

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7034082号

(P7034082)

(45)発行日 令和4年3月11日(2022.3.11)

(24)登録日 令和4年3月3日(2022.3.3)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K	15/00	(2006.01)	B 2 3 K	15/00	5 0 1 B
B 3 3 Y	80/00	(2015.01)	B 3 3 Y	80/00	
B 3 3 Y	70/00	(2020.01)	B 3 3 Y	70/00	
C 2 2 C	1/04	(2006.01)	C 2 2 C	1/04	D
C 2 2 C	27/04	(2006.01)	C 2 2 C	27/04	1 0 1

請求項の数 68 (全32頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-545597(P2018-545597)

(86)(22)出願日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(65)公表番号 特表2019-520215(P2019-520215 A)

(43)公表日 令和1年7月18日(2019.7.18)

(86)国際出願番号 PCT/US2017/020151

(87)国際公開番号 WO2017/151737

(87)国際公開日 平成29年9月8日(2017.9.8)

審査請求日 令和2年2月14日(2020.2.14)

(31)優先権主張番号 62/302,847

(32)優先日 平成28年3月3日(2016.3.3)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者 509303512

エイチ・シー・スターク インコーポレ
イテッドアメリカ合衆国 マサチューセッツ 02
461-1951, ニュートン, イン
ダストリアル プレイス 45

(74)代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

(74)代理人 100113413

弁理士 森下 夏樹

(74)代理人 100181674

弁理士 飯田 貴敏

(74)代理人 100181641

弁理士 石川 大輔

(74)代理人 230113332

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 付加製造による金属部品の製作

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

モリブデンを備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a) プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも1つを含むプロセスに
よって粉末を提供することと、(b) 前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを
備えている、ことと、(c) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアー
ク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、(d) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形
させることと、

(e) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(f) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワ
イヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たく
なり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、(g) ステップ(e)および(f)を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することと
を含み、

前記3次元部品は、モリブデンを備えている、方法。

【請求項2】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少

なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比5 ppmより小さい、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比20 ppmより小さい、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の97%より大きい、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の99%より大きい、請求項1に記載の方法。

10

【請求項6】

ステップ(d)は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうち少なくとも1つを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

ステップ(b)は、前記圧縮された粉末を900より高い温度で焼結することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

ステップ(f)において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

請求項1に記載の方法に従って製作される3次元部品。

20

【請求項10】

ワイヤを利用して、モリブデンを備えている3次元部品を製作する方法であって、前記ワイヤは、(i)プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうち少なくとも1つを含むプロセスによって粉末を提供することと、(ii)前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、ことと、(iii)前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、(iv)前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって生産され、前記方法は、

30

(a)前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(b)前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(c)ステップ(a)および(b)を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、

前記3次元部品は、モリブデンを備えている、方法。

【請求項11】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうち少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比5 ppmより小さい、請求項10に記載の方法。

40

【請求項12】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比20 ppmより小さい、請求項10に記載の方法。

【請求項13】

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の97%より大きい、請求項10に記載の方法。

【請求項14】

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の99%より大きい、請求項10に記載の方法。

【請求項15】

50

前記ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうち少なくとも1つを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項16】

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、前記圧縮された粉末を900より高い温度で焼結することを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項17】

ステップ(b)において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項10に記載の方法。

【請求項18】

請求項10に記載の方法に従って製作される3次元部品。

【請求項19】

モリブデンを備えている原料材料を使用する付加製造によって製造された3次元部品であって、前記部品は、(i)各々が固化されたモリブデンを備えている複数の層を備え、(ii)連続した層間に間隙がなく、(iii)亀裂がなく、前記部品の密度は、モリブデンの理論的密度の97%以上であり、ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の前記部品内の濃度は、重量比1ppmより小さく、かつ、少なくとも重量比0.001ppmである、部品。

【請求項20】

前記部品の密度は、前記モリブデンの理論的密度の99%以上である、請求項19に記載の部品。

【請求項21】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の濃度は、重量比1ppmより小さい、請求項19に記載の部品。

【請求項22】

前記部品内の酸素の濃度は、重量比5ppmより小さい、請求項19に記載の部品。

【請求項23】

前記原料材料は、ワイヤを備えている、請求項19に記載の部品。

【請求項24】

前記原料材料は、アーク溶融させられたワイヤを備えている、請求項19に記載の部品。

【請求項25】

前記原料材料は、ワイヤを備え、前記ワイヤは、粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、ことと、

前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと

を含むプロセスによって製作される、請求項19に記載の部品。

【請求項26】

金属材料を備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a) プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうち少なくとも1つを含むプロセスによって粉末を提供することと、

(b) 前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、

(c) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

(d) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと、

(e) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

10

20

30

40

50

(f) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を熔融させ、熔融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(g) ステップ (e) および (f) を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、

前記3次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

【請求項27】

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、請求項26に記載の方法。

【請求項28】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比5ppmより小さい、請求項26に記載の方法。

【請求項29】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比20ppmより小さい、請求項26に記載の方法。

【請求項30】

前記3次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の97%より大きい、請求項26に記載の方法。

【請求項31】

ステップ (d) は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、請求項26に記載の方法。

【請求項32】

ステップ (b) は、前記圧縮された粉末を900より高い温度で焼結することを含む、請求項26に記載の方法。

【請求項33】

ステップ (f) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項26に記載の方法。

【請求項34】

金属材料を備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a) プロセスによって粉末を提供することであって、前記プロセスは、

金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、

前記金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、

前記金属水素化物粒子を脱水素化することと

を含む、ことと、

(b) 前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、

(c) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク熔融させ、それによって、ピレットを形成することと、

(d) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと、

(e) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(f) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を熔融させ、熔融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(g) ステップ (e) および (f) を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、

前記3次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

【請求項35】

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、請求項34に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 3 6】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p mより小さい、請求項 3 4に記載の方法。

【請求項 3 7】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 0 p p mより小さい、請求項 3 4に記載の方法。

【請求項 3 8】

前記 3 次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 7 %より大きい、請求項 3 4に記載の方法。

【請求項 3 9】

ステップ (d) は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、請求項 3 4に記載の方法。

10

【請求項 4 0】

ステップ (b) は、前記圧縮された粉末を 9 0 0 より高い温度で焼結することを含む、請求項 3 4に記載の方法。

【請求項 4 1】

ステップ (f) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項 3 4に記載の方法。

【請求項 4 2】

請求項 3 4に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

20

【請求項 4 3】

請求項 2 6に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

【請求項 4 4】

ワイヤを利用して、金属材料を備えている 3 次元部品を製作する方法であって、前記ワイヤは、(i) プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも1つを含むプロセスによって粉末を提供することと、(i i) 前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、(i i i) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、(i v) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって生産され、前記方法は、

30

(a) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(b) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(c) ステップ (a) および (b) を 1 回以上繰り返し、前記 3 次元部品を生産することとを含み、

前記 3 次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

【請求項 4 5】

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、請求項 4 4に記載の方法。

40

【請求項 4 6】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p mより小さい、請求項 4 4に記載の方法。

【請求項 4 7】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 0 p p mより小さい、請求項 4 4に記載の方法。

【請求項 4 8】

前記 3 次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 7 %より大きい、請求項 4 4に記載の方法。

50

【請求項 4 9】

前記ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、請求項 4 4 に記載の方法。

【請求項 5 0】

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、前記圧縮された粉末を 9 0 0 より高い温度で焼結することを含む、請求項 4 4 に記載の方法。

【請求項 5 1】

ステップ (b) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項 4 4 に記載の方法。

10

【請求項 5 2】

ワイヤを利用して、金属材料を備えている 3 次元部品を製作する方法であって、前記ワイヤは、(i) プロセスによって粉末を提供することであって、前記プロセスは、金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、前記金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、前記金属水素化物粒子を脱水素化することとを含む、ことと、(i i) 前記粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、(i i i) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク熔融させ、それによって、ピレットを形成することと、(i v) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって生産され、前記方法は、(a) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、(b) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を熔融させ、熔融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、(c) ステップ (a) および (b) を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、前記3次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

20

【請求項 5 3】

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、請求項 5 2 に記載の方法。

30

【請求項 5 4】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p m より小さい、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 5】

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 0 p p m より小さい、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 6】

前記3次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 7 % より大きい、請求項 5 2 に記載の方法。

40

【請求項 5 7】

前記ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 8】

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、前記圧縮された粉末を 9 0 0 より高い温度で焼結することを含む、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 9】

ステップ (b) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、請求項 5 2 に記載の方法。

50

【請求項 6 0】

請求項 5 2 に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

【請求項 6 1】

請求項 4 4 に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

【請求項 6 2】

ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも 1 つを備えている金属材料を備えている原料材料を使用する付加製造によって製造された 3 次元部品であって、前記部品は、(i) 各々が固化された金属材料を備えている複数の層を備え、(i i) 連続した層間に間隙がなく、(i i i) 亀裂がなく、前記部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 7 % 以上であり、ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の前記部品内の濃度は、重量比 1 p p m より小さく、かつ、少なくとも重量比 0 . 0 0 1 p p m である、部品。

