

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-529239

(P2017-529239A)

(43) 公表日 平成29年10月5日 (2017. 10. 5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/34 (2014. 01)	B 2 3 K 26/34	4 E 1 6 8
B 2 3 K 26/21 (2014. 01)	B 2 3 K 26/21	Z 4 K 0 1 8
B 2 2 F 3/105 (2006. 01)	B 2 2 F 3/105	
B 2 2 F 3/16 (2006. 01)	B 2 2 F 3/16	
B 2 2 F 3/24 (2006. 01)	B 2 2 F 3/24 1 O 2 Z	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2017-501679 (P2017-501679)
 (86) (22) 出願日 平成27年7月16日 (2015. 7. 16)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年3月10日 (2017. 3. 10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/040808
 (87) 国際公開番号 W02016/011294
 (87) 国際公開日 平成28年1月21日 (2016. 1. 21)
 (31) 優先権主張番号 62/026, 545
 (32) 優先日 平成26年7月18日 (2014. 7. 18)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660
 アプライド マテリアルズ インコーポレ
 イテッド
 APPLIED MATERIALS, I
 NCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 054 サンタ クララ パウアーズ ア
 ベニュー 3050
 (74) 代理人 110002077
 園田・小林特許業務法人
 (72) 発明者 ラーマスワミ, カーティク
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 951
 20, サン ノゼ, ビューポイント
 レーン 10020

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ及びガス流を用いた付加製造

(57) 【要約】

付加製造システムは、プラテン、プラテン上に供給材
 料を送達するように構成された供給材料ディスペンサ装
 置、当該付加製造システムの使用中にレーザビームを発
 生させるように構成されたレーザ源、コンピュータ支援
 設計プログラムによって特定されるプラテン上の位置に
 レーザビームを案内して、供給材料を溶融させるように
 構成されたコントローラ、ガスを供給するように構成さ
 れたガス源、及び、ガスを加速させ、プラテン上のレー
 ザビームと実質的に同じ位置に案内するように構成され
 たノズル、を含む。

【選択図】図1C

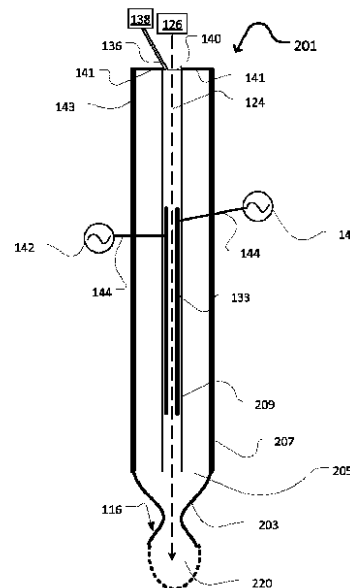


Fig. 1C

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

プラテン、

前記プラテン上に供給材料の層を送達するように構成された、供給材料ディスペンサ装置、

レーザビームを発生させるように構成された、レーザ源、

前記レーザビームを案内して、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される位置において前記供給材料を溶融させるように構成された、コントローラ、

ガスを供給するように構成されたガス源、及び

前記ガスを加速させて、前記プラテン上の前記レーザビームと実質的に同じ位置に案内するように構成された、ノズルを含む、付加製造システム。

10

【請求項 2】

前記ノズルが、前記ガスを超音速に加速させるように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記ノズルがラバルノズルを含む、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記レーザビームと前記ガスとが共通の軸に沿って生じ、前記プラテン上の前記供給材料に衝突する、請求項 3 に記載のシステム。

20

【請求項 5】

前記レーザにより近い第 1 の端部と前記プラテンにより近い第 2 の端部とを有した導管を含み、前記レーザが前記導管を通して案内され、前記ノズルが前記導管の前記第 2 の端部に配置されており、前記ガス源が、前記ガスを前記導管の前記第 1 の端部に注入するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

供給材料の層をプラテン上に分配すること、

レーザのビームを案内して、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される位置において前記供給材料を加熱すること、及び

前記プラテン上の前記レーザビームと実質的に同じ位置に、ガス状材料を案内することを含む、付加製造方法。

30

【請求項 7】

前記ガス状材料が、前記プラテン上の前記位置で化学反応を引き起こす、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記ガス状材料が、前記ガス状材料の経路に配置されたノズルによって加速される、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ガス状材料が、前記供給材料の表面仕上げを変化させるように構成されている、請求項 8 に記載の方法。

40

【請求項 10】

前記ガス状材料が、前記供給材料を除去するように構成されたエッチャントを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 11】

前記ガス状材料が、前記供給材料の層の、製造される物体の表面に対応する領域に案内されて、前記物体上に組成の異なるコーティングを形成する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 12】

プラテン上に供給材料の第 1 の層を分配すること、

コンピュータ可読媒体中のデータによって特定される前記プラテン上の第 1 の位置において、前記供給材料の第 1 の層を加熱して、前記供給材料の第 1 の層の一部を溶融するこ

50

と、

前記溶融した供給材料が前記プラテン上に残っている間に、前記溶融した供給材料の一部分をエッチングすること、

前記プラテン上の前記エッチングされ溶融した供給材料上に、供給材料の第2の層を分配すること、及び

前記コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される前記プラテン上の第2の位置において前記供給材料の第2の層を加熱して、前記供給材料の第2の層の第2の部分

部分を溶融すること

を含む、付加製造方法。

【請求項13】

10

プラテン、

前記プラテン上に供給材料の層を送達するように構成された、供給材料ディスペンサ装置、

レーザビームを発生させるように構成された、レーザ、

コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される位置において、前記レーザビームに前記供給材料を溶融させるように構成された、コントローラ、及び

前記供給材料の層の実質的に全体に広がり、前記供給材料上に案内されるイオンを発生させるプラズマを発生させるように構成された、プラズマ源

を含む、付加製造システム。

【請求項14】

20

前記プラズマ源は、前記レーザビームが前記供給材料を溶融する間に前記プラズマを発生させるように構成されている、請求項13に記載のシステム。

【請求項15】

前記コントローラは、前記プラズマ源によって前記プラズマが発生するチャンバに送達されるガスの流量又は組成を、層ごとに制御するように構成されている、請求項13に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

優先権の主張

30

本願は、米国特許法第119条e項により、2014年7月18日出願の米国特許出願第62/026,545号の優先権を主張する。

技術分野

本発明は、3D印刷としても知られる付加製造に関する。

【背景技術】

【0002】

固体自由造形(solid free form fabrication)又は3D印刷としても知られる付加製造(AM)とは、原料(一般的には粉末、液体、懸濁液、又は溶融固体)から3次元の物体が一連の2次元層もしくは断面でビルドアップされる任意の製造プロセスをさす。一方、従来の機械加工技術では、除去加工プロセスにより、木材、

40

プラスチック、又は金属などのストックから切り出された物体を製造する。

【0003】

付加製造では様々な付加製造プロセスが利用可能である。それらの様々なプロセスは、完成品を成すために層が堆積される方式、及び各プロセスでの使用に適した材料において異なる。幾つかの方法では、例えば、選択的レーザ融解(SLM)もしくは直接金属レーザ焼結(DMLS)、選択的レーザ焼結(SLS)、熱溶解積層(FDM)で材料を融解又は軟化させて層を作る一方、その他の方法では、例えばステレオリソグラフィ(SLA)など様々な技術を用いて液体の材料を硬化させる。

【0004】

焼結は、例えば粉末などの小粒子を溶解させて物体を作製するプロセスである。焼結は

50

通常、粉末の加熱を含む。粉末の材料が焼結プロセスで十分な温度に加熱されると、粉末粒子中の原子が粒子境界において拡散し、粒子同士を溶融させて固体のピースが形成される。焼結で用いられる粉末は融解とは異なり、液相に達する必要がない。焼結温度が材料の融点に到達する必要がないので、タングステン及びモリブデンなどの融点の高い材料では焼結がしばしば用いられる。

【 0 0 0 5 】

付加製造では焼結と融解の両方が利用可能である。使用する材料によりどちらのプロセスが発生するかが決定される。アクリロニトリルブタジエンスチレン（ＡＢＳ）などの非晶質固体は実際には過冷された粘稠な液体であって、実際には融解しない。融解は固体から液体状態への相転移を含むためである。従って、ＡＢＳには選択的レーザ焼結（ＳＬＳ）が適切なプロセスであるが、ナイロン及び金属など、離散的な融点／凝固点を有しＳＬＭプロセス中に融解する、結晶性及び半結晶性の材料には、選択的レーザ融解（ＳＬＭ）が用いられる。

10

【 0 0 0 6 】

粉末材料を焼結又は融解するのにエネルギー源としてレーザビームを用いる従来のシステムは典型的に、粉末材料の層のうちの選択された点にレーザビームを案内し、層の複数の位置でレーザビームを選択的にラスタ走査させる。第１の層上の選択された位置のすべてが焼結又は融解されたら、完成した層の上に粉末材料の新しい層を堆積し、所望の物体が作製されるまでプロセスが一層ずつ繰り返される。

