

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年6月22日(22.06.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/104705 A1

- (51) 国際特許分類:
B28B 1/30 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B22F 3/105 (2006.01) *F01D 25/00* (2006.01)
B22F 3/16 (2006.01) *F02C 7/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/087230
- (22) 国際出願日: 2016年12月14日(14.12.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-244678 2015年12月15日(15.12.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人大阪大学(OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 中野 貴由 (NAKANO, Takayoshi); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 蘇垂拉図(SUYAL-ATU); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 石本 卓也 (ISHIMOTO, Takuya); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 萩原 幸司(HAGIHARA, Koji); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: アセンド特許業務法人(ASCEND IP LAW FIRM); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島一丁目5番17号 Osaka (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,

[続葉有]

(54) Title: MANUFACTURING METHOD FOR STRUCTURAL MEMBER CONTAINING INTERMETALLIC COMPOUND

(54) 発明の名称: 金属間化合物を含有する構造物の製造方法

FIG. 4

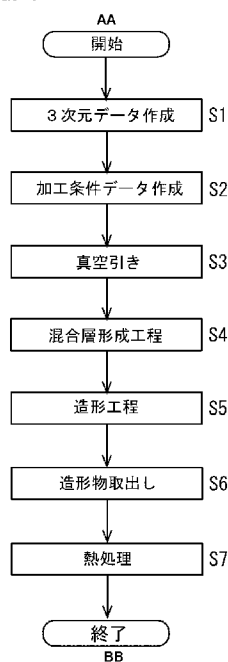


FIG. 4:
S1 Production de données tridimensionnelles
S2 Production de données de condition de traitement
S3 Évacuation
S4 Étape de formation de couche mixte
S5 Étape de façonnage
S6 Extraction d'objet façonné
S7 Traitement thermique
AA Début
BB Fin

(57) Abstract: According to the invention, a structural member containing an inter-metallic compound is manufactured stably. The present manufacturing method is provided with: a mixed-layer forming step (S4) of forming a mixed layer by melting powder particles that are supplied onto a metallic base and are used as a starting material of a structural member, and a surface layer of the metallic base; and a shaping step (S5) of supplying the powder particles onto the mixed layer and melting the same to form the structural member.

(57) 要約: 金属間化合物を含有する構造物を安定して製造する。本製造方法は、金属基台上に供給された構造物の出発材料となる粉末粒子と、金属基台の表層とを溶融して混合層を形成する混合層形成工程 (S4) と、粉末粒子を混合層上に供給して溶融し、構造物を形成する造形工程 (S5) とを備える。



ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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

ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 金属間化合物を含有する構造物の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、金属間化合物を含有する構造物の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 金属間化合物は高融点、高温強度に優れるものが多い。シリサイドは、このような金属間化合物の一例であり、金属とSiとからなる化合物である。シリサイドは複雑な結晶構造を有するため、高融点を有する。シリサイドの中でも特に、遷移金属とSiとを1：2の比率で含有する遷移金属シリサイドは、融点が高く、高温強度に優れる。シリサイドはさらに、Siを多量に含有するため、高温域で酸化被膜を形成し、耐酸化性に優れる。そのため、1600℃での使用に耐えうる次世代の超高温材料として注目されている。

[0003] しかしながら、シリサイドに代表される金属間化合物は、結晶構造が複雑であるために、難加工性を示す。そのため、高温環境で使用されるタービンブレード等の精密な内部構造を有する構造物を、金属間化合物を含有する素材で製造することは困難である。

[0004] 本発明者らは、積層造形法を用いた金属単結晶の製造方法を特開2015-189618号公報（特許文献1）にて提案している。この製造方法は、種結晶を準備する準備工程と、付加製造技術を用いて、種結晶上に無機材料を供給し、熱エネルギーにより無機材料を溶融して、種結晶上に単結晶を育成する育成工程とを備える。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2015-189618号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記特許文献1の製造方法を用いた場合、金属の単結晶を製造できる。し

かしながら、難加工性を示す金属間化合物を含有する構造物を製造する場合、特許文献 1 と異なる他の製造方法も望まれる。

[0007] 本発明の目的は、難加工性を示す金属間化合物を含有する構造物の製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 本実施形態による積層造形法による金属間化合物を含有する構造物の製造方法は、混合層形成工程と、造形工程とを備える。混合層形成工程は、構造物の出発材料となり、金属基台上に供給された粉末粒子と、金属基台の表層とを熔融して混合層を形成する。造形工程は、粉末粒子を混合層上に供給して熔融し、構造物を形成する。

[0009] 本実施形態による製造方法は、難加工性を示す金属間化合物を含有する構造物を製造できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図 1 は、本実施形態の製造方法に利用される積層造形装置の構成図である。

[図2]図 2 は、本実施形態の製造方法の概要を説明するための模式図である。

[図3]図 3 は、本実施形態の製造方法により (Nb, Mo) Si₂の構造物を製造し、複数の組成傾斜層を含む混合層を形成した場合の、金属基台、混合層及び凝固層近傍部分の SEM 画像と、SEM 画像中の各位置における各元素の含有量（原子％）の関係を示すグラフとを示す図である。

[図4]図 4 は、本実施形態の製造方法の製造工程を示すフロー図である。

[図5]図 5 は、図 4 中のステップ S 4 の詳細を示すフロー図である。

[図6]図 6 は、図 4 に示す製造フロー中の一工程を示す模式図である。

[図7]図 7 は、図 6 に続く一工程を示す模式図である。

[図8]図 8 は、図 7 に続く一工程を示す模式図である。

[図9]図 9 は、図 8 に続く一工程を示す模式図である。

[図10]図 10 は、図 9 に続く一工程を示す模式図である。

[図11]図 11 は、図 10 に続く一工程を示す模式図である。

[図12]図12は、図4中のステップS5の詳細を示すフロー図である。

[図13]図13は、図12に示す製造フロー中の一工程を示す模式図である。

[図14]図14は、図13に続く一工程を示す模式図である。

[図15]図15は、図14に続く一工程を示す模式図である。

[図16]図16は、シリサイドからなる構造物の外観を示す写真画像である。

[図17]図17は、図12に示す製造フロー内の熔融工程における高エネルギー源の走査方向を説明するための模式図である。

[図18]図18は、 MoSi_2 単相の構造物を製造したときの、走査方向毎のXRD測定結果を示す図である。

[図19]図19は、 MoSi_2 単相の構造物を製造したときの、走査方向及び造形方向での逆極点図である。

[図20]図20は、指向性エネルギー堆積法に基づく本実施形態の製造方法を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0011] 本実施形態による金属間化合物を含有する構造物の製造方法は、混合層形成工程と、造形工程とを備える。混合層形成工程は、構造物の出発材料となり、金属基台上に供給された粉末粒子と、金属基台の表層とを熔融して混合層を形成する。造形工程は、粉末粒子を混合層上に供給して熔融し、構造物を形成する。

[0012] 本実施形態による製造方法では、構造物を製造する場合に、粉末粒子と金属基台の表層とを熔融して混合層を形成する。混合層の化学組成は、金属基台の化学組成と、粉末粒子の化学組成とが混合する。そのため、混合層の熱膨張率及び熱伝導率は、金属基台の熱膨張率及び熱伝導率と、構造物の熱膨張率及び熱伝導率との間の値となる。その結果、構造物の製造途中において、金属基台と構造物との熱膨張率差及び熱伝導率差に起因した剥離や割れの発生が抑制され、構造物を安定して製造できる。

[0013] 上記製造方法は、積層造形法による製造方法であってもよい。この場合、混合層形成工程では、金属基台上に粉末粒子からなるパウダーベッドを形成

した後、パウダーベッド及び金属基台の表層を溶融して混合層を形成する。造形工程では、混合層上にパウダーベッドを形成した後、パウダーベッドを溶融して、構造物を形成する。造形工程は、パウダーベッドを形成するベッド形成工程と、パウダーベッドを溶融して金属間化合物を含有する凝固層を形成する溶融工程とを交互に繰り返して、複数の凝固層が積層された構造物を形成する。

[0014] この場合、積層造形法を用いて構造物を製造しても、混合層を形成することにより、金属基台と構造物との熱膨張率差及び熱伝導率差に起因した剥離や割れの発生が抑制され、構造物を安定して製造できる。

[0015] 混合層形成工程では、造形工程以上のエネルギー密度での1又は複数回の熱源の走査でパウダーベッド及び金属基台の表層を溶融して混合層を形成してもよい。好ましくは、混合層形成工程では、造形工程よりも高いエネルギー密度での1又は複数回の熱源の走査でパウダーベッド及び金属基台の表層を溶融して混合層を形成する。

[0016] この場合、混合層形成工程において、パウダーベッドとともに金属基台の表層も溶融しやすくなり、混合層を形成しやすくなる。

[0017] 混合層形成工程は、ベッド形成工程と、傾斜層形成工程とを含んでもよい。この場合、傾斜層形成工程は、パウダーベッド及びパウダーベッド下の領域を溶融して組成傾斜層を形成する。混合層形成工程は、ベッド形成工程と傾斜層形成工程とを交互に繰り返して、複数の組成傾斜層が積層された混合層を形成する。傾斜層形成工程では、下層の組成傾斜層よりも粉末粒子の成分比率が高い組成傾斜層を形成する。

[0018] この場合、混合層では、上層の組成傾斜層ほど、金属基台の成分よりも、パウダーベッドを構成する粉末粒子の成分の比率が高ければ、下層の組成傾斜層ほど、金属基台の熱膨張率及び熱伝導率に近く、上層の組成傾斜層ほど、粉末粒子の熱膨張率及び熱伝導率に近くなる。そのため、熱膨張率差及び熱伝導率差に起因した割れの発生をさらに抑制できる。