10

【請求項 6 3】

前記部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 9 % 以上である、請求項 6 2 に記載の部品。

【請求項 6 4】

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の濃度は、重量比 1 p p m より小さい、請求項 6 2 に記載の部品。

【請求項 6 5】

前記部品内の酸素の濃度は、重量比 5 p p m より小さい、請求項 6 2 に記載の部品。

20

【請求項 6 6】

前記原料材料は、ワイヤを備えている、請求項 6 2 に記載の部品。

【請求項 6 7】

前記原料材料は、アーク溶融させられたワイヤを備えている、請求項 6 2 に記載の部品。

【請求項 6 8】

前記原料材料は、粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、前記供給電極を真空または 1 つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって製作されるワイヤを備えている、請求項 6 2 に記載の部品。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

(関連出願)

本願は、米国仮特許出願第 6 2 / 3 0 2 , 8 4 7 号 (2 0 1 6 年 3 月 3 日出願) の利益を主張し、上記出願の開示全体は、参照により本明細書に組み込まれる。

40

【0 0 0 2】

(技術分野)

種々の実施形態において、本発明は、付加製造技法を介した金属部品の形成に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

付加製造または 3 次元 (3 D) 印刷は、高速製造および高速プロトタイプ化のために広く利用されている技法である。一般に、付加製造は、3 次元オブジェクトを形成するためのコンピュータ制御による材料の層毎の堆積を伴う。今日の大部分の付加製造技法は、ポリマーまたはプラスチック材料を未加工材料として利用しており、したがって、材料は、低温で容易に取り扱われ、溶融させられる。付加製造は、一度に少量のみの材料の溶融を伴

50

うので、プロセスは、金属から成る大型の複雑な構造の製作のためにも同様に有用な技法である潜在性を有する。残念ながら、金属材料の付加製造は、その課題から免れられない。付加製造を介して、金属前駆体材料を用いて3次元部品を製作するとき、前駆体材料の溶融は、火花発生、膨れ、および飛散（すなわち、前駆体材料自体の小片の放出）をもたらし得る。加えて、3次元部品が、従来の前駆体材料を利用して正常に製作される場合でも、部品は、過剰な多孔率、亀裂、材料飛散、ならびに不十分な密度および機械加工性を呈し得る。

【0004】

前述に照らして、金属部品の付加製造のための改良された前駆体材料の必要がある。

【発明の概要】

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の種々の実施形態によると、付加製造プロセスのための原料としての使用のためのワイヤが、その中のガス状および/または揮発性不純物の量が低減もしくは最小化されるように製作される。本明細書で利用されるように、用語「揮発性元素」は、公称上の大部分のワイヤ材料の融点より低い沸点を有する要素を指す。例えば、酸素(O)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、リン(P)、硫黄(S)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、およびアンチモン(Sb)等の元素の濃度は、20ppmの濃度より小さい、10ppmの濃度より小さい、5ppmの濃度より小さい、3ppmの濃度より小さい、2ppmの濃度より小さい、またはさらに1ppmの濃度より小さい（本明細書の全

20

【0006】

本発明の種々の実施形態では、前駆体ワイヤは、少なくとも部分的に、真空または実質的不活性雰囲気中におけるアーク溶融を介して、製作される。アーク溶融プロセスは、有利には、ワイヤ内の揮発性不純物の濃度を最小化または低減させ、それによって、ワイヤを利用した正常な付加製造プロセスを可能にする。結果として生じるワイヤは、付加製造プロセスにおいて利用され、少なくとも部分的に、前駆体材料を備えている3次元部品を形成する。例示的实施形態では、ワイヤは、移動可能なプラットフォームに向かって供給され、ワイヤの先端は、例えば、電子ビームまたはレーザーによって溶融させられる。プラットフォーム（および/またはワイヤ）は、溶融ワイヤが最終部品の実質的2次元スライスのパターンをトレースするように移動する。このように、最終部品は、ワイヤの溶融および高速固化を介して、層毎方式で製作される。そのような付加製造プロセスでは、ワイヤは、3次元部品の形成の間、（存在するとしても）最小限の火花発生、膨れ、および/または飛散を伴って、正常に溶融させられる。加えて、完成部品は、従来の粉末冶金学原料材料、特に、耐熱金属に関するものの使用に伴い得る、多孔率または亀裂を伴わずに、高密度（例えば、理論的密度の96%より大きい、97%より大きい、98%より大きい、またはさらに99%より大きい）を呈する。

30

40

【0007】

本発明の実施形態による、ワイヤは、種々の異なるワイヤ供給溶接用途（例えば、MIG溶接、溶接修理）においても利用され得、電気アークが、ワイヤとワークピースとの間に衝突させられ、ワイヤの一部をワークピースと融合させる。

【0008】

ある側面では、本発明の実施形態は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る3次元部品を製作する方法を特徴とする。ステップ(a)では、粉末は、圧縮され、供給電極を形成する。粉末は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、また

50

はそれから成る。ステップ (b) において、供給電極は、真空または 1 つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させられ、それによって、ビレットを形成する。ステップ (c) において、ビレットは、ビレットの直径 (または他の寸法、例えば、幅) より小さい直径 (または他の寸法、例えば、幅) を有するワイヤに機械的に変形させられる。ステップ (d) では、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して平行移動させられる (すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である) 。ステップ (e) において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、溶融ビードを形成するためにエネルギー源を用いて溶融させられ、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ (f) では、ステップ (d) および (e) は、1 回以上繰り返され、3次元部品 (または少なくともその一部) を生産する。3次元部品は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

【 0 0 0 9 】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの 1 つ以上のものを含み得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および / またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p m 未満、重量比 4 p p m 未満、重量比 3 p p m 未満、重量比 2 p p m 未満、または重量比 1 p p m 未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および / またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 0 . 0 0 1 p p m 以上、重量比 0 . 0 0 5 p p m 以上、重量比 0 . 0 1 p p m 以上、重量比 0 . 0 5 p p m 以上、重量比 0 . 1 p p m 以上、または重量比 0 . 5 p p m 以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 5 p p m 未満、重量比 2 2 p p m 未満、重量比 2 0 p p m 未満、重量比 1 9 p p m 未満、重量比 1 8 p p m 未満、重量比 1 5 p p m 未満、または重量比 1 0 p p m 未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 0 . 0 0 1 p p m 以上、重量比 0 . 0 0 5 p p m 以上、重量比 0 . 0 1 p p m 以上、重量比 0 . 0 5 p p m 以上、重量比 0 . 1 p p m 以上、重量比 0 . 5 p p m 以上、重量比 1 p p m 以上、または重量比 2 p p m 以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の 9 7 % より大きい、モリブデンの理論的密度の 9 8 % より大きい、モリブデンの理論的密度の 9 9 % より大きい、またはモリブデンの理論的密度の 9 9 . 5 % より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の 1 0 0 % 以下、モリブデンの理論的密度の 9 9 . 9 % 以下、またはモリブデンの理論的密度の 9 9 . 8 % 以下であり得る。ステップ (c) は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、および / またはピルガー圧延することを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ステップ (a) は、圧縮された粉末を 9 0 0 より高い、9 5 0 より高い、1 , 0 0 0 より高い、1 , 1 0 0 より高い、または 1 , 2 0 0 より高い温度で焼結することを含み得る。ステップ (a) は、圧縮された粉末を 2 , 5 0 0 未満の温度で焼結することを含み得る。ステップ (e) において、エネルギー源は、電子ビームおよび / またはレーザビームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ステップ (a) に先立って、粉末は、プラズマ高密度化および / またはプラズマ噴霧化を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって提供され得る。ステップ (a) に先立って、粉末は、(i) 金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、(i i) 金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、(i i i) 金属水素化物粒子を脱水素化することとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって提供され得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される 3次元オブジェクトまたは部品を含む。

【 0 0 1 0 】

別の側面では、本発明の実施形態は、ワイヤを利用して、3次元部品を製作する方法を特徴とする。部品は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。ワイヤは、(i) 粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、粉末は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(i i) 供給電極を、真空または 1 つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気

10

20

30

40

50

気中でアーク溶融させることであって、それによって、ビレットを形成する、ことと、(i i i) ビレットの直径(または他の寸法、例えば、幅)より小さい直径(または他の寸法、例えば、幅)を有するビレットをワイヤに機械的に変形させることとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって生産される。ステップ(a)では、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して平行移動させられる(すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である)。ステップ(b)において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、エネルギー源を用いて、溶融させられ、溶融ビードを形成し、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ(c)において、ステップ(a)および(b)は、1回以上繰り返され、3次元部品の少なくとも一部を生産する。3次元部品は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

