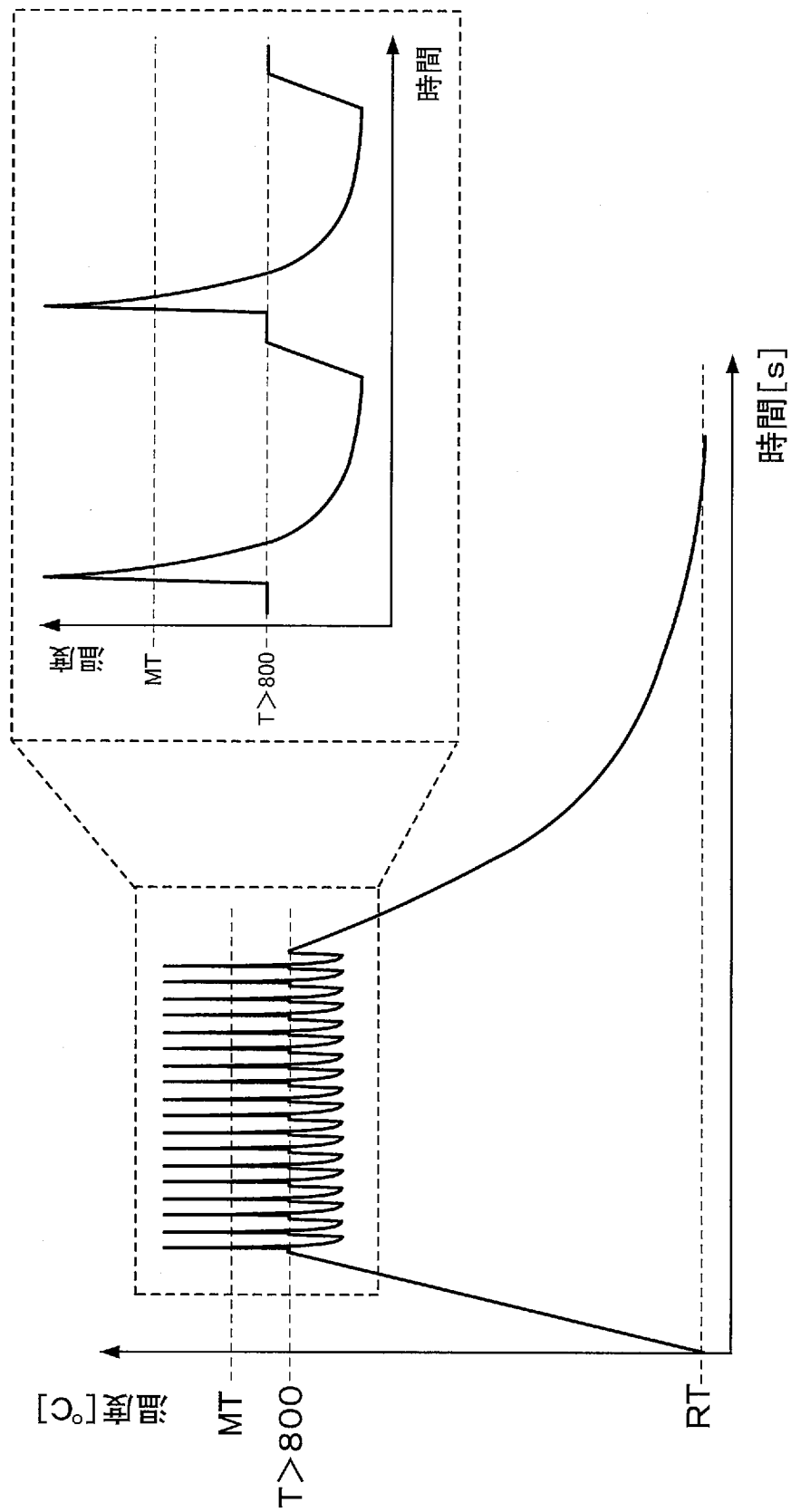
[図7]



