

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6046645号
(P6046645)

(45) 発行日 平成28年12月21日(2016.12.21)

(24) 登録日 平成28年11月25日(2016.11.25)

(51) Int.Cl. F I
FO3H 99/00 (2009.01) FO3H 99/00 B
B64D 27/24 (2006.01) B64D 27/24

請求項の数 26 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2013-556870 (P2013-556870)	(73) 特許権者	512056131
(86) (22) 出願日	平成24年3月1日(2012.3.1)		ゲーム・チェンジャーズ・リミテッド・ラ
(65) 公表番号	特表2014-514482 (P2014-514482A)		イアビリティ・カンパニー
(43) 公表日	平成26年6月19日(2014.6.19)		GAME CHANGERS, LLC
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/027324		アメリカ合衆国10016ニューヨーク州
(87) 国際公開番号	W02012/118994		ニューヨーク、イースト・サーティーフア
(87) 国際公開日	平成24年9月7日(2012.9.7)		ースト・ストリート41番
審査請求日	平成27年2月16日(2015.2.16)	(74) 代理人	100101454
(31) 優先権主張番号	61/448, 621		弁理士 山田 卓二
(32) 優先日	平成23年3月2日(2011.3.2)	(74) 代理人	100081422
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100100479
			弁理士 竹内 三喜夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散型マイクロクラスタのための耐故障性制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の平行な水平列および垂直列に配置された複数のマイクロクラスタの動作を制御するための制御システムであって、

電源と、

電源に接続され、複数の平行な水平列のそれぞれの水平列にある複数のマイクロクラスタの分散型マイクロクラスタに接続された複数の第1の電源ラインと、

電源に接続され、複数の平行な垂直列のそれぞれの垂直列にある複数のマイクロクラスタの分散型マイクロクラスタに接続された複数の第2の電源ラインと、

電源に接続され、複数の第1の電源ラインの駆動および複数の第2の電源ラインの駆動を制御する制御ユニットとを備え、

複数の第1の電源ラインおよび複数の第2の電源ラインが複数の部位で交差し、

複数の第1の電源ラインのうちの選択された電源ラインおよび複数の第2の電源ラインのうちの選択された電源ラインが駆動されたときに電気回路が構成され、

電気回路は複数のマイクロクラスタのうちの選択された少なくとも1つのマイクロクラスタを駆動し、

それぞれのマイクロクラスタは、

積層体を構成する少なくとも1つの第1および第2の層と、ここで上記積層体は該積層体を通り形成された貫通孔を含む、

高温層および低温層を構成するために第1および第2の層を加熱および/または冷却す

10

20

る手段と、を含み、

各高温層の表面および各低温層の表面は、少なくとも1つの貫通孔の内面において露出する、

ことを特徴とする制御システム。

【請求項2】

電源は電池を含むことを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項3】

制御ユニットは、中央演算ユニットを含むことを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項4】

複数のマイクロスラストのそれぞれは、1つのナノ分子固体電気力学的スラスト(NMSET)デバイスまたは一群のNMSETデバイスであることを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項5】

低温層は、高温層より低い温度を有し、貫通孔の全体長は、NMSETデバイスを包含するガスの平均自由行程の10倍未満であり、1500nm以下であることを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項6】

電源に接続され、複数のマイクロスラストのうち、複数の第1の電源ラインに接続された同一の分散型マイクロスラストに接続された複数の第3の電源ラインと、

電源に接続され、複数のマイクロスラストのうち、複数の第2の電源ラインに接続された同一の分散型マイクロスラストに接続された複数の第4の電源ラインと、

複数の第3の電源ラインおよび複数の第4の電源ラインの駆動が制御ユニットにより制御されることを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項7】

複数の第3の電源ラインのそれぞれは、複数の第1の電源ラインに冗長なものであることを特徴とする請求項6に記載の制御システム。

【請求項8】

複数の第4の電源ラインのそれぞれは、複数の第2の電源ラインに冗長なものであることを特徴とする請求項6に記載の制御システム。

【請求項9】

複数の第1または第2の電源ラインの少なくとも1つの電源ラインにおける故障を検出する故障検出デバイスをさらに有し、

故障検出デバイスは、故障を検出するために制御ユニットに接続されることを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項10】

制御ユニットは、複数の第1または第2の電源ラインの少なくとも1つの電源ラインにおける故障を検出し、複数の第3または第4の電源ラインのうち、故障が検出された電源ラインに対応する電源ラインを制御して、電気回路を形成し、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動することを特徴とする請求項6に記載の制御システム。

【請求項11】

制御ユニットは、複数のマイクロスラストのうち選択された複数のマイクロスラストを同時に制御することを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項12】

電気回路は、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを加熱することにより、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動することを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項13】

複数のマイクロスラストは、複数の導電性領域を有し、

各導電性領域をヒートバリアで包囲することにより、電気回路が複数の導電性領域のう

10

20

30

40

50

ちの少なくとも1つの導電性領域を駆動し、駆動された少なくとも1つの導電性領域が他の導電性領域とは絶縁されることを特徴とする請求項11に記載の制御システム。

【請求項14】

複数の平行な水平行および垂直列に配置された複数のマイクロスラストの動作を制御する方法であって、この方法は、

複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップと、ここでこの複数の第1の電源ラインのそれぞれは、電源に接続され、かつ複数の平行な水平行のうちの1つの水平行にある複数のマイクロスラストの分散型マイクロスラストに接続される、

複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップと、ここでこの複数の第2の電源ラインのそれぞれは、電源に接続され、かつ複数の平行な垂直列のうちの1つの垂直列にある複数のマイクロスラストの分散型マイクロスラストに接続される、

複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインおよび複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインからなる電気回路を構成するステップと、
電気回路を介して選択された少なくとも1つのマイクロスラストを駆動するステップとを有し、

複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップ、および複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップは、制御ユニットにより制御され、

それぞれのマイクロスラストは、

積層体を構成する少なくとも1つの第1および第2の層と、ここで上記積層体は該積層体を通り形成された貫通孔を含む、

高温層および低温層を構成するために第1および第2の層を加熱および/または冷却する手段と、を含み、

各高温層の表面および各低温層の表面は、少なくとも1つの貫通孔の内面において露出する、

ことを特徴とする方法。

【請求項15】

電源は電池を含むことを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項16】

制御ユニットは、中央演算ユニットを含むことを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項17】

複数のマイクロスラストのそれぞれは、1つのナノ分子固体電気力学的スラスト(NMSET)デバイスまたは一群のNMSETデバイスであることを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項18】

低温層は、高温層より低い温度を有し、

貫通孔の全体長は、NMSETデバイスを包含するガスの平均自由行程の10倍未満であり、1500nm以下であることを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項19】

複数のマイクロスラストのうちの、複数の第1の電源ラインに接続された同一の分散型マイクロスラストに接続された複数の第3の電源ラインに電源を接続するステップと、

複数のマイクロスラストのうちの、複数の第2の電源ラインに接続された同一の分散型マイクロスラストに接続された複数の第4の電源ラインに電源を接続するステップとを有し、

制御ユニットが複数の第3の電源ラインおよび複数の第4の電源ラインの駆動を制御することを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項20】

複数の第3の電源ラインは、複数の第1の電源ラインに冗長なものであることを特徴と

10

20

30

40

50

する請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

複数の第 4 の電源ラインは、複数の第 2 の電源ラインに冗長なものであることを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 22】

複数の第 1 または第 2 の電源ラインの少なくとも 1 つの電源ラインにおける故障を検出するステップをさらに有し、

故障は、制御ユニットに接続された故障検出デバイスにより検出されることを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【請求項 23】

少なくとも 1 つの選択されたマイクロスラストを駆動するために、複数の第 3 の電源ラインのうち少なくとも 1 つの電源ラインまたは複数の第 4 の電源ラインのうち少なくとも 1 つの電源ラインを制御ユニットによって制御するステップをさらに有することを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

【請求項 24】

複数のマイクロスラストのうち選択された複数のマイクロスラストを同時に制御するステップをさらに有することを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【請求項 25】

少なくとも 1 つの選択されたマイクロスラストを加熱することにより、少なくとも 1 つの選択されたマイクロスラストを電気回路によって駆動するステップをさらに有することを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【請求項 26】

複数のマイクロスラストは、複数の導電性領域を有し、

各導電性領域をヒートバリアで包囲することにより、電気回路が複数の導電性領域のうちの少なくとも 1 つの導電性領域を駆動し、駆動された少なくとも 1 つの導電性領域が他の導電性領域とは絶縁されることを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(相互参照)

本願は、2009年9月3日付けで出願された米国仮特許出願第61/239,446号、2009年11月27日付けで出願された米国仮特許出願第61/264,778号、2010年1月19日付けで出願された米国仮特許出願第61/296,198号、2011年3月2日付けで出願された米国仮特許出願第61/448,621号、および2010年9月3日付けで出願されたPCT国際出願第US2010/002428号を参照するものであり、これらの開示内容は参考にここに一体のものとして統合される。本願は、2011年3月2日付けで出願された米国仮特許出願第61/448,621号に基づく優先権を主張するものである。

【0002】

(技術分野)

本願明細書は、ガス推進システムを制御するための方法および装置、ならびに真空形成、ガス圧縮、およびその他の利用に関するものである。

【背景技術】

【0003】

ガスの作用に関するデバイスが広く利用されている。最も初期の飛行機エンジンは、ピストン駆動式プロペラであった。こうしたエンジンは、ピストンエンジンをプロペラに連結することにより駆動するものであった。その簡便性により、ジェットエンジンが発明されるまで、ピストンエンジンは一般に普及した。ターボジェットエンジンは、タービンを燃料燃焼システムに連結するという原理に基づいて作動するものである。タービンが回転すると、空気混合燃料が圧縮され、これが燃焼すると、推進力およびトルクが発生し、タービンが回転する。初期のターボジェットエンジンは、エンジンから排出される排出ガス

10

20

30

40

50

により推進力を生むものであった。ターボジェットエンジンの最新の変形例として、ターボプロップエンジンおよびターボファンエンジンがあり、これらのエンジンは、排気ガスによる得られたトルクを用いてプロペラまたはファンを駆動するとともに、空気混合燃料を圧縮するものである。ロケットエンジンは、おそらくは最も古い機械式の推進システムの1つであり、開発以来あまり変わっていない。ロケットエンジンは、酸化剤混合燃料が内部充填（内部供給）されたチューブまたはコーンを有する。この酸化剤混合燃料が燃焼するときの膨張ガスにより推進力が得られる。すべての既存の推進システムの中で最も高い燃焼推進比が得られるロケットエンジンは、出力推進力の大きさを容易に変更することができない。またロケットエンジンの回転を駆動または停止する機能を追加しようとすると、その設計はきわめて複雑なものになる。

10

【0004】

2つの物質間の吸引力は、5つのタイプ、すなわち機械的、化学的、分散的、静電的、拡散的なものに分類される。現時点においては、これらの5つのタイプのうち、静電的吸引力および特定形式の機械的吸引力のみが容易に可逆的プロセスである。真空を用いて、物質の表面を吸引して、これを持ち上げることができる。しかし、こうしたデバイスは、一般に、減圧して物質表面に真空を引く装置（メカニズム）を必要とする。真空形成システムは、通常、真空ポンプ、制御バルブ、空気フィルタ、真空ゲージ、真空リザーブタンク、および電源を有する。ただし、吸引力を得るために真空を用いる利点は、形跡が残らない（残留物が無い）点にある。通常、他のタイプの吸引力は、吸引した形跡を残し、これは好ましくない場合が多い。

20

【0005】

また一般に、上述した従来式の推進システムは、ガスを圧縮するために用いることができる。ピストンまたはダイアフラムと同様、理想気体の法則に則って、ガスを圧縮することが可能である。現在あるデバイスは、加圧容器とは別体のポンプ装置を必要とする。

【0006】

温度差により、表面上にガスフローを形成できることは古くから知られていた。1873年、ウィリアム・クルックス卿（Sir William Crookes）は、熱および光の放射エネルギーを測定するためのラジオメータ（放射計）を開発した。現在、クルックスのラジオメータは、しばしば博物館の売店にてノベルティ商品として販売されている。それは、4つの羽根からなり、それぞれの羽根の一方の表面を黒く、他方の表面を白くしたものである。これらの羽根はロータ（回転子）に固定され、摩擦力がきわめて小さいため、回転することができる。この仕掛けは、透明ガラス球の中に収容され、ガラス球内の空気は、完全ではないが、ほとんど取り除かれている。光が羽根に当たると、黒色表面があたかも光によって押されているかのように、羽根車が回転する。

30

【0007】

クルックスは、当初、放射光が黒色表面に圧力を加えたために回転すると説明した。彼の論文は、ジェームズ・クラーク・マクスウェル（James Clerk Maxwell）により引用され、彼の電磁気理論に合致するようだとの説明を受け入れた。しかし、羽根の黒色表面に当たる光は吸収され、白色表面に当たる光は反射する。とすると、白色表面が黒色表面より2倍の放射圧力を受けることとなり、クルックスの当初の説明が正しければ、ラジオメータは反対方向に回転することになる。その後、他の不正確な説明が提唱されたが、現在でも主張されている。ある提案によれば、ガラス球内のガスが白色表面より黒色表面においてより強く加熱されるというものであった。羽根の黒色表面を押しているのは、より高温のガスの圧力であると提唱された。ただし、マクスウェルのより詳細な分析により、電磁気学的効果による純然たる力は形成されず、安定した気流が羽根の周りに形成されることが証明された。現在なお、広く主張されている別の不正確な説明は、黒色表面上の高温分子がより素早く運動して、羽根を押すというものである。

40

【0008】

クルックスのラジオメータの動きに関する正確な説明は、オズボーン・レイノルズが1879年初頭に王立学会に提出した論文に記述されている。彼は、「熱遷移」と称するプ

50

レートの対向表面の温度差に起因して、ガスのフローが多孔質プレートを貫通する点を説明した。均一な圧力を有するガスは、冷たい方から暖かい方へ多孔質プレートを貫通する。プレートが移動できない場合、平衡状態に達し、いずれか一方の表面上の圧力比は、絶対温度の平方根の比に等しい。レイノルズの論文は、クルックスのラジオメータについても説明した。ラジオメータの羽根の端部を考慮されたい。より暖かい表面の端部は、冷たい端部より大きな力を与え、ガス分子に対して斜めに衝突する。この効果により、端部表面における温度勾配の間でガスが移動することになる。羽根は、暖められたガスから遠ざかる方向に移動し、このときガスは羽根の端部周囲を反対方向に通過する。マクスウェルは、レイノルズの論文を引用しつつ、「温度格差に起因する熱平衡状態にある希薄なガスの応力について」と題する、彼自身の論文を書いて問いただした。レイノルズの功績を認めつつ、批判するマクスウェルの論文は、レイノルズの論文の発表前の1879年終わりに、王立学会の哲学議事録 (the Philosophical Transactions of the Royal Society) で公開された。フィリップ・ギブス著の「物理学と相関性についてのFAQ」(2006年) (math.ucr.edu/home/baez/physics/General/LightMill/light-mill.html.) を参照されたい。

10

【0009】

熱により表面上を移動するガスフローに関して、19世紀から始まるレイノルズおよびマクスウェルによる議論にも拘わらず、高温表面および低温表面の相互作用に起因するガスの運動に関する可能性は、未だ完全には理解されていない。クルックスのラジオメータの動きには、(圧力が大気圧よりはるかに低い)希薄なガスを必要とし、部分的には、厚みおよび多孔質プレートの無作為に配置された孔に起因して、多孔質プレートを貫通するガスフローは利用可能な推進力を形成しない。

20

【0010】

さらに所与の一連の多孔質プレートにおける熱遷移の適当な機能を制御するためには制御システムが必要である。制御システムにより、推進システムや真空システム等の数多くの用途に多孔質プレートを用いることができる。

【発明の概要】

【0011】

本明細書は、複数の平行な水平列および垂直列に配置された複数のマイクロスラストの動作を制御するための制御システムを開示する。この制御システムは、電源と、電源に接続され、複数の平行な水平列のうちの1つの水平列にある複数のマイクロスラストのうちの少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第1の電源ラインと、電源に接続され、複数の平行な垂直列のうちの1つの垂直列にある複数のマイクロスラストのうちの少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第2の電源ラインと、電源に接続され、複数の第1の電源ラインの駆動および複数の第2の電源ラインの駆動を制御する制御ユニットとを備える。

30

【0012】

さらに複数の第1の電源ラインおよび複数の第2の電源ラインが複数の部位で交差し、複数の第1の電源ラインのうちの選択された電源ラインおよび複数の第2の電源ラインのうちの選択された電源ラインが駆動されたときに電気回路が構成される。電気回路は複数のマイクロスラストのうちの選択された少なくとも1つのマイクロスラストを駆動する。

40

【0013】

1つの実施形態では、電源は電池を含む。

【0014】

別の実施形態では、制御ユニットは、中央演算ユニットを含む。

【0015】

さらに別の実施形態では、複数のマイクロスラストのそれぞれは、1つのNMSETPデバイスである。

【0016】

さらに別の実施形態では、制御システムは、電源に接続され、複数のマイクロスラスト

50

のうちの、第1の電源ラインに接続された同一の少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第3の電源ラインと、電源に接続され、複数のマイクロスラストのうちの、第2の電源ラインに接続された同一の少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第4の電源ラインとを有する。さらに複数の第3の電源ラインおよび複数の第4の電源ラインの駆動は、制御ユニットにより制御される。