[0019] 上記各溶融工程では、高エネルギー熱源の走査方向に応じて、走査方向又

は造形方向に対する特定の結晶方位の配向度を高める。

[0020] 構造物の結晶方位は、熔融工程における高エネルギー熱源の走査方向に依存する。したがって、各熔融工程での高エネルギー熱源の走査方向を制御することにより、構造物において、走査方向又は造形方向に対する特定の結晶方位の配向度を高めることができる。

[0021] 各熔融工程において、高エネルギー熱源の走査方向は互いに並行であってもよい。

[0022] この場合、構造物中の結晶が特定結晶方位へ配向しやすくなる。具体的には、走査方向に、各結晶粒中の〔001〕方向が優先配列するようになる。つまり、走査方向垂直面に結晶面（001）が優先配向するようになる。

[0023] 上記製造方法において、金属間化合物はたとえばシリサイドである。シリサイドはたとえば、Mo及び／又はNbを含有する遷移金属シリサイドである。また、上記積層造形法は、たとえば、レーザー積層造形法である。

[0024] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳しく説明する。図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0025] 本実施形態による構造物の製造方法は、金属間化合物を含有する構造物を製造する。構造物は、金属間化合物からなるものであってもよいし、一部に金属間化合物を含むものであってもよい。本実施形態による金属間化合物を含有する構造物の製造方法では、たとえば、図1に示す積層造形装置を使用する。

[0026] [積層造形装置の構成]

図1を参照して、積層造形装置100は、レーザー積層造形装置である。積層造形装置100は、制御装置10と、レーザー装置14と、レンズ系15と、ミラー（ガルバノミラー）16と、チャンバ20とを備える。

[0027] レーザー装置14は熱エネルギー源であり、レーザー光を出射する。レーザー装置14はたとえば、ファイバーレーザーやYAGレーザー等の固体レーザー、CO₂レーザー等である。レンズ系15は、レーザー装置14からレーザー光を受け、レーザー光を収束してレーザー30を形成する。ミラー1

6は、レーザー30の照射操作を行う。つまり、ミラー16により、後述の金属基台208上における、レーザー30が照射される位置が調整される。

[0028] チャンバ20は、ベッド形成室201と、粉末供給室202と、造形テーブル203と、リコータ205とを備える。

[0029] ベッド形成室201は、筒状であり、上端に開口を有する。造形テーブル203は、ベッド形成室201に収納され、上下方向に昇降可能に支持される。造形テーブル203は、図示しないモータにより昇降する。造形テーブル203上には、金属基台208が配置される。金属基台208は、Fe等の金属からなる。金属間化合物を含有する構造物は、金属基台208上に形成される。

[0030] 粉末供給室202は、ベッド形成室201の隣に配置される。粉末供給室202は筒状であり、上下方向に昇降可能なピストン204を内部に備える。ピストン204上には、金属間化合物を含有する構造物の出発材料となる粉末粒子40が積層される。ピストン204が上昇することにより、粉末供給室202の上部開口から粉末粒子40が排出され、ベッド形成室201に供給される。

[0031] リコータ205は、粉末供給室202の上部開口の近傍に配置される。リコータ205は、図示しないモータにより特定方向（水平方向）に移動し、粉末供給室202及びベッド形成室201の間を往復する。図1では、リコータ205は、X方向に往復移動する。

[0032] リコータ205は、X方向に移動することにより、粉末供給室202から排出された粉末粒子40を水平方向に移動させて、粉末粒子40をベッド形成室201に供給する。ベッド形成室201内の造形テーブル203の金属基台208上に堆積された粉末粒子40により、パウダーベッド（粉末床）206が形成される。つまり、パウダーベッド206は、粉末粒子40からなる。リコータ205がX方向に移動することにより、粉末粒子40が水平方向に移動し、パウダーベッド206の表面が平坦に整えられる。

[0033] なお、リコータ205に代えて、ローラを用いてもよい。ローラを用いた

場合、粉末粒子40に対してローラで任意に加圧しながら、パウダーベッド206を形成できる。

[0034] 制御装置10は、図示しない中央演算処理装置(CPU)と、メモリと、ハードディスクドライブ(以下、HDDという)とを備える。HDDには、周知のCAD(Computer Aided Design)アプリケーションとCAM(Computer Aided Manufacturing)アプリケーションとが格納される。制御装置10は、CADアプリケーションを利用して、製造したい構造物の3次元形状データを作成する。

[0035] 制御装置10はさらに、CAMアプリケーションを利用して、3次元データに基づいて、加工条件データを作成する。積層造形法では、レーザー30により形成される複数の凝固層が積層されて、金属間化合物を含有する構造物が形成される。加工条件データは、各凝固層が形成されときの加工条件を含む。つまり、加工条件データは、各凝固層(各パウダーベッド206)ごとに作成される。制御装置10は、加工条件データに基づいてレーザー装置14、レンズ系15及びミラー16を制御して、レーザー30のエネルギー密度を決定する条件(出力、走査速度、走査間隔及び照射位置)を調整する。

[0036] [製造方法の概要]

シリサイドに代表される難加工性を示す金属間化合物の融点が高い。金属基台208の素材には、金属間化合物を形成する金属元素(たとえばFe)を選択することが望ましい。通常、金属基台208を構成する金属元素の融点と、形成される構造物中の金属間化合物の融点との差は大きい。一般に融点の差が大きければ、熱膨張率及び熱伝達係数(以下、熱膨張率等という)の差も大きくなる。熱膨張率等の差が大きく異なれば、積層造形法による製造工程途中において、形成途中の構造物が、金属基台208から剥離したり、割れたりする。この場合、所望の形状の構造物を安定して作製できない。

[0037] そこで本実施形態では、次の方法により熱膨張率等の差を解消する。図2は、本実施形態の製造工程途中の構造物1C周辺を示す模式図である。図2

を参照して、本製造方法では、金属基台 208 と、複数の凝固層 S01～S04 を含む構造物 1C との間に、混合層 ML を形成する。混合層 ML は、金属基台 208 を構成する金属と、粉末粒子とが混合された化学組成を有する。この場合、混合層 ML の熱膨張率等は、金属基台 208 の熱膨張率等と、金属間化合物を含有する構造物 1C の熱膨張率等との間の値となる。その結果、積層方向での熱膨張率等の不連続性を抑制でき、熱膨張率等の差が大きいことに起因した剥離や割れを抑制できる。

[0038] 混合層 ML は 1 層からなるものであってもよい。しかしながら、好ましくは、混合層 ML は、複数の組成傾斜層 ML1～ML3 が積層して形成される。ここで、組成傾斜層 ML1 中における粉末粒子の成分比率は、組成傾斜層 ML2 よりも小さい。さらに、組成傾斜層 ML2 中における粉末粒子の成分比率は、組成傾斜層 ML3 よりも小さい。要するに、複数の組成傾斜層で形成された混合層中では、上層に向かうにしたがって粉末粒子の成分比率が高くなり、下層に向かうにしたがって金属基台 208 の成分比率が高くなる。

[0039] 図 3 は、本実施形態の製造方法により (Nb, Mo) Si₂ の構造物を製造し、複数の組成傾斜層を含む混合層を形成した場合の、金属基台、混合層及び凝固層近傍部分の SEM 画像と、SEM 画像中の各位置における各元素の含有量（原子％）の関係を示すグラフとを示す図である。各位置での各元素の含有量はエネルギー分散型 X 線分析（EDS）により求めた。金属基台には Fe 基板を用いた。

[0040] 図 3 中の横軸では、左から右に向かうにしたがって、金属基台から離れる。図 3 を参照して、金属基台は、実質的に Fe からなる。混合層内では、金属基台側から構造物側に向かうにしたがって、各元素（Fe、Si、Mo 及び Nb）が増減する。具体的には、構造物側に向かうにしたがって、金属基台成分である Fe 含有量が徐々に低下し、構造物内では 0％になる。一方、構造物側に向かうにしたがって、粉末粒子成分である Si、Mo 及び Nb 含有量が徐々に増加し、最終的には構造物内の各元素の含有量と同等になっている。つまり、図 3 の混合層では、金属基台側から構造物側に向かうにした

がって、金属基台を構成する金属の比率（F e 比率）が徐々に低下し、粉末粒子の組成比率（S i、M o、N b）が徐々に増加している。

[0041] このように、混合層MLを複数の組成傾斜層で構成し、かつ、各組成傾斜層中の成分比率を調整することにより、混合層MLに対して、積層方向における熱膨張係数等を段階的に変化させる傾斜機能を持たせることができる。この場合、熱膨張率等の差に起因した剥離や割れをさらに抑制できる。

[0042] なお、図2を参照して、金属基台208の表面から組成傾斜層ML1の底までの深さ ΔD はたとえば、 $50 \sim 1000 \mu m$ である。つまり、金属基台208の表層は、少なくとも $50 \mu m$ 以上溶融されるのが好ましく、さらに好ましくは $300 \mu m$ 以上溶融されるのが好ましい。

[0043] 以下、本製造方法を詳述する。

[0044] [製造方法の詳細]

図4は、本実施形態の金属間化合物を含有する構造物の製造方法の一例の詳細を示すフロー図である。以下、金属間化合物の具体例を遷移金属シリサイドとし、構造物の具体例をタービンプレードとして説明する。しかしながら、本製造方法は、遷移金属シリサイド以外の他の金属間化合物を含有する構造物にも適用でき、タービンプレード以外の他の構造物にも適用できる。

[0045] 制御装置10は初めに、CADアプリケーションを用いて構造物の3次元データを作成する（S1）。作成された3次元データは制御装置10内のメモリに格納される。続いて、制御装置10はCAMアプリケーションを用いて、3次元データに基づいて加工条件データを作成する（S2）。

[0046] 加工条件データは、凝固層ごとに作成される。初めに、構造物（本例ではタービンプレード）を、予め設定された凝固層 SO_k （ k は自然数であり、最大数は k_{max} ）の積層数 k_{max} （個）でスライスした場合を想定する。このとき、構造物がスライスされて形成される複数の凝固層 SO_k の各々の形状が異なる場合がある。したがって、加工条件データは、各凝固層 SO_k ごとに製造される。これにより、所望の3次元形状の構造物が製造される。