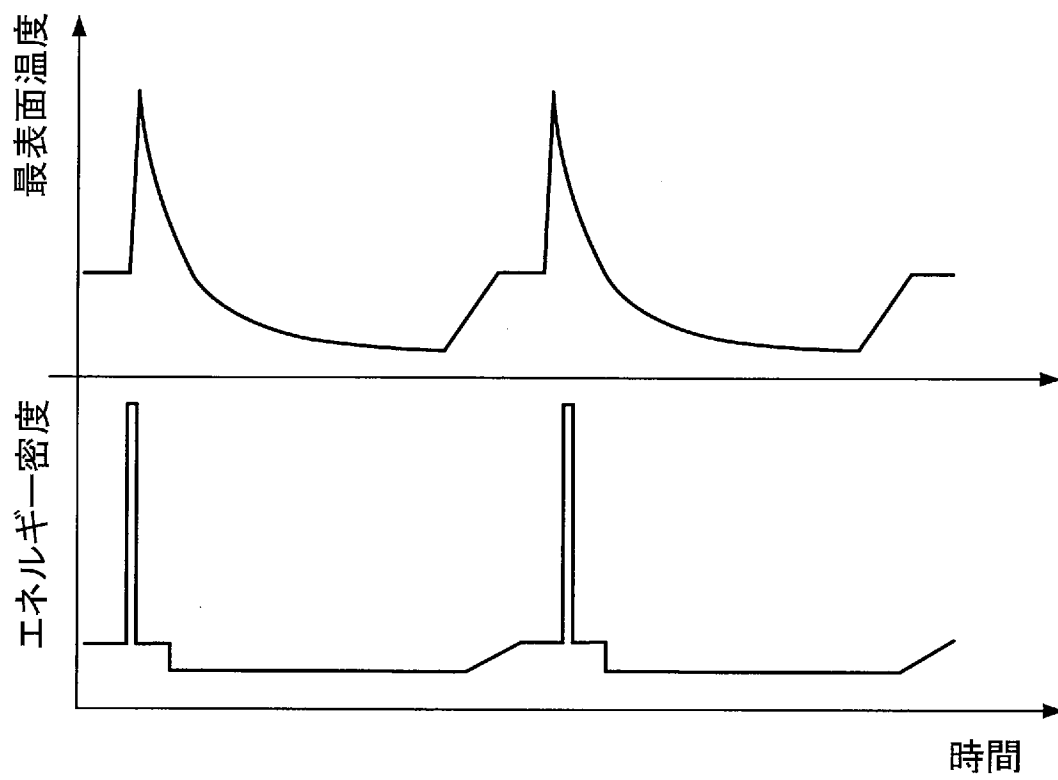
[図8]



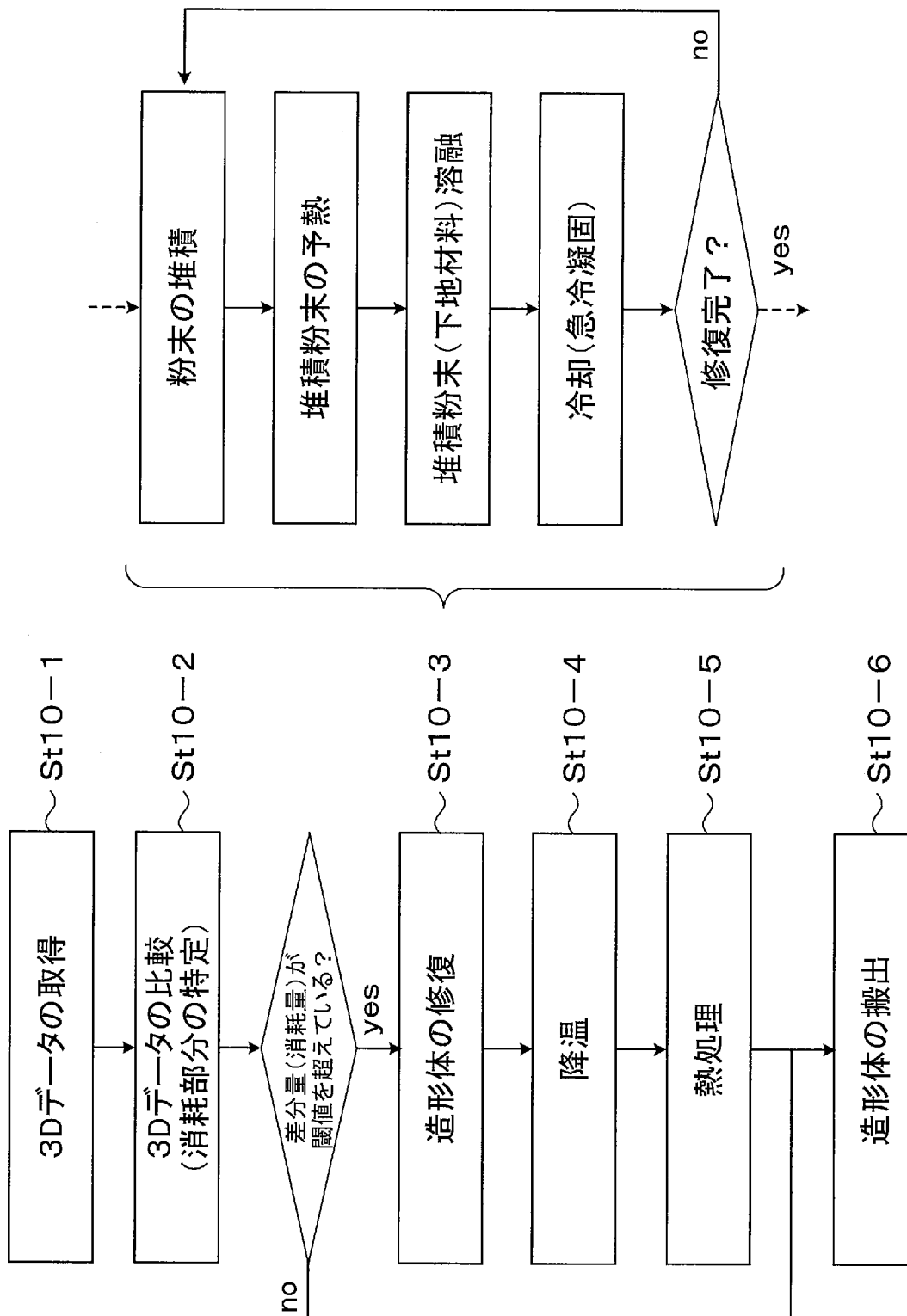
[図9]