【0017】

さらに別の実施形態では、複数の第3の電源ラインのそれぞれは、複数の第1の電源ラインに冗長なものである。

【0018】

別の実施形態では、複数の第4の電源ラインのそれぞれは、複数の第2の電源ラインに冗長なものである。

【0019】

さらに別の実施形態では、複数の第1または第2の電源ラインの少なくとも1つの電源ラインにおける故障を検出する故障検出デバイスをさらに有する。故障検出デバイスは、故障を検出するために制御ユニットに接続される。

【0020】

さらに別の実施形態では、制御ユニットは、複数の第1または第2の電源ラインの少なくとも1つの電源ラインにおける故障を検出し、複数の第3または第4の電源ラインのうち、故障が検出された電源ラインに対応する電源ラインを制御して、電気回路を形成し、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動する。

【0021】

さらに別の実施形態では、電気回路は、複数のマイクロスラストのうち選択された複数のマイクロスラストを同時に制御する。

【0022】

さらに別の実施形態では、電気回路は、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを加熱することにより、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動する。

【0023】

さらに別の実施形態では、複数のマイクロスラストは、複数の導電性領域を有し、各導電性領域をヒートバリアで包囲することにより、電気回路が複数の導電性領域のうちの少なくとも1つの導電性領域を駆動し、駆動された少なくとも1つの導電性領域が他の導電性領域とは絶縁される。

【0024】

本明細書は、複数の平行な水平列および垂直列に配置された複数のマイクロスラストの動作を制御する方法を開示する。この方法は、複数の平行な水平列のうちの1つの水平列にある複数のマイクロスラストのうちの少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップと、複数の平行な垂直列のうちの1つの垂直列にある複数のマイクロスラストのうちの少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップとを有する。

【0025】

さらに、この方法は、複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインおよび複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインからなる電気回路を構成するステップと、電気回路を介して選択された少なくとも1つのマイクロスラストを駆動するステップとを有する。制御ユニットは、複数の第1の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップ、および複数の第2の電源ラインのうちの少なくとも1つの電源ラインに電源を接続するステップを制御する。

【0026】

1つの実施形態では、電源は電池を含む。

【0027】

別の実施形態では、制御ユニットは、中央演算ユニットを含む。

10

20

30

40

50

【0028】

さらに別の実施形態では、複数のマイクロスラストのそれぞれは、1つのNMSETデバイスである。

【0029】

さらに別の実施形態では、NMSETデバイスは含む。

【0030】

さらに別の実施形態では、この方法は、複数のマイクロスラストのうちの、第1の電源ラインに接続された同一の少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第3の電源ラインに電源を接続するステップと、複数のマイクロスラストのうちの、第2の電源ラインに接続された同一の少なくとも1つのマイクロスラストに接続された複数の第4の電源ラインに電源を接続するステップとを有する。制御ユニットが複数の第3の電源ラインおよび複数の第4の電源ラインの駆動を制御する。

10

【0031】

さらに別の実施形態では、複数の第3の電源ラインは、複数の第1の電源ラインに冗長なものである。

【0032】

別の実施形態では、複数の第4の電源ラインは、複数の第2の電源ラインに冗長なものである。

【0033】

さらに別の実施形態では、この方法は、複数の第1または第2の電源ラインの少なくとも1つの電源ラインにおける故障を検出するステップをさらに有し、故障は、制御ユニットに接続された故障検出デバイスにより検出される。

20

【0034】

さらに別の実施形態では、この方法は、複数の第3の電源ラインのうち少なくとも1つの電源ラインまたは複数の第4の電源ラインのうち少なくとも1つの電源ラインを制御して、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動する制御ユニットを設けるステップをさらに有する。

【0035】

さらに別の実施形態では、この方法は、複数のマイクロスラストのうち選択された複数のマイクロスラストを同時に制御するステップをさらに有する。

30

【0036】

さらに別の実施形態では、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを加熱することにより、少なくとも1つの選択されたマイクロスラストを駆動する電気回路を設けるステップをさらに有する。

【0037】

さらに別の実施形態では、複数のマイクロスラストは、複数の導電性領域を有し、各導電性領域をヒートバリアで包囲することにより、電気回路が複数の導電性領域のうちの少なくとも1つの導電性領域を駆動し、駆動された少なくとも1つの導電性領域が他の導電性領域とは絶縁される。

【0038】

本願に係る他の詳細事項、目的、および利点は、現在のところ好適な特定の実施形態に係る以下の発明の詳細な説明から明らかである。

40

【0039】

本発明に係る方法、デバイス、およびシステムが例示的な実施形態を用いて説明するが、これらの実施形態は、本願に添付されるクレームにより定義される本発明を限定するものではない。本願の1つまたはそれ以上の実施形態に係る詳細について、添付図面および以下の明細書を参照して説明する。その他の特徴、目的、利点は、明細書および図面、ならびにクレームから明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

50

【図 1】ヒートポンプを示す。これは、ペルチェ板、熱電子放出により駆動される板、または他の任意の好適な手段であってもよい。

【図 2】図 1 のヒートポンプの周囲のガスフローパターンを示す。

【図 3】平行な高温壁および平行な低温壁を有する正方形の箱の中に閉じ込められたガスを示す。

【図 4】鋸歯形状を有するナノ分子固体電気力学的スラスト (NMSET) の積層体に加わる合力を示す。

【図 5】鋸歯形状を有する NMSET 積層体の周囲のガス粒子速度を示す。

【図 6】熱トンネル効果による改善されたペルチェ効果を示す。

【図 7】放物線形状を有する NMSET 積層体を示す。

10

【図 8】図 7 の NMSET 積層体の周囲のガスフローパターン、およびそのガスの運動量空間を示す。

【図 9】三角形形状を有する NMSET 積層体を示す。

【図 10】三角形形状を有する NMSET 積層体の周囲のガスの運動量空間を示す。

【図 11】鋸歯形状を有する NMSET 積層体を示す。

【図 12】鋸歯形状を有する NMSET 積層体の周囲のガスの運動量空間を示す。

【図 13】NMSET の断面図であって、固体ヒートポンプの内部構造を示す。これらのヒートポンプは、ペルチェ効果、熱電子放出または他の任意の好適な手段により駆動できる。

【図 14】図 13 の NMSET の斜視図であって、固体ヒートポンプの内部構造を示す。

20

【図 15】NMSET の斜視図であって、固体ヒートポンプの外部構造を示す。

【図 16】図 15 の NMSET の断面図であって、固体ヒートポンプの外部構造を示す。

【図 17】NMSET の斜視図であって、非固体ヒートポンプの外部構造を示す。

【図 18】段差構造 (staged arrangement) を有する NMSET の断面図を示す。

【図 19】直線形状を有する NMSET を示す。

【図 20】NMSET の 1 つの例示的な製造方法を示す。

【図 21】NMSET の別の例示的な製造方法を示す。

【図 22】熱遷移デバイスを示す側面断面図である。

【図 23】熱遷移デバイスの動作を示す側面断面図である。

【図 24】熱遷移デバイスを示す側面断面図であって、1 つの延長層および複数の傾斜壁を示す。

30

【図 25】図 24 に示す熱遷移デバイスの上面断面図である。

【図 26】熱遷移デバイスの側面断面図であって、1 つの延長層、およびウェットエッチングまたはドライエッチングされた壁部を示す。

【図 27】図 26 に示す熱遷移デバイスの上面断面図である。

【図 28】熱遷移デバイスの側面断面図であって、2 つの延長層および傾斜壁を示す。

【図 29】一実施形態に係る熱遷移デバイスの初期の製造工程における断面図である。

【図 30】図 29 に示す熱遷移デバイスの次の製造工程における断面図である。

【図 31】図 30 に示す熱遷移デバイスの次の製造工程における断面図である。

【図 32】図 31 に示す熱遷移デバイスのさらに次の製造工程における断面図である。

40

【図 33】熱遷移デバイスの断面図であって、構造内で形成される島状部を示す。

【図 34】本開示内容に係る制御システムの一実施形態の上面図である。

【図 35】図 34 に示す制御システムの上面図であって、一連の接続経路への電力供給動作を示す。

【図 36】図 34 に示す制御システムの上面図であって、1 つの電源ラインの故障の影響を示す。

【図 37】本開示内容に係る耐故障性機能を備えた制御システムの一実施形態の上面図である。

【図 38】制御システムの別の実施形態の上面図であって、複数の分散型スラストからなるより大きいアレイを制御するように設計された、図 34 のものより大きい制御システム

50

を示す。

【図 3 9】制御システムの別の好適な実施形態の上面図であって、複数の分散型スラスタからなるより大きいアレイを制御するように設計された、図 3 8 のものより大きい制御システムを示す。

【図 4 0 a】本開示内容の別の実施形態の上面図であって、制御システムが標的領域を駆動したときの第 1 および第 2 の作動領域(affected area)を示す。

【図 4 0 b】図 4 0 a に示す実施形態の断面図であって、交差電源ラインがデバイスの加熱側に配置されている。

【図 4 0 c】図 4 0 a に示す実施形態の別の断面図であって、交差電源ラインがデバイスの両側に配置されている。

【図 4 1 a】本開示内容に係る、電気絶縁材および/または断熱材を含む別の実施形態の上面図を示す。

【図 4 1 b】図 4 1 a に示す実施形態の断面図であって、交差電源ラインがデバイスの加熱側に配置されている。

【図 4 2 a】複数の分散型スラスタからなるアレイの格子構造を示す上面図であって、この分散型スラスタは、制御システムが利用する 1 つの電源ラインおよび複数の支流ラインを含む。

【図 4 2 b】図 4 2 a の上方に配置された中間絶縁層の上面図である。

【図 4 2 c】図 4 2 b の上方に配置された制御システムが利用する 1 つの電源ラインおよび複数の支流ラインからなる格子構造の上面図であって、1 つの電源ラインの交差点において複数の標的点が形成される。

【図 4 3】温度勾配を形成するための概略図である。

【図 4 4】温度勾配を形成するための概略図である。

【図 4 5】温度勾配を有するデバイス内での温度の有効な増減を示すグラフである。

【図 4 6】本開示内容に係る水平行および垂直列に配列された複数のスラスタ領域の上面断面図である。

【図 4 7】複数のスラスタ領域の上面断面図であって、スラスタ領域を駆動した際の隣接する領域の加熱効果を示す。

【図 4 8】本開示内容に係る複数の温度勾配デバイスのうちの温度勾配デバイスの駆動シーケンスを示す。

【発明を実施するための形態】

【0041】

[総論]

好ましい実施形態で、分散型スラスタの一例は、本明細書で説明するナノ分子固体電気力学的スラスタ(Nano Molecular Solid-state Electrodynamic Thrusters: NMSET)と呼ぶことができるデバイスである。NMSETの動作の基礎は、NMSETを利用する態様に応じて、推進、接着、圧縮および冷却といった複数の分野にNMSETを応用することを可能とする。好ましい実施形態で、NMSETおよび関連する分散型スラスタデバイスは、調整可能な流速を用いて、軽量かつコンパクトで、エネルギー効果的なガス圧力差を作り出す。

【0042】

[推進]

幾つかの実施形態で、NMSETのような分散型スラスタは、ガス推進の分野で下記の複数の改良点の1つ以上を提供できる。

1. 改良した弾性: 従来のガス推進システム内の任意の領域に対する損傷は、システム全体の故障につながる可能性があった。分散型スラスタは、向上した冗帳性(redundancy)とロバスト性を提供する。

2. 軽量: 電気駆動される分散型スラスタは太陽電池薄膜を利用でき、その場合燃料負荷がなくなる。さらに、分散型スラスタシステム内の各スラスタは局所的なガス圧力差を作り出すので、このようなガス推進システムの構造的完全性を維持するために、この局所的

10

20

30

40

50

な影響により、同じガスフロー体積を生成する非分散型ガス推進システムで通常必要とされるであろうものより小さいか、または軽い装置が必要となることがある。

3. スケーラビリティ：従来のガス推進システムを容易に拡大縮小する(scale)ことはできない。小型の航空機に最適なターボジェットは、大型の航空機に最適なターボジェットを縮小したものではない。分散型スラスタは、拡大縮小が容易である。なぜなら、スケールリングは、個々のスラスタ寸法をほぼそのままにして、まずスラスタの量を変化させるからである。

4. 応答時間：より小型の推進力生成デバイスは、より高速で取り込み(spool up)と送り出し(spool down)を行う。分散型スラスタガス推進システムから得られる推進力は、ニーズの変化に応じて容易に調節できる。

5. 電力非依存性(power independence)：従来の推進システムの多くは、動作するために特定のタイプまたはクラスの燃料を必要とする一方で、例えばNMSETのような分散型スラスタの幾つかの実施形態は、電気が作る温度差源のみを必要とする。

6. グリーン推進：分散型スラスタの幾つかの実施形態、例えばNMSETの幾つかの実施形態は、動作に電気入力が必要とし、化石燃料を必要としない。それゆえ、必要とされる電流を生成する無公害の方法を使用する場合には、通常の動作中に汚染排気ガス(例えば、一酸化炭素、窒素酸化物等)は生成されない。

【0043】

[接着]

幾つかの実施形態で、例えばNMSETのような分散型スラスタは、吸引を通じて面に接着する軽量の機械的接着材として使用できる。接着を解消する(reverse)ために必要である唯一のステップは、幾つかの実施形態においてシステムに加わる電力をカットすることであるので、当該プロセスは可逆的とすることができる。このようなシステムの使用は、当該システムが、接着されて平坦性や導電性を有するような材料を必要とせず、また残渣を残さない点で、静電接着を上回る利点を提供できる。他の機械的な接着プロセスと比較すると、このようなシステムの使用は、接着面の前処理を必要としないであろう。

【0044】

[ガス圧縮]

例えばNMSETのような分散型スラスタは、表面を流れるガスフローを駆動するように配列できるので、加圧型容器のすべてまたは一部がガス圧縮を提供するように機能してもよい。したがって、幾つかの配列では、分離したポンプ容器(containment)と加圧型容器は必要とされないことがある。さらに、一般に、このようなシステムの動作は短い距離にわたって生じるので、幾つかの実施形態では、複数段の分散型スラスタを積層することにより、十分にコンパクトな圧縮機として当該システムを使用できる。従来のガス推進システムは、典型的にセンチメートルの長さスケール、ときにはメートルの長さスケールで動作する。このように、従来の推進システムを積層することは、複雑で高価となる傾向がある。対照的に、分散型スラスタは、より小さいスケール、例えばマイクロメートルで動作するように包装できる。さらに、このようなシステムの汎用性は、高圧ポンプや標準の大気ポンプ(atmospheric pump)として、あるいは十分な数の段を用いて高真空ポンプとして機能するように、当該システムを容易に構成できることを意味する。

【0045】

[NMSETデザイン]

一態様および実施形態で、NMSETおよび本明細書で説明する、関連する幾つかのデバイスは、システムに接触しているガス中でのエントロピーを低下させることにより機能すると考えることができる。このようなデバイスは、必要に応じて、システムの非効率性を通じて失われたエネルギーに加えて、例えば熱エネルギーをガスに追加できる。別の態様および実施形態で、NMSETおよび関連する幾つかのデバイスの形状は、ガスフローの向きと使用の利便性に影響を与えうる。さらに、NMSETおよび関連する幾つかのデバイスの実施形態は、スケールパラメータの併用、有利な分子反射特性、形状、設計、効率性の大幅な増加を与えるエレメントの構造と配列、および/またはより高い周囲圧力で動作

10

20

30

40

50

し、かつ/またはより大きい流速を作り出す能力により、従来の熱遷移デバイス(thermal transpiration)等と区別できる。好ましい実施形態で、最小限の熱力学的損失である特定の方向で強いガスフローを作り出すことができ、かつ/または、より大きい周囲圧力で動作でき、かつ/または、より大きい流速を作り出すことができる、これらおよび他のパラメータの説明と併せて、NMSETの種々の例示的な実施形態について、本明細書で説明している。

【0046】

NMSETによるガス中のエントロピーの低下は、ガスの運動量空間 k 内の変換 A で表すことができる。一組の好適な基底(base)が運動量空間 k について選択されると、 A を行列で表すことができる。変換された運動量空間 Ak の期待値がゼロでない場合、NMSETは、運動量保存則により、期待値の反対方向で全運動量(net momentum)を受ける。

10

【0047】

NMSETの形状は、より効果的に機能するように最適化できる。NMSETの形状は、変換行列 A に影響を与える。単位行列 I に本質的に等しい行列 A を生成する形状は、全運動量のバイアスを作らない(すなわち、変換された運動量空間 Ak がゼロ以外の期待値を持たないようにする)。正しくは、ガスの渦が生じてもよい。 A のより大きい固有値を生じさせる形状は、より効果的な機能、例えば、特定の方向に移動するガス粒子がより大きい運動量を運搬するという機能を示す傾向がある。