- [0047] 第 k 層 ($k = 1 \sim k_{\max}$) の凝固層 SO_k の加工条件データは次の方法で作成される。ここで、第1層は最下層であり、第 $k_{\max}$ 層は最上層である。
- [0048] 制御装置10はまず、3次元データに基づいて、第 k 層における凝固層 SO_k の断面形状データを作成する。続いて、制御装置10は、断面形状データに基づいて、加工条件データを作成する。加工条件データは、領域条件とレーザー条件とを含む。制御装置10は、断面形状データに基づいて、レーザー30を照射する領域を決定し、領域条件として定義する。続いて、凝固層を形成するために必要なエネルギー密度 (J/mm^2) に応じて、レーザー条件 (レーザー30の出力、走査速度、走査間隔) を決定する。レーザー条件に関する情報は、粉末粒子40の組成に対応して、制御装置10内のHDDに予め格納されている。以上の工程により、各層 (凝固層 SO_k) における加工条件データが作成される。作成された複数の加工条件データは、制御装置10内のメモリに格納される。
- [0049] 制御装置10はさらに、構造物の場合と同様に、混合層 ML の加工条件データを作成する。具体的には、初めに、混合層 ML を、組成傾斜層 ML_n (n は自然数であり、最大数は $n_{\max}$) の積層数 $n_{\max}$ (個) でスライスした場合を想定し、各組成傾斜層 ML_n ごとに加工条件データを作成する。各凝固層 SO_k における加工条件データの場合と同様の方法で、各組成傾斜層 ML_n の加工条件データを決定する。
- [0050] 混合層の各組成傾斜層 ML_n を形成するときのエネルギー密度は、各凝固層 SO_k を形成するときのエネルギー密度以上である。好ましくは、混合層の各組成傾斜層 ML_n を形成するときのエネルギー密度は、各凝固層 SO_k を形成するときのエネルギー密度よりも大きい。後述のとおり、各組成傾斜層を形成する場合、パウダーベッドだけでなく、パウダーベッド下の領域 (下層となる組成傾斜層又は金属基台の表層) も溶融して、金属基台の組成を粉末粒子の組成と混合する必要があるためである。なお、混合層 ML を1層のみで形成する場合、混合層の加工条件データは1つで足りる。

[0051] 続いて、真空ポンプを用いて、チャンバ20を真空に引く（S3）。チャンバ20内が真空になった後、混合層を形成する（S4：混合層形成工程）。

[0052] [混合層形成工程（S4）]

図5は、図4中の混合層形成工程（S4）の詳細を示すフロー図である。図5を参照して、制御装置10は初めに、カウンタnを「1」に設定し（S41）、最下層となる第1層の組成傾斜層ML1の作製を開始する。

[0053] チャンバ20内に不活性ガス（アルゴン、窒素、ヘリウム等）を供給し、造形テーブル203上に配置された金属基台208を予熱する（S42）。なお、予熱時において、真空に引いた後、不活性ガスを供給することなく金属基台208を予熱してもよい。また、真空にせずに、不活性ガスを供給した後、金属基台208を予熱してもよい。

[0054] 続いて、制御装置10は、パウダーベッド206を形成する（S43：ベッド形成工程）。制御装置10は、粉末供給室202のピストン204を上昇して、粉末粒子40を排出するよう指示する。粉末供給室202は、制御装置10からの指示に応じて、粉末粒子40を排出する。このとき、図6に示すとおり、リコータ205がX方向に移動する。これにより、排出された粉末粒子40がX方向に移動して、ベッド形成室201に供給される。粉末粒子は金属基台208及び造形テーブル203上に堆積し、パウダーベッド206が形成される。

[0055] リコータ205はさらに、金属基台208上のパウダーベッド206の表面上を水平（X方向）に移動する。このとき、粉末粒子40が水平方向に移動する。最上層のパウダーベッド206の厚さはたとえば、5～1000 μ m程度である。

[0056] 次に、制御装置10は、パウダーベッド206を予熱する（S44）。種々の方法で予熱することができる。たとえば、パウダーベッド206にレーザーを照射して予熱してもよいし、造形テーブル203を昇温することによりパウダーベッド206を予熱してもよい。ベッド形成室201内の粉末粒

子40をヒータで加熱することにより、パウダーベッド206を予熱してもよい。

[0057] 次に、レーザー30により第1層の組成傾斜層ML1を形成する（S45：傾斜層形成工程）。制御装置10は、ステップS2で作成された複数の加工条件データのうち、第1層の組成傾斜層ML1の加工条件データをメモリから読み出す。読み出された加工条件データに基づいて、制御装置10はレーザー30を制御する。

[0058] 具体的には、制御装置10は、加工条件データ内の領域条件に基づいて、パウダーベッド206の所定の領域にレーザー30を照射する。制御装置10はさらに、加工条件データ内のレーザー条件に基づいてレーザー30の出力、走査速度及び走査間隔を調整する。

[0059] このとき、パウダーベッド206だけでなく、金属基台208の表層部分も溶融できるエネルギー密度で、組成傾斜層ML1を形成する。その結果、図7に示すとおり、金属基台208の表層部分が溶融して粉末粒子40と混合し、組成傾斜層ML1が形成される。パウダーベッド206のうち、組成傾斜層ML1以外の領域に配置された粉末粒子40は、溶融しておらず、焼結もしていない。

[0060] 第1層の組成傾斜層ML1が形成された後、制御装置10は、カウンタnが n_{max} か否かを判断する（S46）。ここでは、カウンタ $n=1$ であるため（S46でNO）、制御装置10はカウンタnをインクリメントして $n+1=2$ とする（S47）。そして、制御装置10は、第2層の組成傾斜層ML2の作製を準備する。

[0061] 制御装置10は、造形テーブル203を積層ピッチ Δh だけ降下する（S48）。その結果、図8に示すように、パウダーベッド206の表面が、図7と比較して、 Δh だけ低下する。

[0062] ステップS48が完了した後、ステップS43に戻る。このとき、制御装置10は、組成傾斜層ML1が形成されたパウダーベッド206上に、新たなパウダーベッド206を形成する（S43：ベッド形成工程）。具体的に

は、制御装置 10 の指示に応じて、粉末供給室 202 内のピストン 204 が上昇し、粉末粒子 40 が再び排出される。このとき、図 9 に示すように、リコータ 205 が X 方向に移動する。そのため、粉末粒子 40 は X 方向に移動して、厚さ Δh を有する新たなパウダーベッド 206 を形成する。新たなパウダーベッド 206 の表面は、リコータ 205 により平坦に整えられる。

[0063] 続いて、制御装置 10 は、パウダーベッド 206 を予熱し (S44)、第 2 層の組成傾斜層 ML2 を形成する (S45: 傾斜層形成工程)。このとき、制御装置 10 は、第 n 層 (ここでは $n=2$) の加工条件データに基づいて、レーザー 30 をパウダーベッド 206 に照射する。その結果、図 10 に示すとおり、レーザー 30 が照射された領域内のパウダーベッド 206 及びそのパウダーベッド 206 下の組成傾斜層 ML1 が溶融して凝固し、組成傾斜層 ML2 が形成される。

[0064] 以上の工程により、組成傾斜層 ML2 は組成傾斜層 ML1 上に積層される。組成傾斜層 ML2 の形成時、組成傾斜層 ML1 の表層が溶融されてパウダーベッド 206 の溶融部分と混合する。そのため、組成傾斜層 ML2 は、組成傾斜層 ML1 と同様に、金属基台 208 の金属 (以下、基板内金属という) を含有する。ただし、組成傾斜層 ML2 内での基板内金属の比率 (含有量) は、組成傾斜層 ML1 内での基板内金属の比率 (含有率) よりも小さい。そのため、組成傾斜層 ML1 の熱膨張率等は、組成傾斜層 ML2 よりも金属基台 208 の熱膨張率等に近い。好ましくは、組成傾斜層 ML n 形成時のエネルギー密度は、組成傾斜層 ML $n-1$ 形成時のエネルギー密度以下である。さらに好ましくは、組成傾斜層 ML n 形成時のエネルギー密度は、組成傾斜層 ML $n-1$ 形成時のエネルギー密度未満である。これにより、混合層内での組成の傾斜を実現できる。

[0065] 続いて、ステップ S46 に進み、 $n=n_{max}$ となるまで、つまり、最上層の組成傾斜層 ML n_{max} が形成されるまで、制御装置 10 は、ステップ S43 ~ ステップ S48 までの動作を繰り返す。要するに、制御装置 10 は、混合層 ML が完成するまで、ベッド形成工程 (S43) と傾斜層形成工程

(S 4 5) とを繰り返す。

[0066] ステップS 4 3～ステップS 4 8を繰り返した結果、カウンタ $n = n_{max}$ であるとき、つまり、最上層 n_{max} の組成傾斜層ML n_{max} が形成されたとき (S 4 6でYES)、図11に示すように、混合層MLが完成する。

[0067] 上述のとおり、混合層MLの熱膨張率等は、金属基台208の熱膨張率等と構造物1Cの熱膨張率等との間の値となる。したがって、金属基台208上に構造物1Cを直接形成する場合と比較して、熱膨張率等の差を抑えることができる。そのため、次工程の造形工程 (図4中のS 5) において、熱膨張率等の差に起因した剥離や割れを抑制できる。

[0068] [造形工程 (S 5)]

図4に戻って、混合層MLを形成した後、造形工程 (S 5) を実施して金属間化合物を含有する構造物を作製する。

[0069] 図12は、図4中の造形工程 (S 5) の詳細を示すフロー図である。図12を参照して、制御装置10は初めに、カウンタkを「1」に設定し (S 5 1)、最下層となる第1層の凝固層SO1の作製を開始する。