[図10]



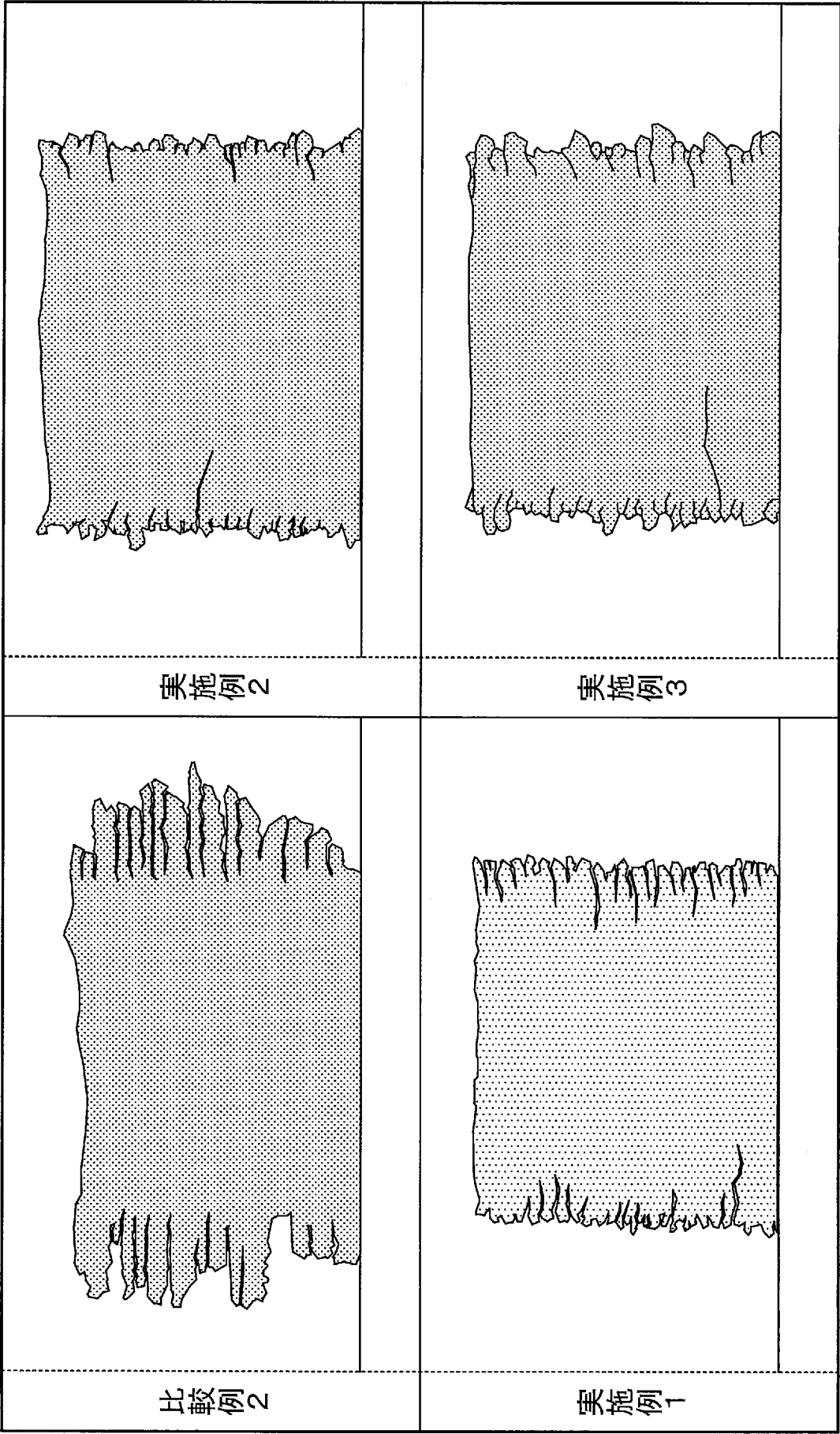
[図11]