【0048】

一例として、図1に示すように、ガス中のヒートポンプ100を考える。ヒートポンプ100は、上部層101と下部層102とを備える。簡単にするために、下部層102から上部層101の方向を向く y 軸で、デカルト座標系を規定する。温度差は、層の間のペルチェ素子(図示せず)や、上部層101がガスより低温で下部層102がガスより高温となるような任意の好適な手段により確立される。簡単にするために、ヒートポンプ100は、100%のカルノーサイクル効率性を有すると仮定できる。しかし、他の効率性も考えられる。この場合、ヒートポンプ100は、真の熱をガスまで伝達させないことになる。ヒートポンプ100によるガス運動量空間 k への変換は、エルミート行列 A により表現できる。ガス粒子(分子または原子)が下部層102と衝突する場合、衝突が非断熱的であると仮定すると、ガス粒子は跳ね返って衝突前より高速となる。ガス粒子が上部層101と衝突する場合、衝突が非断熱的であると仮定すると、ガス粒子は上部層101で跳ね返って衝突前より低速となる。ヒートポンプ100は、 y 方向に合力(net forces)を感知する。換言すると、下部層102は高温となって下部層102より下のガスの圧力を増加させる一方で、上部層101は低温となって上部層101より上のガスの圧力を減少させる。圧力差により、ヒートポンプ100に y 方向の力が加わる。ガスの運動量空間 k の変換に関して、上部層101から跳ね返ったガス粒子は、下部層102から跳ね返ったガス粒子より小さい運動量を持って離れるので、変換された運動量空間 Ak は、 $-y$ 方向で優先的に歪み、すなわち変換された運動量空間 Ak の期待値 p はゼロでなく、向きは $-y$ 方向である。閉じた系(すなわち、他の物体との相互作用がない)をガスとヒートポンプ100が構成すると仮定すると、ヒートポンプ100は、運動量 $-p$ を得て、閉じた系の全運動量が保存される。

20

30

40

【0049】

図1中のヒートポンプ100の形状が方向性の力(direction force)を発生させるが、それは以下の理由のために特定の状況では実用的でない。

1. ヒートポンプ100が大きい場合、ヒートポンプ100の y 方向に沿った並進運動により、ガスは強制的にヒートポンプの縁を一周して流れる。
2. 熱の大部分は、ガスの対流を通じてヒートポンプ100の表面から伝達される。
3. 表面近くのガスは、断熱効果を有する。図2に示すように、ヒートポンプ100とガスとの間の運動量の移動は、板の縁の近傍を除いて効果的でない。
4. ヒートポンプ100の表面積は、その凸包(convex hull)の表面積である。

【0050】

50

これらの問題はすべて、非常に少量のガスが任意の直接的な表面接触を有するという1つの核心問題に関する。したがって、より複雑な形状が有利な場合がある。本明細書では、3つの異なる形状を用いた例示的な実施形態について説明する。

【0051】

[動作原理]

NMSETまたは関連するデバイスの多くの異なる形状が可能であるが、NMSETの動作原理は同一のままである。いずれかの特定の理論に限定されることは望まないが、動作は、エネルギーを使用して、幾つかのデバイス表面でのエントロピーを低下させ、低下したエントロピーを表面に接触するガスに伝達する。デバイスは、ガス温度を上昇させることにより、必要に応じてガスにエネルギーを提供できる。それゆえ、NMSETの機能は3つの領域に分割できる。すなわち、デバイス表面でエントロピーを低下させる手段と、低下したエントロピーをガスに伝達する手段と、ヒートポンプのカルノーサイクルの非効率性以外の方法によってガスの温度を上昇させるオプションの手段とである。

10

【0052】

[温度差]

NMSETまたは関連するデバイスが動作するためには、材料層の間の温度差、より正確には対向する2つの面の温度差が一般に必要とされる。本明細書で説明する好ましい実施形態では、固体電気力学的メカニズム、すなわちNMSETの「SE」において、温度差を確立できる。しかし、本明細書で説明するデバイスと方法は、電子デバイスや純粋な固体デバイスに限定されない。例えば、流体冷却剤、発熱化学反応または他の化学的熱源を使用して、燃焼からの熱伝導により温度差を確立してもよい。以下で説明するように、単純な抵抗加熱、ペルチェ効果、熱電子放出(thermoionic emission)、熱トンネル効果による改善された(thermo-tunneling enhanced)ペルチェ効果、または他の任意の好適な手段により温度差を確立してもよい。二物体間に温度差を確立する手段は、2つの特性により現象学的に説明できる。すなわち、エントロピーの減少(二物体間での熱伝達)と非断熱性(環境と二物体との間での全熱伝達)である。

20

【0053】

一実施形態では、温度差を確立するためにペルチェ効果を使用できる。ペルチェ効果は、2つの接合部で接合されかつペルチェ係数が異なる2つの材料から構成されたループを印加電流が流れる際に発生する。電流の方向に応じて、一方の接合部から他方の接合部に熱が流れ、これにより接合部間に温度差が確立される。ペルチェ効果は、以下のように理解できる。すなわち、材料内での電荷キャリアの熱容量は、当該材料内で単位電荷キャリアあたりに運搬される熱量であるペルチェ係数により特徴付けられる。ペルチェ係数 A の材料Aとペルチェ係数 B の材料Bとの接合部を電流 I が流れる場合、電荷キャリアが単位時間に接合部に運搬する熱量は、 $I \times (A - B)$ である。

30

【0054】

理想的なペルチェ効果は、局所的にエントロピーを減少させ、かつ断熱的である。ジュール熱および/またはカルノーサイクルの非効率性を無視できると仮定すると、ペルチェ効果では、一接合部から他の接合部に熱伝達されるが、2つの材料のループ内には熱が加わらない。このエントロピーの減少は、NMSETおよび関連するデバイスの積層可能性(stackability)において利点を提供できる。結果として、ペルチェ効果は、幾つかの実施形態に特によく適する。

40

【0055】

この実施形態では、2つの表面間の電流を電源が駆動する。電子および/または正孔のような電荷キャリアは、電流内を流れる際に熱を運搬し、これにより、2つの表面間には更なる温度差が作成される。温度差が確立されると、エントロピーは減少する。

【0056】

フォノンの流れは、ペルチェ効果により確立された温度差を減少させる。フォノンが自由に流れることができる場合(すなわち、無限の熱伝導率またはゼロ熱容量)、それらの流れは、ペルチェ効果により確立された温度差を相殺することになる。ペルチェ効果の効

50

率性は、電気抵抗と熱コンダクタンスを減少させることにより増加させることができる。

【0057】

熱コンダクタンスを減少させる1つの方法は、電流経路に狭い真空ギャップを設けることである。フォノンが真空ギャップを容易には通過できないが、電荷キャリアは真空ギャップに対して交差する(across)電圧の下で通過できる。これは、熱トンネル効果による改善されたペルチェ効果(または熱トンネル冷却(thermotunnel cooling))と呼ばれる。図6は、熱トンネル効果による改善されたペルチェ効果の略図を示す。電荷キャリア601は、真空ギャップ602を通り抜けることができる。

【0058】

一般に、熱トンネル効果による改善されたペルチェ効果は、真空ギャップ近傍での電荷キャリアの挙動を制限し、トンネル確率を増加させる可能性がある表面形状と材料を選択して増強されない限り、高温または高電圧でのみ重要となる。例えば、好適な表面コーティングと構造は、電荷キャリアの低エネルギー状態でなく、真空ギャップ近傍での電荷キャリアの高エネルギー状態のみを可能とするフィルタとして機能することができる。

【0059】

別の実施形態では、電界増強された熱電子放出により温度差を作成および維持できる。熱電子放出は、ポテンシャルエネルギー障壁を越えた電荷キャリアの、熱により誘導された流れである。電荷キャリアは、電子またはイオン(すなわち、熱電子)であってもよい。簡単な近似で、ポテンシャルエネルギー障壁は、その高さよりも小さい熱エネルギーを有するキャリアを抑制し、その高さよりも高い熱エネルギーを有するキャリアが溢れ出る(flow over)ようにするという点で、ダムのように動作する。溢れ出たキャリアがポテンシャルエネルギー障壁を通過するときに、熱と一緒に運び出される。ポテンシャルエネルギー障壁の後方に残ったキャリアは、再熱運動化(re-thermalize)(エネルギーにおける再分配)してより低い温度へ至る。無視できない少量のキャリアが、ポテンシャルエネルギー障壁を超えるのに充分大きい熱エネルギーを有するように、通常、熱電子放出には摂氏数百度の動作温度が必要となる。ポテンシャルエネルギー障壁の高さを低下させると共に、必要とされる動作温度を低下させることにより、電界が熱電子放出を支援できる。

【0060】

また、NMSETまたは関連するデバイスにおける温度差は、抵抗加熱(以下で説明する)を使用することにより、および/または好適な化学処理により確立できる。デバイスの全体温度を上昇させず温度差を維持するために、例えば大気に対して曝露されたヒートシンクのような幾つかの冷却手段を設けることができる。どのような冷却手段を使用しても、デバイスの高温側表面が低温側表面と同程度に効果的に冷却(例えば断熱により達成可能な)されなければ、温度差はより顕著となる。

【0061】

[力の生成]

一態様で、全推進力の生成は、確立された温度差からガスへの減少したエントロピーの伝達であると考えられることができる。理論に縛られることは望まないが、断熱処理として、ガス中で動作する単一のデバイスについて考える。この例では、ペルチェ効果等の好適な手段により、高温層(hot layer)と低温層(cold layer)との間の温度差を確立できる。簡単にするために、ガスとデバイスとの間で正味の熱は伝達されないと仮定する。ガス粒子は、高温層と低温層に等確率で衝突することになり、ガス粒子とこれらの層との相互作用は、高温層と低温層の表面近傍で、ガスの局所的な運動量空間に影響を与えることになる。ガスと表面が異なる温度を有する場合、高温層と低温層の表面に十分に近接したガスの局所的な運動量空間は、ゼロでない期待値を有する。また、どのガス粒子も表面を貫通しないと仮定すると、ガス粒子は入斜運動量と異なる運動量を持って表面から跳ね返り、表面法線に沿って運動量空間を歪ませる。歪みの大きさは表面とガスとの間の温度差に直接に関係する。

【0062】

ランダム状の配列で(すなわち、種々の表面位置での表面法線は、ランダムな方向を向

10

20

30

40

50

く)、ガスの局所的な運動量空間の期待値の加重和はほぼゼロであり、それは結果として全推進力をほぼ生じさせない。しかし、最適化された形状のNMSETでは、ガスの局所的な運動量空間の期待値の加重和をゼロでない値とすることができ、それは全推進力につながる。

【0063】

ゼロでない全推進力を有する配列の簡単な例を前述の通り図1に示す。巨視的な対流ガスフローと渦の形成が、エントロピーを増加させると共に有効な仕事量を制限するので、この形状はあまり効果的でない。例示的な対流ガスフロー120, 130を図2に示す。周囲温度のガス110は、低温層101に向かって流れ、冷却される。冷却されたガスフロー120は、低温層101から離れてヒートポンプ100の縁周りを流れる。加熱されたガス130は、高温層102から離れて流れる。

10

【0064】

説明を簡単にするために、ニュートンの第2法則と気体運動論の観点からシステムについて考えることが有効であろう。図1と2のヒートポンプ100の周囲で、層101と102の温度によってガスの温度がひとくくりにされる(bracketed)と仮定すると、層102と衝突したガス粒子は、衝突前より大きい運動量を持って層102から離れる。同様に、層101と衝突したガス粒子は、衝突前より小さい運動量を持って層101から離れる。ガス圧力はガス粒子の運動量に直接に関連するので、層102近傍のガスは、層101近傍のガスより高い圧力を有する。この圧力バイアスは、ヒートポンプ100全体をy方向に押す。

20

【0065】

別の実施形態で、ヒートポンプ100は、層101と層102との間に少なくとも1つのスルーホールを有することができる。ガスは、ガスのより大きい加熱速度を可能とするホールを通り、層101から層102に向けて自発的に流れる。このような優先的な(preferential) ガスフローを熱遷移と呼ぶ。層101近傍のガスが温度 T_c 、圧力 P_c であり、層102近傍のガスが温度 T_h 、圧力 P_h であると仮定し、以下の式が満たされると、熱遷移により、ガスがホールを通過して層101から層102に流れる。

【0066】

【数1】

$$\sqrt{\frac{T_h}{T_c}} > \frac{P_h}{P_c} \quad [1]$$

30

【0067】

効率性を向上させるために、ガスフロー内に従来の制限が存在する場合について理解することが有効である。クヌーセン数が現れる辺りの長さスケールでは、ガスフローの対流の説明は機能しない(break down)。結果として、幾つかの態様で、ガスの平均自由行程は、NMSETの有利な形状を決定する際の有効なパラメータとなる。

【0068】

例えば、10nmの平均自由行程を有する特定の圧力のガスを考える。図3に示すように、このようなガスの雲が、20nm×20nmの2次元の正方形の箱の中に閉じ込められた場合、ガス粒子は、10nmの移動範囲内で、近似的に、それが箱の壁と衝突する可能性があるのと同じように、別のガス粒子と衝突する可能性があるだろう。箱の壁が加熱される場合、小さい箱は大きい箱よりも速く中のガスと熱力学的平衡に達することになる。これは、小さい箱中のガス粒子は、壁と衝突して熱交換する多くの機会を持つからである。一般に、ガスでの衝突の多くがガス粒子と表面との衝突である場合、平均自由時間(ガス粒子が平均自由行程を移動する時間)内に熱力学的平衡を近似的に達成できる。

40

【0069】

このため、幾つかの実施形態では、NMSETおよび関連するデバイスの個々の特徴の特性スケールは、ナノスケール、すなわちNMSETの「NM」であってもよい。しかし、本明細書で説明した方法とデバイスは、ナノスケールの実施形態に限定されないことを

50

理解する必要がある。平均自由行程パラメータは、幾つかの実施形態と使用において、より大きいスケールの特徴を利用できるように、ガス密度に依存する。さらに、本明細書で説明しているように、複数のNMSETおよび関連するデバイスエレメントは、大きい表面にわたる動作を提供するように組み合わせることができる。例えば、図15, 16, 17に示すように、NMSETのような分散型スラストを、有利にはアレイ内またはアレイの配列(array)内に配置して、大きい表面間にわたって、方向性を有するガスの移動を提供できる。また、例えばNMSETのような分散型スラストは、例えば図18Aから18Dに示すように、1段以上で配置して、より大きい圧力差が達成されるようにすることができる。図18Aは、多段の分散型スラスト、例えばNMSETの配列1800のアレイの断面図を示す。各段の配列1800は、図18Bから18Dで拡大して図示したNMSET1840, 1850, 1860のような分散型スラストからなるアレイを含む同心半球状の段1810, 1820, 1830から構成される。各段での個々の分散型スラストの開口部1845, 1855, 1865は、動作中に各前段で受けるだろう周囲圧力の減少に従って、最適な大きさと厚さが大きくなる。

【0070】

[表面相互作用]

表面間の相互作用は、運動量空間変換行列Aに影響を与えうる。ガス粒子を介して近接表面が容易にフォノンを交換できる場合、これらの表面でのエントロピーは、渦の成長を通じてフォノンを容易に交換できない表面よりも高速で、局所的に増加することになる。一般に、これがシステムの効率性を低下させることになる。

【0071】

フォノン交換を減少させることができる1つの方法は、複数の表面間で、任意の共有のベースを制限または削除することである。例えば、図3の箱300内のガス粒子について考える。箱300は、互いに平行な2つの平面状の高温壁302と、互いに平行な2つの平面状の低温壁301とを含む。箱300の大きさがその中のガス粒子の平均自由行程と同等であり、壁301と302が完全に鏡面反射性を有する場合、ガス粒子は、独立して、低温壁301および高温壁302と熱平衡に達することができる。これは、壁の表面法線が、2つの低温壁301の間のみまたは2つの高温壁302の間のみで共有され、低温壁301と高温壁302との間では共有されていないからである。結果として、ガス粒子は高温壁302と低温壁301との間で、運動量を少ししか、あるいはまったく交換できない。これは、ガス粒子間に衝突が生じないと仮定すると、ガス粒子と低温壁301との間の相互作用はx方向の運動量のみに影響を与え、y方向の運動量に影響を与えず、ガス粒子と高温壁302との間の相互作用はy方向の運動量のみに影響を与え、x方向の運動量には影響を与えないからであり、また、x方向の運動量はy方向の運動量と直交するという事実があるからである。ガス粒子と壁との間で熱平衡に到達した後、ガス粒子はx方向よりy方向に高速で移動する。

【0072】

実施上の問題として、表面は通常、完全には鏡面反射性を有しない。しかし、鏡面反射性の表面特性は幾つかの材料で非常に強く存在し、隅部(corner)で対流フローが減少する角度が存在する。一般にこの効果はクヌーセン数が大きい場合に観察され、これは、NMSETおよび関連するデバイスについて、特にナノスケールの実施形態で好ましい条件である。デンマーク人の物理学者のマルティンクヌーセン(1871-1949)の名を取って名付けられたクヌーセン数(Kn)は、代表的な物理学的長さスケールに対する分子の平均自由行程の比として定義された無次元数である。本明細書で説明しているNMSETまたは関連するデバイスでの代表的な物理学的長さスケールは、デバイスの開口径の大きさの次数であると解釈される。すなわち、代表的な物理学的スケール長さは、例えば、ナノメートルで開口を測定する場合はナノメートルであり、マイクロメートルで開口を測定する場合はマイクロメートルである。本明細書で開示した、デバイスを使用する好ましい方法では、クヌーセン数は、好ましくは0.1より大きく、または1より大きく、または10より大きい。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

[N M S E T および関連するデバイスの最適化方法]

(モデリング)

特定の形状を有する N M S E T の性能は、最適化のためのモンテカルロ法によりシミュレートできる。具体的には、任意の所定形状を有する N M S E T または関連するデバイスについてのシミュレーションが、デバイス周辺でランダムな初期位置と初期運動量を有するガス粒子のグループから開始する。短い時間間隔の後、既知の物理法則、例えば温度や圧力、化学的同一性、デバイスの形状、デバイス表面とガス粒子との間の相互作用等のパラメータを使用して、これら粒子の位置と運動量を初期位置と初期運動量から計算する。シミュレーションは、選択された反復回数繰り返され、シミュレーションの結果が分析される。デバイスの形状は、シミュレーション結果を用いて最適化できる。好ましい実施形態では、シミュレーション分析の結果を用いてデバイスを構成する。