[0070] 図13を参照して、制御装置10は、ステップS 4 3と同様に、混合層ML上にパウダーベッド206を形成する (S 5 2)。パウダーベッド206を予熱した後 (S 5 3)、第1層である凝固層SO1の加工条件データに基づいて、レーザー30を制御しながらパウダーベッド206を溶融して凝固層SO1を形成する (S 5 4: 溶融工程)。このとき、パウダーベッド206に付与するエネルギー密度は、ステップS 4 5よりも小さい。凝固層SO1の下層となる混合層MLの表層を過度に溶融する必要がないためである。

[0071] 以上の製造工程により、図14に示すとおり、混合層ML上に凝固層SO1が形成される。凝固層SO1と金属基台208との熱膨張率等の差よりも、凝固層SO1と混合層MLとの熱膨張率等の差は小さい。そのため、凝固層SO1は、金属基台208上に直接形成される場合よりも、剥離しにくく、割れにくい。

[0072] 続いて、ステップS55に進み、 $k = k_{max}$ となるまで、つまり、最上層の凝固層SO k_{max} が形成されるまで、制御装置10は、ステップS52～ステップS57までの動作を繰り返す。具体的には、 $k = k_{max}$ でない場合（S55でNO）、カウンタ k をインクリメントして $k + 1$ とする（S56）。そして、制御装置10は、第2層の凝固層SO2の作製を準備する。制御装置10は、造形テーブル203を所定の積層ピッチだけ降下する（S57）。その後、ステップS52に進み、凝固層SO1上にパウダーベッド206を形成する（S52）。以降の動作は、凝固層SO1を形成する場合と同様である。

[0073] 制御装置10は、構造物1Cが完成するまで、ステップS52～S57を繰り返し、ベッド形成工程（S52）及び溶融工程（S54）を繰り返す。なお、凝固層SO k の形状は、下層の凝固層SO $k - 1$ の形状に拘束されず、凝固層SO $k - 1$ よりも大きな形状にすることもできるし、小さな形状にすることもできる。さらに、凝固層SO k の形状に1又は複数の孔を形成できる。この場合、構造物は、閉空間を有したり、複雑な孔形状を有する等、通常の切削加工では得られない形状を有することができる。

[0074] 以上のとおり、積層造形法では、構造物を構成する各凝固層SO k の形状を自由に形成できる。そのため、混合層を形成する本製造方法では、難加工性を示すシリサイドに代表される金属間化合物を含有しても、自由な形状の構造物を形成できる。

[0075] 以上の製造工程により、図15に示すとおり、金属間化合物を含有する構造物1Cが完成する。完成された構造物はチャンバ20から取り出され、混合層が切断される（図4中のS6）。図16（A）は本実施形態の製造方法で製造されたNbSi₂の構造物であり、図16（B）はMoSi₂の構造物である。図16（C）は、(Mo_{0.85}Nb_{0.15})Si₂の構造物である。いずれの構造物においても、混合層を形成することにより、剥離や割れが抑制され、安定して製造できた。

[0076] 図4に戻って、必要に応じて、構造物1Cに対して熱処理を実施してもよ

い（S7）。たとえば、図16（C）に示す（ $\text{Mo}_{0.85}\text{Nb}_{0.15}$ ） Si_2 の構造物を製造した後、 1400°C で168時間保持する。この場合、構造物のマトリクス組織にて、延性相であるC11b相と、強化相であるC40相とのラメラ組織が得られる。この場合、構造物の室温靱性及び高温クリープ特性が高まる。なお、ステップS7の熱処理は実施しなくてもよい。

[0077] [各凝固層の溶融工程での高エネルギー源の走査方向について]

図17に示すとおり、各凝固層SOkの溶融工程（S54）において、高エネルギー源であるレーザー30の走査方向SDkは、下層の凝固層SOk-1を形成するときの走査方向SD1と鈍角又は鋭角で交差していてもよいし（図17（A））、略直角に交差してもよいし（図17（B））、並行してもよい（図17（C））。ここで、並行とは、幾何学における平行及び平行から $\pm 10^\circ$ 以内の範囲を意味する。要するに、走査方向は特に限定されない。各溶融工程での高エネルギー熱源の走査方向に応じて、走査方向又は造形方向に対する特定の結晶方位の配向度を高めることができる。

[0078] たとえば、各凝固層SOkでのレーザー30の走査方向SDkを、図17（C）に示すとおり互いに並行にする。この場合、走査方向又は造形方向に対する特定の結晶面の配向度を高めることができ、構造物の組織制御が可能となる。具体的にはこの場合、走査方向に結晶面（001）を優先配向させる。すなわち、走査方向に結晶方向〔001〕が優先配列した結晶粒（走査方向垂直面に結晶面（001）が優先配向した結晶粒）を有する構造物を製作することができる。

[0079] 図18は、遷移金属シリサイドである MoSi_2 単相の構造物を図17（A）～（C）の走査方向で製造した場合の、図17のP方向から見たX線回折結果（XRD）を示す図である。なお、図17中のZ方向は造形方向である。図18では、構造物の製造工程（溶融工程）中のレーザー出力を100W、走査間隔を0.06mm、走査速度を600mm/s、エネルギー密度を 2.78 J/mm^2 として MoSi_2 単相の構造物を製造した。

[0080] 図18中の“rotated”は、走査方向を図17（A）とした場合の

回折パターンである。本例では、 SD_k と SD_{k-1} との交差角を 67° とした。図18中の“XY alternative”は、走査方向を図17(B)とした場合（つまり、 SD_k と SD_{k-1} との交差角が 90° ）の回折パターンである。図18中の“X only”は、走査方向を図17(C)とした場合（つまり、 SD_k と SD_{k-1} との交差角が 0° ）の回折パターンである。図18中の“powder”は、製造に用いた粉末（つまり、結晶方位がランダム状態）の回折パターンである。各回折パターンのグラフの横には、測定方向における(001)のロットゲーリングファクター(Lotgering Factor) = $L(001)$ を示す。

[0081] 図18を参照して、各凝固層の溶融工程における走査方向を互いに並行にした場合（図18中の“X only”）、ロットゲーリングファクター $L(001)$ が最も高い。つまり、走査方向に(001)が強く優先配向する。

[0082] 図19は、図18と同じ $MoSi_2$ 単相の構造物のレーザー走査方向の逆極点図(A)及び造形方向の逆極点図(B)である。図19は、電子線後方散乱回折法(EBSD)により得られた。図19を参照して、各溶融工程での高エネルギー熱源の走査方向を図17(C)に示すとおりとした場合、製造された $MoSi_2$ 単相の構造物では、レーザー走査方向には(001)が優先配向し、造形方向には(100)が優先配向する。したがって、各凝固層の溶融工程における走査方向を互いに並行にすれば、結晶集合組織をある程度制御することができる。

[0083] [他の実施形態]

上述の製造方法は、 Mo 及び／又は Nb を含有する遷移金属シリサイドに代表される、シリサイドの構造物を例に説明している。しかしながら、本実施形態の製造方法で製造される構造物は、シリサイドに限定されず、他の金属間化合物であってもよい。たとえば、上記製造方法により、 $TiAl$ 系金属間化合物の構造物を製造してもよい。 $TiAl$ の化学式で記述される化学組成に幅を有する $L10$ 構造の γ 相、 Ti_3Al の化学式で記述される DO_{19} 構

造の α_2 相、体心立方（b c c）構造の β 相等を、単独、又は複数組み合わせた金属間化合物又は合金の総称である。TiAl系金属間化合物は、層状組織となる場合もある。

[0084] 金属間化合物であるシリサイドはたとえば、C11b構造を有する MoSi_2 、 WSi_2 及び、 ReSi_2 や、C40構造を有する NbSi_2 、 CrSi_2 、 TaSi_2 及び VSi_2 や、さらに異なる結晶構造を有する Mo_5Si_3 、 Nb_5Si_3 、 ZrSi_2 、 Mo_5SiB_2 、 Mo_3Si や、これらの組み合わせ、及び、これらのシリサイドと高熔点金属、高熔点合金との組み合わせである。

[0085] さらに、上述の製造方法で製造される構造物は、金属間化合物からなる必要はなく、金属間化合物を一部に含有していればよい。構造物が金属間化合物をある程度含有していれば、上記製造方法の効果がより有効に発揮される。構造物が体積％で30％以上の金属間化合物を含有する場合、上記効果は特に有効に発揮される。好ましくは、構造物の金属間化合物の含有量は体積％で50％以上であり、さらに好ましくは60％以上であり、さらに好ましくは70％以上である。構造物の金属間化合物の含有量は実質的に100％であってもよい。

[0086] 上述の製造方法では、ステップS42、S44（図5参照）及びS53（図12参照）において、予熱を実施する。しかしながら、予熱を実施しなくてもよい。

[0087] 上述の製造方法では、一例として、積層造形法に属する粉末床溶融結合法のうち、熱源をレーザーとするレーザー積層造形法を利用した。しかしながら、上記製造方法は、熱源を電子ビームとする電子ビーム積層造形法を利用してもよい。

[0088] 本実施形態による製造方法は、積層造形法による製造方法に限定されない。たとえば、本実施形態による製造方法は、指向性エネルギー堆積法による製造方法にも適用できる。

[0089] 図20は、本実施形態の指向性エネルギー堆積法による製造方法の模式図である。図20を参照して、指向性エネルギー堆積法では、ノズル200の

中央から熱源（ここではレーザー３０）を出力しながら、ノズル２００から熱源に粉末粒子４０を供給して、粉末粒子４０を溶融しながら凝固層ＳＯ１を形成する。レーザー３０を出力中、金属基台２０８は、Ｘ２００方向に移動している。

[0090] このような指向性エネルギー堆積法を用いた製造方法の場合でも、上述の積層造形法と同様に、初めに混合層ＭＬを形成し、その後、複数の凝固層ＳＯ１～ＳＯｋを形成して、構造物を製造できる。