【 0 0 0 7 】

材料に焼結又は融解を生じさせるために、電子ビームがエネルギー源として用いられてもよい。この場合も、電子ビームに層をラスタ走査させて特定の層の処理を完遂する。

20

【 発明の概要 】

【 0 0 0 8 】

一態様で、付加製造システムは、プラテン、供給材料の層をプラテン上に送達するように構成された、供給材料ディスペンサ装置、レーザビームを発生させるように構成された、レーザ源、レーザビームを案内して、コンピュータ可読媒体中のデータによって特定される位置において供給材料を溶融させるように構成された、コントローラ、ガスを供給するように構成されたガス源、及び、ガスを加速させ、プラテン上のレーザビームと実質的に同じ位置に案内するように構成された、ノズルを含む。

30

【 0 0 0 9 】

実装態様は一又は複数の下記の特徴を含み得る。ノズルは、ガスを超音速に加速させるように構成され得る。ノズルはラバルノズルであり得る。レーザビーム及びガスは、共通の軸に沿って生じ、プラテン上の供給材料に衝突し得る。電極及び対極は、ガスをイオン化してプラズマを形成するように構成され得る。導管は、レーザ源により近い第１の端部とプラテンにより近い第２の端部とを有し得、レーザは導管を通して案内され得る。ノズルは導管の第２の端部に配置され得る。ガス源は、導管の第１の端部にガスを注入するように構成され得る。

【 0 0 1 0 】

別の態様によれば、付加製造方法は、供給材料の層をプラテン上に分配すること、レーザのビームを案内して、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される位置において供給材料を加熱すること、及び、プラテン上の、レーザビームと実質的に同じ位置にガス状材料を案内すること、を含む。

40

【 0 0 1 1 】

実装態様は一又は複数の下記の特徴を含み得る。ガス状材料は、イオンを含み得る。ガス状材料は、プラテンの位置で化学反応を引き起こし得る。ガス状材料は、ガス状材料の経路に配置されたノズルによって加速され得る。ガス状材料は、供給材料の表面仕上げを変化させるように構成され得る。供給材料の表面仕上げが、より粗く又はより平滑になり得る。ガス状材料は、供給材料を除去するように構成されたエッチャントを含み得る。第２のガス状材料が流れ、供給材料上の第２の位置で異なる化学反応を生じさせ得る。ガス

50

状材料は、供給材料の層の、製造される物体の表面に対応する領域に案内されて、物体上に組成の異なるコーティングを形成し得る。

【 0 0 1 2 】

別の態様では、付加製造方法が、プラテン上に供給材料の第 1 の層を分配すること、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される、プラテン上の第 1 の位置において供給材料の第 1 の層を加熱して、供給材料の第 1 の層の一部を溶融すること、溶融した供給材料がプラテン上に残っている間に、溶融した供給材料の一部分をエッチングすること、プラテン上のエッチングされ溶融した供給材料上に、供給材料の第 2 の層を分配すること、及び、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される第 2 の位置において供給材料の第 2 の層を加熱して、供給材料の第 2 の層の第 2 の部分を溶融すること、を含む。

10

【 0 0 1 3 】

別の態様で、付加製造システムは、プラテン、プラテン上に供給材料の層を送達するように構成された、供給材料ディスペンサ装置、レーザビームを発生させるように構成された、レーザ、コンピュータ可読媒体に記憶されたデータによって特定される位置において、供給材料をレーザビームに溶融させるように構成された、コントローラ、及び、供給材料の層の実質的に全体に広がり、供給材料に案内されるイオンを発生させるプラズマを発生させるように構成された、プラズマ源、を含む。

【 0 0 1 4 】

実装態様は一又は複数の下記の特徴を含み得る。プラズマ源は、レーザビームが供給材料を溶融する間にプラズマを発生させるように構成され得る。コントローラは、プラズマ源によってプラズマが発生するチャンバへのガス流量を、層ごとに制御するように構成され得る。コントローラは、プラズマ源によってプラズマが発生するチャンバへ送達されるガスの組成を、層ごとに制御するように構成され得る。

20

【 0 0 1 5 】

実施態様は、以下の利点うち一以上を提供できる。付加製造された物体のすべてのボクセルの化学組成を、選択的に制御できる (x y z 制御)。完成品を得るための供給材料の溶融と同時に、表面仕上げの改良又は改質が可能となる。付加製造と除去加工を、同じ装置を用いて順次実行できる。

【 0 0 1 6 】

本発明の一又は複数の実施形態の詳細を、添付の図面及び以下の記載で説明する。本発明の他の態様、特徴、及び利点は、それらの記載及び図面、並びに特許請求の範囲から明らかとなる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1 A】付加製造システムの概略図である。

【図 1 B】付加製造システムの概略図である。

【図 1 C】ノズルを組み込んだシステムの概略図である。

【図 2 A】ポイントディスペンサの概略図である。

【図 2 B】ラインディスペンサの概略図である。

【図 2 C】アレイディスペンサの概略図である。

【図 2 D】異なる 2 つの動作モードにおける、シリコン貫通ビアの概略図である。

【図 3 A】異なる解像度の特徴を有する、溶融された種々の供給材料を示す。

【図 3 B】供給材料の層の概略図を示す。

【図 3 C】付加製造システムの概略図を示す。様々な図面における同じ参照符号は同じ要素を示す。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

部品の材料組成が、部品において、例えば単一の堆積層において空間的に変化する場合、その部品は 3 D 印刷で製造することが望ましいことであろう。異なる供給材料を部品の

50

異なる部分に堆積することは理論的には可能である。しかしながら、幾つかの製造状況ではこれが実際のでないか、或いは材料の組成の変化に更なる自由度が望まれることがある。本開示の方法及び装置は、付加製造プロセスの一以上のステップ中に、堆積された供給材料の各層において表面仕上げの化学的改質及び/又は調整が生じさせる。一方、例えばレーザ源からのエネルギーを用いる従来のシステムは、例えば、供給材料の相変化、又は融解及び再凝固により、化学反応なしに供給材料を融着させる。

【0019】

図1Aは、例示的な付加製造システム100を概略的に示す。システム100は、ハウジング102を含み且つこれに包囲されている。ハウジング102は例えば、ハウジング内のチャンバ103において真空環境を維持することができるが、代替的には、チャンバ103の内部が実質的に純ガス又はガスの混合物（例えば、濾過されて粒子状物質が除去されたガス又はガスの混合物）であり得るか、又は、チャンバが大気に排気され得る。真空環境又は濾過されたガスにより、部品の製造中の不良を低減することができる。幾つかの実施態様で、チャンバ103は、正の、即ち大気圧を上回る圧力で維持され得る。これにより、外気がチャンバ103に入ることを防ぐことができる。

10

【0020】

付加製造システム100は、粉末の層をプラテン105上に、例えば、プラテン上、又はプラテン上の下層に送達するディスペンサを含む。

【0021】

プラテン105の垂直位置はピストン107により制御できる。各粉末層が分配され溶解された後、アセンブリが新しい粉末層を受け取ることができるよう、ピストン107はプラテン120とその上の任意の粉末層を、1つの層の厚みぶん、下げることができる。

20

【0022】

プラテン105は、大型の工業部品の製造に適合するよう十分に大きくてよい。例えば、プラテン105は少なくとも500mm幅、例えば、500mm×500mm平方であり得る。例えば、プラテンは少なくとも1メートル幅、例えば1メートル平方であり得る。

【0023】

幾つかの実施態様で、ディスペンサは、プラテン105の上方に位置し得る材料ディスペンサアセンブリ104を含み得る。ディスペンサアセンブリ104は、供給材料がプラテン105上に、例えば重力によって送達される開口部を含み得る。例えば、ディスペンサアセンブリ104は、供給材料114を保持するリザーバ108を含み得る。供給材料114の放出はゲート112によって制御される。電子制御信号がゲート112に送られ、CAD適合ファイルによって特定される位置にディスペンサが並進させられると、供給材料が分配される。

30

【0024】

ディスペンサアセンブリ104のゲート112は、圧電式印刷ヘッド、及び/又は、空圧バルブ、微小電子機械システム(MEMS)バルブ、ソレノイドバルブ、又は磁気バルブのうちの一以上によって提供されて、ディスペンサアセンブリ104からの供給材料の放出を制御し得る。ボクセルの空間分解能が高いほど、ボクセルの体積が小さくなり、従って分配され得るボクセルごとの供給材料の量が低下する。

40

【0025】

或いは、ディスペンサが、プラテン105に隣接して位置するリザーバと、水平に(プラテンの表面に平行に)動かされて供給材料をリザーバからプラテン105上に押しつけるためのローラとを含んでもよい。

【0026】

コントローラ130は、駆動システム(図示せず)、例えば、ディスペンサアセンブリ104又はローラに連結されたリニアアクチュエータを制御する。駆動システムは、作動中、ディスペンサアセンブリ又はローラがプラテン105の上面に平行に(矢印106で示す方向に沿って)前後に動けるように構成される。例えば、ディスペンサアセンブリ1