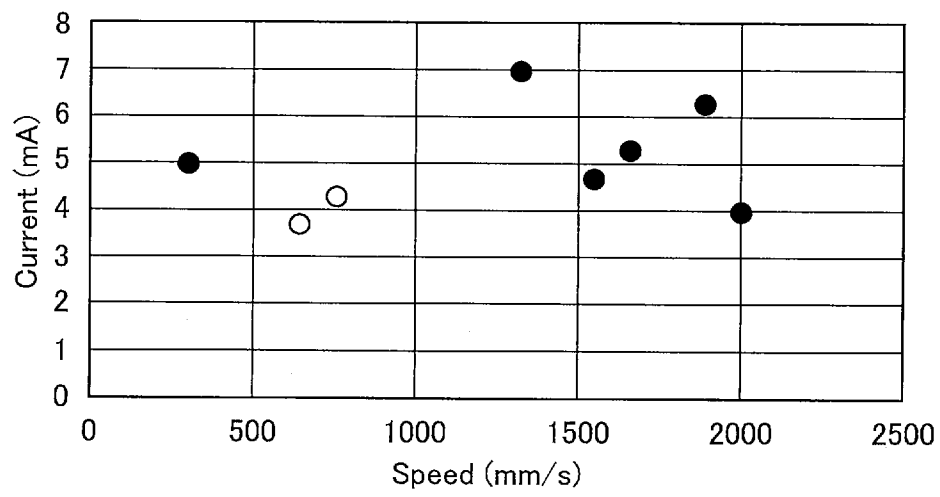
[図12]

No.	電流 [mA]	スキャン スピード [mm/s]	関係式1 [j/mm2]	関係式2 [j/mm3]	密度 [g/cm3]	相対密度 [%]
比較例1	—	—	0.32	5.26	—	—
比較例2	—	—	3.04	50.63	2.33	100.0
実施例1	2.00	980	0.49	8.16	2.28	97.9
実施例2	4.33	753	1.38	23.01	2.33	100.2
実施例3	3.67	640	1.38	22.92	2.34	100.3

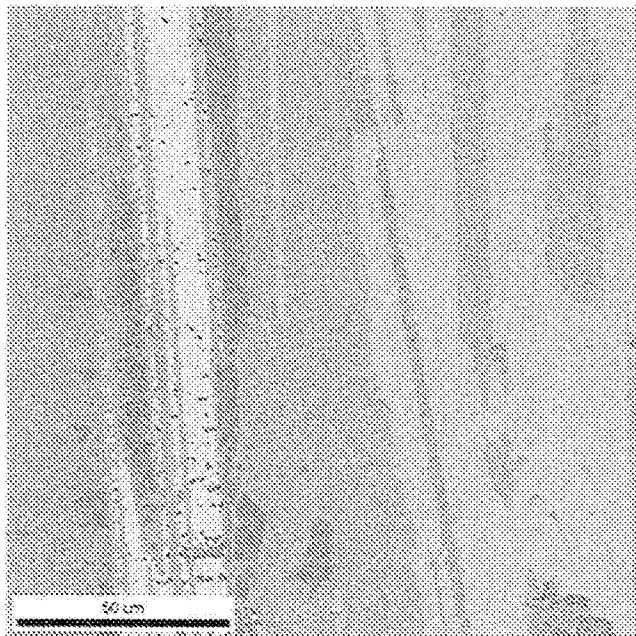
[図13]



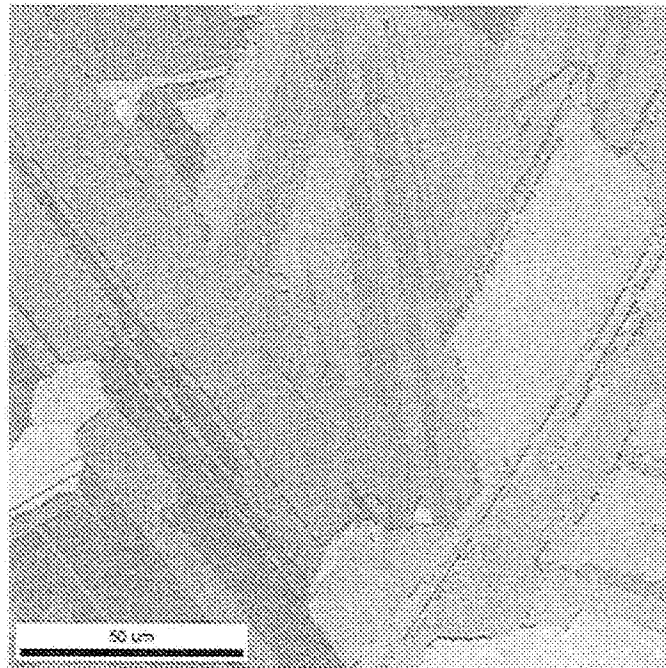
[図14]