[0091] つまり、本発明による製造方法は、金属基台２０８上に供給された粉末粒子４０と、金属基台２０８の表層とを溶融して混合層ＭＬを形成し、次いで、粉末粒子４０を混合層ＭＬ上に供給して溶融し、構造物を形成できれば、積層造形法を用いても、指向性エネルギー堆積法を用いても、効果を生ずる。

[0092] なお、上述の構造物は、複雑な形状の製造対象物を造形中に支持する、メッシュ形状等のいわゆるサポート材も含む。したがって、混合層ＭＬ上にサポート材を形成し、サポート材の上に実際に製造したい製造対象物を製造してもよい。混合層ＭＬ自体をメッシュ形状としてもよい。この場合、混合層ＭＬはサポート材としても機能する。

[0093] 上記製造方法で製造される構造物は、１４００℃以上の耐熱材料として広く利用可能である。上記構造物はたとえば、発電用等のタービンブレードや配管、炉心管、発熱体、航空宇宙用途（ボディー、エンジン部材）として使用可能である。

[0094] 以上、本発明の実施の形態を説明した。しかしながら、上述した実施の形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。したがって、本発明は上述した実施の形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施の形態を適宜変更して実施することができる。

符号の説明

[0095] ４０ 粉末粒子

２０６ パウダーベッド

2 0 8 金属基台

M L 混合層

M L n 組成傾斜層

I C 構造物

S O k 凝固層

請求の範囲

- [請求項1] 金属間化合物を含有する構造物の製造方法であって、
金属基台上に供給された前記構造物の出発材料となる粉末粒子と、
前記金属基台の表層とを溶融して混合層を形成する混合層形成工程と、
、
前記粉末粒子を前記混合層上に供給して溶融し、前記構造物を形成する造形工程とを備える、金属間化合物を含有する構造物の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の製造方法であって、
前記製造方法は、積層造形法による製造方法であり、
前記混合層形成工程では、前記金属基台上に前記粉末粒子からなるパウダーベッドを形成した後、前記パウダーベッド及び前記金属基台の表層を溶融して前記混合層を形成し、
前記造形工程では、前記混合層上に前記パウダーベッドを形成した後、前記パウダーベッドを溶融して、前記構造物を形成し、
前記造形工程は、
前記パウダーベッドを形成するベッド形成工程と、
前記パウダーベッドを溶融して金属間化合物を含有する凝固層を形成する溶融工程とを交互に繰り返して、複数の前記凝固層が積層された前記構造物を形成する、製造方法。
- [請求項3] 請求項2に記載の製造方法であって、
前記混合層形成工程では、前記造形工程以上のエネルギー密度での1又は複数回の熱源の走査で前記パウダーベッド及び前記金属基台の表層を溶融して前記混合層を形成することを特徴とする、製造方法。
- [請求項4] 請求項3に記載の製造方法であって、
前記混合層形成工程は、
前記ベッド形成工程と、前記パウダーベッド及び前記パウダーベッド下の領域を溶融して組成傾斜層を形成する傾斜層形成工程とを交互

に繰り返して、複数の前記組成傾斜層が積層された前記混合層を形成し、

前記傾斜層形成工程では、下層の前記組成傾斜層よりも前記粉末粒子の成分比率が高い前記組成傾斜層を形成することを特徴とする、製造方法。

[請求項5] 請求項2～請求項4のいずれか1項に記載の製造方法であって、
前記各溶融工程での高エネルギー熱源の走査方向に応じて、前記走査方向又は造形方向に対する特定の結晶方位の配向度を高めることを特徴とする、製造方法。

[請求項6] 請求項5に記載の製造方法であって、
前記各溶融工程での前記高エネルギー熱源の走査方向は互いに並行であることを特徴とする、製造方法。

[請求項7] 請求項6に記載の製造方法であって、
前記高エネルギー熱源の走査方向は互いに並行であり、前記走査方向垂直面に結晶面（001）を優先配向させることを特徴とする、製造方法。

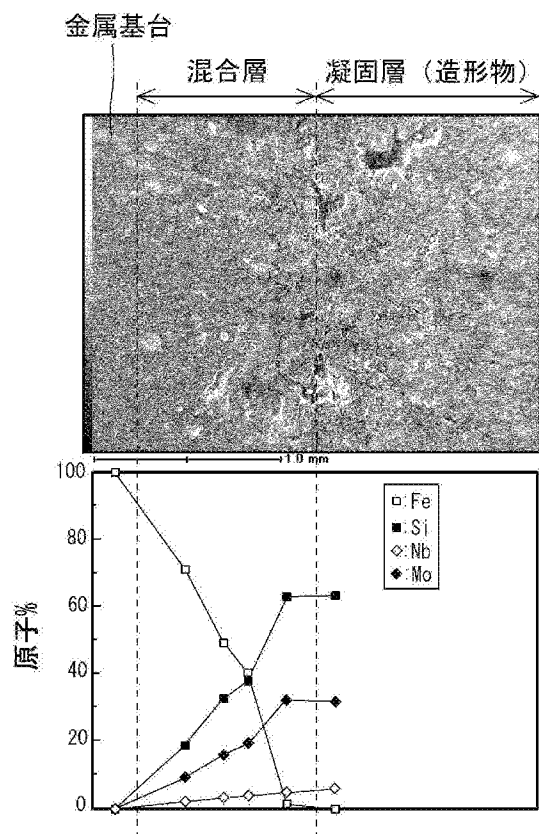
[請求項8] 請求項1～請求項7のいずれか1項に記載の製造方法であって、
前記金属間化合物はシリサイドであることを特徴とする、製造方法。

[請求項9] 請求項8に記載の製造方法であって、
前記シリサイドは、Mo及び／又はNbを含有する遷移金属シリサイドであることを特徴とする、製造方法。

[請求項10] 請求項2に記載の製造方法であって、
前記積層造形法は、レーザー積層造形法であることを特徴とする、製造方法。

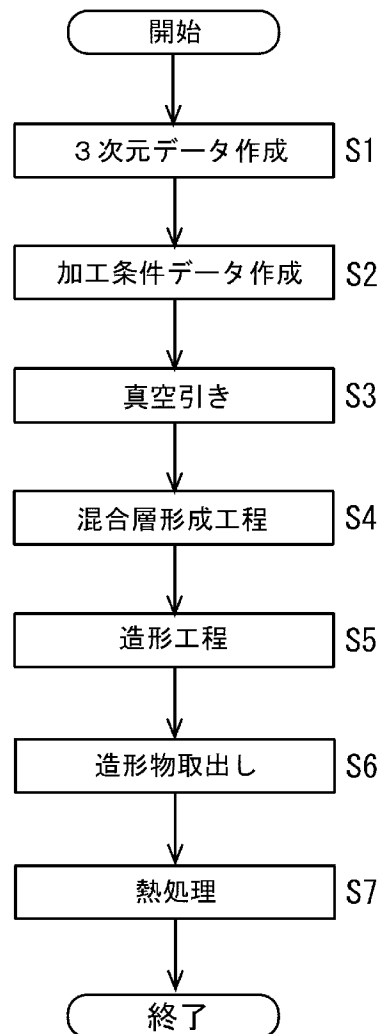
[図3]

FIG. 3



[図4]

FIG. 4



[図5]