10

【0011】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、または重量比0.5 ppm以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比25 ppm未満、重量比22 ppm未満、重量比20 ppm未満、重量比19 ppm未満、重量比18 ppm未満、重量比15 ppm未満、または重量比10 ppm未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、重量比0.5 ppm以上、重量比1 ppm以上、または重量比2 ppm以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の97%より大きい、モリブデンの理論的密度の98%より大きい、モリブデンの理論的密度の99%より大きい、またはモリブデンの理論的密度の99.5%より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の100%以下、モリブデンの理論的密度の99.9%以下、またはモリブデンの理論的密度の99.8%以下であり得る。ビレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、および/またはピルガー圧延することを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、圧縮された粉末を900より高い、950より高い、1,000より高い、1,100より高い、または1,200より高い温度で焼結することを含み得る。ワイヤを生産するプロセスは、圧縮された粉末を2,500未満の温度で焼結することを含み得る。ステップ(b)において、エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、プラズマ高密度化および/またはプラズマ噴霧化を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって、粉末を提供することを含み得る。ワイヤを生産するプロセスは、(i)金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、(ii)金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、(iii)金属水素化物粒子を脱水素化することとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって、粉末を提供することを含み得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される3次元オブジェクトまたは部品を含む。

20

30

40

【0012】

さらに別の側面では、本発明の実施形態は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る3次元部品を製作する方法を特徴とする。ステップ(a)では、アーク溶融させられるモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るワイヤが、提供される。ステップ(b)において、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して

50

平行移動させられる（すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である）。ステップ（c）において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、エネルギー源を用いて、溶融させられ、溶融ビードを形成し、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ（d）では、ステップ（b）および（c）は、1回以上繰り返され、3次元部品の少なくとも一部を生産する。3次元部品は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

【0013】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、または重量比0.5 ppm以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比25 ppm未満、重量比22 ppm未満、重量比20 ppm未満、重量比19 ppm未満、重量比18 ppm未満、重量比15 ppm未満、または重量比10 ppm未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、重量比0.5 ppm以上、重量比1 ppm以上、または重量比2 ppm以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の97%より大きい、モリブデンの理論的密度の98%より大きい、モリブデンの理論的密度の99%より大きい、またはモリブデンの理論的密度の99.5%より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の100%以下、モリブデンの理論的密度の99.9%以下、またはモリブデンの理論的密度の99.8%以下であり得る。ステップ（c）において、エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、(i)粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、粉末は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(ii)供給電極を、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させることであって、それによって、ピレットを形成する、ことと、(iii)ピレットの直径（または他の寸法、例えば、幅）より小さい直径（または他の寸法、例えば、幅）を有するピレットをワイヤに機械的に変形させることを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される3次元オブジェクトまたは部品を含む。

【0014】

別の側面では、本発明の実施形態は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る原料材料を使用して付加製造によって製造された3次元部品を特徴とする。部品は、複数の層を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。各層は、固化されたモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。部品は、連続層間の間隙が実質的にない、および/または層のうちの1つ以上のもの内の間隙が実質的にない。部品は、亀裂が実質的にない。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の97%より大きい、モリブデンの理論的密度の98%より大きい、モリブデンの理論的密度の99%より大きい、またはモリブデンの理論的密度の99.5%より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、モリブデンの理論的密度の100%以下、モリブデンの理論的密度の99.9%以下、またはモリブデンの理論的密度の99.8%以下であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムの部品内の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。ナト

10

20

30

40

50

リウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムの部品内の濃度は、重量比0.001ppm以上、重量比0.005ppm以上、重量比0.01ppm以上、重量比0.05ppm以上、重量比0.1ppm以上、または重量比0.5ppm以上であり得る。

【0015】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムのそれぞれの部品内の濃度は、重量比5ppm未満、重量比4ppm未満、重量比3ppm未満、重量比2ppm未満、または重量比1ppm未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムのそれぞれの部品内の濃度は、重量比0.001ppm以上、重量比0.005ppm以上、重量比0.01ppm以上、重量比0.05ppm以上、重量比0.1ppm以上、または重量比0.5ppm以上であり得る。部品内の酸素の濃度は、重量比5ppm未満、重量比4ppm未満、重量比3ppm未満、重量比2ppm未満、または重量比1ppm未満であり得る。部品内の酸素の濃度は、重量比0.001ppm以上、重量比0.005ppm以上、重量比0.01ppm以上、重量比0.05ppm以上、重量比0.1ppm以上、重量比0.5ppm以上、重量比1ppm以上、または重量比2ppm以上であり得る。原料材料は、ワイヤを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。原料材料は、アーク溶融させられるワイヤ（すなわち、少なくとも部分的にアーク溶融によって製作される、ワイヤ）を含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。原料材料は、(i) 粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、粉末は、モリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(ii) 供給電極を、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させることであって、それによって、ピレットを形成することと、(iii) ピレットをピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって製作されるワイヤを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。

【0016】

ある側面では、本発明の実施形態は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る3次元部品を製作する方法を特徴とする。ステップ(a)では、粉末が、圧縮され、供給電極を形成する。粉末は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。ステップ(b)において、供給電極は、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させられ、それによって、ピレットを形成する。ステップ(c)において、ピレットは、ピレットの直径（または他の寸法、例えば、幅）より小さい直径（または他の寸法、例えば、幅）を有するワイヤに機械的に変形させられる。ステップ(d)では、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して平行移動させられる（すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である）。ステップ(e)において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、エネルギー源を用いて、溶融させられ、溶融ビードを形成し、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ(f)では、ステップ(d)および(e)は、1回以上繰り返され、3次元部品（または少なくともその一部）を生産する。3次元部品は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

【0017】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。金属材料は、1つ以上の耐熱金属を含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、および/またはモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、および/またはタングステンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、

リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 5 ppm 未満、重量比 4 ppm 未満、重量比 3 ppm 未満、重量比 2 ppm 未満、または重量比 1 ppm 未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 0.001 ppm 以上、重量比 0.005 ppm 以上、重量比 0.01 ppm 以上、重量比 0.05 ppm 以上、重量比 0.1 ppm 以上、または重量比 0.5 ppm 以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 25 ppm 未満、重量比 22 ppm 未満、重量比 20 ppm 未満、重量比 19 ppm 未満、重量比 18 ppm 未満、重量比 15 ppm 未満、または重量比 10 ppm 未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 0.001 ppm 以上、重量比 0.005 ppm 以上、重量比 0.01 ppm 以上、重量比 0.05 ppm 以上、重量比 0.1 ppm 以上、重量比 0.5 ppm 以上、重量比 1 ppm 以上、または重量比 2 ppm 以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 97% より大きい、金属材料の理論的密度の 98% より大きい、金属材料の理論的密度の 99% より大きい、または金属材料の理論的密度の 99.5% より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 100% 以下、金属材料の理論的密度の 99.9% 以下、または金属材料の理論的密度の 99.8% 以下であり得る。ステップ(c)は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、および/またはビルガー圧延することを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ステップ(a)は、圧縮された粉末を 900 より高い、950 より高い、1,000 より高い、1,100 より高い、または 1,200 より高い温度で焼結することを含み得る。ステップ(a)は、圧縮された粉末を 3,500 未満、3,000 未満、または 2,500 未満の温度で焼結することを含み得る。ステップ(e)において、エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザビームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ステップ(a)に先立って、粉末は、プラズマ高密度化および/またはプラズマ噴霧化を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって提供され得る。ステップ(a)に先立って、粉末は、(i)金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、(ii)金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、(iii)金属水素化物粒子を脱水素化することとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって提供され得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される3次元オブジェクトまたは部品を含む。

【0018】

別の側面では、本発明の実施形態は、ワイヤを利用して、3次元部品を製作する方法を特徴とする。部品は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。ワイヤは、(i)粉末を圧縮し、供給電極を形成することとあって、粉末は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(ii)供給電極を、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させることとあって、それによって、ピレットを形成することと、(iii)ピレットの直径(または他の寸法、例えば、幅)より小さい直径(または他の寸法、例えば、幅)を有するピレットをワイヤに機械的に変形させることとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって生産される。ステップ(a)では、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して平行移動させられる(すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である)。ステップ(b)において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、エネルギー源を用いて、溶融させられ、溶融ビードを形成し、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ(c)において、ステップ(a)および(b)は、1回以上繰り返され、3次元部品の少なくとも一部を生産する。3次元部品は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

【0019】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。金属材料は、1つ以上の耐熱金属を含み、それから本質的に成り、または

それから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、および/またはモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、および/またはタングステンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、または重量比0.5 ppm以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比25 ppm未満、重量比22 ppm未満、重量比20 ppm未満、重量比19 ppm未満、重量比18 ppm未満、重量比15 ppm未満、または重量比10 ppm未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、重量比0.5 ppm以上、重量比1 ppm以上、または重量比2 ppm以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の97%より大きい、金属材料の理論的密度の98%より大きい、金属材料の理論的密度の99%より大きい、または金属材料の理論的密度の99.5%より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の100%以下、金属材料の理論的密度の99.9%以下、または金属材料の理論的密度の99.8%以下であり得る。ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、および/またはピルガー圧延することを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、圧縮された粉末を900より高い、950より高い、1,000より高い、1,100より高い、または1,200より高い温度で焼結することを含み得る。ワイヤを生産するプロセスは、圧縮された粉末を3,500未満、3,000未満、または2,500未満の温度で焼結することを含み得る。ステップ(b)において、エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、プラズマ高密度化および/またはプラズマ噴霧化を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって、粉末を提供することを含み得る。ワイヤを生産するプロセスは、(i)金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、(ii)金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、(iii)金属水素化物粒子を脱水素化することとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって、粉末を提供することを含み得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される3次元オブジェクトまたは部品を含む。