50

04又はローラが、チャンバ103に延在するレール上で支持され得る。或いは、プラテン105が駆動システムによって動かされる一方で、ディスペンサアセンブリ104又はローラが定位置に保持されてもよい。

【0027】

供給材料が送達される開口部を含むディスペンサアセンブリ104の場合、ディスペンサアセンブリ104がプラテンを走査しているとき、ディスペンサアセンブリ104は、非一時的コンピュータ可読媒体に記憶され得る印刷パターンに従い、供給材料をプラテン105上の適切な位置に堆積し得る。例えば、印刷パターンは、ファイル、例えばコンピュータ支援設計(CAD)適合ファイルとして記憶され、コントローラ130に関連したプロセッサにより読み取られ得る。次に電子制御信号がゲート112に送られ、ディスペンサがCAD適合ファイルによって特定される位置に並進させられると、供給材料が分配される。

10

【0028】

幾つかの実施態様で、ディスペンサアセンブリ104は、供給材料が分配され得る複数の開口部を含む。各開口部は、各開口部を通じた供給材料の送達が独立に制御され得るよう、独立に制御可能なゲートを有し得る。

【0029】

幾つかの実施態様で、複数の開口部は、プラテンの幅で、例えばディスペンサアセンブリ104の進行106方向に直角の方向に延び得る。この場合、作動時、ディスペンサアセンブリ104はプラテン105を、方向106シングルスイープで走査し得る。幾つかの実施態様で、交互の層においては、ディスペンサアセンブリ104はプラテン105を、例えば、方向106に第1のスイープ、そして反対方向に第2のスイープというように、交互方向に走査できる。

20

【0030】

或いは、例えば、複数の開口部がプラテンの幅に延在していない場合、分配システム104は、ディスペンサアセンブリ104が2つの方向に動いてプラテン105を走査(例えば、層の材料を送達するためにプラテン105をラスタ走査)するように構成され得る。

【0031】

或いは、ディスペンサアセンブリ104が単純に、供給材料の均一な層をプラテン上に堆積してもよい。この場合は、個々の開口部の独立制御も、非一時的コンピュータ可読媒体に記憶された印刷パターンも不要である。

30

【0032】

オプションとして、一よりも多い供給材料がディスペンサアセンブリ104によって供給され得る。そのような場合、各供給材料は固有の制御ゲートを有し、且つ、CADファイルによって特定されるプラテン105上の位置に各供給材料を放出するよう個々に制御される、別々のリザーバに貯蔵され得る。この方式で、二種以上の異なる化学物質を使用して付加製造された部品を製造できる。

【0033】

供給材料は、金属粒子もしくはセラミック粒子の乾燥粉末であるか、液体懸濁液中の金属粉末もしくはセラミック粉末であるか、又は材料のスラリー懸濁液であり得る。例えば、圧電式印刷ヘッドを用いるディスペンサでは、供給材料は典型的には液体懸濁液中の粒子であろう。例えば、ディスペンサアセンブリ104は、キャリア流体(例えば、イソプロピルアルコール(IPA)、エタノール、又はN-メチル-2-ピロリドン(NMP)などの高い蒸気圧キャリア)中の粉末を送達し、粉末材料の層が形成され得る。キャリア流体は層の焼結ステップの前に蒸発し得る。或いは、ドライ分配メカニズム(例えば、超音波攪拌及び加圧された不活性ガスを用いたノズルアレイ)を用いて第1の粒子がされてもよい。

40

【0034】

金属粒子の例としては、金属、合金、及び金属間化合物合金が含まれる。金属粒子の材

50

料の例としては、チタン、ステンレス鋼、ニッケル、コバルト、クロム、バナジウム、及びこれら金属の様々な合金もしくは金属間化合物合金が含まれる。セラミック材料の例としては、セリア、アルミナ、シリカなどの金属酸化物、窒化アルミニウム、窒化ケイ素、炭化ケイ素、又はこれら材料の組み合わせが含まれる。

【 0 0 3 5 】

オプションとして、システム 1 0 0 は、プラテン 1 0 5 上に堆積した供給材料の層を圧密化及び / 又は平坦化するための、圧密化及び / 又はレベリング機構を含み得る。例えば、システムは、駆動システム、例えば、リニアアクチュエータによってプラテン表面に平行に移動可能なローラ又はブレードを含み得る。ローラ又はブレードのプラテン 1 0 5 に対する高さは、供給材料の最も外側の層を圧密化及び / 又は平滑化するように設定される。ローラは、プラテン上を並進しているときに、回転し得る。

10

【 0 0 3 6 】

製造中、供給材料の層は徐々に堆積、及び焼結、又は融解される。例えば、供給材料 1 1 4 はディスペンサアセンブリ 1 0 4 から分配されて、プラテン 1 0 5 に接触する層 1 1 6 を形成する。次に、堆積された供給材料の層が更なる層を形成し得、それぞれの層は下層の上で支持される。

【 0 0 3 7 】

各層が堆積された後、最も外側の層が処理されて、層のうちの少なくとも幾らかを例えば焼結、又は融解及び再凝固によって融着させる。供給材料のうち層に融着されていない領域は、上側の層の部分を支持するよう機能し得る。

20

【 0 0 3 8 】

システム 1 0 0 は、粉末を溶融させるのに十分な熱を供給材料の層に供給するように構成された、熱源を含む。供給材料がパターンで分配される場合、例えば、後述するようなガス又はイオンによる処置の後、電源は層全体を同時に加熱し得る。例えば、電源は、供給材料の層を放射加熱する、プラテン 1 0 5 の上方に位置するランプアレイであり得る。或いは、プラテン 1 0 5 上に供給材料が均一に堆積される場合、電源は、コンピュータ可読媒体に例えばコンピュータ支援設計 (C A D) 適合ファイルとして記憶された印刷パターンによって特定される位置を加熱し、そのような位置で粉末が溶融されるように構成されてもよい。

【 0 0 3 9 】

30

例えば、熱源は、レーザビーム 1 2 4 を発生させるレーザ源 1 2 6 であり得る。レーザ源 1 2 6 からのレーザビーム 1 2 4 は、印刷パターンによって特定される位置に案内される。例えば、レーザビーム 1 2 4 は、各位置でレーザ出力を制御されてプラテン 1 0 5 をラスタ走査し、特定のボクセルが溶融するか否かが決定される。レーザビーム 1 2 4 はまた、C A D ファイルによって特定される位置を走査して、供給材料がそれらの位置で選択的に溶融されてもよい。レーザビーム 1 2 4 のプラテン 1 0 5 の走査を提供するために、プラテン 1 0 5 が、レーザビーム 1 2 4 が水平に変位する間、静止したままであり得る。或いは、プラテン 1 0 5 が水平に変位する間、レーザビーム 1 2 4 が静止したままであってもよい。

【 0 0 4 0 】

40

レーザ源 1 2 6 からのレーザビーム 1 2 4 は、供給材料の、レーザビームが照射される領域の温度を上昇させるように構成される。幾つかの実施形態で、供給材料の当該領域は、レーザビーム 1 2 4 の直下である。

【 0 0 4 1 】

プラテン 1 0 5 は、更に、ヒータ (例えば、プラテン 1 0 5 に埋め込まれたヒータ) によって、供給材料の融点よりも低いベース温度に加熱されてもよい。この方式で、レーザビーム 1 2 4 は、堆積された供給材料を溶融するために、より小さい温度上昇をもたらすように構成され得る。小さい温度差での転移によって、供給材料がより素早く処理されることが可能となる。例えば、プラテン 1 0 5 のベース温度は約 1 5 0 0 であり得、レーザビーム 1 2 4 は約 5 0 の温度上昇を生じさせ得る。

50

【 0 0 4 2 】

レーザ源 1 2 6 からのレーザビーム 1 2 4 は、レーザ・イオン源 1 3 1 に組みこまれ得る。レーザ・イオン源 1 3 1 は、プラズマ 1 4 8 からのイオンがプラテン 1 0 5 上の、レーザビーム 1 2 4 と実質的に同じスポットに案内されるように構成され得る。

【 0 0 4 3 】

幾つかの実施態様で、レーザ・イオン源 1 3 1 は、同軸ポイントレーザ・プラズマ源 1 3 1 a である。即ち、レーザビーム 1 2 4 とプラズマ 1 4 8 が、ソース 1 3 1 a から共通の軸に沿って生じる。そのような実施形態では、供給材料を溶融するために、レーザビーム 1 2 4 が走査されて、コンピュータ支援設計 (C A D) 適合ファイルとして記憶された印刷パターンによって特定される位置に案内されると、プラズマ 1 4 8 が、プラテン上の同じ位置に同時に案内されて送達され得る。幾つかの実施態様で、レーザビーム 1 2 4 とプラズマ 1 4 8 は水平面で重なっていてもよい。