FIG. 5

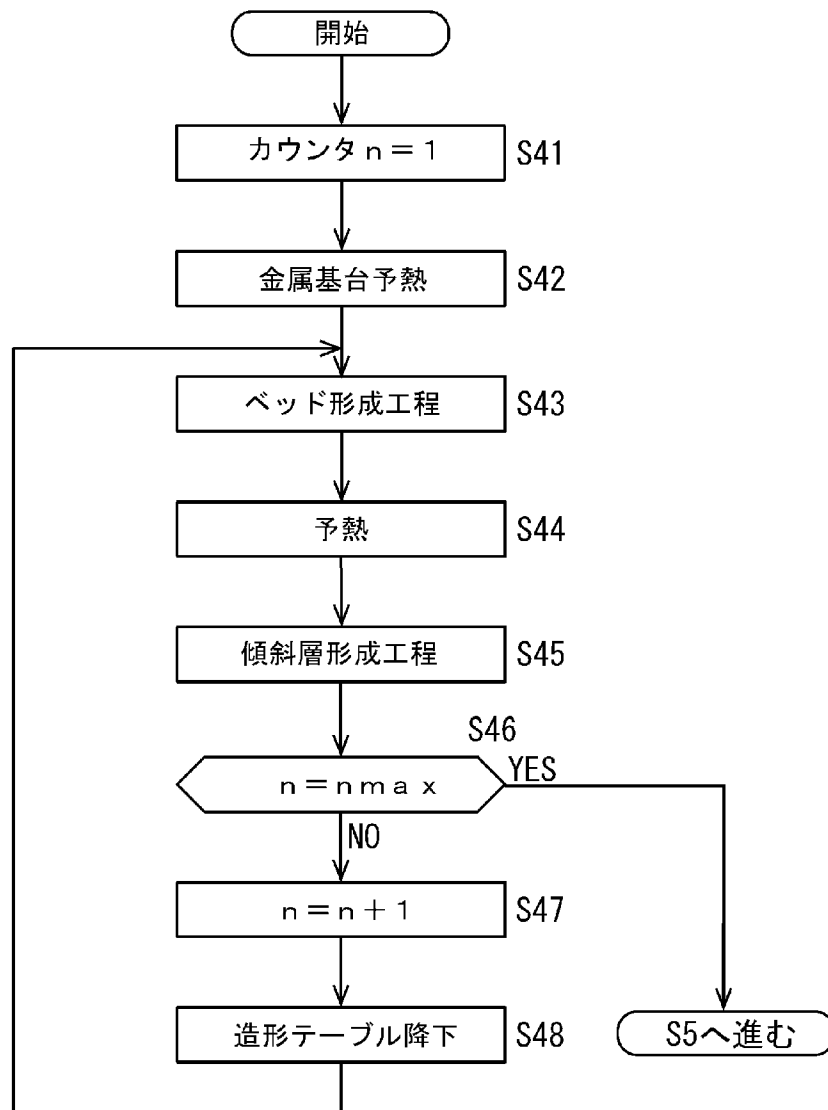


FIG. 6

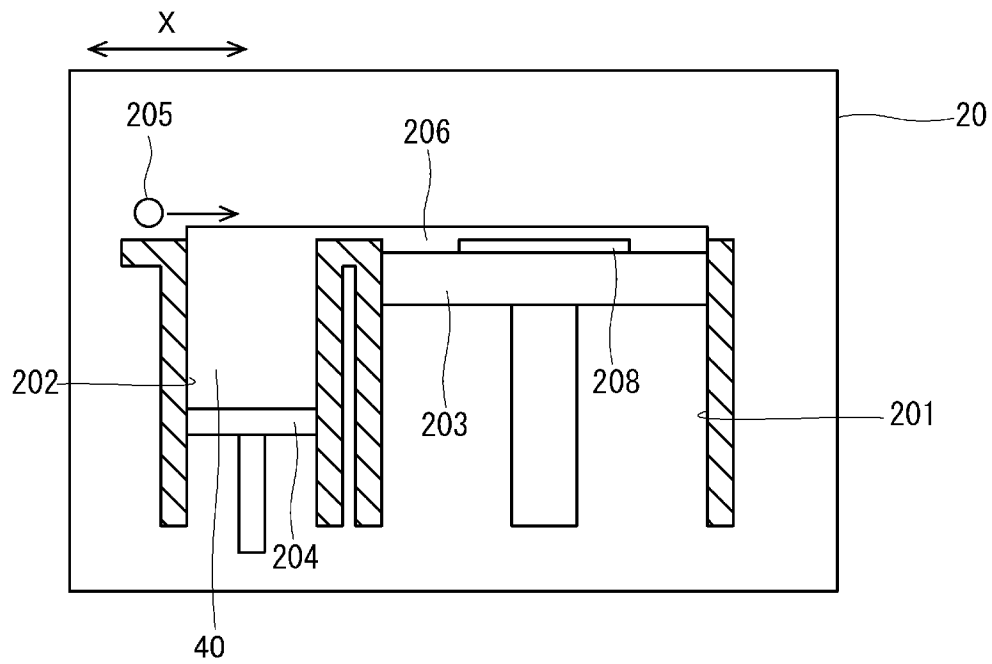
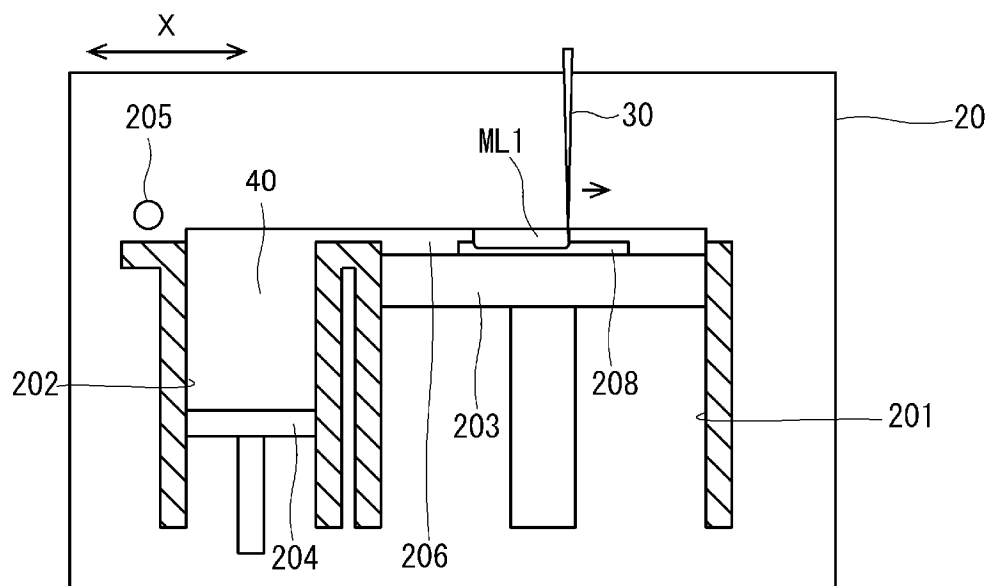
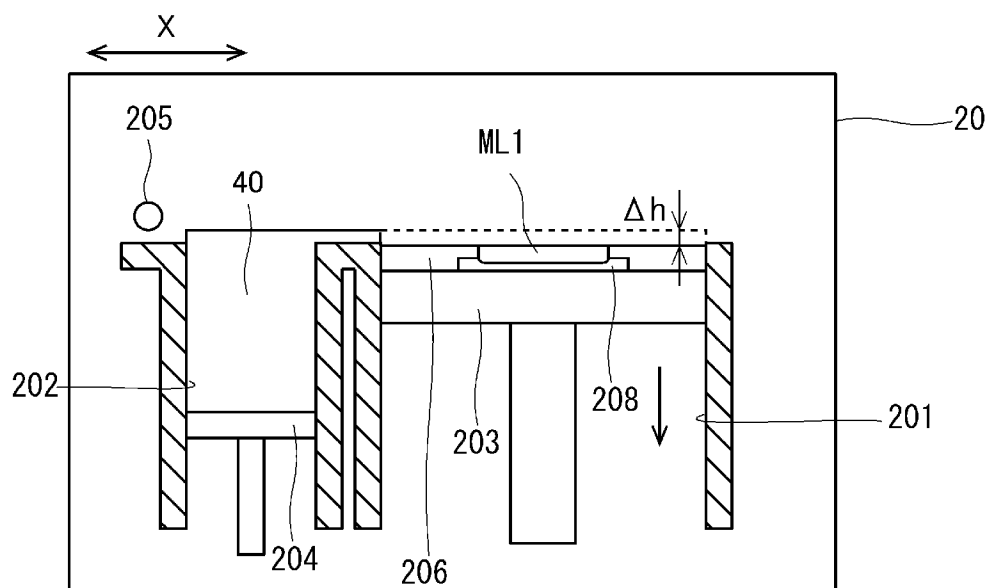


FIG. 7



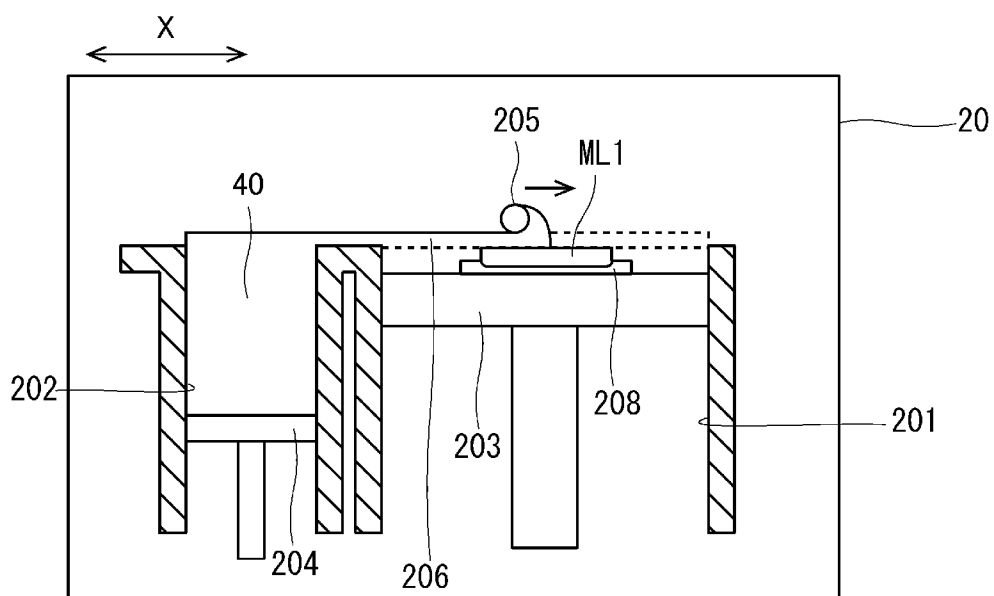
[図8]

FIG. 8



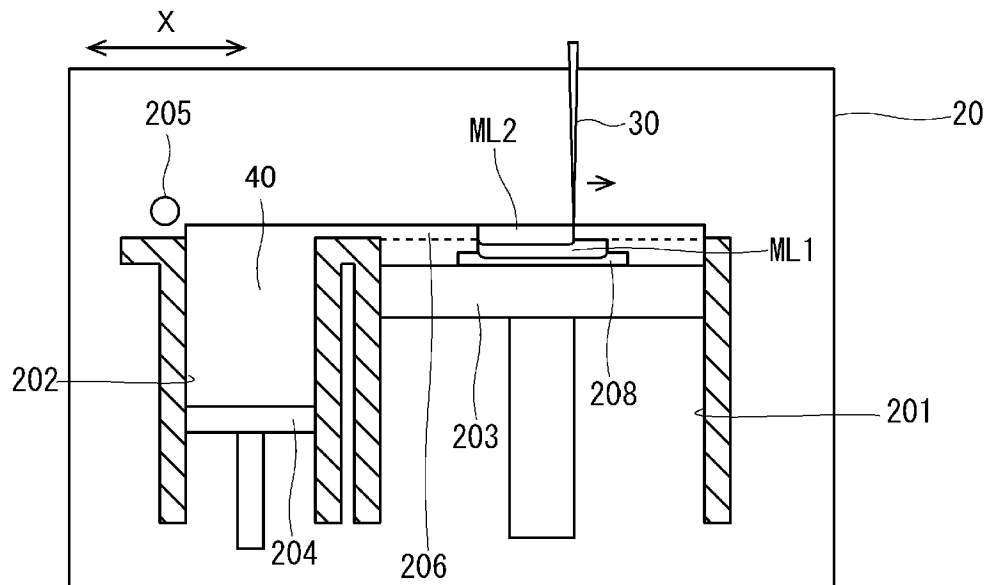
[図9]