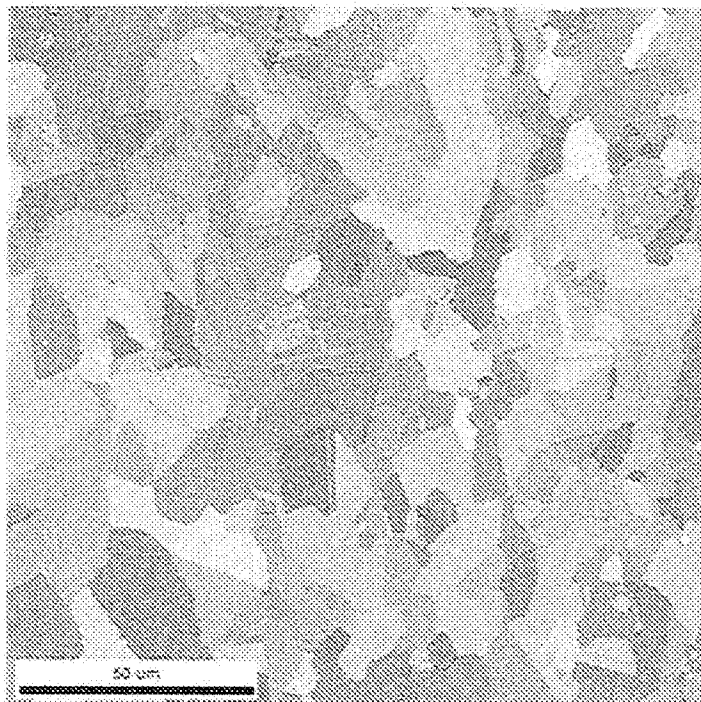
[図15A]



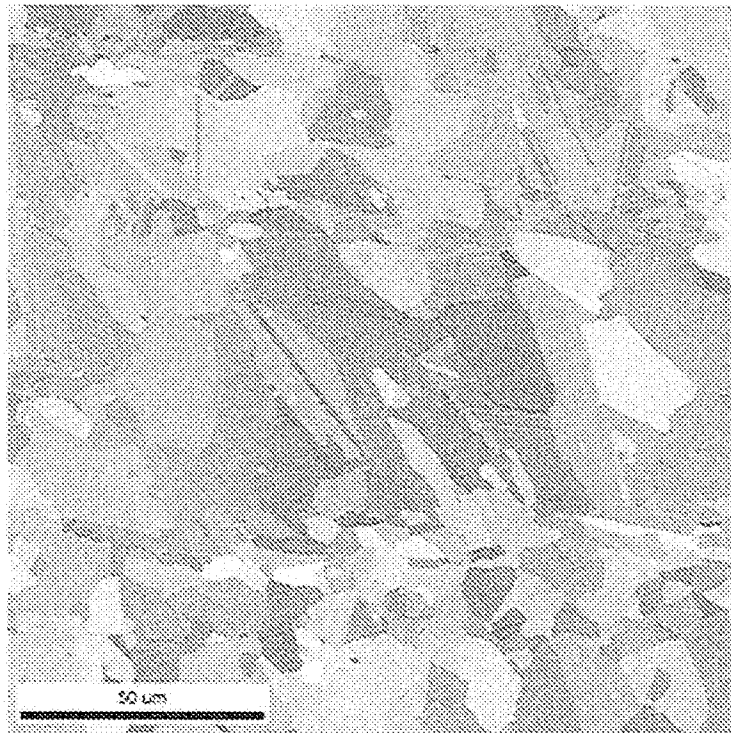
[図15B]