10

【 0 0 4 4 】

レーザ・イオン源 1 3 1、及び / 又はプラテン 1 0 5 は、レーザ・イオン源 1 3 1 及び / 又はプラテン 1 0 5 の間の相対的な移動をもたらすように、例えば、直角方向の動きをもたらすように構成された一对のリニアアクチュエータなどのアクチュエータアセンブリに連結され得る。コントローラ 1 3 0 は、レーザビーム 1 2 4 及びプラズマ 1 4 8 に供給材料の層を走査させるために、アクチュエータアセンブリに連結され得る。

【 0 0 4 5 】

同軸ポイントプラズマ源 1 3 1 a は導管 1 3 5 を含み得る。導管 1 3 5 は、例えば、レーザビーム 1 2 4 と、プラズマを提供するガスとの両方が伝播するチューブであり得る。例えば、同軸ポイントプラズマ源 1 3 1 a は、第 1 の直径を有する中空の外側導体 1 3 2 と、第 1 の直径よりも小さい第 2 の直径を有する中空の内側導体 1 3 4 とを含み得る。中空の内側導体は、中空の外側導体内に配置される。幾つかの実施態様で、中空の内側導体 1 3 4 は、中空の外側導体 1 3 2 よりもプラテンの近傍で延びる。しかしながら、幾つかの実施態様では、システムが単一のチューブのみを用いる。

20

【 0 0 4 6 】

レーザビーム 1 2 4 は、導管 1 3 5 を通って、例えば、内側導体 1 3 4 の中空の内部を通してプラテン 1 0 5 の表面の方へと伝播し得る。ガス源 1 3 8 は、ガス送達システム 1 3 6 を介して、内側導体 1 3 4 の中空の内部にガスを供給する。ガス送達システム 1 3 6 は、ガス源 1 3 8 から内側導体 1 3 4 へのガスの放出をコントローラ 1 3 0 によって制御される、バルブを含む。ガスの例としては、窒素、アルゴン、ヘリウム、酸素、及びフッ化チタン (T i x F y) が含まれる。

30

【 0 0 4 7 】

導管 1 3 5 の (例えば内側導体 1 3 4 の) プラテン 1 0 5 からより遠い端部 1 4 3 は、窓 1 4 0 で終端する。窓 1 4 0 は、レーザビーム 1 2 4 の波長に対して透明である。窓 1 4 0 は、ガスを内側導体 1 3 4 内に保持することを助ける。レーザビーム 1 2 4 は、レーザ源 1 2 6 から窓 1 4 0 を通って内側導体 1 3 4 へと伝播し得る。幾つかの実施態様で、ガス送達システム 1 3 6 は、窓 1 4 0 の注入口を通じてガスを供給する。幾つかの実施態様では、送達システム 1 3 6 が、チューブの側部の注入口を通じてガスを供給する。

40

【 0 0 4 8 】

幾つかの実施態様で、内側導体 1 3 4 は、外側導体 1 3 2 に電気接続される。例えば、導体プレート 1 4 1 が、中空の外側導体 1 3 2 を中空の内側導体 1 3 4 に電気接続し得る。導体プレート 1 4 1 は、プラテン 1 0 5 からより遠い、導管の端部 1 4 3 に位置し得る。

【 0 0 4 9 】

直流電流 (A C) (例えば、高周波又はマイクロ波放射) 電源 1 4 2 は、電気接続部 1 4 4 を介して導管 1 3 5 (例えば、外側導体 1 3 2 及び / 又は内側導体 1 3 4 及び / 又は導管 1 3 5 に存在する任意の電極) に電界を送達する。A C 電源 1 4 2 と導管 1 3 5 との間の電気接続は、同軸ポイントプラズマ源 1 3 1 a の短絡端 1 4 3 から離れた距離におい

50

て提供され得る。図 1 B は、電気接続部 1 4 4 を介して電極及び対極 1 3 3 にそれぞれ接続された、2 つの別個の電源 1 4 2 を示す。図 1 A は、第 1 の電源 1 4 2 が導管 1 3 5 に連結され、第 2 の電源 1 5 0 がプラテン 1 0 5 に連結された、2 つの別個の電源 1 4 2 及び 1 5 0 を示す。

【 0 0 5 0 】

導管 1 3 5 の（例えば外側導体 1 3 2 の）プラテン 1 0 5 により近い端部は、ガス及びレーザビーム 1 2 4 をプラテン 1 0 5 の方へと通過させ得る開孔以外は、開いていてもよく、閉じていてもよい。幾つかの実施態様で、同軸ポイントプラズマ源の、導体プレート 1 4 1 を有する短絡端の反対側の端部は、開いた端部 1 5 1 である。開いた端部 1 5 1 は、導管 1 3 5（例えば、中空の外側導体 1 3 2）の、中空の内側導体 1 3 4 に機械的に連結されていない端部であり得る。幾つかの実施態様で、後述のように、プラズマ 1 4 8 が導管 1 3 5 内で生成され得る。幾つかの実施態様では、プラズマが開いた端部 1 5 1 で生成され得る。そのような実施形態では、ガス源 1 3 8 によって供給される中性ガスからプラズマを発生させるのに十分な大きさの電界が、外側導体 1 3 2 及び内側導体 1 3 4 に印加され得る。

10

【 0 0 5 1 】

プラズマは、正の粒子と負の粒子の電氣的に中性の媒体である（即ち、プラズマの全体としての電荷はおおよそゼロである）。例えば、窒素ガスがガス源 1 3 8 から供給されると、窒素ガスはイオン化されて N_2^+ 又は N^+ が生成される。イオン化により生成されるこれらの陽イオンと電子とがプラズマ 1 4 8 を発生させる。プラズマ 1 4 8 は同軸ポイントプラズマ源 1 3 1 a を出て、プラテン 1 0 5 上に堆積した供給材料 1 1 4 に接する。

20

【 0 0 5 2 】

図 1 A に示す実装形態で、何れかの導体から、高い電位に保持された電流が、ガス源 1 3 8 によって供給される中性ガスへと流入すると、プラズマの領域が開いた端部において導体 1 3 2 及び 1 3 4 の周囲で生成され、幾つかの実施態様で、プラテン 1 0 5 と導管 1 3 5 の端部との間で電界が発生し、ガスが導管 1 3 5 を出る際にプラズマ 1 4 8 が発生する。そのような実装形態では、少なくとも、導管 1 3 5 の開いた端部 1 5 1、例えば、内側導体 1 3 4 のプラテンにより近い端部が電極の 1 つとして機能し、プラテン 1 0 5 が対極として作用する。上記のように、内側導体 1 3 4 及び外側導体 1 3 2 は、同じ電位であるように電気接続され得る。しかしながら、外側導体 1 3 2 が内側コネクタ 1 3 4 に電気接続されない場合には、外側導体 1 3 2 は浮遊しているか又は接地に連結されていてもよい。外側導体 1 3 2 が内側コネクタ 1 3 4 に電気接続されず、内側導体 1 3 4 が外側導体 1 3 2 よりも短い実装形態においては、外側導体 1 3 2 が電極 1 3 3 として作用し得る。

30

【 0 0 5 3 】

プラズマが導管 1 3 5 内で生成される実装形態においては、導管 1 3 5 は、ガスが導管を通流するか又は導管を流れ出る際にガスをイオン化する一以上の電極 1 3 3 を含み得る。そのような実装形態で、電極 1 3 3（例えば、電極及び対極）は導管 1 3 5 内に位置してもよい（図 1 B を参照）。この場合、電極 1 3 3 の一方又は両方が導管 1 3 5 内に位置し得るが、内側導体 1 3 4 の内面から離間され得る。

40

【 0 0 5 4 】

幾つかの実施態様で、導管 1 3 5 は、導体である代わりに誘電性の材料で形成されてもよい。この場合、電極 1 3 3 のうちの一以上が、開いた端部 1 5 1 に、又は導管 1 3 5 の内面に設けられ得る。

【 0 0 5 5 】

幾つかの実施態様で、ガス源 1 3 8 は電極を含み得、ガスがガス送達システム 1 3 6 を通じて内側導体 1 3 4 へと送達される前にガスをイオン化し得る。

【 0 0 5 6 】

外側導体 1 3 2 及び内側導体 1 3 4 は金属製であり得る。導体 1 3 2 及び 1 3 4 は同じ金属で作製されてもよく、異なる金属で作製されてもよい。一般に、適切な電力及び周波数の RF 信号を、導管 1 3 5 及び / 又はプラテン 1 0 5 及び / 又は導管 1 3 5 内に配置さ

50

れた電極に印加することにより、ガス源 1 3 8 によって供給されたガスから生じたプラズマ 1 4 8 が形成され得る。

【 0 0 5 7 】

一方の電極に印加されるより高い高周波駆動電圧が、プラズマ中のイオンのフラックスを制御することができる一方、対極に印加されるより低い高周波駆動電圧は、プラズマ中のイオンのエネルギーを制御できる。

【 0 0 5 8 】

R F 源 1 5 0 によって R F バイアスがプラテン 1 0 5 に提供されて、供給材料 1 1 4 の周囲の電荷の境界層であるシースを形成し得る。電荷の境界層は、プラズマから、反対の電荷を帯びたイオンを引き付け得る。イオンが供給材料に衝突すると、イオンは、溶融した供給材料に化学反応を引き起こし得る。供給材料の化学的改質が、レーザビーム 1 2 4 による供給材料の溶融と同時に起こり得る。