10

【 0 0 7 4 】

好ましい実施形態では、シミュレーションを下記の表で表すことができる。

【 0 0 7 5 】

【表 1】

 アルゴリズム 1 EVOLVE MODEL (M, P, k)

M ← 0

P ← 1 組の探索パラメータ (search parameter)

k ← 反復回数

for i = 1 to k do

V ← P のインスタンス (instance)

V ← M_i により摂動を受けた (perturbed) V

E ← モンテカルロ (V)

Update M using E

end for

20

【 0 0 7 6 】

反復回数 (k) を経て摂動モデル M を展開する。最初に、M を初期化して、ソリューションの知識を示さない空集合とする。次に、探索パラメータにより有限の探索空間 P から任意の要素が内部で生成されるようなループを開始し、先に学習した知識 M を使用して P に摂動を与える (perturb)。実施に当たっての詳細 (implementation detail) として具体的なアルゴリズムを使用し、摂動を与える。

30

【 0 0 7 7 】

グリッドコンピューティング環境で実行する場合、理想的には全ノード間で M が同一である必要がある。しかしこれは、本質的に確率的である処理の性質に起因して、必ずしも必要ではない。実際にモンテカルロシミュレーションを実行する EVOLVE_MODEL のステップは、全体の中で断然計算コストが高く、M を同期させるために多くの時間を割く。

40

【 0 0 7 8 】

具体的なパラメータは、環境に依存する。ユーザが指定できるパラメータは、以下のものを含む。

1. CO₂ や H₂O のような、最大 3 原子を含む幾つかの実施形態での分子ダイアグラム。
2. 構成分子についての部分的な濃度。
3. ガス全体の初期温度と初期圧力。

【 0 0 7 9 】

定常シミュレーションでは、すべての軸で周期的境界を用いたモンテカルロシミュレーションを実行できる。ただし、y 軸では、周期的境界に遭遇する粒子は、温度と圧力の設

50

定に従って確率的に温度自動調整化され(thermostatted)、周囲条件がシミュレートされる。x軸では、粒子速度を変更せず、同一デバイスのアセンブリの周期的な集合体(ensemble)を当該方向に沿ってシミュレートする。シミュレーションは、計算の複雑性を減少させるために二次元で実行してもよい。モデル化されたデバイスが円筒対称性を有する場合には、三次元シミュレーションが同様の結果を与える必要がある。一般に、シミュレータは本明細書に示した周期性を使用する必要はなく、境界をまったく特定化しなくてもよいことに留意されたい。境界は、計算上の利便性として規定されるのみである。

【0080】

好ましい実施形態で、可能なデバイスの形状は、デバイスをその下で使用するようになるような条件と、それを構成することになる材料の既知の表面反射特性とを考慮して評価できる。NMSETおよび関連するデバイスの製造において、幾何学的パラメータは、実際に形状を使用する前にシミュレーションの結果を分析することにより最適化できる。

【0081】

[例示的な形状]

以下、形状の異なる4つの実施形態について特に説明する。これら4つの形状を、直線形状、放物線形状、三角形形状および鋸歯形状と呼ぶ。本明細書で説明するNMSETおよび関連するデバイスの形状は大きく変化することがあり、これらの例は、システムの効率性に対する或る設計上の選択の影響を説明するための図面としてのみ解釈するべきであることに留意する必要がある。

【0082】

(直線形状)

図19は、直線形状を有するNMSETまたは関連するデバイス1900の一実施形態を示す。この実施形態で、デバイス1900は、高温層1902と低温層1901とを備える。用語「高温層」(hot layer)と低温層(cold layer)は、これらの層の間に温度差があることを意味しており、NMSETまたは関連するデバイスが浸漬しているガスより「高温層」が必ず高温であること、あるいは当該ガスより「低温層」が必ず低温であることを意味するのではない。少なくとも1つの直線形状を有するスルーホール1910がデバイス1900の全層を貫通して延び、好ましくは各層の組について同一の断面形状と大きさを有する。直線形状を有するスルーホール1910は、円状、スリット状およびくし状といった任意の断面形状を有することができる。

【0083】

好ましくは、直線形状を有するスルーホール1910の全長 $1910L$ (すなわち、一方の入口から他方の入口までの距離)は、デバイス1900が浸漬しているガスの平均自由行程の最大10倍、最大5倍または最大2倍である。標準の大気圧における空気の平均自由行程は、約55nmである。より高度では、空気の平均自由行程は増加する。大気中での利用の場合、全長 $1910L$ は、好ましくは1500nm以下であり、用途に応じて、より好ましくは550nm以下、275nm以下または110nm以下である。高温層1902と低温層1901との間の温度差は、好ましくは最低0.5、より好ましくは最低30、より好ましくは最低50、最も好ましくは最低100である。

【0084】

高温層1902と低温層1901は、それらの間の断熱用のギャップにより分離できる。当該ギャップは、好ましくは真空ギャップであり、かつ/または断熱材を含む。一例で、ギャップは、二酸化ケイ素等の良好な断熱材からなる複数の薄い柱状物(pillar)を含む。

【0085】

デバイス1900は、好ましくは平方センチメートル当たり少なくとも10個の直線状スルーホールを有する。平方センチメートル当たりのデバイス1900のすべての直線状スルーホールの全周囲長は、好ましくは少なくとも2センチメートルである。

【0086】

(放物線形状)

10

20

30

40

50

図7は、放物線形状を有するNMSE Tまたは関連するデバイス700の一実施形態を示す。この実施形態では、高温層702と低温層701とが交互に積層される。図面で、各高温層702と低温層701は、直線状のスルーホールを有する。すべてのホールは整列している(aligned)。各高温層702でのホールは、すぐ上の低温層701でのホールと同じ大きさを有し、すぐ下の低温層701でのホールよりも小さい。各低温層701は、直接に隣接した高温層702よりも低温で、各高温層702は直接に隣接した低温層701よりも高温である。各高温層702の、-y方向に表面法線を有する表面702aが露出する。すべてのホールは、まとめて放物線表面の輪郭を有するノズルを形成する。この形状は、高温層と低温層との間の共有のベースを最小化する。しかし、NMSE Tまたは関連するデバイスは、ガスのエネルギーを十分に増加させなくてもよいので、ホールの直径を増加させることにより、ガス圧力が縁部で降下することがある。これは、下側の開口付近で強い渦を作り出し、全体の効率性を低下させる可能性がある。放物線形状を有するNMSE Tは、断熱または定圧とすることが可能だが、これら両方とすることはできない。放物線形状を有するNMSE Tまたは関連するデバイス内でのガスフローの近似を図8に示している。ガスの運動量空間は、運動量の期待値が-y方向を向くように歪んでいる。

10

【0087】

放物線形状は、NMSE Tまたは関連するデバイスにおいて有効であるが、ガス圧力の降下が、下側の開口の大きさの上限を制限する。一般に、移動するガスが内部で体積変化を受けるような任意の断熱デバイスは、その効率性に影響を受けることになる。

20

【0088】

放物線形状を有するデバイスでの温度差が非断熱手段により確立される(すなわち、デバイスがガスの全体温度を上昇させる)場合、放物線形状を有するNMSE Tは、ガスに加えられた熱量が渦の形成を妨げるのに充分である限り、その効率性の点で、体積の変化を受けるガスに影響を受けるであろう。しかし、このようなデバイスは、その効率性の点で、高い全体エントロピーに影響を受ける。すなわち、ガスの運動量空間の固有ベクトルは、ガスが膨張せざるをえない場合ほどには遠く離れていないが、通常、小規模で熱を供給することは、それを運び去るよりも容易である。

【0089】

(三角形形状)

30

図9に詳細に示した三角形形状は、断熱フローのための放物線形状の部分的な最適化である。この場合、ガスは十分に膨張して大規模な渦生成を引き起こす過程を経ることがないようになっている。さらに、開口部は大きさを変更させないので、このような三角形配列は容易に積層できる。

【0090】

図10に示すように、この三角形形状の運動量空間には、より効果的にバイアスが加わる。放物線構造と同様に、露出した高温表面と低温表面は、好ましくは角度90°で交わる。しかし、中心のギャップを横切り、表面の間を前後して粒子が熱を運搬する場合、非効率性の源が生じる。

【0091】

40

図9は、三角形形状のNMSE Tまたは関連するデバイスの積層体(stack)900を示す。積層体900内の各デバイスは、等しい厚さの高温層902と低温層901とを備える。低温層901と高温層902との間の温度差は、ペルチェ効果またはヒートポンプ等の他の任意の好適な手段により確立できる。各デバイスは、スルーホール903を有する。各スルーホール903は、各入口に約45°の面取り部(chamfer)(9031と9032)を有する。面取り部9031と9032の面は、構造的考察のために鋭角を修正することを含まないで、例えば低温層901と高温層902の厚さの1.40倍から1.42倍である。スルーホール903は、積層体900内のすべての層で整列している。一般に、積層体900内のデバイスでの高温層902の温度は、積層体の片側から反対側に向けて単調増加しない。一般に、積層体900内のデバイスでの低温層901の温度は、積層体

50

の片側から反対側に向けて単調減少しない。好ましくは、各低温層 901 は直接に隣接した高温層 902 よりも低温で、各高温層 902 は直接に隣接した低温層 901 よりも高温である。工学的理由のために、三角構造の高温表面と低温表面は先端(fine point)に達しなくてもよい。

【0092】

(鋸歯形状)

図11は、鋸歯形状を有するNMSETまたは関連するデバイスの積層体1100を示す。積層体1100内の各デバイスは、厚さ t_h を有する高温層1102と厚さ t_c を有する低温層1101とを備える。低温層1101と高温層1102との間の温度差は、ペルチェ効果またはヒートポンプ等の他の任意の好適な手段により確立できる。各デバイスは、スルーホール1103を有する。図示したデバイスで、各スルーホール1103は、低温層1101側の入口で面取り部11031を有し、高温層1102側の入口で面取り部11032を有する。面取り部11031とスルーホール1103の中心軸との間の角度は θ_1 であり、面取り部11032とスルーホール1103の中心軸との間の角度は θ_2 である。 θ_1 と θ_2 の合計は、好ましくは 75° から 105° であり、より好ましくは 85° から 95° であり、さらに好ましくは 88° から 92° である。 t_c の t_h に対する比は、 θ_1 のコタンジェントの θ_2 のコタンジェントに対する比にほぼ等しい。 θ_2 は、好ましくは 70° から 85° である。

10

【0093】

本明細書で説明した面取り角度の関係は、好ましい制限であって、厳しい境界ではない。一般に、完全に鏡面反射性の分子反射特性を示す材料の場合、面取り角度の関係を若干緩和できる。完全には鏡面反射性の分子反射特性を示さない材料の場合、関係は厳しいであろう。面取り形状は、好ましくは共有のベースを最小化するように配列される。したがって、鏡面反射的に反射する面取り部表面の表面法線は、好ましくは直交する。直交から離れると、効率性の点で、ペナルティがコサイン関数として発生することがある。工学的理由のために、鋸歯構造の高温表面と低温表面は、先端に達する必要はない。

20

【0094】

図示したデバイスで、積層体1100中のすべての層で、スルーホール1103は整列している。積層体1100中の各デバイスでの高温層1102の温度は、積層体1100の片側から反対側に単調増加しない。積層体1100中の各デバイスでの低温層1101の温度は、積層体1100の片側から反対側に単調増加しない。各低温層1101は、直接に隣接した高温層1102より低温で、各高温層1102は、直接に隣接した低温層1101よりも高温である。

30

【0095】

図11に示す鋸歯形状は、すべての高温層1102が好ましくはほぼ同じ方向に配向している(すなわち、 θ_2 は好ましくはほぼ 90° である)という点で、三角形状を上回る改良点を提供する。これは、スルーホール1103に対して交差する高温層1102と低温層1101との間の直接的な相互作用を減少させ、全体の効率性を向上させる。

【0096】

さらに、高温層1102は低温層1101よりも露出表面の面積が小さく、低温層1101は好ましくはスルーホール1103の中心軸に対して三角形状より浅い角度に配向しているので、鋸歯形状は三角形状より効果的にガス中のエントロピーを減少させる(これにより、より大きい仕事をさせる)ことができる。図12に示すように、当該鋸歯形状の運動量空間には、三角形状の運動量空間より効果的にバイアスが加えられる。

40

【0097】

三角形の構成では、断面の反対側でのデバイスのスライス(slice)は、分離角度が 90° 度であることから、y軸で $1/\sqrt{2}$ の大きさを有する。これは、エントロピー減少の効率性を制限する。なぜなら、エントロピーの幾らかは、直接的な表面間の相互作用において中性化される(neutralized)ことになるからである。

【0098】

50

しかし、鋸歯の構成では、高温層 1 1 0 2 は、隣接した低温層 1 1 0 1 とベース(basis)を共有しないだけでなく、スルーホール 1 1 0 3 に対して交差する高温層および低温層とほとんどベースを共有しない。組み合わせられたこの特性により、鋸歯形状は三角形よりも有効となる。

【 0 0 9 9 】

N M S E T または関連するデバイスが電力供給された後(すなわち、温度差が確立される)、低温層から跳ね返るガス粒子は、低下した合成速度を有する。一方、高温層から跳ね返るガス粒子は、より大きい合成速度を有する。図 4 は、積層体 1 1 0 0 の層(鋸歯形状)が受ける合力を示す。安定状態では、対応する積層体 1 1 0 0 上方の低圧領域と積層体 1 1 0 0 下方の高圧領域を順に生成する入口側の開口部(図 4 の上側の開口部)で、低圧が生成される。ガス粒子の衝突により生じる積層体 1 1 0 0 のガス粒子速度を図 5 に示す。

10

【 0 1 0 0 】

[温度差を確立する手段]

(内部ペルチェ)

一実施形態によれば、デバイス形状における各エレメントは、粒子誘導デバイスとして、また、エントロピー減少装置(reducer)として機能する。ペルチェ素子では、加熱プレートと冷却プレートは、ペルチェ係数が異なる材料から作られる。電流は、加熱プレートと冷却プレートとの間を流れるようになっている。この電流の流れは、ペルチェ熱を運搬し、デバイスを動作させるのに必要となる温度差を確立させる。幾つかの実施形態では、圧電スペーサをデバイスエレメント間に配置して、それらの間の分離ギャップを維持できる。

20

【 0 1 0 1 】

内部ペルチェ構造を有する一実施形態に係る N M S E T または関連するデバイスの断面を、図 1 3 と 1 4 に詳細に示している。すべての高温層 1 3 0 2 が接続されている。すべての低温層 1 3 0 1 が接続されている。低温層と高温層との間に介在するペルチェ素子を通して電流が流れ、温度差が確立される。層が薄いほど、大きい電流が必要となる。

【 0 1 0 2 】

内部ペルチェ構造を有する N M S E T または関連するデバイスは、デバイスの小型化を容易にする。図 1 4 に示したような単一の積層体は、推進力を生成するのに十分に機能的とすることができる。さらに、内部ヒートポンプを有する N M S E T または関連するデバイスは、最大粒度を重視するマイクロ電気機械システム(MEMS)での使用に適している。

30

【 0 1 0 3 】

(電界増強された熱電子放出)

別の実施形態では、電界増強された熱電子放出により、温度差を生成できる。図 1 9 に示すように、電界は、低温層 1 9 0 1 から熱放出された複数の電荷キャリアが低温層 1 9 0 1 から高温層 1 9 0 2 に熱を運搬するように、層 1 9 0 1 と層 1 9 0 2 との間に確立できる。

【 0 1 0 4 】

(外部ペルチェ)

別の実施形態では、N M S E T または関連するデバイスに対して外部に存在するペルチェ素子のようなヒートポンプにより、温度差を生成できる。図 1 5 と 1 6 に詳細に示すように、この市松模様状(checker board fashion)に配列されたペルチェ素子(図示せず)は、界面層 1 5 1 0 と 1 5 2 0 を介して、N M S E T または関連するデバイスの積層体 1 5 0 0 に熱的に結合される。

40

【 0 1 0 5 】

外部ペルチェ素子を有するデバイスは、温度差の生成に使用する材料からガスフローの生成に使用する材料が分離されるという利益を有する。工学的な観点から、ヒートポンプに適した材料が微細構造に適さないことがあり、またはその逆もあるので、これが好まし

50

いであろう。なお、外部ヒートポンプは、より大きく、より効果的に作ることができ、十分な温度差を確立するために、より小さい電流を必要とする場合がある。

【0106】

圧電スペースは、層の間で使用できる。NMSETでの使用に適した材料は、好ましくは熱膨張と熱収縮に機械的に耐えるのに十分に強く、かつ/または、好ましくは非常に小さい膨張係数を有する。それ以外の場合、層中のホールは位置ずれして、効率性が低下する可能性がある。

【0107】

(外部非ペルチェ)