【0020】

さらに別の側面では、本発明の実施形態は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る3次元部品を製作する方法を特徴とする。ステップ(a)では、アーク溶融させられる金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るワイヤが、提供される。ステップ(b)において、ワイヤの先端は、プラットフォームに対して平行移動させられる(すなわち、ワイヤの全部または一部が平行移動させられるか、プラットフォームが平行移動させられるか、または両方である)。ステップ(c)において、ワイヤの先端が平行移動させられている間、ワイヤの先端は、エネルギー源を用いて、溶融させられ、溶融ビードを形成し、ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する。ステップ(d)では、ステップ(b)および(c)は、1回以上繰り返され、3次元部品の少なくとも一部を生産する。3次元部品は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。

【0021】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のものを含み得る。金属材料は、1つ以上の耐熱金属を含み、それから本質的に成り、または

それから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、および/またはモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、および/またはタングステンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 5 ppm 未満、重量比 4 ppm 未満、重量比 3 ppm 未満、重量比 2 ppm 未満、または重量比 1 ppm 未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムのワイヤ内の濃度は、重量比 0.001 ppm 以上、重量比 0.005 ppm 以上、重量比 0.01 ppm 以上、重量比 0.05 ppm 以上、重量比 0.1 ppm 以上、または重量比 0.5 ppm 以上であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 25 ppm 未満、重量比 22 ppm 未満、重量比 20 ppm 未満、重量比 19 ppm 未満、重量比 18 ppm 未満、重量比 15 ppm 未満、または重量比 10 ppm 未満であり得る。ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 0.001 ppm 以上、重量比 0.005 ppm 以上、重量比 0.01 ppm 以上、重量比 0.05 ppm 以上、重量比 0.1 ppm 以上、重量比 0.5 ppm 以上、重量比 1 ppm 以上、または重量比 2 ppm 以上であり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 97% より大きい、金属材料の理論的密度の 98% より大きい、金属材料の理論的密度の 99% より大きい、または金属材料の理論的密度の 99.5% より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 100% 以下、金属材料の理論的密度の 99.9% 以下、または金属材料の理論的密度の 99.8% 以下であり得る。ステップ(c)において、エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ワイヤを生産するプロセスは、(i)粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、粉末は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(ii)供給電極を、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させることであって、それによって、ピレットを形成することと、(iii)ピレットの直径(または他の寸法、例えば、幅)より小さい直径(または他の寸法、例えば、幅)を有するピレットをワイヤに機械的に変形させることとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。本発明の実施形態は、前述の方法のいずれかに従って製作される3次元オブジェクトまたは部品を含む。

【0022】

別の側面では、本発明の実施形態は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る原料材料を使用して付加製造によって製造された3次元部品を特徴とする。部品は、複数の層を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。各層は、固化された金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る。部品は、連続層間の間隙が実質的にない、および/または層のうちの1つ以上のもの内の間隙が実質的にない。部品は、亀裂が実質的にない。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 97% より大きい、金属材料の理論的密度の 98% より大きい、金属材料の理論的密度の 99% より大きい、または金属材料の理論的密度の 99.5% より大きくあり得る。3次元部品の少なくとも一部の密度は、金属材料の理論的密度の 100% 以下、金属材料の理論的密度の 99.9% 以下、または金属材料の理論的密度の 99.8% 以下であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムの部品内の濃度は、重量比 5 ppm 未満、重量比 4 ppm 未満、重量比 3 ppm 未満、重量比 2 ppm 未満、または重量比 1 ppm 未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、および/またはカリウムの部品内の濃度は、重量比 0.001 ppm 以上、重量比 0.005 ppm 以上、重量比 0.01 ppm 以上、重量比 0.05 ppm 以上、重量比 0.1 ppm 以上、または重量比 0.5 ppm 以上であり得る。

【0023】

本発明の実施形態は、種々の組み合わせのいずれかにおいて、以下のうちの1つ以上のも

のを含み得る。金属材料は、1つ以上の耐熱金属を含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、および/またはモリブデンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、および/またはタングステンを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムのそれぞれの部品内の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムのそれぞれの部品内の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、または重量比0.5 ppm以上であり得る。部品内の酸素の濃度は、重量比5 ppm未満、重量比4 ppm未満、重量比3 ppm未満、重量比2 ppm未満、または重量比1 ppm未満であり得る。部品内の酸素の濃度は、重量比0.001 ppm以上、重量比0.005 ppm以上、重量比0.01 ppm以上、重量比0.05 ppm以上、重量比0.1 ppm以上、重量比0.5 ppm以上、重量比1 ppm以上、または重量比2 ppm以上であり得る。原料材料は、ワイヤを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。原料材料は、アーク溶融させられるワイヤ(すなわち、少なくとも部分的にアーク溶融によって製作される、ワイヤ)を含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。原料材料は、(i)粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、粉末は、金属材料を含み、それから本質的に成り、またはそれから成ることと、(ii)供給電極を、真空または1つ以上の不活性ガスを含み、それから本質的に成り、またはそれから成る処理雰囲気中でアーク溶融させることであって、それによって、ピレットを形成することと、(iii)ピレットをピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含み、それから本質的に成り、またはそれから成るプロセスによって製作されるワイヤを含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る。

【0024】

これらおよび他の目的は、本発明の本明細書に開示される利点および特徴とともに、以下の説明、付随の図面、および請求項の参照を通してより明白になるであろう。さらに、本明細書に説明される種々の実施形態の特徴は、相互に排他的ではなく、種々の組み合わせおよび順列で存在し得ることを理解されたい。本明細書で使用されるように、用語「約」および「実質的に」は、 $\pm 10\%$ 、いくつかの実施形態では、 $\pm 5\%$ を意味する。用語「~から本質的に成る」は、本明細書に別様に定義されない限り、機能に寄与する他の材料を除外することを意味する。なお、そのような他の材料は、集合的に、または個々に、微量で存在し得る。例えば、複数の金属から本質的に成る、構造は、概して、それらの金属のみと、化学分析を介して検出可能であり得るが、機能に寄与しない、非意図的不純物(金属または非金属であり得る)のみとを含むであろう。本明細書で使用されるように、「少なくとも1つの金属から本質的に成る」は、金属または2つもしくはそれを上回る金属の混合物を指すが、酸素、ケイ素、または窒素等の金属および非金属要素または化学種間の化合物ではない(例えば、金属窒化物、金属ケイ化物、または金属酸化物)。そのような非金属要素または化学種は、集合的に、もしくは個々に、例えば、不純物として、微量で存在し得る。

本発明は、例えば、以下の項目を提供する。

(項目1)

モリブデンを備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a)粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、ことと、

(b)前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

(c)前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと、

10

20

30

40

50

(d) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、
 (e) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、
 (f) ステップ (d) および (e) を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、

前記3次元部品は、モリブデンを備えている、方法。

(項目 2)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p m より小さい、項目 1 に記載の方法。

10

(項目 3)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 0 p p m より小さい、項目 1 に記載の方法。

(項目 4)

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 9 7 % より大きい、項目 1 に記載の方法。

(項目 5)

前記3次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 9 9 % より大きい、項目 1 に記載の方法。

(項目 6)

ステップ (c) は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、項目 1 に記載の方法。

20

(項目 7)

ステップ (a) は、前記圧縮された粉末を 9 0 0 より高い温度で焼結することを含む、項目 1 に記載の方法。

(項目 8)

ステップ (e) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、項目 1 に記載の方法。

(項目 9)

ステップ (a) に先立って、プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも1つを含むプロセスによって前記粉末を提供することをさらに含む、項目 1 に記載の方法。

30

(項目 1 0)

項目 1 に記載の方法に従って製作される3次元部品。

(項目 1 1)

ワイヤを利用して、モリブデンを備えている3次元部品を製作する方法であって、前記ワイヤは、(i) 粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、ことと、(i i) 前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、(i i i) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって生産され、前記方法は、

(a) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

40

(b) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(c) ステップ (a) および (b) を1回以上繰り返し、前記3次元部品を生産することとを含み、

前記3次元部品は、モリブデンを備えている、方法。

(項目 1 2)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p m より小さい、項目 1 1 に記載の方法。

50

(項目 1 3)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 20 ppm より小さい、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 4)

前記 3 次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 97% より大きい、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 5)

前記 3 次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 99% より大きい、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 6)

前記ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも一つを含む、項目 1 1 に記載の方法。

10

(項目 1 7)

前記ワイヤを生産するプロセスは、前記圧縮された粉末を 900 より高い温度で焼結することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 8)

ステップ (b) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 9)

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも一つを含むプロセスによって前記粉末を提供することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

20

(項目 2 0)