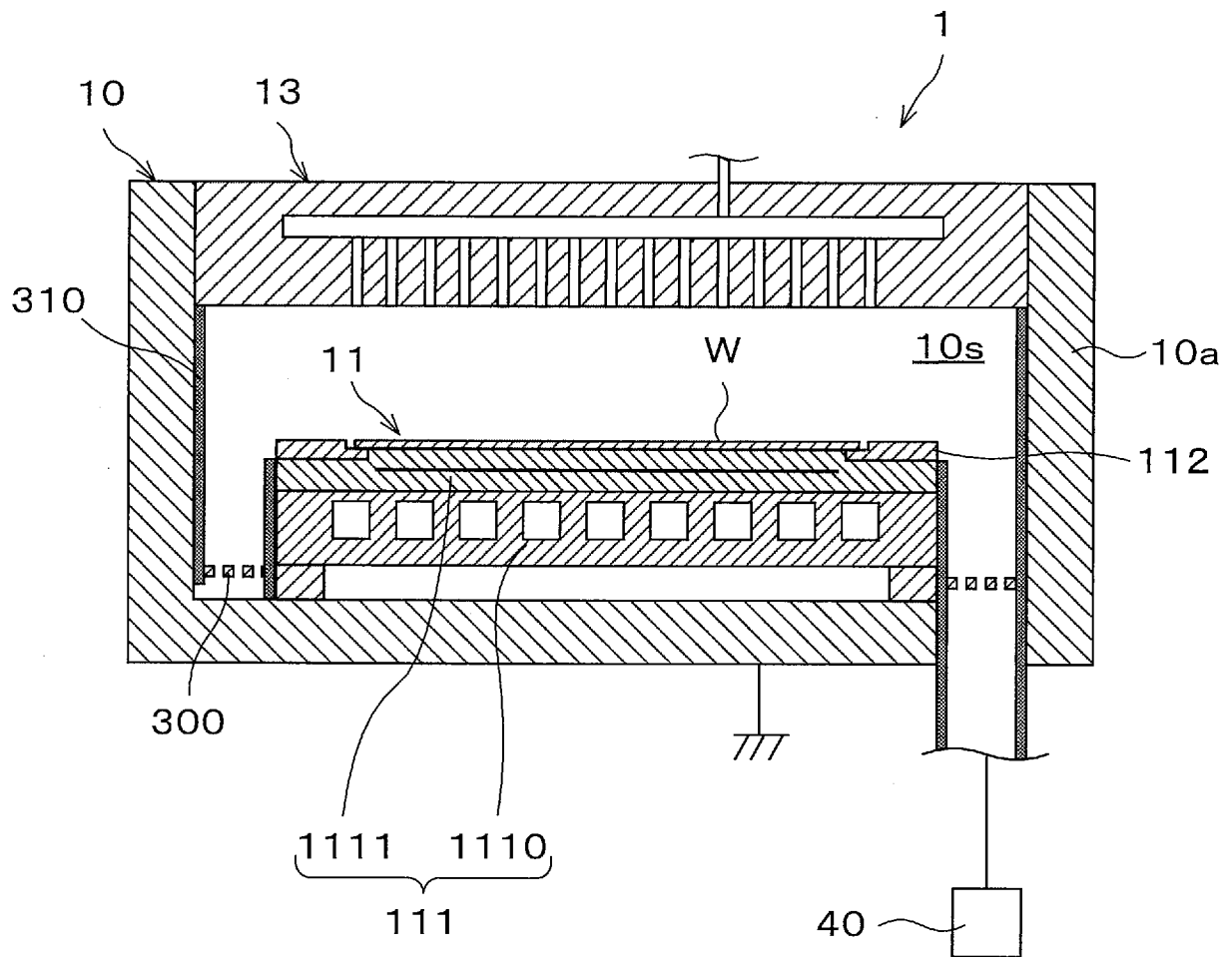
[図16A]



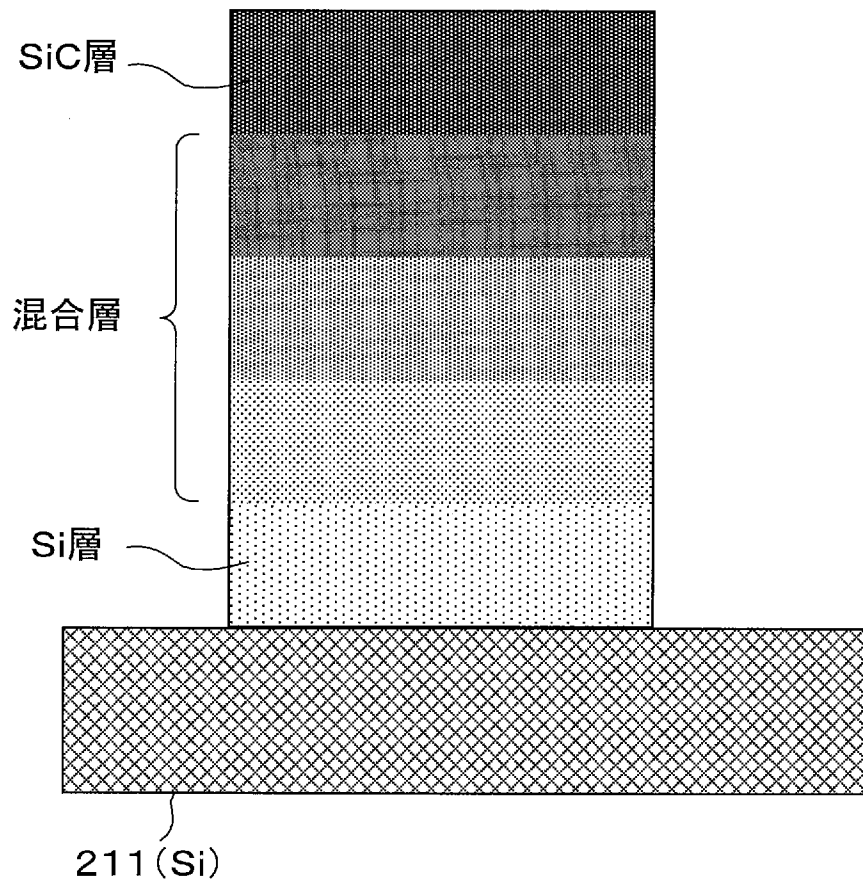
[図16B]