さらに別の実施形態によれば、任意の好適な熱源および/またはヒートシンクにより、温度差を確立できる。熱源は、例えば、電界増強熱電子放出、抵抗加熱器、化学反応、燃焼、および/または明るい光の直接照明、または、他の形態の放射線であってもよい。このような実施形態の図を図17に示す。示した実施形態で、加熱表面1702は、抵抗加熱材料、または放射加熱を効果的に受けることができる材料とすることができる。外部の非ペルチェヒートポンプは、ペルチェ素子のような内蔵式のヒートポンプを必要としないので便利である。幾つかの用途では、まず放射線を電気に変化するのでなく、加熱表面を例えば太陽等の放射線源の方向へ向け、さらにペルチェ素子を駆動させることは便利であろう。あるいは、NMSETまたは関連するデバイスの高温層と熱をやりとりする熱吸収表面の方向へ放射線源を向けてもよい。しかし、外部の非ペルチェヒートポンプでは、NMSETまたは関連するデバイスが確実に過熱されないように注意することが好ましい。

【0108】

図17に示す毛細管1750は、ヒートシンクを与える例示的な機構である。しかし、ヒートシンクを簡単に一連のペーン、または他の任意の好適なヒートシンクとすることもできる。あるいは、図17における外部の非ペルチェヒートポンプは、毛細管1750を通じて熱源を提供するように構成できる。熱源は、発熱化学反応であって、好ましくは大きすぎる圧力を生成しないものとすることができる。

【0109】

[材料]

NMSETおよび関連するデバイスは、広範囲の材料で構成できる。種々の態様において、材料の特性は、好ましい形状と組み合わせて利用できる。

【0110】

ガス分子の鏡面反射は、NMSETまたは関連するデバイスのガス露出表面、例えば流動ガスと接触する加熱表面と冷却表面を形成する材料の好ましい特性である。鏡面反射は、鏡のように光を、あるいはこの場合はガス粒子を表面から反射するものである。鏡面反射面の上に単一の入射角で入射するガス粒子は、表面で反射されて単一の出射角度となる。入射ガス粒子と表面とが同一の温度を有する場合、表面法線に対して入射角度と出射角度とは同一である。つまり、入射角は反射角に等しい。鏡面反射を規定する第2の特性は、入射方向と、法線方向と、反射方向とが同一平面上にあることである。入射ガス粒子と表面とが同一の温度でなく、非断熱(すなわち、ガス粒子と表面との間の熱交換がある)である場合、反射角は、表面とガス粒子との間で伝達される熱の関数である。

【0111】

材料の鏡面性の度合いは、位相空間の単位体積当たりのガス粒子の反射状態の確率密度関数として定義された(例えば、Cercignani-Lampisカーネルのような)反射カーネルにより表すことができる。反射カーネルの詳細について、論文("Numerical Analysis of Gas-Surface Scattering Effect on Thermal Transpiration in the Free Molecular Regime", Vacuum, Vol. 82, Page 20-29, 2009)と、その中で引用された文献に開示されているが、それらすべてが参照により本明細書に組み込まれる。

【0112】

また、個々の高温層と低温層は、例えば剛性を与える手段である構造材料と、例えば温度差生成手段と熱を伝達し合う手段である熱伝導性材料と、例えば好ましい反射カーネル

10

20

30

40

50

特性を付与する手段である原子反射材料(atomic reflection material)とを含みうる1つ以上の構造エレメントから構築できる。幾つかの実施形態で、個々の高温層と低温層は、そのような材料の層状の複合材料で構築されてもよい。

【0113】

このように、材料の選択と組成は広く可変的である。幾つかの実施形態で、NMSETまたは関連するデバイスの構造に好適な材料は、チタン、シリコン、鋼鉄、および/または鉄を含むことができる。チタンは軽量で、かつ六角形の結晶構造を有する。チタンの界面は、結晶歪み(crystalline warping)なく直角で作成でき、それゆえ応力限界は存在しない。チタンの材料コストは高い。シリコンは安価で、特性や機械加工用処理が十分に理解されている。シリコンの結晶構造はダイヤモンド立方晶である。鋼鉄は、チタンよりも安価で、立方晶構造を有し、ガスの侵入に対して高い耐性を有する。鉄は、鋼鉄よりも安価で、NMSETおよび関連するデバイスでの利用に適するような結晶形状を有する。

【0114】

[NMSETまたは関連するデバイスを製造する例示的な方法]

図20に示す一実施形態によれば、NMSETまたは関連するデバイスを製造する方法は、以下の工程を含む。

(a) 例えばアモルファスシリコン、結晶シリコン、セラミックのような好適な基板2001を設ける工程。基板2001は好ましくは500ミクロンから1500ミクロンの厚さを有する。しかし、これより薄い基板または厚い基板も可能である。

(b) 主として犠牲層であり、好ましくは電気絶縁体、例えば二酸化ケイ素等である第1層2002を堆積させる工程。第1層2002は、好ましくは200nmから50ミクロンの厚さを有する。しかし、これより薄い層または厚い層も可能である。さらに、基板のウインドウ2001aの面積に応じて、この層が調整可能な応力レベルを有することは好都合である。例えば、 1 cm^2 の基板ウインドウ2001aの場合、 SiO_xN_y を用いた60MPaの引っ張り強度での結果が成功であった。

(c) フォトリソグラフィと第1層2002のエッチングにより、第1層から、例えば帯状(strip)、正方形、円等任意の好適な形状の分離した島状部のパターンを形成する工程。

(d) 分離した島状部の上に第2層2003を堆積させる工程。第2層2003は、例えばAl、Nb、Znのような導電体であり、好ましくは5nmから200nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられる。

(e) 第2層2003の上に第3層2004を堆積させる工程。第3層2004は、例えば二酸化ケイ素や層2002で使用されるものと同じ材料のような電気絶縁体であり、好ましくは第1層と同じ厚さを有するが、他の厚さも考えられる。

(f) 第1層2002が露出するまで第3層2004と第2層2003を部分的に除去する工程。

(g) 第4層2005を堆積させる工程。第4層2005は、例えば二酸化ケイ素等、好ましくは第2層2003と同じ材料の電気絶縁体であり、好ましくは3nmから15nmの厚さを有するところ、被覆(coverage)にギャップが少ししか、あるいは全く存在しない限り、より薄い方が好ましい。

(h) 第5層2006を堆積させる工程。第5層は、例えばPt、Ni、Cuのような導電体であり、好ましくは5nmから200nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられる。

(i) 第6層2007を堆積させる工程。当該層は、基板の裏面での作業を行いつつ前面を保護するために形成する。当該層は、例えば、熱剥離テープ(thermal release tape)を用いて第5層2006に貼付されたワックス、フォトレジストまたは二酸化ケイ素基板から作成できる。第6層2007は、好ましくは500nmから1500nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられる。

(j) フォトリソグラフィと基板2001のエッチングにより、第1層2002の少なくとも1つの分離した島状部が内側に露出するように、基板2001中にスルーホール2

10

20

30

40

50

001aを形成する工程。スルーホール2001aは、例えば六角形、正方形および円のような任意の好適な形状を有し、かつ、例えば六角格子、正方格子および極格子(polar grid)のような任意の好適なパターンで配列する。

(k)上側の第4層2005の一部が露出するまでエッチングすることにより、露出した状態の分離した島状部を除去する工程。

(l)上側の第5層2006の一部が露出するまでエッチングすることにより、第4層2005の露出部分を除去する工程。

(m)エッチングにより、第5層2006の露出部分を除去する工程。

(n)第2層2003と第5層2006が第4層2005から2nmから5nmだけ張り出すように横方向エッチングすることにより、第4層2005を部分的に除去する工程

10

(o)熱剥離、溶解またはエッチングにより、第6層2007を完全に除去する工程。

好ましくは、第2層2003と第5層2006は、仕事関数が少なくとも0.1eV、少なくとも1eV、少なくとも2eV、少なくとも3eV異なる。

【0115】

図21に示す別の実施形態によれば、NMSETまたは関連するデバイスを製造する方法は、以下の工程を含む。

(a)例えばアモルファスシリコン、結晶シリコン、セラミックのような好適な基板2101を設ける工程。基板2101は好ましくは500ミクロンから1500ミクロンの厚さを有する。しかし、これより薄い基板または厚い基板も可能である。

20

(b)主として犠牲層であり、好ましくは電気絶縁体、例えば二酸化ケイ素等である第1層2102を堆積させる工程。第1層2102は、好ましくは50nmから1000nmの厚さを有する。しかし、これより薄い層または厚い層も可能である。さらに、基板のウインドウ2101aの面積に応じて、この層が調整可能な応力レベルを有することは好都合である。例えば、 1cm^2 の基板ウインドウ2101aの場合、 SiO_xN_y を用いた60MPaの引っ張り強度での結果が成功であった。

(c)第1層2102の上に第2層2103を堆積させる工程。第2層2103は、例えばAl、Nb、Znのような導電体であり、好ましくは5nmから150nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられる。

(d)第2層2103の上に第3層2104を堆積させる工程。第3層2104は、例えば二酸化ケイ素のような電気絶縁体であり、好ましくは5nmから100nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられ、好ましくは第1層2102と同じ厚さを有する。

30

(e)第3層2104の上に第4層2105を堆積させる工程。第4層2105は、例えばPt、Ni、Cuのような導電体で、好ましくは5nmから150nmの厚さを有するところ、他の厚さも考えられる。

(f)フォトリソグラフィとエッチングにより、第2層2103、第3層2104および第4層2105を貫通するホールを形成する工程。ホールは、例えば複数の帯状、正方形、円のような任意の好適な形状を有する。

(g)第2層2103と第4層2105が第3層2104から張り出すように横方向エッチングすることにより、第3層2104を部分的に除去する工程。

40

(h)フォトリソグラフィと基板2101のエッチングにより、基板2101にスルーホール2101aを形成する工程。これにより、第2層2103、第3層2104および第4層2105を貫通する少なくとも1つのホールが、1つのスルーホール2101aと重なり合うようにする。スルーホール2101aは、例えば六角形、正方形および円のような任意の好適な形状を有する。スルーホール2101aは、例えば六角格子、正方格子および極格子のような任意の好適なパターンで配列される。

(i)スルーホール2101a内に露出した第1層2102の一部を除去する工程。

好ましくは、第2層2103と第4層2105は、仕事関数が少なくとも0.1eV、少なくとも1eV、少なくとも2eV、少なくとも3eV異なる。

【0116】

50

【例示的な真空層を有する熱遷移デバイス】

いくぶん冗長であるが、図 22 は、全体を 2204 で示す、NMSET または関連するデバイスのような熱遷移デバイスを示す側面断面図である。熱遷移デバイスは、低温側膜 2202 と高温側膜 2201 とを含み、その間に断熱材 2200 が設けられている。断熱材 2200 は、真空で形成できる。真空は、例えばベンチュリ効果により達成できる。熱遷移デバイス 2204 は、低温側膜 2202、断熱材 2200 および高温側膜 2201 によって画定される厚さ 2203 を含む。

【0117】

図 23 は、全体を 2309 で示す、熱遷移デバイスの動作を示す側面断面図である。デバイス 2309 は、高温層 2301 と低温層 2302 とを含み、その間に断熱材 2300 が設けられている。デバイス 2309 内には、前述のようにして開口部 2308 が形成されている。熱遷移デバイス 2309 は、低温層 2302、断熱材 2300 および高温層 2301 によって画定される厚さ 2303 を含む。断熱材 2300 は、例えばベンチュリ効果によって達成可能な真空で形成できる。

【0118】

半径 2305 で示す平均自由行程（他の粒子に衝突する前に移動した平均距離）を有する低温ガス粒子 2304 は、開口部 2308 に入り、またはそのエッジに到達し、さらに他の粒子と衝突し、エネルギーを交換する。半径 2307 で示す平均自由行程を有する高温ガス粒子 2306 は、高温層 2301 と衝突し、プロセスにおいてエネルギーを取得して正の運動量による力 (momentum force) を与える。低温ガス粒子 2304 は、高温ガス粒子 2306 の温度を低下させ、高温ガス粒子 2306 は衝突して高温層 2301 へ戻り、これによりエネルギーを取得して、正の運動量の力と増加した圧力を高温層 2301 に与える。

【0119】

図 24 と 25 は、全体を 2414 で示す熱遷移デバイスを示す側面断面図と上面断面図であって、複数の傾斜壁を有する 1 つの延長層 (extended wall) を示す。デバイス 2414 は、高温層 2401 と低温層 2402 とを含み、その間に断熱材 2400 が設けられている。断熱材 2400 は、例えばベンチュリ効果によって達成可能な真空で形成できる。デバイス 2414 の全厚さは、参照符号 2403 で示され、低温層 2402、断熱材 2400 および高温層 2401 によって画定される。

【0120】

デバイス 2414 内には、前述のようにして、開口部 2408 が設けられ、高温層 2401 に傾斜壁 2415 が形成されている。開口部 2408 および / またはそのエッジは、高温表面 2409、低温表面 2410、一般的に熱遷移が生じる活性領域 2411、および支持領域 2412 の画定に役立つ。図 24 に示すように、高温表面 2409 の角度 2413 は 90 度未満であり、傾斜壁 2415 を形成する。

【0121】

図 24 と 25 は、傾斜壁を有する延長層を高温層 2401 として示すが、当業者ならば、許容される代替として、低温層 2402 を、傾斜壁を有する延長層として実装可能であると理解するであろう。

【0122】

図 26 と 27 は、それぞれ、全体を 2615 で示す熱遷移デバイスの側面断面図と上面断面図であって、ウェットエッチングまたはドライエッチングされた壁部を有する 1 つの延長層を示す。デバイス 2615 は、高温層 2601 と低温層 2602 とを含み、その間に断熱材 2600 が設けられている。断熱材 2600 は、例えばベンチュリ効果によって達成可能な真空で形成できる。デバイス 2615 の全厚さは、参照符号 2603 で示され、低温層 2602、断熱材 2600 および高温層 2601 によって画定される。

【0123】

デバイス 2615 内には、前述のようにして、開口部 2608 が設けられ、高温層 2601 内に、一般的に放物線形状を有するウェットエッチング壁またはドライエッチング壁 2614 が形成される。開口部 2608 および / またはそのエッジは、高温表面 2609

10

20

30

40

50

、低温表面 2610、一般的に熱遷移が生じる活性領域 2611、支持領域 2612 およびウェットエッチングまたはドライエッチングされた表面 2614 の画定に役立つ。

【0124】

参照符号 2605 は、低温ガス粒子 2604 の平均自由行程の半径を示す。参照符号 2607 は、高温ガス粒子 2606 の平均自由行程の半径（他の粒子に衝突する前に移動した平均距離）を示す。低温ガス粒子 2604 は、開口部 2608 に入り、またはそのエッジに到達し、さらに他の粒子と衝突し、エネルギーを交換する。高温ガス粒子 2606 は、高温層 2601 と、その外縁またはウェットエッチングされた表面で衝突し、プロセスにおいてエネルギーを取得して、正の運動量の力と増加した圧力を高温層 2601 に与える。

【0125】

図 26 と 27 は、ウェットエッチング壁を有する延長層を高温層 2601 として示すが、当業者ならば、許容される代替として、低温層 2602 を傾斜壁を有する延長層として実装可能であると理解するであろう。

【0126】

図 28 は、全体を 2816 で示す熱遷移デバイスの側面断面図であって、複数の傾斜壁を有する 2 つの延長層を示す。デバイス 2816 は、高温層 2801 と低温層 2802 とを含み、その間に断熱材 2800 が設けられている。断熱材 2800 は、例えばベンチュリ効果によって達成可能な真空中で形成できる。デバイス 2816 は、低温層 2802、断熱材 2800 および高温層 2801 によって画定される全厚さ 2803 を有する。

【0127】

デバイス 2816 内には開口部 2808 が設けられ、前述のようにして、高温層 2801 と低温層 2802 にそれぞれ傾斜壁 2817 と 2818 が形成される。開口部 2808 および/またはそのエッジは、高温表面 2809、低温表面 2810、一般的に熱遷移が生じる活性領域 2811、高温層 2801 のための支持領域 2812、および低温層 2802 のための支持領域 2815 の画定に役立つ。図 28 に示すように、高温表面 2809 と低温表面 2810 の両方が 90 度未満であり、傾斜壁 2818 と 2817 をそれぞれ形成する。高温表面 2809 の角度 2819 と低温表面 2810 の角度 2819 を、ほぼ同一の角度で図 28 に示しているが、高温表面 2809 と低温表面 2810 は、許容される代替として、実施形態において異なる角度で傾斜してもよい。

【0128】

理想的な熱遷移デバイスでは、大気中で動作するよう設計される活性領域の厚さは、500 nm 未満である必要がある。最適化のために、高温表面と低温表面との間の厚さは、100 nm 以下である必要がある。このように小さい厚さは、デバイスを非常に壊れやすくし、動作を困難にする。例えば、デバイスの層または膜をより厚くして、デバイスの安定性や強度に必要な厚さを付与する場合、その全体厚さは、上記の理想的な厚さを超えた値まで増加することになる。

【0129】

図 29 は、熱遷移デバイスの一実施形態の当初の構造の断面図であり、本開示内容に従って一般的に示しているところ、デバイスの臨界領域での厚さを理想的な厚さ範囲内に維持しつつ、熱遷移デバイスの厚さをより大きくして、耐久性と強度を向上させることができる。

【0130】

図 29 に示すように、デバイスの構造は以下の通りである。まず、シリコン基板層 2916 が設けられている。基板 2916 の上に、例えば約 40 nm のアルミニウムの第 1 金属層 2917 が堆積する。堆積プロセスは、蒸着であってもよいし、例えばスパッタリング、有機金属気相成長等のような他の方法を使用してもよい。したがって、第 1 金属層 2917 は、蒸着した 40 nm のアルミニウムであってもよい。

【0131】

第 1 金属層 2917 の上に、誘電体層 2918 が堆積する。誘電体層 2918 は低応力である必要があり、プラスチックや無機の非導電性膜材料で形成されてもよい。膜（すな