10

【 0 0 5 9 】

一例として、供給材料 1 1 4 はチタンであり得る。窒化チタンは一般的にチタンよりも硬い材料である。付加製造された部品の特定の領域が硬い表面を有する（例えば、窒化チタンで形成される）ことが望まれることがある。この場合、ガス源 1 3 8 によって窒素が供給されて、窒素イオン N_2^+ 又は N^+ に加えて窒素ラジカルを含み得るプラズマが生成され得る。これらの窒素核種がチタンと局所的に反応し、常温又はやや高温（例えば、室温 ~ 3 0 0 ）で窒化チタンを形成する。

20

【 0 0 6 0 】

イオンは、供給層の、製造されているボディの表面に対応する部分に印加され得る。これによりボディ表面にコーティングが生成される。例えば、チタン部品が T i N コーティングで被覆され得る。

【 0 0 6 1 】

供給材料に化学反応を生じさせることに加えて又は替えて、 $T i_x F_y$ などのエッチャントラジカルが用いられて溶融した供給材料の表面仕上げを改良してもよい。エッチャントラジカルは第 2 のガス源から生じ得、第 2 のガス源は、第 2 のガス注入口によって同軸ポイントレーザ・プラズマ源にインターフェースされている。C A D プログラムからの指示に応じて何れのガスが導管 1 3 5 に流入するかを制御するために、コントローラ 1 3 0 が各ガス源のバルブに連結される。例えば、エッチャントラジカルが、溶融した供給材料の表面粗さを調整し得る。例えば、エッチャントラジカルが、3 0 1 0 0 マイクロインチの表面粗さを有する表面を生成し得る。エッチャントラジカルの使用により、少量の溶融した供給材料の除去が支援され、表面粗さがより低い表面が残される。

30

【 0 0 6 2 】

或いは、溶融した供給材料の表面に当たるイオンの密度を調整することにより、溶融した供給材料の表面粗さが増大し得る。例えば、エッチャントが材料をランダムに除去する場合、表面粗さが増した窪みのある表面を残す。例えば、外側導体 1 3 2、内側導体 1 3 4、及び / 又は電極 1 3 3 に印加される R F 電圧の周波数を変化させることにより、溶融した供給材料の表面により少量のイオンが当たり、表面に更に空間のあいた不規則性を生じさせて表面粗さが増すように、プラズマのフラックスが低減され得る。溶融した供給材料の表面粗さが増すことにより、溶融した供給材料の上部に堆積する新しい供給材料の層の粘着性又は付着性が向上し得る。

40

【 0 0 6 3 】

幾つかの実施態様で、開いた端部 1 5 1 の近傍に形成されたプラズマ中のイオンは、更なる加速又は案内なしにプラテン 1 0 5 へと進み得る。

【 0 0 6 4 】

幾つかの実施態様で、ガスが内側導体を通じて出ていく際にプラテンがガス流（例えば、プラズマ中のイオン）を加速させるのを助ける前に、追加のデバイスが組み込まれてもよい。

【 0 0 6 5 】

50

例えば、図 1 C に示すように、同軸レーザ・ガス源 2 0 1 は、同軸ポイントレーザ・プラズマ源 1 3 1 a と同様、レーザ源 1 2 6 とガス源 1 3 8 とを有し、レーザビーム 1 2 4 とガスが共通の軸に沿ってソース 2 0 1 から生じる。ガス源 1 3 8 からのガスのイオン化はオプションであるが、同軸レーザ・プラズマ源 1 3 1 a について上記したのと同じようになされてもよい。

【 0 0 6 6 】

同軸レーザ及びガス源 2 0 1 は、外側導体 2 0 7 及び内側導体 2 0 9 の、プラテン 1 0 5 により近い開いた端部 2 0 5 において、ノズル 2 0 3 などのデバイスも含む。ノズル 2 0 3 はガス流を、内側導体 2 0 6 を出る際に加速させるように構成される。幾つかの実施態様で、ノズルは、超音速のガス流を引き起こすように構成される。例えば、ノズル 2 0 3 は、ドラバルノズル、先細末広ノズル、C D ノズル、又は c o n d i ノズルであり得る。幾つかの実施態様で、ドラバルノズル 2 0 3 は、中間部がすばめられて精密にバランスのとれた非対称の砂時計型を有するチューブであり得る。ノズル 2 0 3 は、例えばノズル 2 0 3 を通過するイオンの粒子ビーム 2 2 0 を加速させてより大きな軸方向の速度を得るために用いられる。この方式で、粒子ビームの運動エネルギーは、付加製造された部品の層の表面における材料の除去（例えば、表面研磨）を、その領域がレーザビームによって溶融されるのと同時に引き起こす。

10

【 0 0 6 7 】

レーザ・プラズマ源 1 3 1、及び / 又は、レーザ及びガス源 2 0 1 の分解能は、ミリメートル級であり得、更にミクロン級であり得る。言い換えれば、供給材料の化学反応は、付加製造される部品の数ミリメートルに局所化され得るので、製造される部品の化学組成に優れた空間的制御がもたらされる。供給材料の化学反応は、例えば、ガスの流量又は組成を調整すること、又は、印加される電圧を制御してイオンの運動エネルギーを制御することによって、制御され得る。この調整は、組み合わせられたレーザ・プラズマ源 1 3 1 がプラテン 1 0 5 を走査する際に実施され得るので、供給材料の化学的性質に層内での制御がもたらされる。更に、レーザ源 1 2 6 がガス及び / 又はプラズマとは独立に制御され得るので、レーザ 1 2 4 によって溶融された全領域がガス又はイオンによって処置される必要がなく、ガス又はイオンが、レーザ 1 2 4 によって溶融されない領域に印加され得る。

20

【 0 0 6 8 】

上述のように、プラテンに R F バイアスが印加され、溶融した材料部分へと荷電イオンを加速させ得る。この方式で、イオンは溶融した材料部分に進入し、供給材料の熱アニールによって生成された（レーザビーム 1 2 4 によって生じた）応力を引き起こすか又は解放し得る。一般に、アルゴン又はヘリウムなどの中性分子が、表面に如何なる化学的改質も引き起こすことなく、表面研磨に用いられ得る。そのような中性分子が用いられる場合、R F 電源 1 4 2 はオフにされ得、ガス供給 1 3 8 からの中性分子は単純に、溶融した供給材料の表面に当たる前に、ドラバルノズル 2 0 3 を通じて加速し得る。中性分子が用いられる場合、これらの（又は他の）分子の、溶融される供給材料の層への拡散が、プラテンにバイアスを印加せずとも発生し得る。例えば、分子は、レーザ溶融 / 焼結によって生成された高温の溶融した供給材料の層へと直接拡散し得る。

30

【 0 0 6 9 】

上述の能力は、付加製造された導管の内面の化学組成及び / 又は表面仕上げを改質する用途に特に適している。例えば、図 3 B は、付加製造された導管の 1 つの層を構成する供給材料の層 2 8 0 の上面図を示す。導管は内壁 2 8 2 を有する。内壁 2 8 2 は、もとの供給材料 1 1 4 を化学的に改質することにより得られた材料 2 8 4 で作製され得る。付加製造プロセス中に内壁 3 2 2 が容易に化学的に改質され得ることは、上述の方法の利点の 1 つである。

40

【 0 0 7 0 】

幾つかの実施態様で、ガス送達システム 1 3 6 を制御して導管 1 3 5 のガス注入口に入るガスの流量又はガスの組成を調整するために、コントローラ 1 3 0 が用いられ得る。幾つかの実施態様で、電極 1 3 3 及び / 又はプラテン 1 0 5 に印加される電圧を調整する

50

のにコントローラ 130 が用いられ得る。調整は、供給材料の特定の層 (Z 位置) 上のレーザービームの位置 (x y 位置) との組み合わせでなされ得る。この方式で、製造される部品の所望の化学組成は、特定の供給層内の横方向の (x y) 位置に応じて変化し得る。

【0071】

例えば、一よりも多い種類のガスをレーザー・プラズマ源 131 に送達するために、レーザー・プラズマ源 131 は、それぞれ追加のガス源に連結された追加のガス注入口を含み得る。この方式で、例えば、供給材料のある特定の x y 位置が、供給材料の層のその位置に酸素のフローがレーザー・プラズマ源 131 を通じて送達されると、酸化され得る。

【0072】

一例として、供給材料がチタンである場合、供給材料の層上の特定の位置が酸素と反応して酸化チタンが形成され得る。酸素のフローが停止され、窒素のフローが開始されて、供給材料の層の別の位置に窒化チタンが作製され得る。