FIG. 9



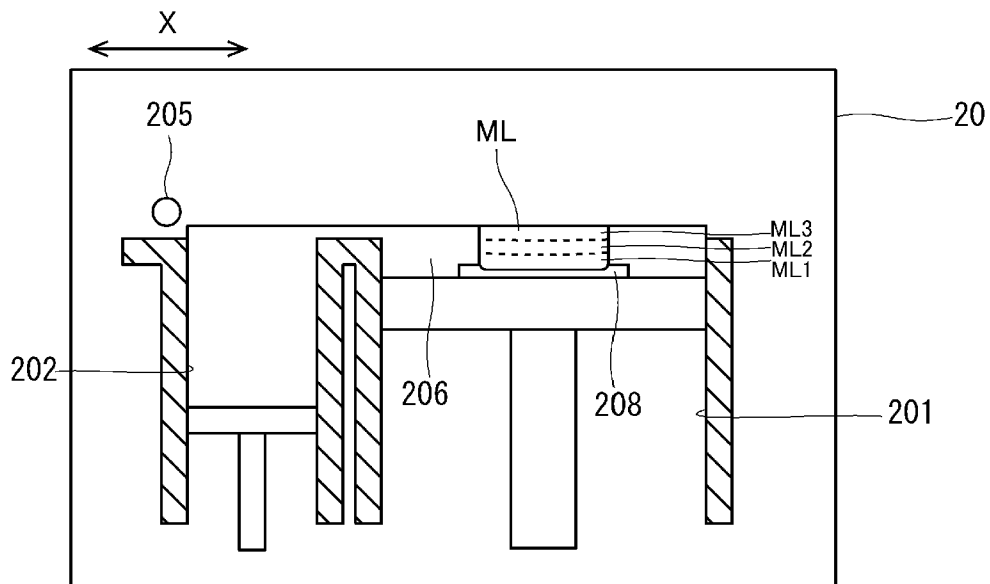
[図10]

FIG. 10



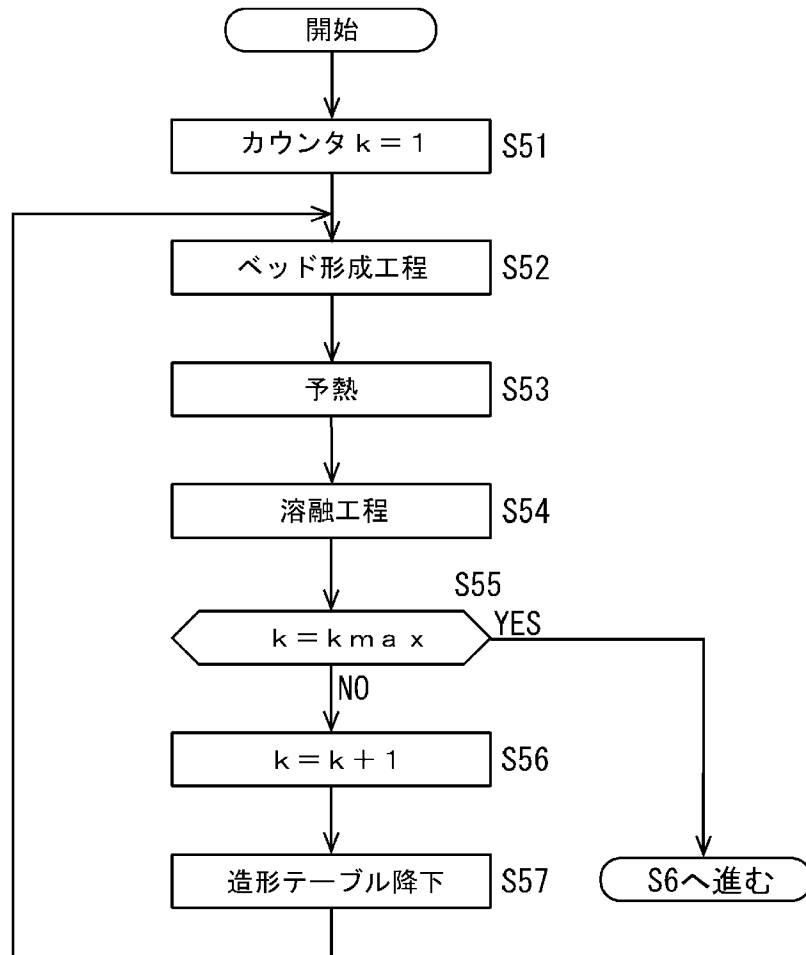
[図11]

FIG. 11



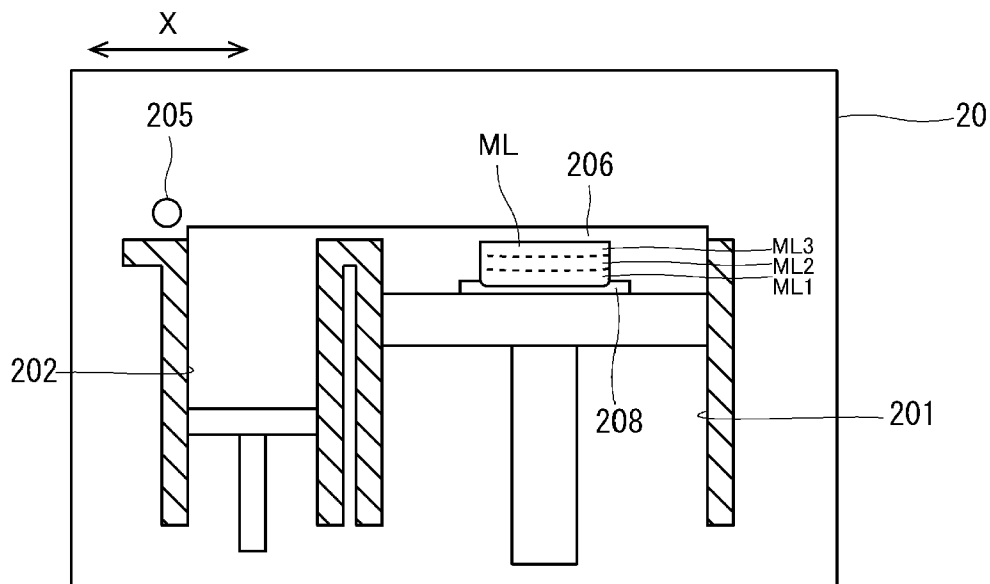
[図12]

FIG. 12



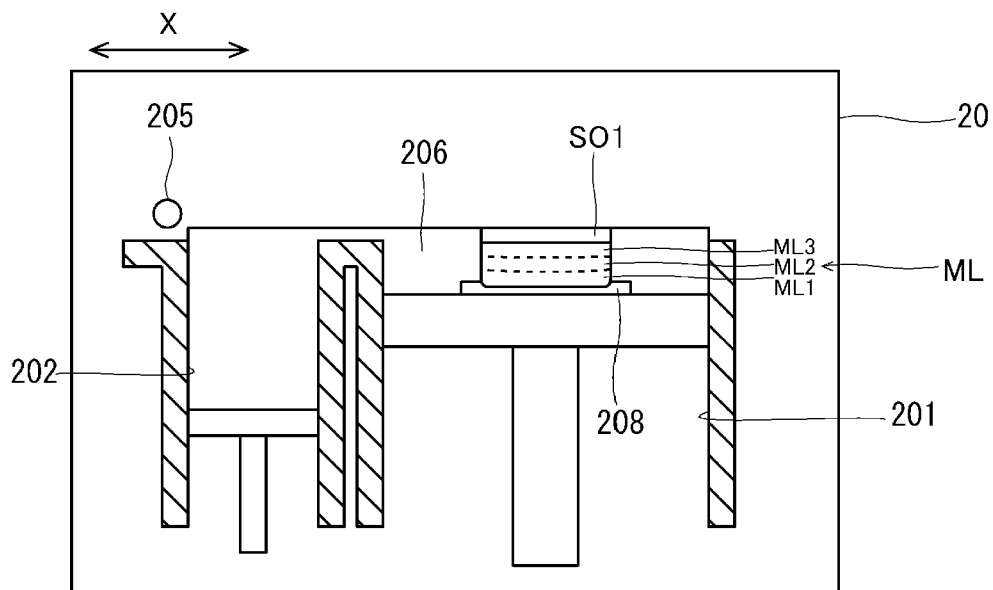
[図13]

FIG. 13



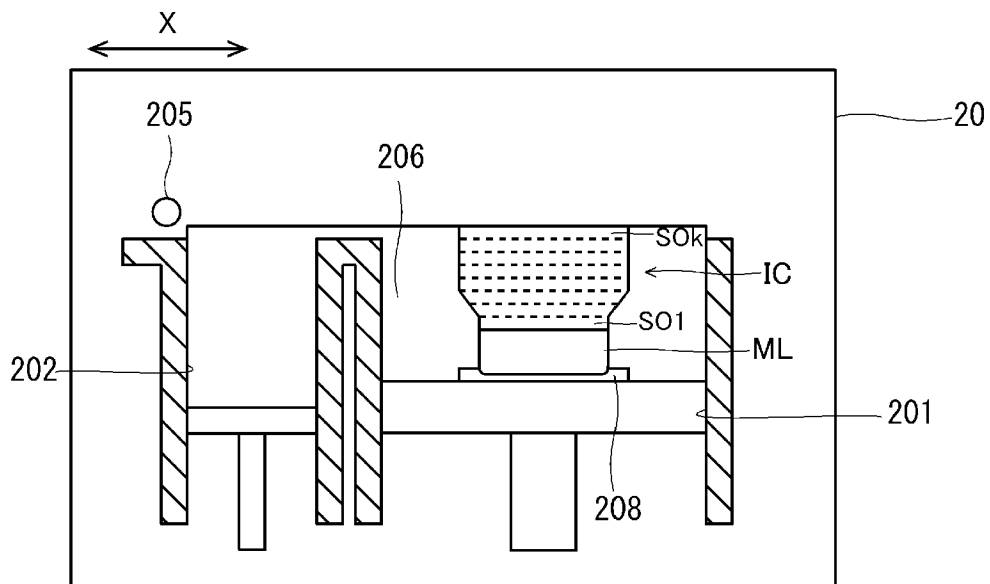
[図14]