10

20

30

40

50

わち誘電体層 2918) は、特に、低応力 (例えば 60 MPa) である、プラズマ増強化学気相成長した厚さ 2 ミクロンの酸窒化物であってもよい。他の厚さも考えられる。

【0132】

誘電体層 2918 の上に接着促進層 (adhesion promoter) 層 2919 を堆積させ、誘電体に対する接着を促進し、かつ / または強化されたマスク層として機能するようにしてもよい。このような材料は、例えば HMD S の化学的単層 (chemical monolayer)、有機レジストの薄膜、または金属、特に 6 nm のクロムであってもよい。接着促進層 2919 は、薄膜とエッチング方法またはエッチング薬剤との特定の組み合わせに応じて必要でない場合がある。

【0133】

従来から知られているようにして、約 1 . 3 ミクロンの SPR - 3012 のマスク 2920 を使用し、例えば非マスク領域 2921 の部分でデバイスをエッチングする。当業者に知られているように、接着促進層 2919 の上にフォトレジスト層またはマスク 2920 を堆積させることにより、エッチングを達成できる。このようなフォトレジストは、好ましくは Shipley SPR - 3012 である。しかし、他のフォトレジストを利用してもよい。次に、従来のマスクを用いてフォトレジスト層 2920 を露光し、非マスク領域 2921 を成長させてもよい。露光は、例えば好適な波長の光を使用して実施できる。当業者に知られているように、接触型リソグラフィ (contact lithography) を使用してもよい。一度露光すると、非マスク領域 2921 を形成するという目的に適した溶液中で、フォトレジスト層 2920 を成長させてもよい。この溶液は、例えば、SPR - 3012 に対して約 60 秒間用いる、0 . 26 M の水酸化テトラメチルアンモニウムであってもよい。

【0134】

図 30 に示すように、デバイスを非マスク領域 2921 (図 29 参照) の部分でエッチングして、エッチング領域 3022 を形成する。エッチング領域 3022 は、接着促進層 2919 と誘電体層 2918 を第 1 金属層 2917 の一部が露出するまでエッチングすることにより形成される。次に、フォトレジスト層 2920 (図 29 参照) を除去する。接着促進層 2919 は、例えば Transene 社のクロムエッチングのようなウェットエッチングを使用して、シリコン基板 2916 が露出するまでエッチングできる。例えば第 1 金属層 2917 をエッチングしないであろう薬剤を用いて、誘電体層 2918 をエッチングしてもよい。アルミニウムの上の酸窒化物の場合、Transene 社の含水酸溶液 Silox Vapox II を使用できる。他の湿式薬剤を使用してもよいし、ドライプラズマエッチングを使用してもよい。

【0135】

図 31 は、図 29 から 30 に示す熱遷移デバイスの更なるエッチングを示す側面断面図である。参照符号 2916 はシリコン基板であり、参照符号 2917 は第 1 金属層であり、参照符号 2918 は誘電体層であり、参照符号 2919 は接着促進層である。図 31 で、デバイス、すなわちエッチング領域 3022 (図 30 参照) はさらにエッチングされてエッチング領域 3122 とアンダーカット領域 3123 を与える。エッチング領域 3122 を形成するために、第 1 金属層 2917 がエッチングされ、次に基板 2916 の一部をエッチングする。アンダーカット領域 3123 を形成する 1 つの方法は、第 1 金属層 2917 の下側を等方的にエッチングすることである。

【0136】

第 1 金属層 2917 は、ウェットエッチングまたはドライエッチングのいずれかによってエッチングできる。例えばアルミニウムの場合、低圧で塩素とアルゴンを用いる反応性イオンエッチャ内でのアルミニウムエッチングを使用して、第 1 金属層 2917 をエッチングできる。40 nm のアルミニウムについてのエッチングの例は、50 s c c m の B C l 3、20 c c m の C l 2、10 m T o r r、300 W の R F 電力である。

【0137】

薬剤が第 1 金属層 2917、誘電体層 2918 または第 2 金属層 2919 をエッチングしない限り、ウェットエッチングまたは気相エッチングを使用して基板 2916 をエッチ

10

20

30

40

50

ングできる。アルミニウムと酸窒化物を有するシリコン基板の場合、例えばガスXeF₂を用いてシリコンをエッチングしてもよい。基板2916を処理してホウ素を除去してもよい。この処理の1つの例示的な方法は、35sccmのCF₄、20mTorr、300WのRf電力という条件下、反応性イオンプラズマベースでフッ素を使用することである。

【0138】

図32は、図29から31に示す熱遷移デバイスの更なる形成を示す断面図である。二酸化ケイ素または他の電気絶縁体の薄層3224がデバイスの上に設けられる。二酸化ケイ素層3224は、例えば約2nmから約10nmの厚さとする事ができる。特に第1金属層2917近くでのカバレッジでギャップが少ししかないか全くない限りにおいて、一般的に薄い方が優れている。二酸化ケイ素の層3224は、トンネル厚さを制御するために設けられている。層3224は、蒸着または他の既知の技術によって付加できる。他の材料と同様に、例えば、スパッタリング、プラズマ増強化学気相成長、原子層堆積等の他の方法を使用してもよい。二酸化ケイ素層3224の上に、第2金属層3225を設ける。第2金属層3225は、ニッケルや銅のような金属の層でもよく、約40nmの厚さであってもよい。第2金属層3225は、蒸着によって形成してもよく、例えばスパッタリングやイオンアシスト蒸着のような他の方法を使用してもよい。

10

【0139】

次に、基板2916をキャリア基板(図示せず)に、当該キャリアに面する薄膜積層体を用いて実装する。実装材料は、Revalphaの熱剥離テープのような両面テープであってもよい。しかし、例えばワックスやフォトレジストのような他のテープまたは材料を使用してもよい。

20

【0140】

次に、残りのシリコン基板2916を、例えばXeF₂気相エッチングによって除去する。基板2916のエッチング部分に形成された二酸化ケイ素層3224と第2金属層3225のごく一部は、基板2916と一緒に除去される。また、第1金属層2917と第2金属層3225をエッチングしない限りにおいて、湿式薬剤を用いて基板2916を除去できる。図33に示すように、残るのは、第1金属層2917、誘電体層2918、接着促進層2919、熱トンネル層3224および第2金属層3225によって形成された島状部3127である。次に、デバイスを超音波処理してニッケル塊(plug)を除去する。例えばRevalphaの熱剥離テープの場合、デバイスの除去に役立つように、十分な温度のホットプレートの上にキャリア基板を配置できる。

30

【0141】

[分散型マイクロクラスタのための耐故障性制御システム]

分散型マイクロクラスタを用いて、特定の方向におよび/または所望の速さで、物体を駆動推進するためには、制御システムが必要となる。制御システムは、分散型マイクロクラスタまたは複数の分散型マイクロクラスタに対して、選択的に出力を起動し、および/または出力レベルを調整することにより、所望の方向の所望の推進力を得ることができる。

【0142】

本発明に係る制御システムによれば、分散型マイクロクラスタの駆動を制御するための制御システムは、出力分配配線からなる少なくとも1つの冗長化2次元ネットワークにより供給される、格子上に配置された構成要素として構成してもよい(各構成要素は1つまたはそれ以上のスラストを含むものである)。分配ネットワークは、水平方向の行および垂直方向の列を構成する複数のスラストに接続された水平ラインおよび垂直ラインまたは水平配線および垂直配線からなる複数のループとして構成されるものである。

40

【0143】

本発明の実施形態に係る制御システムによれば、水平ラインおよび垂直ラインのそれぞれは、4つの位置で出合い、交差するものであるが、別の接続形態は、冗長性(重複性)、ループ数、およびアドレス精度のバランスを考慮して設計してもよい。さらに別の接続

50

形態は、交差位置の数が異なるものであってもよい。

【0144】

格子内の構成要素、すなわち複数の構成要素のそれぞれに、少なくとも1つの電源を提供するようにしてもよい。1つの構成要素が複数のスラストを含むものであってもよい。電源の一方の端子が水平ラインに接続され、電源の他方の端子が垂直ラインに接続される。このように電源の端子を適当な行ラインおよび列ラインに接続することにより、1つの構成要素または一群の構成要素にアドレスすることを可能にするものである。

【0145】

NMSE T等の分散型スラストの一般的な動作において、電気回路を用いて、分散型スラストに熱量を加え、または調節することにより、分散型スラストを駆動する。電気回路は、水平ラインおよび垂直ラインからなるループにより構成される。所与のループの両方の端子は同電位を有するように駆動される。これは、(たとえばアレイ表面に対するダメージに起因する)所与のループにおける任意の位置での単一の断線が、カスケード接続の機能損失を最小限に抑えるということの意味する。電気回路による加熱および冷却は、ペルチェスラブ(ペルチェ板)を用いたペルチェ効果により駆動されるヒートポンプ方式で実現してもよい。この具体例では、分散型スラストのいずれか一方の表面に配線し、後述する抵抗式の実施形態では、高温側のみに配線する。さらに別の実施形態に係る分散型スラストでは、分散型スラストに電力供給する別の方法を用いることができる。

10

【0146】

図34は、本発明の制御ユニットを用いた、分散型スラスト3402のアレイ3401のための1つの実施形態に係る制御システム3400の平面図である。図34から分かるように、アレイ3401において、複数の分散型スラスト3402が互いに平行な水平行および垂直列で格子状に配置されている。

20

【0147】

少なくとも1つの電源3406は、水平行および垂直列のそれぞれにより分散型スラストに接続された複数の第1の電源ライン3404および複数の第2の電源ライン3405を用いて、選択された分散型スラスト3402に電力を供給する。1つの第1の電源ライン3404が1つの第2の電源ライン3405に沿って選択されたとき、電気回路が形成され、少なくとも1つの分散型スラストがエネルギーを推進力に変換するように駆動する。制御ユニット3403は、所望のスラストまたは所望の一群のスラストのために選択された電源ライン3404, 3405の電圧印加および/または電力レベルを制御する。

30

【0148】

本発明に係る制御システムで採用されているように、電源3406は電池であり、制御ユニット3403は中央演算ユニットであってもよい。さらにスラストは、複数のスラストデバイスを含むものであってもよい。

【0149】

NMSE Tデバイスは、ガスを押し出すことができる装置であって、積層体を構成する少なくとも1つの第1および第2の層と、高温層およびこれより低温である低温層を形成するために第1および第2の層を加熱および/または冷却する手段と、積層体を貫通する少なくとも1つの貫通孔とを備えるものであってもよい。各高温層の表面は貫通孔内で露出し、各低温層の表面は貫通孔の内面において露出し、貫通孔の活性領域全体の長さは、上述したように、装置周囲にあるガスの平均自由行程の10倍未満であり、1500nm以下である。

40

【0150】

所与のNMSE Tデバイスにおいて、少なくとも1つの貫通孔は、直線形状、鋸歯形状、三角形形状、放物線形状、または上述したようなNMSE Tデバイスに有用であると判断される任意の形状を有するものであってもよい。

【0151】

図35は、分散型スラストの隣接領域3506を駆動するために、隣接領域で交差する電源ライン3504, 3505を図示するものである。制御ユニット3503は、電源ラ

50

イン3504, 3505に電源供給することにより、分散型スラストの隣接領域3506を駆動する。

【0152】

図36は、電源ライン3605の開回路の故障状態(不具合)を示すものである。図36に示すように、電源ライン3605は、複数のポイント3608付近の領域に隣接する垂直列のスラストに関連するものである。電源ライン3605に開回路3607があるため、複数のポイント3608の周りの領域に隣接するスラストが、この故障状態に起因して作動することができない。

【0153】

1つの実施形態に係る制御システムにおいて、電源ラインに不具合が生じた場合に、冗長性を実現し、システム障害を回避するために、図37に示すように、冗長経路接続が設けられている。電源ライン3701は水平列のスラストに接続され、別の電源ライン3702は垂直列のスラストに接続されている。すなわち電源ライン3705上の不具合(開回路)3707が生じた場合に備えて、冗長経路がポイント3706に設けられている。冗長性は電源ライン3705, 3704により提供され、制御ユニット3700は、電源ライン3707の第1の接続ポイントから第2の接続ポイントに電気回路の経路を変更するか、または電源ラインを内部で迂回させて、ポイント3706付近のスラストを駆動する。別の実施形態に係る制御システムにおいて、図37に示すように、任意の電源ラインのうちの1つに故障状態(不具合)を検出するために、故障検出デバイス3708が提供される。故障検出デバイス3708は、電源3703および制御ユニット3700に接続され、故障状態が存在する電源ラインを補償し、経路変更し、通知し、および/または置換することにより、適当な電源ラインの駆動を制御するものである。

【0154】

キャパシタバンク電圧検出技術を用いて、故障状態(不具合)を検出する。単一パルスで完全に放電させないようにキャパシタバンクを設計し、電力パルスが1つのスラスト要素または一群のスラスト要素に出力された前後における帯電電圧を測定することにより、1つのスラスト要素または一群のスラスト要素が消費する電力を特定し、その電力と予定される電圧とを比較することができる。測定された電圧降下が、予定される電圧より実質的に小さいときには開回路の兆候があり、電圧降下が実質的に大きい場合には、短絡回路の兆候がある。

【0155】

埋め込み式電流検出素子を用いて、故障状態を検出してよい。アレイに流れる瞬間的な電流を測定するために、シャント抵抗を電力配線ラインに直列に接続してもよい。通常、電流が小さい場合、いくつかのセルが開回路状態である。電流が過剰に大きいとき、短絡回路が存在する。この方法の主たる問題点は、電源とスラストとの間の直列抵抗が僅かに(ゼロではなく)増大する点にある。

【0156】

この方法の実用的な利点は、パルス出力後のキャパシタ電圧を検出する際、十分に迅速に(おそらくは数MHzレベルのサンプリング速度で)、短絡回路に対してリアルタイムで応答するようにシステムを設計することにより、多大なエネルギーが供給されてアーク放電により隣接するスラストに甚大な被害を与え、急激に放電した電源を過熱させるパルス出力を中断できる点にある。このシステムは、連続使用モードで作動する分散型スラストに応用することができる。

【0157】

上記任意の方法または当業者により理解される別の方法により、分散型スラストの一部が故障していると検出されると、推進力の喪失、および/またはカスケード接続の不具合を最小限に抑えるために、矯正処理を施す必要がある。

【0158】

設計段階において、パルス出力式分散型スラストのタイミング解析を実行する場合、任意のスラスト領域(スラスト部分)において連続してパルス出力する際の冷却時間を最小

10

20

30

40

50

必要時間より長くすることに留意すべきである。このように設計した場合、損傷したスラスト、すなわちスラスト領域を推進シーケンスから除外し、非損傷の残りのスラストを、デューティサイクルを少し増大させて駆動することにより、全体的な推進力を維持することができる。

【0159】

デューティサイクルを増大させることにより、システムに対する損傷の最大限度のみを補償することができる。この最大限度を超えると、利用可能な推進力が低減することは避けられない。すなわち、スラストアレイの制御システムは、平衡レベルを維持するために、対応する対向パネルの推進力が多少低減したことにより、航空機または分散型スラストを用いた他の用途の一方の推進能力の損失を補償するように設計することができる。

10

【0160】

図38は、例示的な制御システムの別の実施形態の平面図であり、特に、より大型の分散型スラスト、および/またはあまり精緻に制御できない用途において有用なものである。この実施形態は、より精緻な制御が必要される通常の場合に比して、電源ラインおよび/または制御ラインを少なくし、必要なコンピュータの機能を低いものとする点において有用である。例示的な制御システムは、(破線で示し、電源供給ラインの交差点における複数の個別のスラストを含む)一群の分散型スラスト3803, 3804, 3805, 3806を駆動するために用いられる電源ライン3801, 3802および/またはサブ電源ラインを示すものである。たとえば制御ユニット3800は、電源供給ライン3803を電源供給ライン3801の1つの適当な電源ライン、および電源供給ライン3802の1つの適当な電源ラインに接続して、相当するサブ電源ライン3810、および対応するスラスト、すなわち一群のスラスト3803, 3804, 3805, 3806に、またはその付近に電流を供給するものである。さらに制御ユニット3800は、スラスト領域3803およびスラスト領域3805, 3804, または3806を同時に、順次に、または所望のパターンで駆動して、電源供給ライン3801, 3802およびサブ電源ライン3810に電流を供給し、これらの電源ラインおよびサブ電源ラインの交差ポイントにおける追加的なマイクロプロセッサに電流を供給し、デジタル信号を用いて、これらのマイクロプロセッサと通信することにより、所望の効果が得られるように設計することができる。

20

【0161】

図39は、図38に示すものと同様のさらなる実施形態を示す平面図である。図39は、図示のような格子状の態様を有する電源供給ライン3901, 3902および複数のサブ電源ライン3910を示す。制御ユニット3900は、電源3911を電源供給ライン3901のうちの1つの適当な電源供給ラインおよび電源供給ライン3902のうちの1つの適当な電源供給ラインに接続して、相当するスラストまたは一群のスラスト3903の付近に電流を供給するものである。さらに図38で説明したように、制御ユニット3900は、任意の分散型スラスト3903, 3904, 3905, 3906, 3907, 3908, 3909のグループ全体に、またはこれらを個別に駆動することができる。

30

【0162】

図40a, 40b, 40cは、図34に示す制御システムの実施形態の拡大図を示すものである。電源ライン4001, 4002を用いてスラスト領域をアドレス選択し、このスラスト領域がアドレス選択ポイント4003の周囲の温度勾配4006に作用するものである。アドレス選択ポイント4003の周囲の複数のスラスト領域がアドレス選択され、電源ライン4001, 4002を介して電流が供給され、アドレス選択ポイント4003が加熱され、エリア4004が第1に加熱され、エリア4005が第2に加熱される。