【0073】

付加製造される部品の表面の化学的改質、又は表面粗さの変更に加えて、ポイントプラズマ源は、製造される部品の部分を除去することによる除去加工にも使用され得る。この方式で、除去加工プロセスを用いて、製造される部品の解像度が向上し得る。例えば、図 3 A に示すように、溶融した供給材料の隣接する 2 つの「ピクセル」250 が矢印 252 で示されている。図 3 A に示すように、除去加工プロセスを用いて、隣接する「ピクセル」258 の解像度がより高まった新しい表面形状 256 を作成することができる。除去加工プロセスは、 Ti_xF_y などのエッチャントを用いて化学的に行われ、且つ/又は溶融した供給材料を除去するのに十分に高いレーザー出力を用いてなされ得る。除去加工プロセスは、付加製造プロセスが実施された後に層に対して実施され得る。従って、同じ装置を用いて同じ層に対して、付加製造及び除去加工を順に実施することができる。

【0074】

この方式で、方法及び装置は、付加製造される部品内のすべての点の化学組成及び表面粗さの完全な 3 次元 (x, y, z) 制御を可能にする。

【0075】

作動時、各層が堆積され熱処理された後、層の厚みに実質的に等しい量、プラテン 105 が下降される。次いで、ディスペンサ 104 が、垂直の方向の並進を必要とせず、プラテンを水平に走査して、前に堆積した層を覆う新しい層を堆積する。次に当該新しい層が熱処理されて供給材料を溶融する。完全な 3 次元物体が製造されるまで、このプロセスが反復され得る。供給材料の熱処理により得られた溶融した供給材料が、付加製造された物体をもたらす。

【0076】

図 2 A に示すように、ディスペンサアセンブリ 104 で使用され得るディスペンサ 204 はシングルポイントディスペンサであり得、ディスペンサは、プラテン 105 の x 及び y 方向に並進させられて、供給材料のすべての層 206 をプラテン 105 上に堆積し得る。

【0077】

或いは、図 2 B に示すように、ディスペンサアセンブリ 104 で使用され得るディスペンサ 214 は、プラテンの幅のラインディスペンサであり得る。例えば、ディスペンサ 214 は、個々に制御可能な開口部の線形アレイ、例えば、ノズルを含み得る。ディスペンサ 214 は、1 つの次元でのみ、例えばディスペンサの長軸に実質的に直角の次元に沿ってのみ並進させられて、供給材料のすべての層をプラテン上に堆積し得る。

【0078】

或いは、図 2 C 2 D に示すように、ディスペンサアセンブリ 104 で使用され得るディスペンサ 224 は、個々に制御可能な開口部、例えばノズルの 2 次元アレイを含む。例えば、ディスペンサ 224 は大面積ボクセルノズル印刷 (L A V o N) であり得る。L A V o N 224 は、完全な 2 次元の供給材料層を同時に堆積することを可能にする。L A V

10

20

30

40

50

o N 2 2 4 は、バルクシリコン 2 2 6 で形成された、S i 貫通電極 (T S V) 2 2 8 の d e n s e なグリッドであり得る。各 T S V 2 2 8 は、供給材料 2 0 6 が T S V 内で保持されるように、適切な電圧が印加されると特定の 2 2 8 の出口開口部を閉じる圧電ゲート 2 3 0 によって制御され得る。T S V 2 2 8 に異なる電圧が印加されると、圧電ゲート 2 3 0 は、特定の T S V 2 2 8 の出口開口部を開いて、供給材料をプラテン上に堆積させ得る。L A V o N 2 2 4 の各 T S V 2 2 8 は、製造される物体を定めた C A D ファイルに基づいてコントローラから生成される制御信号によって、個々にアクセスされる。L A V o N 2 2 4 は、単一の供給材料のみを堆積するために用いられ得る。そのような場合、製造される物体が存在しない領域、又は製造される物体を超える領域には供給材料が堆積されない。図 2 B 2 D に示す実施形態では、供給材料のプラテン上への堆積プロセスがスピードアップし得る。

10

【 0 0 7 9 】

製造される部品の厚さ (z) 方向に沿った化学組成を制御するのに、図 1 A 及び 1 B に示すポイントプラズマ源に代わり、図示のような大面積バックグラウンドプラズマが使用されてもよい。「大面積」とは、プラズマが供給材料の層の実質的に全体をカバーすることを意味する。

【 0 0 8 0 】

図 3 C に示すように、付加製造システム 3 0 0 は、図 1 A の付加製造システム 1 0 0 と同様であるが、大面積バックグラウンドプラズマ発生システム 3 0 2 を含む。付加製造システム 3 0 0 は、チャンバ 1 0 3 を画定するチャンバ壁 3 0 4 を含む。

20

【 0 0 8 1 】

大面積バックグラウンドプラズマは、プラズマ発生システム 3 0 2 によって生成され得る。プラズマ発生システム 3 0 2 は、電極 3 1 0、即ち、第 1 の電極を含む。電極 3 1 0 は、プラテン 1 2 0 上又はプラテン 1 2 0 内の導電層であり得る。これにより、図 1 A のピストン 1 0 7 と同様、電極 3 1 0 が垂直に並進させられることが可能になる。電極 3 1 0 はカソードとして作用する。

【 0 0 8 2 】

付加製造システム 3 0 0 は、対極 3 3 0、即ち、第 2 の電極も含む。対極 3 3 0 はアノードとして作用する。図 3 C では対極 3 3 0 がチャンバ 1 0 3 内で懸架されたプレートとして示されているが、対極 3 3 0 が他の形状を有するか、或いはチャンバ壁 3 0 4 の部分によって提供されていてもよい。

30

【 0 0 8 3 】

電極 3 1 0 及び / 又は対極 3 3 0 のうちの少なくとも一方は、R F 電源、例えば、R F 電圧源に連結され得る。例えば、電極 3 1 0 は R F 電源 3 1 2 に連結され、対極は R F 電源 3 3 2 に連結され得る。幾つかの実施態様で、電極 3 1 0 又は対極 3 3 0 のうちの一方は R F 電源に連結され、電極 3 1 0 又は対極 3 3 0 のうちの他方は接地されるか、或いはインピーダンス整合網に連結される。

【 0 0 8 4 】

適切な電力及び周波数の R F 信号を印加することにより、カソード 3 1 0 とアノード 3 3 0 との間の放電空間 3 4 2 にプラズマ 3 4 0 が形成される。プラズマは、正の粒子と負の粒子の電氣的に中性の媒体である (即ち、プラズマの全体としての電荷はおおよそゼロである)。プラズマ 3 4 0 は楕円状でのみ示されているが、これは図示のために過ぎない。一般に、プラズマは、電極 3 1 0 と対極 3 3 0 との間の、アノード表面近傍の「デッドゾーン」を除いた領域を満たす。

40

【 0 0 8 5 】

オプションとして、システム 3 0 0 は、例えば 5 0 ガウス ~ 4 0 0 ガウスの磁界を生み出す磁石アセンブリ 3 5 0 を含む得る。磁石アセンブリ 3 5 0 は、例えば、プラテン 1 2 0 の上面 3 1 6 の近傍に位置する、プラテン 1 2 0 中の永久磁石を含む得る。或いは、磁石アセンブリは、電磁石、例えば、チャンバ 1 0 3 の壁 3 0 4 の誘電体 (例えば、石英) 部分の外面の周囲に巻かれたアンテナコイルを含む得る。R F 電流がアンテナコイルを通

50

過させられる。印加された R F 電力により共振モードで作動すると、アンテナコイルは、チャンバ 1 0 3 内で軸方向磁界を発生させる。磁界は、荷電粒子、例えば、電子などの負の粒子を螺旋状の運動に制限し得る。

【 0 0 8 6 】

チャンバ壁 3 0 4 によって画定されるチャンバ 1 0 3 は、ハウジング 1 0 2 内に封止され得る。チャンバ壁 3 0 4 は、ハウジング 1 0 2 内のチャンバ 1 0 3 で、例えば真空環境が維持されることを可能にする。チャンバ 1 0 3 内からガスを排気するために、ハウジング 1 0 2 の真空ポンプが、真空通気口 3 0 6 により、チャンバ 1 0 3 に連結され得る。処理ガス、例えば、アルゴンもしくはヘリウムなどの非反応性ガス、又は酸素などの反応性ガスがガス注入口 3 0 8 を通じてチャンバ 1 0 3 に導入され得る。プロセスに応じて異なるガスがチャンバ 1 0 3 に導入され得る。

10

【 0 0 8 7 】

真空環境下でシステム 3 0 0 を作動させることにより、システム 3 0 0 内で生じるプロセスにより形成される材料の高品質な制御がもたらされ得る。しかしながらプラズマ 3 4 0 が大気圧下で生成されてもよい。

【 0 0 8 8 】

供給材料 3 1 4 をプラテン 1 0 5 上に堆積するために、ディスペンサアセンブリ 1 0 4 は、図 1 A に示すものと同様のもの、或いは、図 2 B 及び 2 C に示すような代替的なものを使用され得る。コントローラ 1 3 0 は、駆動システム（図示せず）、例えば、ディスペンサアセンブリ 1 0 4 に連結されたりニアアクチュエータを、同様に制御する。駆動システムは、作動中、ディスペンサアセンブリがプラテン 1 2 0 の上面に平行に前後に可動であるように構成される。