項目 1 1 に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

(項目 2 1)

モリブデンを備えている 3 次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a) アーク溶融させられるモリブデンを備えているワイヤを提供することと、

(b) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(c) 前記ワイヤの先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3 次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

30

(d) ステップ (b) および (c) を 1 回以上繰り返し、前記 3 次元部品を生産することとを含み、

前記 3 次元部品は、モリブデンを備えている、方法。

(項目 2 2)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも一つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 ppm より小さい、項目 2 1 に記載の方法。

(項目 2 3)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 20 ppm より小さい、項目 2 1 に記載の方法。

40

(項目 2 4)

前記 3 次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 97% より大きい、項目 2 1 に記載の方法。

(項目 2 5)

前記 3 次元部品の密度は、モリブデンの理論的密度の 99% より大きい、項目 2 1 に記載の方法。

(項目 2 6)

ステップ (c) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、項目 2 1 に記載の方法。

(項目 2 7)

50

前記ワイヤは、

粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、
ことと、

前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと

を含むプロセスによって生産される、項目21に記載の方法。

(項目28)

項目21に記載の方法に従って製作される3次元部品。

(項目29)

モリブデンを備えている原料材料を使用する付加製造によって製造された3次元部品であって、前記部品は、(i)各々が固化されたモリブデンを備えている複数の層を備え、(ii)連続した層間に間隙がなく、(iii)亀裂がなく、前記部品の密度は、モリブデンの理論的密度の97%以上であり、ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記部品内の濃度は、重量比1ppmより小さい、部品。

(項目30)

前記部品の密度は、前記モリブデンの理論的密度の99%以上である、項目29に記載の部品。

(項目31)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の濃度は、重量比1ppmより小さい、項目29に記載の部品。

(項目32)

前記部品内の酸素の濃度は、重量比5ppmより小さい、項目29に記載の部品。

(項目33)

前記原料材料は、ワイヤを備えている、項目29に記載の部品。

(項目34)

前記原料材料は、アーク溶融させられるワイヤを備えている、項目29に記載の部品。

(項目35)

前記原料材料は、ワイヤを備え、前記ワイヤは、

粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、モリブデンを備えている、
ことと、

前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと

を含むプロセスによって製作される、項目29に記載の部品。

(項目36)

金属材料を備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、

(a)粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、

(b)前記供給電極を真空または1つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、

(c)前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと、

(d)前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(e)前記ワイヤの先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

10

20

30

40

50

(f)ステップ (d) および (e) を 1 回以上繰り返し、前記 3 次元部品を生産することとを含み、

前記 3 次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

(項目 3 7)

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも 1 つを備えている、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 3 8)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも 1 つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比 5 p p m より小さい、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 3 9)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 2 0 p p m より小さい、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 0)

前記 3 次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 9 7 % より大きい、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 1)

ステップ (c) は、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも 1 つを含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 2)

ステップ (a) は、前記圧縮された粉末を 9 0 0 より高い温度で焼結することを含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 3)

ステップ (e) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび / またはレーザービームを備えている、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 4)

ステップ (a) に先立って、プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも 1 つを含むプロセスによって前記粉末を提供することをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 5)

ステップ (a) に先立って、

金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、

前記金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、

前記金属水素化物粒子を脱水素化することと

を含むプロセスによって前記粉末を提供することをさらに含む、項目 3 6 に記載の方法。

(項目 4 6)

項目 3 6 に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

(項目 4 7)

ワイヤを利用して、金属材料を備えている 3 次元部品を製作する方法であって、前記ワイヤは、(i) 粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、(i i) 前記供給電極を真空または 1 つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ピレットを形成することと、(i i i) 前記ピレットを前記ピレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることとを含むプロセスによって生産され、前記方法は、

(a) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、

(b) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3 次元部品の層の少なくとも一部を形成する、ことと、

(c) ステップ (a) および (b) を 1 回以上繰り返し、前記 3 次元部品を生産することとを含み、

前記 3 次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

10

20

30

40

50

(項目48)

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、項目47に記載の方法。

(項目49)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比5ppmより小さい、項目47に記載の方法。

(項目50)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比20ppmより小さい、項目47に記載の方法。

(項目51)

前記3次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の97%より大きい、項目47に記載の方法。

(項目52)

前記ピレットをワイヤに機械的に変形させることは、引き抜くこと、圧延すること、かしめること、押し出すこと、またはピルガー圧延することのうちの少なくとも1つを含む、項目47に記載の方法。

(項目53)

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、前記圧縮された粉末を900より高い温度で焼結することを含む、項目47に記載の方法。

(項目54)

ステップ(b)において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび/またはレーザービームを備えている、項目47に記載の方法。

(項目55)

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、プラズマ高密度化またはプラズマ噴霧化のうちの少なくとも1つを含むプロセスによって前記粉末を提供することを含む、項目47に記載の方法。

(項目56)

前記ワイヤを生産する前記プロセスは、
 金属を水素化し、金属水素化物を形成することと、
 前記金属水素化物を複数の粒子に機械的に粉砕することと、
 前記金属水素化物粒子を脱水素化することと
 を含むプロセスによって前記粉末を提供することを含む、項目47に記載の方法。

(項目57)

項目47に記載の方法に従って製作される3次元部品。

(項目58)

金属材料を備えている3次元部品を製作する方法であって、前記方法は、
 (a) アーク溶融させられる金属材料を備えているワイヤを提供することと、
 (b) 前記ワイヤの先端をプラットフォームに対して平行移動させることと、
 (c) 前記ワイヤの前記先端が平行移動させられている間、エネルギー源を用いて前記ワイヤの前記先端を溶融させ、溶融ビードを形成することであって、前記ビードは、冷たくなり、3次元部品の層の少なくとも一部を形成することと、
 (d) ステップ(b)および(c)を1回以上繰り返す、前記3次元部品を生産することと
 を含み、
 前記3次元部品は、前記金属材料を備えている、方法。

(項目59)

前記金属材料は、ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも1つを備えている、項目58に記載の方法。

(項目60)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも1つの前記ワイヤ内の濃度は、重量比5ppmより小さい、項目58に記載の方

10

20

30

40

50

法。

(項目 6 1)

前記ワイヤ内の酸素の濃度は、重量比 20 ppm より小さい、項目 5 8 に記載の方法。

(項目 6 2)

前記 3 次元部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 97% より大きい、項目 5 8 に記載の方法。

(項目 6 3)

ステップ (c) において、前記エネルギー源は、電子ビームおよび / またはレーザービームを備えている、項目 5 8 に記載の方法。

(項目 6 4)

前記ワイヤは、

粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、

前記供給電極を真空または 1 つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ビレットを形成することと、

前記ビレットを前記ビレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと

を含むプロセスによって生産される、項目 5 8 に記載の方法。

(項目 6 5)

項目 5 8 に記載の方法に従って製作される 3 次元部品。

(項目 6 6)

ニオブ、タンタル、レニウム、タングステン、またはモリブデンのうちの少なくとも 1 つを備えている金属材料を備えている原料材料を使用する付加製造によって製造された 3 次元部品であって、前記部品は、(i) 各々が固化された金属材料を備えている複数の層を備え、(ii) 連続した層間に間隙がなく、(iii) 亀裂がなく、前記部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 97% 以上であり、ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、またはカリウムのうちの少なくとも 1 つの前記部品内の濃度は、重量比 1 ppm より小さい、部品。

(項目 6 7)

前記部品の密度は、前記金属材料の理論的密度の 99% 以上である、項目 6 6 に記載の部品。

(項目 6 8)

ナトリウム、カルシウム、アンチモン、マグネシウム、リン、およびカリウムの各々の濃度は、重量比 1 ppm より小さい、項目 6 6 に記載の部品。

(項目 6 9)

前記部品内の酸素の濃度は、重量比 5 ppm より小さい、項目 6 6 に記載の部品。

(項目 7 0)

前記原料材料は、ワイヤを備えている、項目 6 6 に記載の部品。

(項目 7 1)

前記原料材料は、アーク溶融させられるワイヤを備えている、項目 6 6 に記載の部品。

(項目 7 2)

前記原料材料は、

粉末を圧縮し、供給電極を形成することであって、前記粉末は、前記金属材料を備えている、ことと、

前記供給電極を真空または 1 つ以上の不活性ガスを備えている処理雰囲気中でアーク溶融させ、それによって、ビレットを形成することと、

前記ビレットを前記ビレットの直径より小さい直径を有するワイヤに機械的に変形させることと

を含むプロセスによって製作されるワイヤを備えている、項目 6 6 に記載の部品。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

図面では、同様の参照文字は、概して、異なる図全体を通して同一部分を指す。さらに、図面は、必ずしも、正確な縮尺ではなく、代わりに、概して、本発明の原理を例証に応じて、強調が置かれる。以下の説明では、本発明の種々の実施形態が、以下の図面を参照して説明される。

【図 1】図 1 は、本発明の種々の実施形態による、金属ピレットを形成するために利用されるアーク溶融装置の概略断面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の種々の実施形態による、金属ロッドまたはピレットから製作されるワイヤの概略図である