40

【0163】

1つのアドレス選択ポイントが加熱され、隣接するポイントが加熱されることは好ましくない場合があり、図41a, 41bに図示された別の例示的な実施形態は、ヒートバリア(熱遮断部)4117を有する。ヒートバリアは、導電性パッド、絶縁物、間隙(ギャップ)、または当業者により認識される他の任意のヒートバリアであってもよい。ヒート

50

バリア 4 1 1 7 は、導電性領域の熱伝導性および熱遮断性を変える効果を有する。ヒートバリア 4 1 1 7 は、電源ライン 4 1 0 5 , 4 1 0 4 の接合部 4 1 0 6 に隣接するスラスト領域 4 1 0 8 の周囲の境界部として図示されているが、異なる所望する効果に応じて、ヒートバリア 4 1 1 7 を構成してもよい。電源ライン 4 1 0 5 , 4 1 0 4 に電源供給することにより、接合部 4 1 0 6 に隣接するスラスト領域 4 1 0 8 は駆動され、ヒートバリア 4 1 1 7 は、クロスハッチング 4 1 1 9 で示すボックス領域の外側クラスタ領域が意図せず駆動することを防止する。

【 0 1 6 4 】

図 4 2 a , 4 2 b , 4 2 c は、制御システムの別の実施形態に係る電源ラインまたは導電構造体を示すものである。図 4 2 a は、スラスト領域を駆動するために用いられる導電性ラインの上層格子構造体 4 2 0 2 を示し、電源供給ライン 4 2 0 0 は、電源に接続され、複数のブランチライン（支流ライン） 4 2 0 1 は複数のスラスト領域の近傍に配置されるように設計される。

10

【 0 1 6 5 】

図 4 2 b は、絶縁体 4 2 0 2 および抵抗体を示す最適化された中間層、または図 4 2 a に示す格子構造体と、図 4 2 a のブランチライン 4 2 0 1 がスラスト領域 4 2 0 3 で交差する別の格子構造体との間で用いられる温度勾配形成デバイスまたはスラスト領域 4 2 0 3 を駆動する他の手段を図示するものである。

【 0 1 6 6 】

図 4 2 c は、図 4 2 a および図 4 2 b を組み合わせた図であり、図 4 2 a の上層が図 4 2 b の中間層の上方に配置されている。図 4 2 c は、単一の電源ラインポイントから複数の標的ポイントを制御するために、抵抗体 4 2 0 3 すなわち温度勾配形成デバイス、またはスラスト領域を駆動する手段、および制御システムの 1 つの実施形態で示す絶縁体 4 2 0 2 により構成された耐熱性温度接合部上に積層された電源供給ライン 4 2 0 0 およびブランチライン 4 2 0 1 を図示するものである。

20

【 0 1 6 7 】

[抵抗性温度勾配形成の具体例]

上述した [動作原理] および [温度差] と題した章を参考にしながら説明する。図 4 3 は、温度勾配を形成するために用いられる本願明細書に係るデバイスの概略図である。この章において、ヒートポンプまたは温度勾配形成デバイスは、これに限定するものではないが、NMSE T デバイスを駆動するものであってもよい。このデバイスは、上側表面 4 3 0 2 および下側表面 4 3 0 5 を有し、導電性材料からなる、より低温の低温層 4 3 0 1 を有する。より高温の高温層 4 3 0 4 の上側表面 4 3 0 6 は、低温層 4 3 0 1 の下側表面 4 3 0 5 にきわめて隣接させるか、直接的に、または実施形態によるが、熱的および/または電氣的に絶縁された中間層を介して、低温層 4 3 0 1 の下側表面 4 3 0 5 に接合されるものである。

30

【 0 1 6 8 】

電源 4 3 0 7 の一方の端子は、低温層 4 3 0 1 の上側表面 4 3 0 2 に接続され、電源 4 3 0 7 の他方の端子は、スイッチ 4 3 0 8 の一方の端子に接続されている。スイッチ 4 3 0 8 の他方の端子は、高温層 4 3 0 4 の下側表面 4 3 0 3 に接続されている。高温層 4 3 0 4 は、電流が流れたときに抵抗熱またはジュール熱により加熱される抵抗材料からなる層を含む複数の副層（sub-layers）から構成される構造体である。副層に関する実施形態において、1 つの層は、温度勾配が形成される位置付近に配置される、絶縁材料からなる薄膜であってもよいし、温度勾配が形成される位置に配置される、より迅速に加熱するように構成された金属膜であってもよい。

40

【 0 1 6 9 】

低温層 4 3 0 1 は、動作位置においてジュール熱にあまり影響を受けない材料で構成してもよい。抵抗性のジュール熱特性は、材料や、（たとえば熱が発生する位置において高温層が対向する位置における低温層より薄く形成して、高温層内の電子密度が高いために、低温層より多量のジュール熱が生じるように支援する）構成、その他特定の実施形態に

50

依存するが、一方の層において他方の層より多量の熱を発生させ、もしくは迅速に加熱させ、またはこれらの特性を組み合わせる要素の選択によって変更することができる。たとえば高温層を薄膜の表面配線で構成してもよく、すなわち高温層は、N M S E T 構造体または一群の N M S E T 構造体等の加熱する必要がある位置における高温層の断面をより狭くするか、またはより小さくして構成してもよい。その結果、こうした位置における電荷キャリア密度 / 抵抗を増大させ、より多量のジュール熱を発生させる。低温層は、キャリア密度を低減するために、より膜厚で、より低い抵抗率を有する材料からなり、(たとえば高温層の全体表面を覆うように)より面積の大きくしてもよい。どのようなメカニズムであれ、一方の層に電流が流れるとジュール熱が発生し、他方の層に電流が流れないと、少なくとも一方の層で発生するのと同程度のジュール熱は発生しない。

10

【 0 1 7 0 】

一方の層から他方の層に電流を流すメカニズムは、量子トンネル効果等の任意の適当な方法またはメカニズムを利用することができる。半導体の導電性は、低温層が P 型半導体で、高温層が N 型半導体であるとき P N 接合を構成し、これらの対向する表面上に電極を形成し、トランジスタがアドレスラインに接続され、読み出し / 書き込みラインやメモリデバイスのアドレスラインと同様、一方の表面上で隣接する電極を加熱し、スイッチは、アドレス選択可能なメモリサイトまたはメモリピクセルの構造とほとんど同じような構造体を有するが、

メモリサイトまたはメモリピクセルの構造体が温度的に加熱する電極、または温度勾配デバイスまたはこうしたデバイスのクラスタに選択的にアドレス選択可能な任意の他のタイプの構造体と置き換えられる。

20

【 0 1 7 1 】

択一的または追加的には、高温層は、同一層内で入力表面および出力表面を有し、一方の表面から他方の表面に電流が流れ、高温層を抵抗式に加熱することができる。この実施形態は、選択された複数の部位で発熱させ、高温層が導電性材料で完全に覆われていない場合には、選択された複数の部位より部位で発熱させるが、導電性ラインを有し、このとき導電性ラインが一群の N M S E T 構造体等の選択部位で発熱させることができる特性を有する。すなわち、この導電性ラインは、電流を供給すると選択的に加熱されるように、加熱されない断面積は十分に大きい、選択された部位は小さい断面積を有する。

【 0 1 7 2 】

図 4 3 の実施形態において、電流が上層 4 3 0 1 の上側表面 4 3 0 2 から下側表面 4 3 0 4 に流れる。図 4 3 に示すように、スイッチ 4 3 0 8 が開回路状態にある。すなわち上層 4 3 0 1 と下層 4 3 0 4 との間に電流は流れない。したがって、表面 4 3 0 2 と表面 4 3 0 3 との間の温度勾配または温度差は生じない。

30

【 0 1 7 3 】

図 4 4 は、スイッチが開回路状態にある場合を示すものである。すなわち、電源 4 4 0 7 からの電流が層 4 4 0 1 および層 4 4 0 2 に流れる。電流が流れると、層 4 4 0 2 がその抵抗特性に起因して発熱し始め、層 4 4 0 1 も同様に加熱する。層 4 4 0 2 が加熱されると、上側表面 4 4 0 3 および下側表面 4 4 0 4 の間に温度勾配 4 4 0 5 が形成される。スイッチ 4 4 0 6 が開回路状態にすると、もはや層 4 4 0 1 および層 4 4 0 2 の間に電流は流れない。すなわち、上側表面 4 4 0 3 および下側表面 4 4 0 4 の間の温度差がやがてゼロになるように、温度勾配 4 4 0 5 は消滅する。

40

【 0 1 7 4 】

図 4 5 は、スイッチ 4 4 0 6 を閉じて、電流を流したときの表面 4 4 0 4 の温度上昇をプロットしたものである。x 軸に沿って時間、y 軸に沿って温度をプロットしている。図 4 5 に示す表面 4 4 0 4 の温度は、プロット曲線 4 5 0 1 で示すように急激に増大し、平衡温度に達している。その後、図 4 4 のスイッチ 4 4 0 6 を開いて、電流を流さないようにすると、温度は下降し始める。

【 0 1 7 5 】

スイッチ 4 4 0 6 を閉じたときの表面 4 4 0 3 の温度は、層 4 4 0 2 からの熱が層 4 4

50

01を介して表面4403に伝導するものであるので、そのプロット曲線4502で示すように、プロット曲線4501と同様に推移するが、遅延パターン4507を示す。表面4403の温度は、図44のスイッチ4406を開いた後も若干上昇し続け、平衡温度4505に達する。図45の符号4506は、スイッチ4406が閉じている時間を示す。スイッチ4406が閉じている時間4506が、平行温度4504に達するまでに必要な時間を超えると、温度勾配4503がなくなるまで、表面4403の温度が上昇し続ける。

【0176】

すなわち、表面4404の温度4504と表面4403の温度4505との間の温度勾配は、ある所定の時刻において、図45の温度勾配4503で図示されている。

10

【0177】

図45に示すように、層4301, 4304への電流を流すことを止めた後、表面4403および表面4404の温度が、その周囲の雰囲気温度に戻るのに有限な時間がかかる。隣接する温度勾配デバイスが近接して配置されている場合、余熱により問題が生じることがある。

【0178】

図46は、別の例示的な実施形態に係る水平および垂直列に配置された温度勾配デバイス4603により操作される複数の分散型スラスタデバイスの平面断面図である。電流が、マトリックス(行列)形式で、電源から各デバイスに複数の電源ライン4601, 4602を介して供給される。制御ユニットは、プロセッサ、とりわけプログラム可能なプロセッサで構成してもよく、このプロセッサは、活性領域における制御電子回路に関して上記説明したように、電源ラインが読み込み/書き込みのアドレス選択ラインのように作動して、活性部位に隣接する制御電気回路を制御するか、または単に、水平および垂直電源ラインに電流を供給して交差点で十分な電流を流し、温度勾配を形成するとき、特定の部位を選択的に作動させるものである。電気エネルギー源は、実施態様に応じて、電池や、その他任意の電源、AC電源またはDC電源で構成されるものであってもよい。また、上述の[耐故障性制御システム]と題した章をここで参照する。

20

【0179】

再び、図46を参照すると、第1の温度勾配デバイス4603が完全に冷却される前に、1つの隣接する温度勾配デバイス4603が作動すると、新たに作動するデバイスの温度勾配は、予定した温度勾配とはならない可能性がある。用途にもよるが、これは最適なものではない。こうした状態が図47に図示されるが(たとえば図40a, 図40b, 図40cに類似のものである。)、このとき温度勾配デバイス4703は電源ライン4704, 4705により駆動される。図47に示すように、発生した熱は、第1のエリア4701を加熱し、続いて第2のエリア4702を加熱する。加熱されたエリアは、他の隣接する温度勾配デバイスにも拡大し、これらのデバイスを駆動したときに、適正な温度勾配が形成されない可能性がある。この潜在的な問題は、温度勾配デバイスの選択的な駆動により緩和または解消することができる。

30

【0180】

たとえば、図46に示す制御ユニット4600は、所定時間前に隣接した駆動された温度勾配デバイスの駆動を回避するものである。そうすることにより、以前に駆動された温度勾配デバイスを十分に冷却することができ、または少なくとも許容可能な温度まで冷却することができるため、余熱により隣接する温度勾配デバイスの動作を妨害することがなくなる。さらに温度勾配デバイスは、読み出し/アドレス選択ラインを介して、温度勾配デバイスを個別に、または一群の温度勾配デバイスを選択的にアドレス選択することができるので、デジタルディスプレイ上の画素またはメモリアレイのメモリ部位をアドレス選択し、制御することができる。

40

【0181】

図48は、この実施形態に係る複数の温度勾配デバイスからなるレイの各温度勾配デバイスの駆動シーケンスの実施形態を示すものである。参照符号4801は、図46に示

50

す複数の温度勾配デバイスからなるアレイのうちの1つの温度勾配デバイスを示すものである。参照符号4802は、これに隣接する1つの温度勾配デバイスまたは隣接する1つの温度勾配デバイスアレイを示すものである。このパターンは、参照符号4803~4816で示され、全体で16個の温度勾配デバイスもしくは図示の温度勾配デバイスアレイ、または当然により適当なものとして最良の実施形態に係るNMSETデバイスで示されている。

【0182】

図48を用いて、当業者ならば容易に理解されるが、最近過去に駆動された隣接する温度勾配デバイスによる熱干渉を防止または低減するように、個々の温度勾配デバイスまたは一軍の温度勾配デバイスの駆動シーケンスを決定することができる。最近過去に駆動された隣接する温度勾配デバイスを十分に冷却させるために十分な時間を経過させるためである。たとえば温度勾配デバイスの対(4801, 4809)、対(4803, 4811)、対(4805, 4813)、対(4807, 4815)、対(4801, 4809)ごとに順次駆動して、最近過去に駆動された隣接する温度勾配デバイスに対して実質的な熱干渉が生じないようにすることができる。当業者ならば図48から他の駆動シーケンスを認識することができる。

10

【0183】

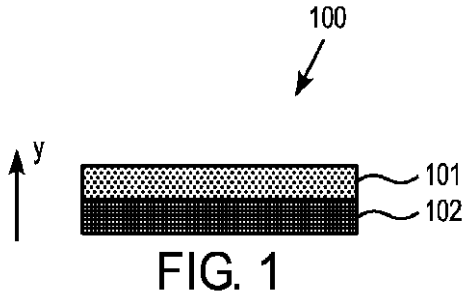
図示のように、開示された実施形態は、温度勾配を形成し、維持するための数多くの用途を有し得る。特に、これに限定するものではないが、温度勾配構造体は、分散型スラスタを駆動するヒートポンプであってもよく、本明細書で開示された数多くの態様および変形例に係るNMSETにより駆動される、より特別の分散型スラスタであってもよい。

20

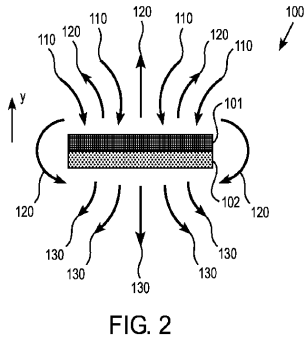
【0184】

上記明細書は、本発明に係る開示内容の原理を教示するものであって、説明のみを目的とする実施例を開示するものである。よって当業者ならば、この明細書を読めば、すべての発明の技術的範囲を網羅する添付クレームの範囲から逸脱することなく、態様および詳細についてさまざまな変更例および変形例、ならびに均等物を想到することができる。

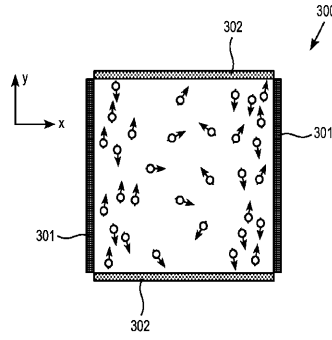
【 図 1 】



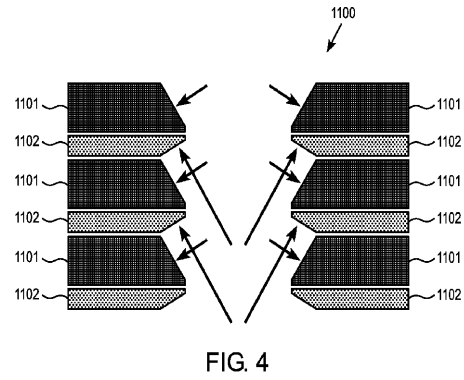
【 図 2 】



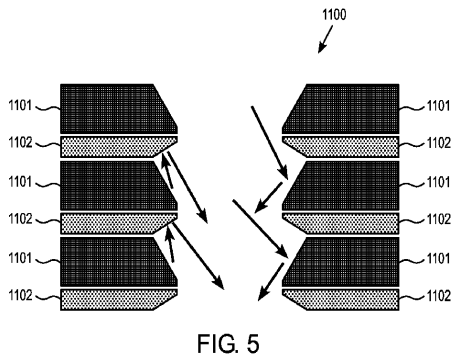
【 図 3 】



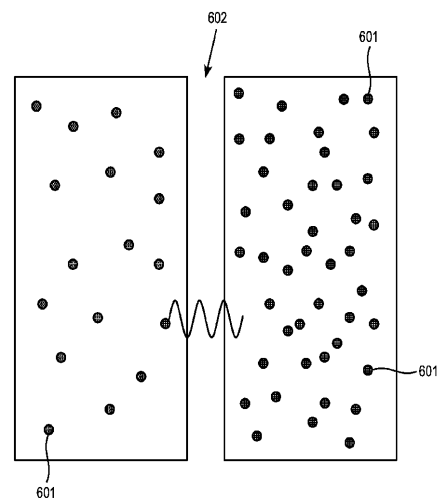
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