20

【 0 0 8 9 】

電極のうち的一方（カソード又はアノードの何れか）に、より高い周波数（例えば、5 0 M H z を上回る）の駆動電圧が印加され得る一方、他方の電極により低い周波数（例えば、2 0 M H z を下回る）バイアス電圧が印加され得る。一般に、より高い周波数の信号がプラズマフラックスを生み出す。より高い周波数 R F 駆動電圧は、より高いフラックス（即ち、プラズマ中により多くのイオン及び電子）を生み出す。より低い周波数 R F バイアス電圧は、プラズマ中のイオンのエネルギーを制御する。十分に低い周波数（例えば、2 M H z ）では、バイアス信号によってプラズマ中のイオンが、基板（例えば、シリコンウエハ）上に堆積した供給材料（例えば、アルミニウム粉末）を蒸発させるのに十分なエネルギーを有する。一方、より高い周波数バイアス信号（例えば、1 3 M H z ）では、供給材料の融解が生じ得る。R F 周波数及び印加のポイントを変化させることにより、供給材料の異なる融解性能が引き起こされ得る。融解性能は、供給材料の再結晶を決定付け、金属内に異なる応力及び異なる応力解放挙動を引き起こし得る。

30

【 0 0 9 0 】

図 1 A について述べたように、システム 3 0 0 は、供給材料 3 1 4 の層を走査するレーザビーム 1 2 4 を発生させる、レーザ源 1 2 6 を含み得る。レーザ源 1 2 6 はプラテン 1 0 5 に対して移動するか、或いは、レーザが例えば反照検流計によって偏向され得る。レーザビーム 1 2 4 は、供給材料 3 1 4 を融解させるのに十分な熱を発生させる。レーザ源 1 2 6 と大面積バックグラウンドプラズマシステム 3 0 2 との組み合わせにより、供給材料のすべての層を同時に化学的に改質、例えば、ドーピング又は酸化しつつ、どのボクセルが溶融されるかについて、例えば非一時的コンピュータ可読媒体に記憶された印刷パターンに応じた制御を維持することが可能となる。

40

【 0 0 9 1 】

プラズマの使用により、溶融した供給材料の特性が容易に制御されることが可能となる。例えば、供給材料の層が、プラズマからの選択的なイオン注入によりドーブされ得る。ドーピング濃度は、例えばシステム 1 0 0 又は 3 0 0 によって層ごとに、或いは、例えばシステム 1 0 0 によって供給材料の層内で、変化させることができる。イオンの注入は、供給材料の層中のポイント応力を解放又は引き起こすことを助け得る。ドーパントの例と

50

しては、リンが含まれる。

【 0 0 9 2 】

プラズマは、供給材料の粉末粒子と電極との間の間隙が、十分に大きい電圧を粉末上に発生させて電子又はイオンの供給材料上への衝突を生じさせるように、バイアスされ得る。衝突で使用される電子又はイオンはプラズマに由来し得、供給材料に D C 又は A C バイアスが印加されると、供給材料へと加速させられ得る。衝突は、層を処理するために用いられ得るか、或いは、材料のエッチング、供給材料の化学的改変（例えば、反応性イオンエッチング）、供給材料のドーピング（例えば、窒化物層の添加）、或いは、表面処理のために用いられ得る。

【 0 0 9 3 】

システム 1 0 0 及び 3 0 0 は、シリコン、酸化ケイ素、又は窒化ケイ素粉末の融解に使用され得、これにシリコン、酸化ケイ素、又は窒化ケイ素層が後続する。

【 0 0 9 4 】

図 1 A 又は 3 A を参照すると、システム 1 0 0 又は 3 0 0 のコントローラ 1 3 0 は、システムの様々な構成要素、例えば、アクチュエータ、バルブ、及び電圧源に連結されており、それらの構成要素に対する信号を発生させて動作を調整し、システムに様々な機能動作又は上述のステップのシーケンスを実行させる。コントローラは、デジタル電子回路、又は、コンピュータソフトウェア、ファームウェア、もしくはハードウェアで実装され得る。例えば、コントローラは、コンピュータプログラム製品、例えば非一時的機械可読記憶媒体に記憶された、コンピュータプログラムを実行するプロセッサを含み得る。そのようなコンピュータプログラム（プログラム、ソフトウェア、ソフトウェアアプリケーションまたはコードとしても知られている）は、コンパイルまたは翻訳された言語を含むプログラミング言語の任意の形で書くことができ、また独立型プログラムとして、またはモジュール、構成要素、サブルーチン、もしくは計算環境で使用するのに適している他のユニットとして配置することを含め、任意の形で配置することができる。

【 0 0 9 5 】

上記のように、コントローラ 1 3 0 は、各層について供給材料が堆積されるべきパターンを識別するデータオブジェクト、例えばコンピュータ支援設計（C A D）適合ファイルを記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体を含み得る。例えば、データオブジェクトは、S T L 形式ファイル、3 D 製造形式（3 M F）ファイル、又は付加製造ファイル形式（A M F）ファイルであり得る。例えば、コントローラは、データオブジェクトをリモートのコンピュータから受け取り得る。コントローラ 1 3 0 中のプロセッサは、例えばファームウェア又はソフトウェアにより制御され、コンピュータから受け取ったデータオブジェクトを解釈して、システムの構成要素を制御するのに必要な信号のセットを生成し、各層について特定されたパターンが印刷され得る。

【 0 0 9 6 】

金属及びセラミックの付加製造の処理条件は、プラスチックのものとは大きく異なる。例えば、一般に、金属及びセラミックでは大幅に高い処理温度が要求される。例えば、金属は、約 4 0 0 ° C 以上、例えばアルミニウムでは 7 0 0 ° C の温度での処理が必要となる。更に、金属の処理は、例えば、酸化を防ぐために真空環境でなされるべきである。従って、プラスチックの 3 D 印刷技術は金属又はセラミックの処理には適用できず、機器も適切でないことがある。更に、製造条件は、大型の工業部品では更に厳格となり得る。

【 0 0 9 7 】

しかしながら、本明細書に記載の技術の幾つかはプラスチック粉末に適用可能であり得る。プラスチック粉末の例としては、ナイロン、アクリロニトリルブタジエンスチレン（A B S）、ポリウレタン、アクリレート、エポキシ、ポリエーテルイミド、ポリエーテルエーテルケトン（P E E K）、ポリエーテルケトンケトン（P E K K）、ポリスチレン、又はポリアミドが含まれる。

【 0 0 9 8 】

別々の実施形態の文脈で述べられた特定の特徴は、単一の実施形態での組合せで実装さ

10

20

30

40

50

れてもよく、或いは逆に、単一の実施形態の文脈で述べられた様々な特徴が、その実施形態のその他の特徴なしに単独で実装されてもよい。

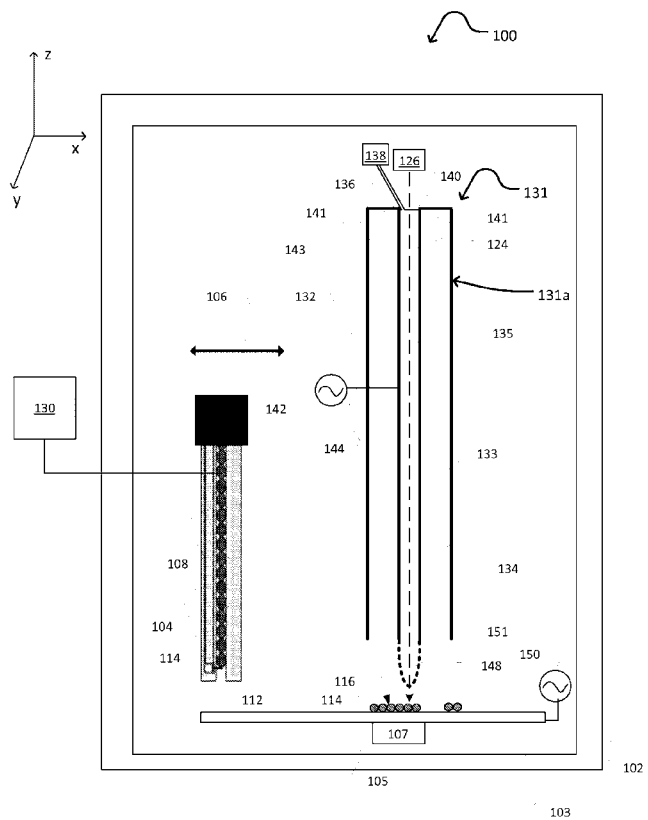
【 0 0 9 9 】

例えば、材料組成が空間的に変化する部品の製造は潜在的に有利であるものの、均一な材料組成を有する部品を作製する際に、システムは例えば、レーザと組み合わせてプラズマ及び／又はガスを用いて材料形成の組み合わせを可能にするなどの他の利点を有する。