【図 3】図 3 は、本発明の種々の実施形態による、3次元金属部品を製作するために利用される付加製造装置の概略図である。

10

【図 4】図 4 は、本発明の種々の実施形態による、付加製造プロセス中に製作されるワイヤの先端の画像である。

【図 5】図 5 は、図 4 のワイヤを利用して付加製造によって製作される3次元部品の画像である。

【図 6】図 6 は、機械加工後の図 5 の部品の画像である。

【図 7】図 7 は、付加製造プロセス中の従来のワイヤの先端の画像である。

【図 8】図 8 A および 8 B は、図 7 のワイヤを利用して付加製造によって製作される3次元部品の画像である。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 2 6 】

本発明の種々の実施形態によると、所望の金属前駆体材料のピレットが、前駆体材料（例えば、1つ以上の耐熱金属）を含み、それから本質的に成り、またはそれから成る粉末をロッドまたは他の3次元構造に圧縮することを介して、形成される。粉末自体は、最初に、粉末内の酸素および他の揮発性元素の量を最小化し、または実質的に低減させる1つ以上の技法を利用して形成され得る。このように、ワイヤ内のそのような揮発性種の量は、最小化され、または低減させられる。例えば、種々の粉末は、水素化/脱水素化（*hydroxide/dehydroxide*）プロセス、プラズマ高密度化、および/またはプラズマ噴霧化を介して、形成および/または処理され得、粉末は、酸素等の低濃度の揮発性種を有し得る（例えば、300ppmより低い、100ppmより低い、50ppmより低い、またはさらに30ppmより低い、酸素含有量）。当技術分野において公知のように、水素化/脱水素化プロセスは、水素導入（それによって、水素化物相を形成する）を介した金属の脆化およびその後の機械的粉碎（例えば、ボールミル粉碎）と、脱水素化（例えば、真空内での加熱）とを伴う。種々の粉末または粉末前駆体は、1999年8月19日に出版された米国特許第6,261,337号（第337号特許）（開示全体が、参照することによって本明細書に組み込まれる）に詳述されるように、酸素のためのより高い親和性を有する1つ以上の材料（例えば、金属）（例えば、カルシウム、マグネシウム等）と組み合わせられ、高温で脱酸素化され、次いで、例えば、化学的溶解を介して、高酸素親和性材料から分離され得る。2017年1月27日に出版された米国特許出願第15/416,253号（開示全体が、参照することによって本明細書に組み込まれる）に説明されるように、プラズマ高密度化プロセスでは、金属微粒子が、プラズマジェットまたはプラズマトーチの中に供給され、少なくとも部分的に、それによって、溶融させられ、冷却時、実質的に球形状態を有する傾向にある。さらに、プラズマ高密度化プロセスは、金属粉末内の揮発性元素の濃度を低減させ得る。

30

【 0 0 2 7 】

圧縮された粉末ロッドは、次いで、焼結され、アーク溶融プロセスのための供給電極を形成し得る。例えば、ロッドは、図 1 に図示されるように、約1,800 ~ 約2,200 に及ぶ温度で焼結され得、供給電極100は、典型的には、るつぼ105（例えば、銅を含み、それから本質的に成り、またはそれから成り得る）の上に設置され、るつぼ105は、るつぼ105内および/またはその周囲を循環する冷却剤（例えば、水または他の

40

50

熱交換流体)の流動を介して冷却され得る。示されるように、冷却剤は、冷却入口110から流入し、冷却出口115を介して、るつぼ105から流出し得る。種々の実施形態では、前駆体材料の小装填(charge)120が、るつぼ105の底部に位置付けられ、電流(例えば、数百またはさらに数千アンペアのDC電流)が、装填120と供給電極100との間に印加される。電力供給源125によって印加され得る電流は、アーク130を供給電極100とるつぼ105内の装填120との間にもたらし、供給電極100を溶融させ、るつぼ105の内部の形状(例えば、丸形および少なくとも部分的に円筒形)を有するピレットを形成する。真空または他の不活性雰囲気(例えば、窒素ガス、アルゴンガス、または他の不活性ガス)が、るつぼ105内および/またはその周囲に存在し得る。供給電極100内の種々の揮発性不純物は、アーク溶融中、その周囲に逃散し得る。結果として生じるピレットは、ピレット材料を純化し、種々の揮発性不純物の濃度をさらに低減させるために、1回以上の追加の回数において、アーク溶融を受け得る。

10

【0028】

アーク溶融プロセス後、結果として生じるピレットは、1つ以上の機械的変形プロセスによって、ワイヤに工作される。例えば、ピレットは、熱間加工(例えば、押し出し、圧延、鍛造、ピルガー圧延等)され、初期ピレットのものより小さい直径を有するロッドを形成し得る。ピレットおよび/またはロッドは、加圧、例えば、冷間等方加圧または熱間等方加圧によってさらに高密度にされ得る。ロッドは、次いで、例えば、引き抜き、かしめ、ピルガー圧延、押し出し等のうちの1つ以上のものによって、最終の所望の直径を有するワイヤに形成され得る。(種々の実施形態では、アーク溶融プロセスの即時生成物、すなわち、ピレットが、それらの間のロッドに形成されるのではなく、直接、ワイヤに形成され得る。)図2に描写される例示的实施形態では、ロッド200は、ワイヤ210の直径が所望の寸法に低減させられるまで、1つ以上の引き抜きダイ220を通した引き抜きを介して、ワイヤ210に形成される。種々の実施形態では、引き抜きは、ロッド200の直径(または他の横寸法)を低減させる1つ以上の他の機械的変形プロセス、例えば、ピルガー圧延、圧延、かしめ、押し出し等によって補完または置換され得る。ロッド200および/またはワイヤ210は、直径低減(例えば、引き抜き)中、および/またはその後、焼鈍され得る。ピレット、ロッド、および/またはワイヤは、直径低減中、および/またはその後、熱処理され得る。例えば、ピレット、ロッド、および/またはワイヤは、900より高い温度で焼結され得る。

20

30

【0029】

1つまたは複数の耐熱金属(例えば、モリブデン)を含み、それから本質的に成り、またはそれから成るワイヤ210が、本発明の実施形態に従って製作されると、ワイヤ210は、付加製造アセンブリ300を用いて3次元部品を製作するために利用され得る。例えば、図3に示されるように、ワイヤ210は、ワイヤ供給装置310を使用して、高エネルギー源320(例えば、レーザまたは電子ビーム源330によって放出される電子ビームまたはレーザビーム)の経路の中に徐々に供給され得、高エネルギー源320は、ワイヤの先端230を溶融させ、小溶融プール(または「ビード」または「パドル」)340を形成する。アセンブリ300全体は、真空チャンバ内に配置され、周囲環境からの汚染を防止または実質的に低減させ得る。

40

【0030】

堆積物を支持する基板350(示されるように、プラットフォーム360上に配置され得る)とワイヤ/ガンアセンブリとの間の相対的移動は、層毎方式で製作される部品をもたらす。そのような相対的運動は、ワイヤの先端230における溶融プール340の連続形成から、3次元オブジェクトの層370の連続形成をもたらす。図3に示されるように、層370の全部または一部は、1つ以上の前に形成された層380の上に形成され得る。相対的移動(すなわち、プラットフォーム360、ワイヤ/ガンアセンブリ、または両方の移動)は、製作されるべき部品の電子的に記憶された表現に基づいて、コンピュータベースのコントローラ380によって制御され得る。例えば、溶融ワイヤによってトレースされる2次元層が、メモリ390内に記憶される最終部品の記憶された3次元表現から抽

50

出され得る。

【0031】

本発明の実施形態による、コンピュータベースの制御システム（または「コントローラ」）380は、処理ユニット（または「コンピュータプロセッサ」）392と、システムメモリ390と、システムメモリ390を含む種々のシステムコンポーネントを処理ユニット392に結合するシステムバス394とを含むコンピュータの形態における汎用コンピュータティングデバイスを含み、またはそれから本質的に成り得る。コンピュータは、典型的には、システムメモリ390の一部を形成し、処理ユニット392によって読み取られ得る種々のコンピュータ読み取り可能な媒体を含む。一例として、限定ではなく、コンピュータ読み取り可能な媒体は、コンピュータ記憶媒体および/または通信媒体を含み得る。システムメモリ390は、読み取り専用メモリ（ROM）およびランダムアクセスメモリ（RAM）等の揮発性および/または不揮発性メモリの形態におけるコンピュータ記憶媒体を含み得る。起動中等、要素間で情報を伝達することに役立つ基本ルーチンを含む基本入力/出力システム（BIOS）は、典型的には、ROM内に記憶される。RAMは、典型的には、処理ユニット392に即時にアクセス可能であって、および/またはそれによって現在動作させられているデータおよび/またはプログラムモジュールを含む。データまたはプログラムモジュールは、オペレーティングシステム、アプリケーションプログラム、他のプログラムモジュール、およびプログラムデータを含み得る。オペレーティングシステムは、Microsoft WINDOWS（登録商標）オペレーティングシステム、Unix（登録商標）オペレーティングシステム、Linux（登録商標）オペレーティングシステム、Xenixオペレーティングシステム、IBM AIXオペレーティングシステム、Hewlett Packard UXオペレーティングシステム、Novel NETWAREオペレーティングシステム、Sun Microsystems SOLARISオペレーティングシステム、OS/2オペレーティングシステム、BeOSオペレーティングシステム、MACINTOSHオペレーティングシステム、APACHEオペレーティングシステム、OPENSTEPオペレーティングシステム、または別のオペレーティングシステムのプラットフォーム等を含む種々のオペレーティングシステムである、またはそれを含み得る。