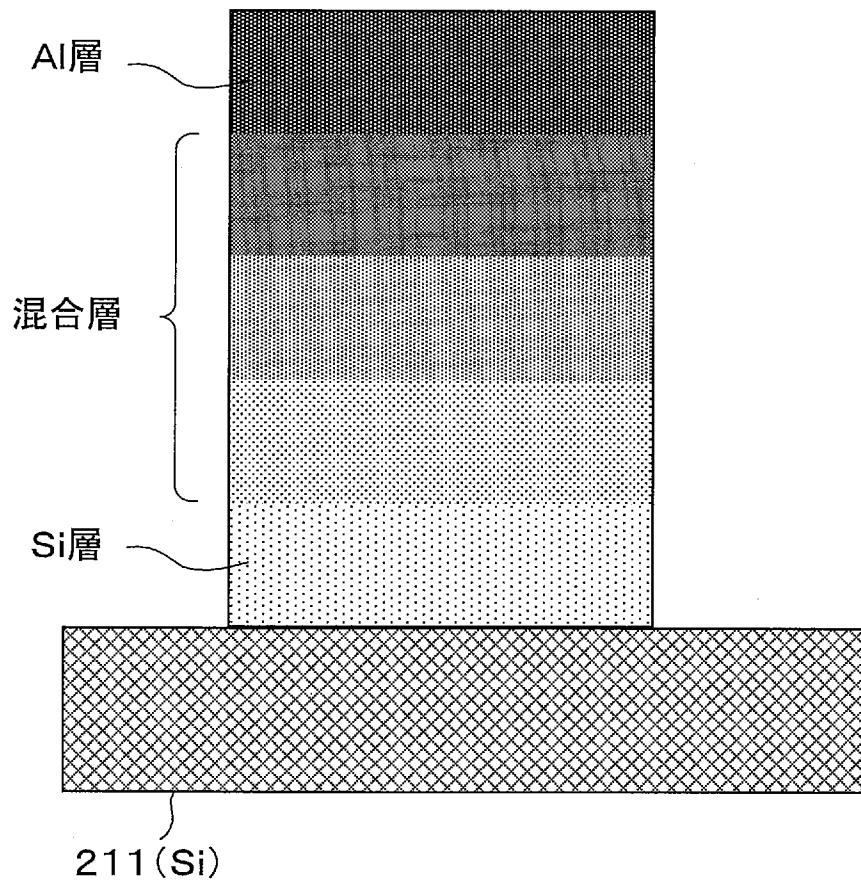
[図17]



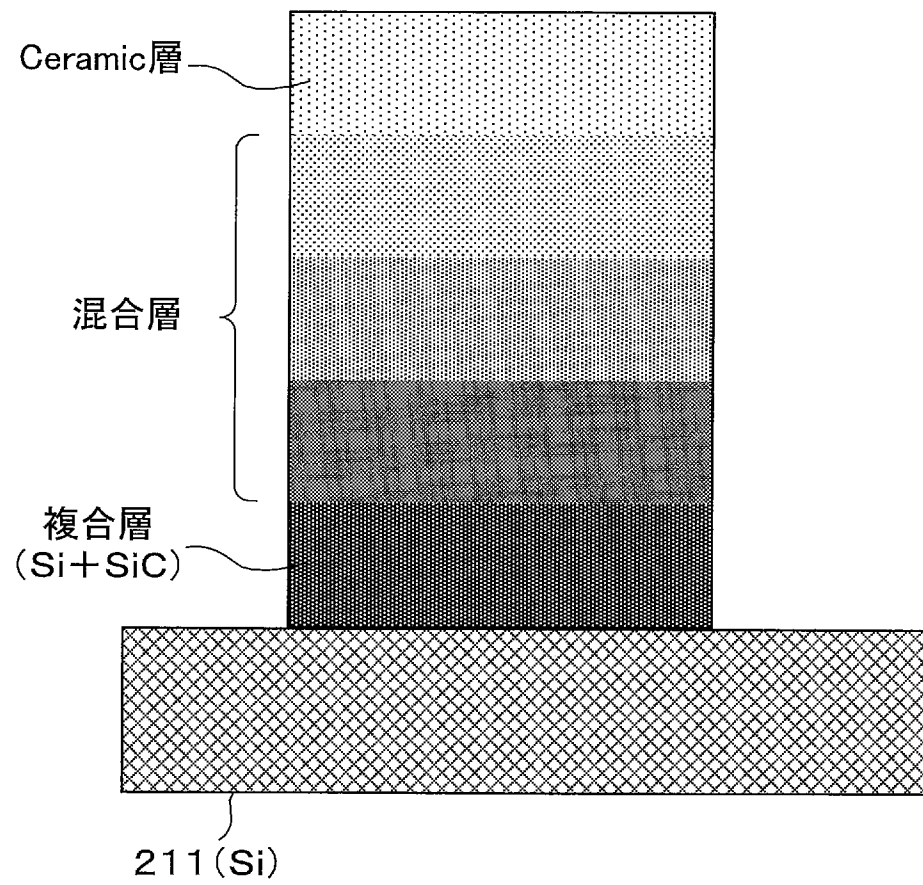
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/026319

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 21/3065**(2006.01)i; **H01L 21/205**(2006.01)i; **H05H 1/46**(2006.01)i

FI: H01L21/302 101G; H05H1/46 A; H01L21/205; H01L21/302 101L

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)