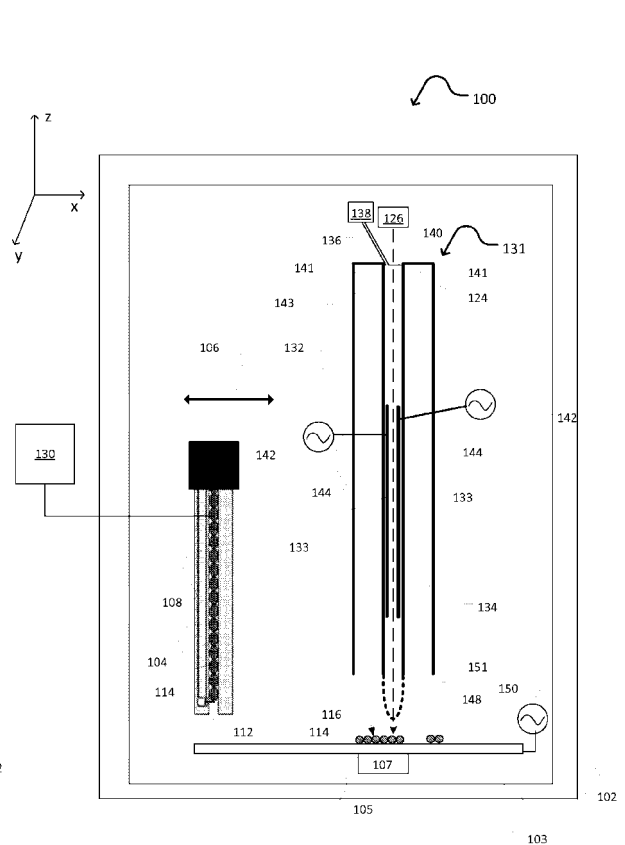
【 0 1 0 0 】

幾つかの実装態様について記載した。それでもなお、様々な修正を行うことができるということが理解されよう。従って、他の実施形態もまた下記の特許請求の範囲内にある。

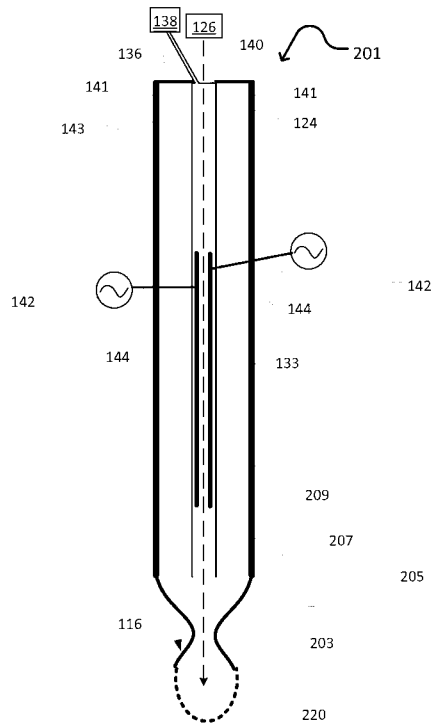
【 図 1 A 】



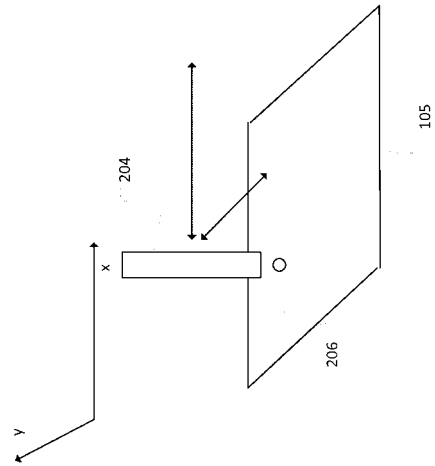
【 図 1 B 】



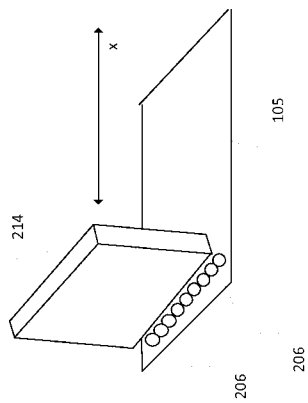
【図 1 C】



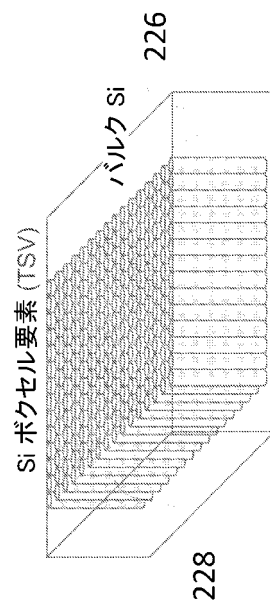
【図 2 A】





【図 2 B】



【図 2 C】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2015/040808
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B22F 3/105(2006.01)I, B33Y 30/00(2015.01)I, B33Y 50/02(2015.01)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) B22F 3/105; B29C 71/04; B23K 9/00; B23K 9/02; C22C 29/08; B23K 26/00; B23K 15/00; B05B 5/025; B29C 35/08; B33Y 30/00; B33Y 50/02 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & Keywords: 3D printing, additive manufacturing, laser, gas, plasma, ionize, powder, sintering, fuse and etching		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007-0122562 A1 (ADAMS, ROBBIE J.) 31 May 2007	1-3, 6-13, 15
Y	See paragraphs [0007]-[0008], [0015]-[0017], [0027] and figure 1.	4-5, 14
Y	US 2012-0234802 A1 (WAHL et al.) 20 September 2012	4-5, 14
	See paragraph [0038]; claim 1; and figure 2.	
A	US 2004-0182202 A1 (GEVING et al.) 23 September 2004	1-15
	See paragraphs [0033]-[0039].	
A	US 8282377 B2 (HIGASHI et al.) 09 October 2012	1-15
	See abstract; claim 1; and figure 1.	
A	US 2010-0193480 A1 (ADAMS, ROBBIE JOSEPH) 05 August 2010	1-15
	See paragraphs [0008]-[0012] and figures 1-2.	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 30 August 2016 (30.08.2016)		Date of mailing of the international search report 01 September 2016 (01.09.2016)
Name and mailing address of the ISA/KR  International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer BAE, Geun Tae  Telephone No. +82-42-481-3547

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2015/040808

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007-0122562 A1	31/05/2007	US 7326377 B2	05/02/2008
US 2012-0234802 A1	20/09/2012	CN 102695577 A	26/09/2012
		EP 2477780 A1	25/07/2012
		WO 2011-029462 A1	17/03/2011
US 2004-0182202 A1	23/09/2004	US 2004-0184944 A1	23/09/2004
		US 2004-0226405 A1	18/11/2004
		US 6814926 B2	09/11/2004
		WO 2004-094089 A1	04/11/2004
US 8282377 B2	09/10/2012	DE 102009038255 A1	04/03/2010
		DE 202009018133 U1	17/02/2011
		JP 2010-046694 A	04/03/2010
		JP 5301217 B2	25/09/2013
		US 2010-0044922 A1	25/02/2010
US 2010-0193480 A1	05/08/2010	EP 2213401 A1	04/08/2010

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 3 3 Y 30/00 (2015.01)	B 3 3 Y 30/00	
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)	B 3 3 Y 10/00	
B 3 3 Y 50/00 (2015.01)	B 3 3 Y 50/00	

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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

(72) 発明者 スブラマニ , アナンタ ケー .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 1 3 5 , サン ノゼ , メルロー コート 4 2 4 5

(72) 発明者 クリシュナン , カシラマン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 3 5 , ミルピタス , カーレ ヴィスタ ヴェルデ 2 1 1 9

(72) 発明者 サン , ジェニファー ワイ .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 0 4 1 , マウンテン ビュー , オーク ハイブン ブレイス 1 0 6

(72) 発明者 ブレゾツキー , トーマス ビー .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 3 0 , ロス ガトス , ラッキー ロード 1 6 4 6 0

(72) 発明者 ローランド , クリストファー エー .
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1 9 6 6 , ロックポート , ハイフィールド レーン 3

(72) 発明者 ネマニ , シュリーニヴァース ディー .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 0 8 7 , サニーベール , ファーン リッジ コート 5 0 4

(72) 発明者 スリニバサン , スワミナタン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 5 6 6 , プレザントン , ランブルウッド ウェイ 1 5 5 4

(72) 発明者 ヤーフェルベルク , サイモン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 1 4 , クパチーノ , プラムツリー レーン 1 0 3 5 5

(72) 発明者 イー , エリー ワイ .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 1 3 8 , サン ノゼ , ピストア ウェイ 5 8 8 8

(72) 発明者 ウン , ホウ ティー .
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 0 8 , キャンベル , キース ドライブ 4 0 6 8

F ターム(参考) 4E168 BA35 BA81 BA86 BA87 BA90 FB06

4K018 AA06 AA07 AA10 AA33 AA40 BA03 BA04 BA17 BA20 CA33
 CA44 EA51 EA60 FA21 FA24