【0032】

任意の好適なプログラミング言語が、過度の実験を伴わずに、本明細書に説明される機能を実装するために使用され得る。例証として、使用されるプログラミング言語は、例えば、アセンブリ言語、Ada、APL、Basic、C、C++、C*、COBOL、dBase、Forth、FORTRAN、Java（登録商標）、Modula-2、Pascal、Prolog、Python、REXX、および/またはJava（登録商標）スクリプトを含み得る。さらに、単一タイプの命令またはプログラミング言語が、本発明のシステムおよび技法の動作と併せて利用される必要はない。むしろ、任意の数の異なるプログラミング言語が、必要または所望に応じて、利用され得る。

【0033】

コンピュータティング環境は、他の取り外し可能/非取り外し可能揮発性/不揮発性コンピュータ記憶媒体も含み得る。例えば、ハードディスクドライブは、非取り外し可能不揮発性磁気媒体から読み取り、そこに書き込み得る。磁気ディスクドライブは、取り外し可能不揮発性磁気ディスクから読み取り、そこに書き込み得、光ディスクドライブは、CD-ROMまたは他の光学媒体等の取り外し可能不揮発性光ディスクから読み取り、そこに書き込み得る。例示的動作環境において使用され得る他の取り外し可能/非取り外し可能揮発性/不揮発性コンピュータ記憶媒体として、限定ではないが、磁気テープカセット、フラッシュメモリカード、デジタル多用途ディスク、デジタルビデオテープ、ソリッドステートRAM、ソリッドステートROM、および同等物が挙げられる。記憶媒体は、典型的には、取り外し可能または非取り外し可能メモリインターフェースを通して、システムバスに接続される。

【0034】

10

20

30

40

50

コマンドおよび命令を実行する、処理ユニット 392 は、汎用コンピュータプロセッサであり得るが、特殊目的のハードウェア、マイクロコンピュータ、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、プログラムされたマイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、周辺集積回路要素、C S I C (顧客具体的集積回路)、A S I C (特定用途向け集積回路)、論理回路、デジタル信号プロセッサ、プログラマブル論理デバイス、例えば、F P G A (フィールドプログラマブルゲートアレイ)、P L D (プログラマブル論理デバイス)、P L A (プログラマブル論理アレイ)、R F I D プロセッサ、スマートチップ、または本発明の実施形態のプロセスのステップを実装可能な任意の他のデバイスまたは配列のデバイスを含む、様々な他の技術のいずれかを利用し得る。

【0035】

有利には、本発明の実施形態による、ワイヤは、O、Na、Mg、P、S、K、Ca、およびSb等の低減または最小限の量(存在したとしても)の揮発性元素を含み、したがって、ワイヤ210は、付加製造中、任意の火花発生の場合でも、殆ど溶融せず、多孔率、亀裂、または他の欠陥を印刷された部品の中に導入しない。付加製造プロセスが完了後、部品は、プラットフォームから除去され、最終機械加工および/または研磨を受け得る。

【0036】

(実施例1)

外径0.062インチを有するMoワイヤ(ワイヤA)が、本発明の実施形態に従って製作された。具体的には、ワイヤAは、(1)純度99.95%を有するMo粉末をロッドに圧縮し、(2)ロッドを焼結し、供給電極を形成し、(3)供給電極を真空下の水冷銅るつぼ内でアーク溶融させ、ピレットを形成し、(4)その直径を低減させるためにピレットを熱間製作することによって生産された。比較のために、外径0.062インチを有する対照Moワイヤ(ワイヤB)が、従来の粉末冶金学技法を介して製作された。具体的には、ワイヤBは、(1)純度99.95%を有するMo粉末をピレットに圧縮し、(2)ピレットを水素雰囲気中で密度少なくとも93%まで焼結し、(3)その直径を低減させるために、ピレットを熱間製作することによって生産された。両ワイヤ内の種々の不純物種に対する詳細な組成情報が、グロー放電質量分析(GDMS)を介して得られ、表1に提示される。

【0037】

【表1】

表1

元素	ワイヤA内の組成(ppm)	ワイヤB内の組成(ppm)
Na	0.1	21
Mg	0.04	5.8
Si	5	34
P	0.97	3.6
K	0.06	2.4
Ca	0.53	21
Sb	0.67	18
O	18	28

【0038】

表1に示されるように、ワイヤAは、ワイヤBより有意に少ないいくつかの揮発性不純物を含んでいた。

【0039】

(実施例2)

実施例1からのワイヤAおよびBが、3次元Mo部品を製作するために例示的付加製造プロセスにおいて利用された。各ワイヤは、110mAで平均電力35kVの電力を有する電子ビーム(パルス)を介して、製作プロセス中、溶融するまで加熱された。電子ビームの中へのワイヤ供給速度は、約30インチ/分であり、ワイヤと製作プラットフォームと

10

20

30

40

50

の間の相対的進行速度は、10インチ/分であった。堆積比率は、約0.91kg/時であった。

【0040】

ワイヤAを使用した製作中、堆積は、平滑であって、火花発生、膨れ、および飛散が実質的になかった。図4は、付加製造プロセス中のワイヤAの先端に形成された溶融ビード400の画像である。図5は、ワイヤAを利用して製造される結果として生じる部品500の画像である。示されるように、部品500は、目で見える亀裂または他の瑕疵がなく、製作プラットフォームは、目で見える飛散または他の残屑がない。図6に示されるように、部品500は、亀裂または他の損傷を伴わないように、層毎製作プロセスから生じる任意の粗度を除去するために、機械加工および/または研磨され得る。

10

【0041】

ワイヤBを使用した製作中、堆積は、火花発生および膨れに悩まされた。図7は、付加製造プロセス中のワイヤBの先端に形成される溶融ビード700を描写する。示されるように、ワイヤBは、例えば、ワイヤB内のより高い濃度の揮発性不純物に起因して、多数の細孔または含有物710を保有していた。加えて、ワイヤBからの目で見える火花720が、溶融および製作プロセス中に生じた。図8Aおよび8Bは、ワイヤBを利用して製作される3次元部品800の画像である。示されるように、部品800は、目で見える亀裂をその壁に有し、製作プラットフォーム上および部品800自体上にも、ワイヤ材料の目で見える飛散が存在した。部品800の機械製作の試みは、不成功であり、部品800は、部品500とは全く対照的に、るつぼとしての使用のために満足の行くものではなかった。

20

【0042】

完成部品500、800の密度が、測定され、結果は、以下の表2に提示される。

【0043】

【表2】

表2

部品/部品内の場所	密度(g/cc)	%理論的密度
500/壁の上部	10.13	99.1
500/壁の底部	10.14	99.2
800/壁の上部	9.73	95.2
800/壁の中央	9.81	96.0
800/壁の底部	9.75	95.4

30

【0044】

示されるように、ワイヤAを使用して製作された部品500は、ワイヤBを使用して製作された部品800よりはるかに高い密度を有していた。加えて、製作された部品500、800の組成分析が、GDMSによって行われ、結果は、以下の表3に示される。

【0045】

【表3】

表3

元素	部品500における組成(ppm)	部品800における組成(ppm)
Na	0.01	2.4
Mg	0.08	0.21
Si	12	31
P	0.27	1
K	0.07	1.8
Ca	0.06	1.2
Sb	0.09	1.3
O	<5(検出限界未満)	5.5

40

50

【 0 0 4 6 】

表 3 に示されるように、不純物元素の大部分の濃度が、おそらく、ワイヤの溶融および不純物の揮散に起因して、製作プロセス中に減少した。しかしながら、ワイヤ A を利用して製作された部品 5 0 0 は、ワイヤ B を利用して製作された部品 8 0 0 内のものよりはるかに低いこれらの不純物の濃度を有していた。加えて、ワイヤ B を利用して製作された部品 8 0 0 内のこれらの不純物元素の量は、ワイヤ B 自体内の不純物レベルより低くなる傾向にあっても、ワイヤ B を利用して製作された部品 8 0 0 は、容認不可能な形態および密度を有し、図 8 A および 8 B に示され、前述のように、製作中、飛散および火花発生を伴った。

【 0 0 4 7 】

本明細書で採用される用語および表現は、説明の用語および表現として使用され、限定ではなく、そのような用語および表現の使用では、図示および説明される特徴またはその一部の任意の均等物を除外する意図はない。加えて、本発明のある実施形態が説明されたが、本明細書に開示される概念を組み込む他の実施形態も、本発明の精神および範囲から逸脱することなく、使用され得ることが、当業者に明白となるであろう。故に、説明される実施形態は、あらゆる点において、例証的にすぎず、制限的ではないと見なされる。