FIG. 14



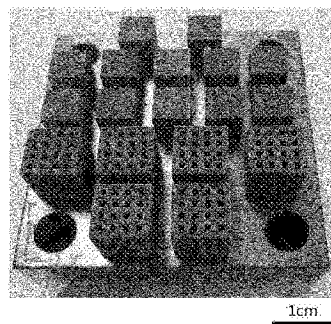
[図15]

FIG. 15

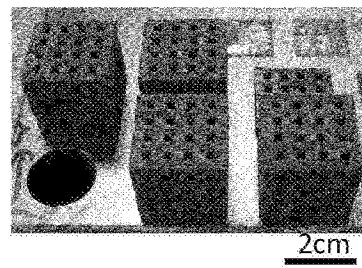


[図16]

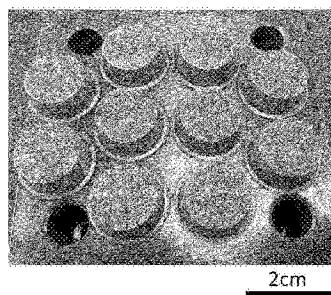
FIG. 16



(A)



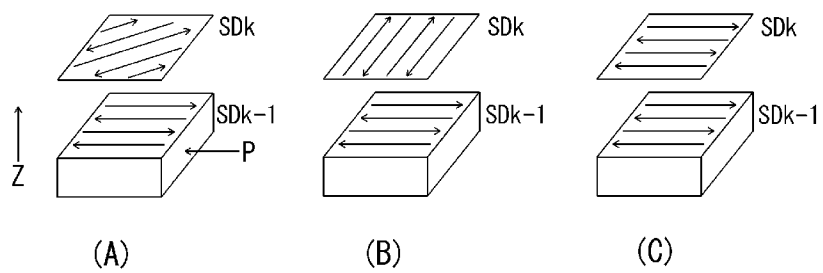
(B)



(C)

[図17]

FIG. 17



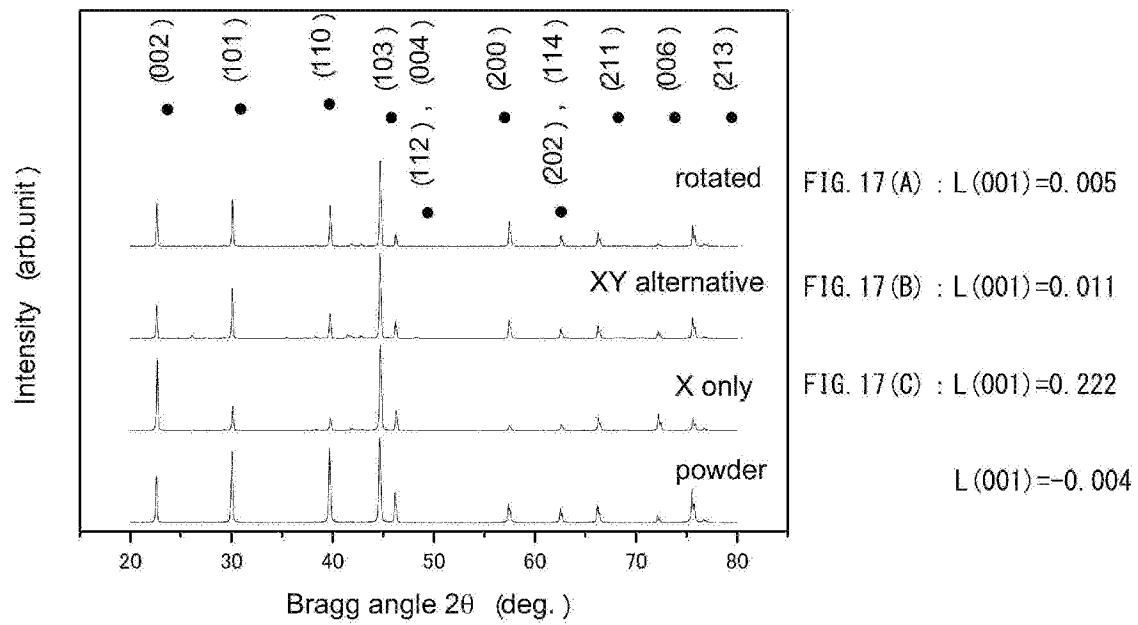
(A)

(B)

(C)

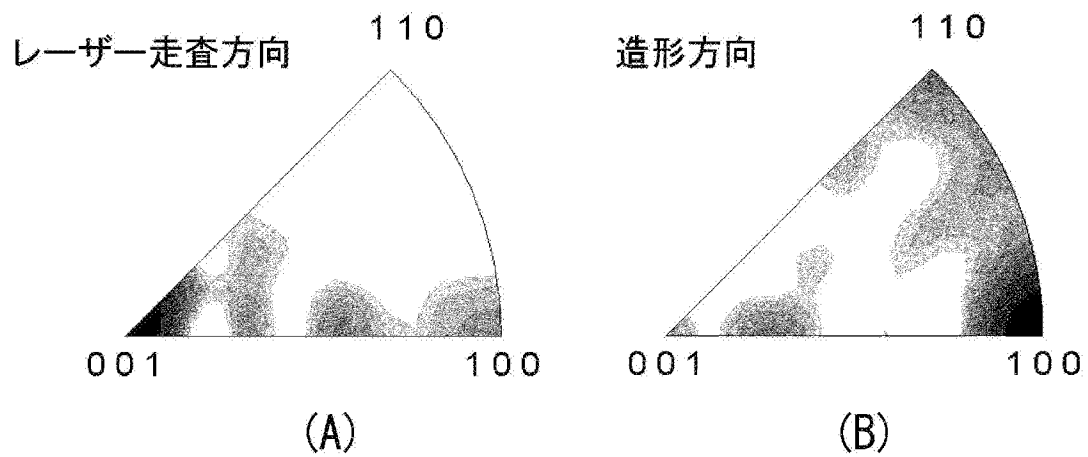
[図18]

FIG. 18



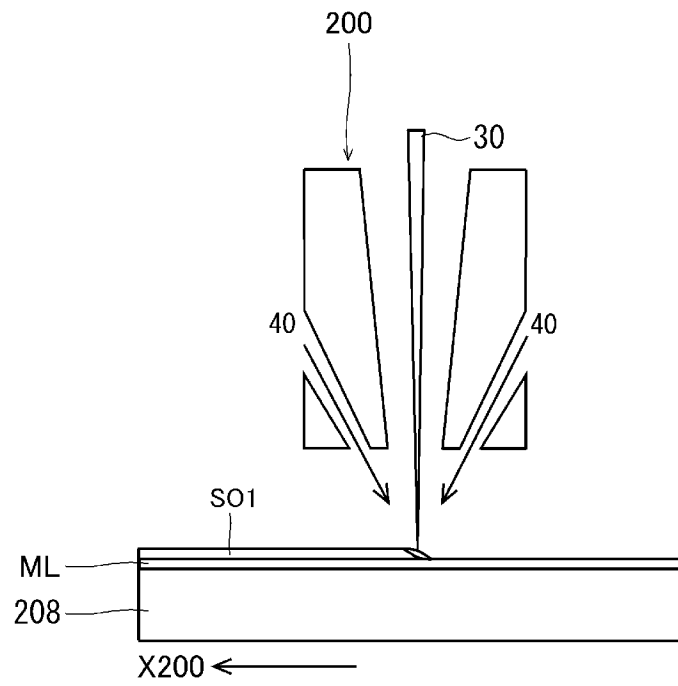
[図19]

FIG. 19



[図20]

FIG. 20



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/087230

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B28B1/30(2006.01)i, B22F3/105(2006.01)i, B22F3/16(2006.01)i, B33Y10/00
(2015.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(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)

B28B1/30-1/42, B22F3/105, B22F3/16, B33Y10/00-99/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII), JSTChina(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-69449 A (ProtoCast S.r.l.), 27 March 2008 (27.03.2008), full specification & US 2008/0014457 A1 full specification & EP 1878522 A1	1-10
A	JP 2011-52289 A (Nakashima Medical Co., Ltd.), 17 March 2011 (17.03.2011), full specification (Family: none)	1-10

☒ 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
10 January 2017 (10.01.17)

Date of mailing of the international search report
24 January 2017 (24.01.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/087230

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-502938 A (Board of Regents, the University of Texas System), 30 March 1995 (30.03.1995), full specification & US 5156697 A full specification & WO 1992/010343 A1 & EP 568557 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B28B1/30(2006.01)i, B22F3/105(2006.01)i, B22F3/16(2006.01)i, B33Y10/00(2015.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(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. B28B1/30-1/42, B22F3/105, B22F3/16, B33Y10/00-99/00

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)

JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII), JSTChina (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-69449 A (プロトカスト ソチエタ ア レスポンサビリタ リミタータ) 2008.03.27, 明細書全文 & US 2008/0014457 A1, 明細 書全文 & EP 1878522 A1	1-10
A	JP 2011-52289 A (ナカシマメディカル株式会社) 2011.03.17, 明細 書全文 (ファミリーなし)	1-10

☑ 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

10.01.2017

国際調査報告の発送日

24.01.2017

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)

末松 佳記

電話番号 03-3581-1101 内線 3465

4 T

3443

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 7-502938 A (ボード・オブ・リージェンツ, ザ・ユニバーシティ・オブ・テキサス・システム) 1995.03.30, 明細書全文 & US 5156697 A, 明細書全文 & WO 1992/010343 A1 & EP 568557 A1	1-10