H01L21/3065; H01L21/205; H05H1/46

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
Y	JP 2021-197457 A (TOKYO ELECTRON LTD) 27 December 2021 (2021-12-27) paragraphs [0032]-[0057], fig. 4, 5	1-3, 8-17, 23-25, 30-39, 43, 45-47
A	paragraphs [0032]-[0057], fig. 4, 5	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
Y	WO 2021/041110 A1 (SILFEX, INC.) 04 March 2021 (2021-03-04) paragraphs [0121], [0172]-[0175], fig. 4	1-3, 8-17, 23-25, 30-39, 43, 45-47
A	paragraphs [0121], [0172]-[0175], fig. 4	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
Y	JP 7-006970 A (TONEN CORP) 10 January 1995 (1995-01-10) paragraph [0024]	15-17, 37-39, 46, 47
A	paragraph [0024]	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
A	JP 2021-063273 A (TOKYO ELECTRON LTD) 22 April 2021 (2021-04-22) entire text, all drawings	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72

☒ 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 September 2023

Date of mailing of the international search report

12 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/026319

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-054984 A (TOSOH CORP) 12 March 2009 (2009-03-12) entire text, all drawings	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
A	JP 5-047678 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 26 February 1993 (1993-02-26) entire text, all drawings	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
A	JP 54-061888 A (SHARP KK) 18 May 1979 (1979-05-18) entire text, all drawings	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/026319

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-197457	A	27 December 2021	US 2021/0391153 A1 paragraphs [0040]-[0069], fig. 4, 5 CN 113808989 A KR 10-2021-0155358 A TW 202213499 A	
WO	2021/041110	A1	04 March 2021	JP 2022-545494 A US 2022/0281133 A1 KR 10-2022-0050205 A CN 114616080 A TW 202122339 A	
JP	7-006970	A	10 January 1995	(Family: none)	
JP	2021-063273	A	22 April 2021	US 2021/0111005 A1 entire text, all drawings CN 112670153 A KR 10-2021-0044699 A TW 202128442 A	
JP	2009-054984	A	12 March 2009	(Family: none)	
JP	5-047678	A	26 February 1993	(Family: none)	
JP	54-061888	A	18 May 1979	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/3065(2006.01)i; H01L 21/205(2006.01)i; H05H 1/46(2006.01)i FI: H01L21/302 101G; H05H1/46 A; H01L21/205; H01L21/302 101L														
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）） H01L21/3065; H01L21/205; H05H1/46														
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														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2023年													
日本国実用新案登録公報	1996-2023年													
日本国登録実用新案公報	1994-2023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												
Y A	JP 2021-197457 A（東京エレクトロン株式会社）27.12.2021（2021-12-27） [0032]-[0057], 図4, 5 [0032]-[0057], 図4, 5	1-3, 8-17, 23-25, 30-39, 43, 45-47 4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72												
Y A	WO 2021/041110 A1（SILFEX, INC.）04.03.2021（2021-03-04） [0121], [0172]-[0175], 図4 [0121], [0172]-[0175], 図4	1-3, 8-17, 23-25, 30-39, 43, 45-47 4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72												
Y A	JP 7-006970 A（東燃株式会社）10.01.1995（1995-01-10） [0024] [0024]	15-17, 37-39, 46, 47 4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72												
A	JP 2021-063273 A（東京エレクトロン株式会社）22.04.2021（2021-04-22） 全文, 全図	4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72												
☒ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td></td> </tr> </table>			* 参考文献のカテゴリー	"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"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	
* 参考文献のカテゴリー	"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"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														
国際調査を完了した日 01.09.2023	国際調査報告の発送日 12.09.2023													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 鈴木 智之 50 1163 電話番号 03-3581-1101 内線 3559													

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 2009-054984 A (東ソー株式会社) 12.03.2009 (2009 - 03 - 12) 全文, 全図	4-7, 18-22, 26-29, 40-42, 44, 48-72
A	JP 5-047678 A (松下電器産業株式会社) 26.02.1993 (1993 - 02 - 26) 全文, 全図	4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72
A	JP 54-061888 A (シャープ株式会社) 18.05.1979 (1979 - 05 - 18) 全文, 全図	4-7, 18-22, 26-29 , 40-42, 44, 48-72

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/026319

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-197457	A	27.12.2021	US 2021/0391153 A1 [0040]-[0069], 図4, 5 CN 113808989 A KR 10-2021-0155358 A TW 202213499 A	
WO	2021/041110	A1	04.03.2021	JP 2022-545494 A US 2022/0281133 A1 KR 10-2022-0050205 A CN 114616080 A TW 202122339 A	
JP	7-006970	A	10.01.1995	(ファミリーなし)	
JP	2021-063273	A	22.04.2021	US 2021/0111005 A1 全文, 全図 CN 112670153 A KR 10-2021-0044699 A TW 202128442 A	
JP	2009-054984	A	12.03.2009	(ファミリーなし)	
JP	5-047678	A	26.02.1993	(ファミリーなし)	
JP	54-061888	A	18.05.1979	(ファミリーなし)	