10

20

30

40

50

【 図面 】

【 図 1 】

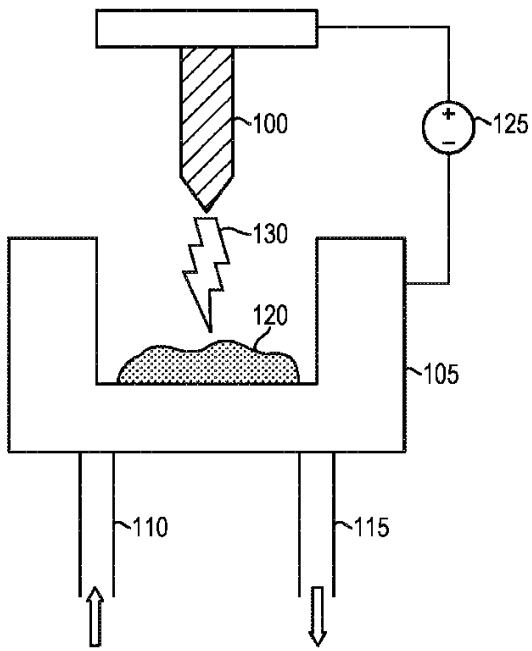


FIG. 1

【 図 2 】

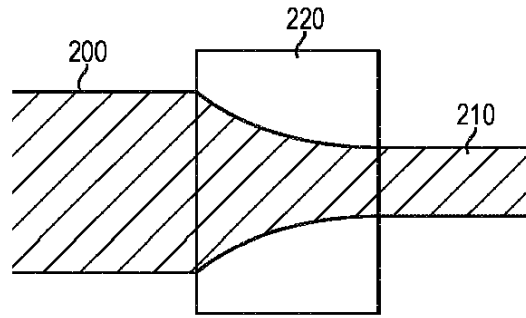


FIG. 2

【 図 3 】

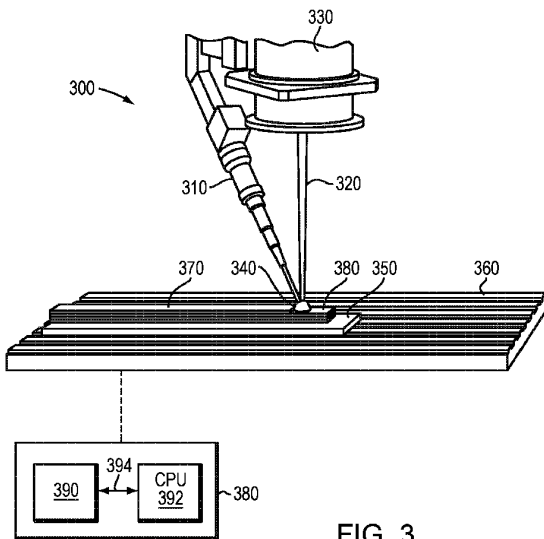


FIG. 3

【 図 4 】

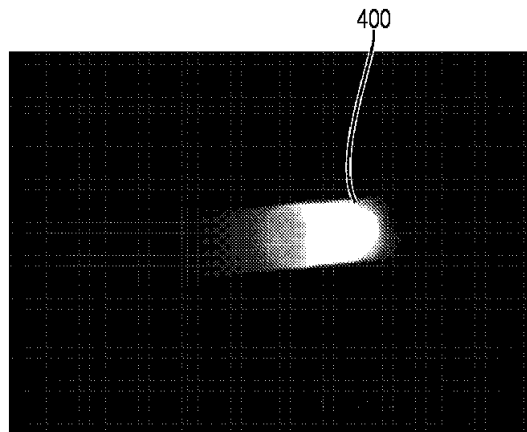


FIG. 4

10

20

30

40

50

【 図 5 】

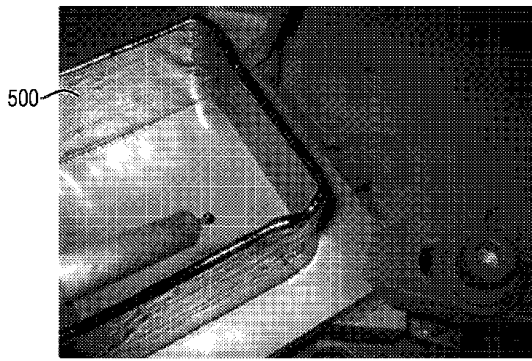


FIG. 5

【 図 6 】

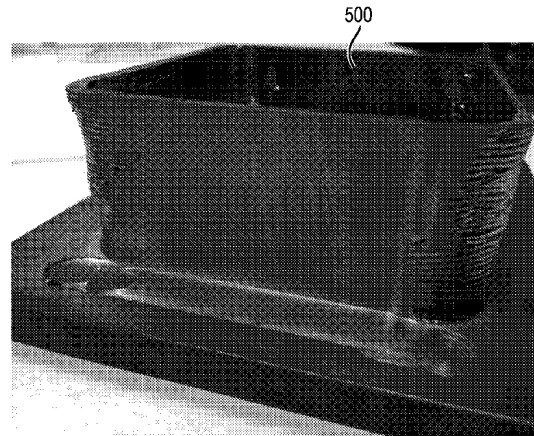


FIG. 6

【 図 7 】

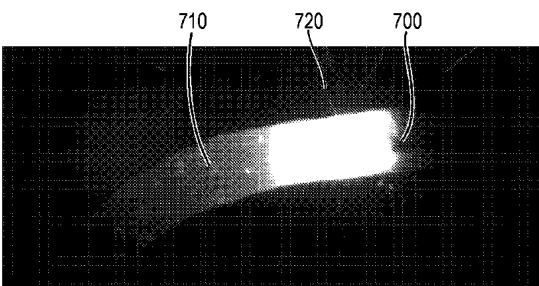


FIG. 7

【 図 8 A 】

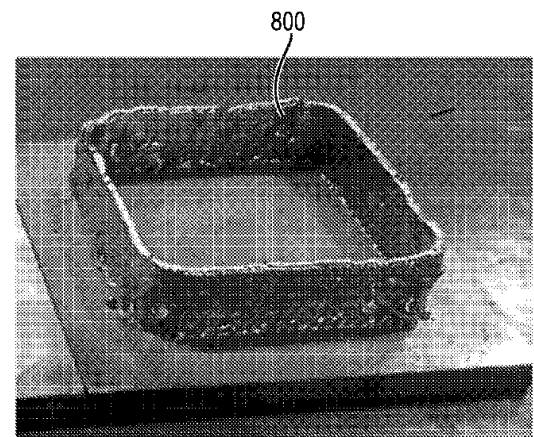


FIG. 8A

10

20

30

40

50

【 8 B 】

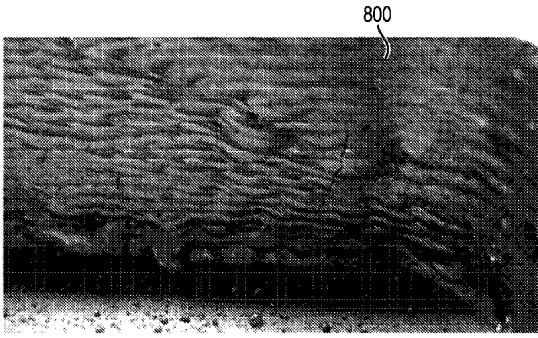


FIG. 8B

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I		
<i>C 2 2 C 27/02 (2006.01)</i>	C 2 2 C	27/04	1 0 2
<i>C 2 2 C 27/00 (2006.01)</i>	C 2 2 C	27/02	1 0 2 Z
<i>B 2 1 C 1/00 (2006.01)</i>	C 2 2 C	27/02	1 0 3
<i>B 2 3 K 26/21 (2014.01)</i>	C 2 2 C	27/00	
<i>B 2 3 K 26/34 (2014.01)</i>	B 2 1 C	1/00	L
	B 2 3 K	26/21	Z
	B 2 3 K	26/34	

弁護士 山本 健策

(72)発明者 スタウォビー, マイケル トーマス
 アメリカ合衆国 オハイオ 4 4 1 1 8 , クリーブランド ハイツ , スティルマン ロード 2 3 4 5

審査官 奥隅 隆

(56)参考文献 特開 2 0 0 5 - 0 5 4 1 9 7 (J P , A)
 特開平 0 5 - 3 2 0 8 1 3 (J P , A)
 特表 2 0 1 7 - 5 3 0 0 2 7 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
 B 2 3 K 1 5 / 0 0 - 1 5 / 1 0
 B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0
 B 3 3 Y 7 0 / 0 0 - 8 0 / 0 0
 C 2 2 C 1 / 0 0 - 1 / 1 0
 C 2 2 C 2 7 / 0 0 - 2 7 / 0 6
 B 2 1 C 1 / 0 0