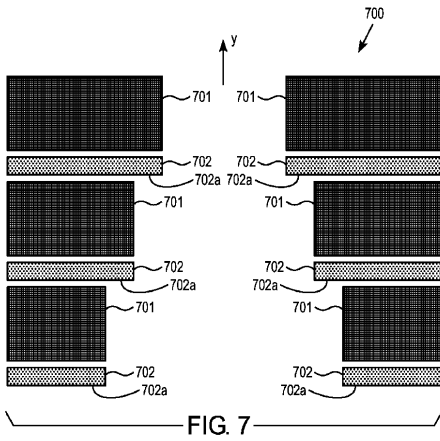


FIG. 7

【 図 8 】

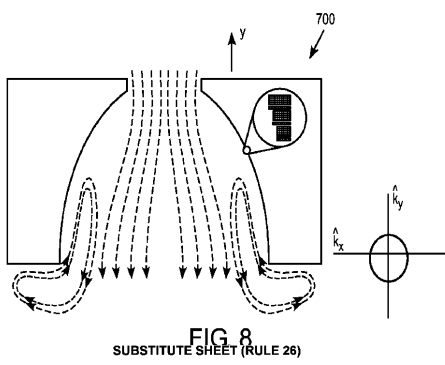


FIG. 8
SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【 図 9 】

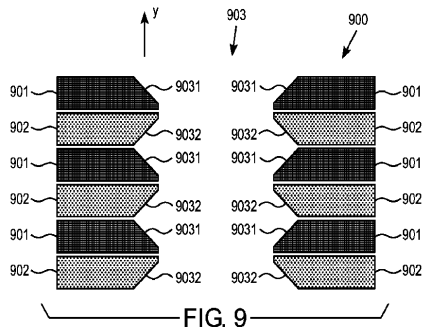


FIG. 9

【 図 10 】

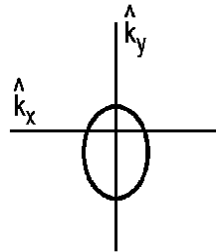


FIG. 10

【 図 11 】

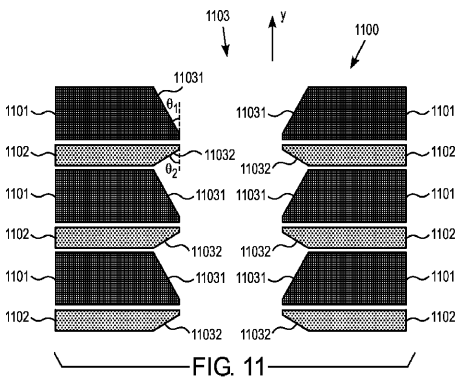


FIG. 11

【 図 12 】

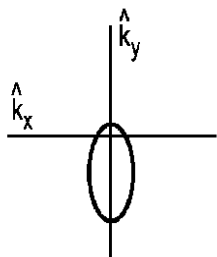


FIG. 12

【 図 13 】

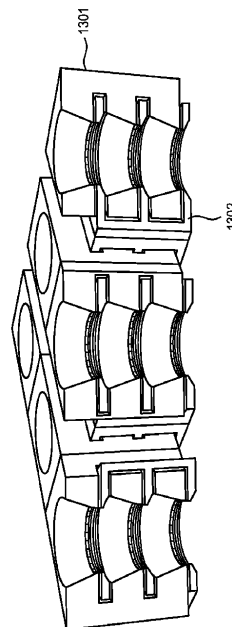


FIG. 13

【図14】

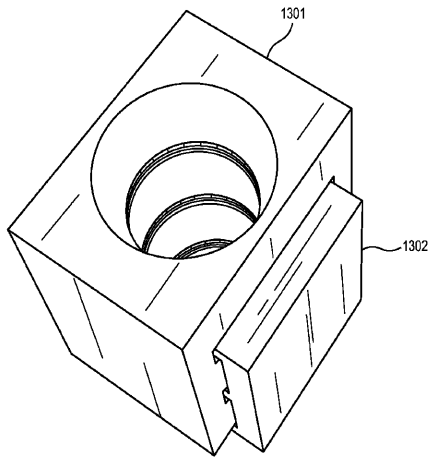


FIG. 14

【図15】

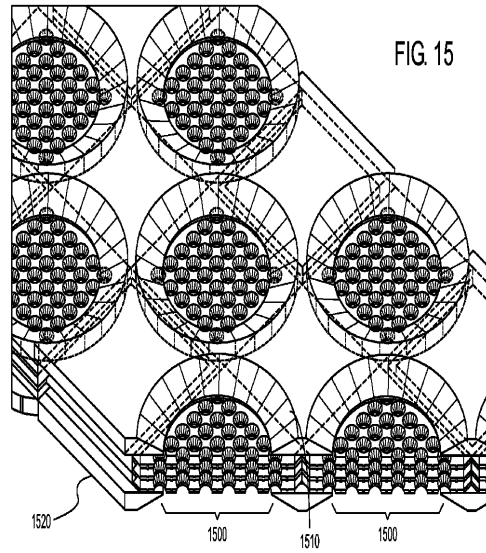


FIG. 15

【図16】

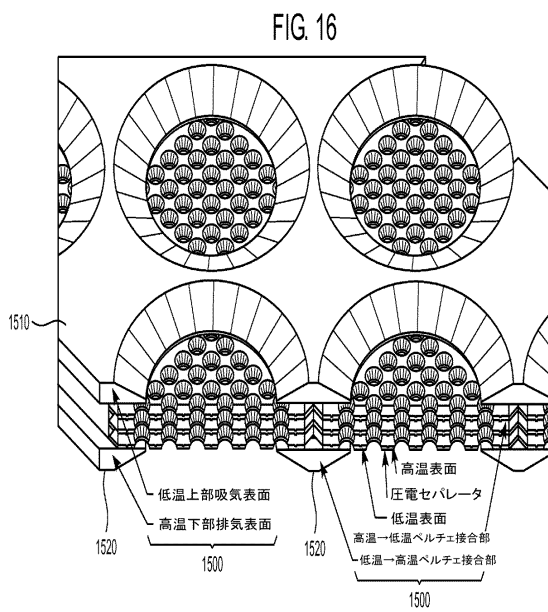


FIG. 16

【図17】

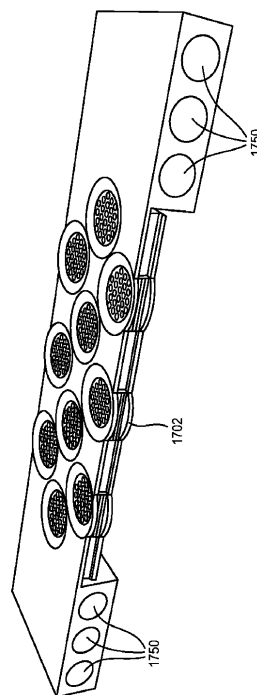
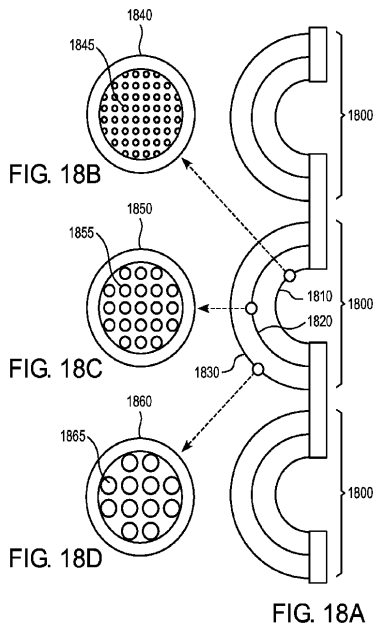
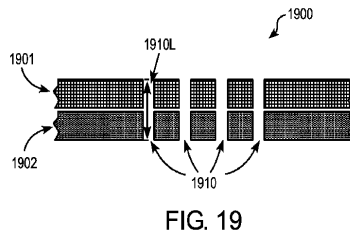


FIG. 17

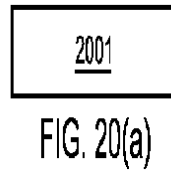
【 図 18 A - 18 D 】



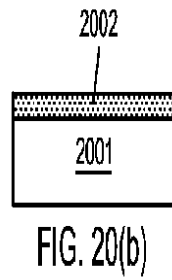
【 図 19 】



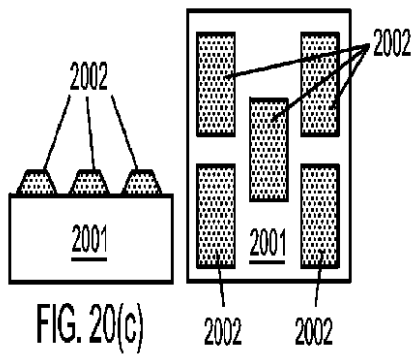
【 図 20 (a) 】



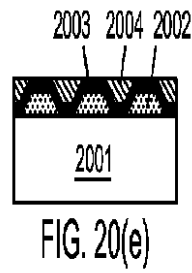
【 図 20 (b) 】



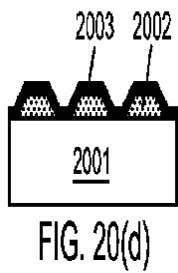
【 図 20 (c) 】



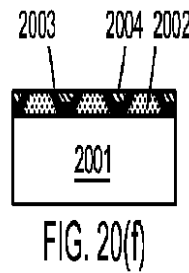
【 図 20 (e) 】



【 図 20 (d) 】



【 図 20 (f) 】



【 20 (g) 】

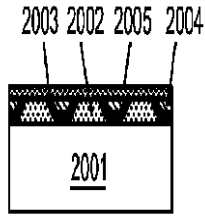


FIG. 20(g)

【 20 (i) 】

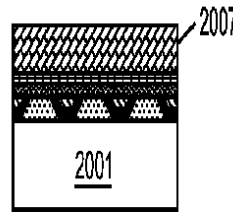


FIG. 20(i)

【 20 (h) 】

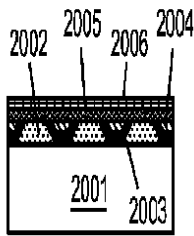


FIG. 20(h)

【 20 (j) 】

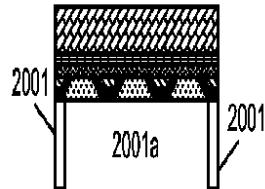


FIG. 20(j)

【 20 (k) 】

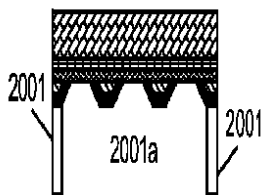


FIG. 20(k)

【 20 (m) 】

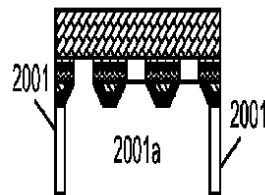


FIG. 20(m)

【 20 (l) 】

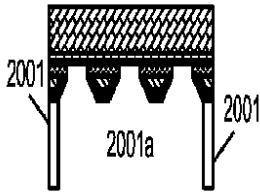


FIG. 20(l)

【 20 (n) 】

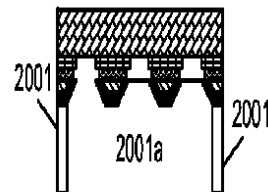


FIG. 20(n)

【 20 (o) 】

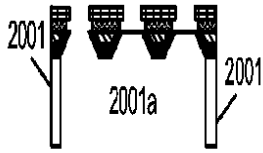


FIG. 20(o)

【 21 (c) 】

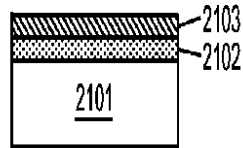


FIG. 21(c)

【 21 (a) 】

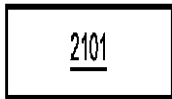


FIG. 21(a)

【 21 (d) 】

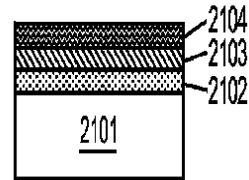


FIG. 21(d)

【 21 (b) 】

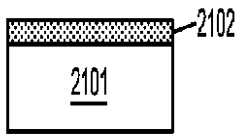


FIG. 21(b)

【 21 (e) 】

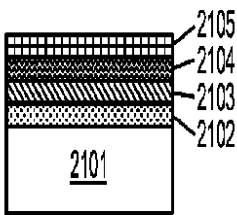


FIG. 21(e)

【 21 (g) 】

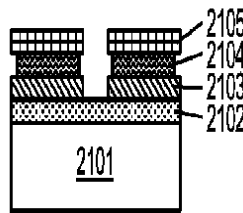


FIG. 21(g)

【 21 (f) 】

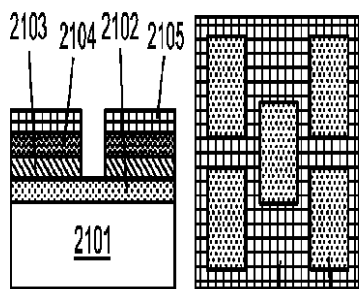


FIG. 21(f)

【 21 (h) 】

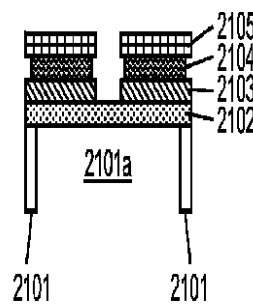


FIG. 21(h)

【 図 2 1 (i) 】

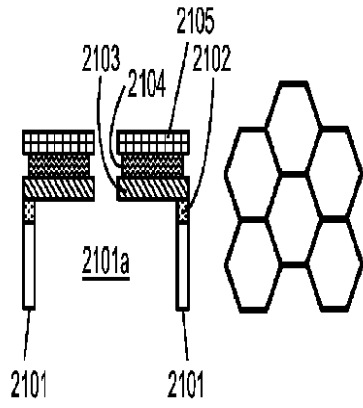


FIG. 21(i)

【 図 2 2 】

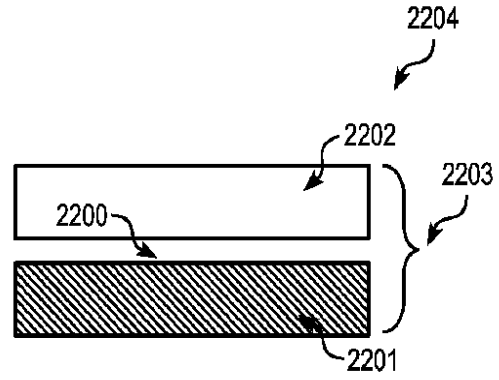


FIG. 22

【 図 2 3 】

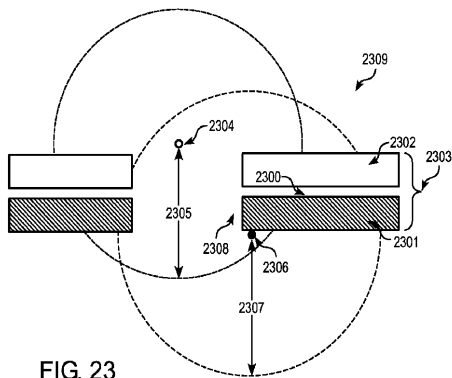


FIG. 23

【 図 2 5 】

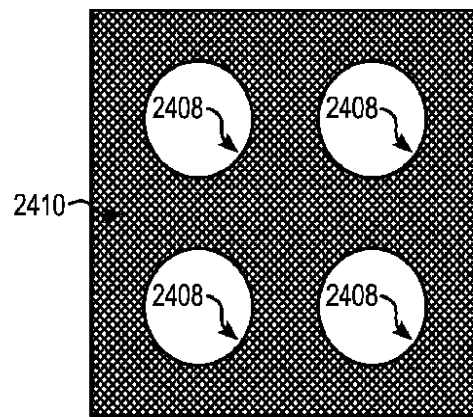


FIG. 25

【 図 2 4 】

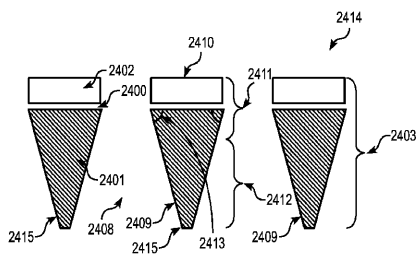


FIG. 24

【 図 2 6 】

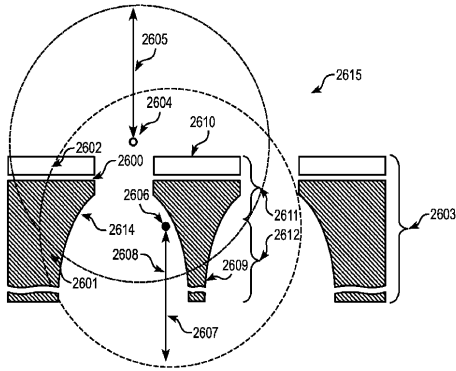


FIG. 26

【 図 2 7 】

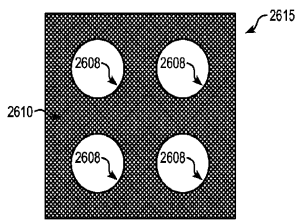


FIG. 27

【 図 2 8 】

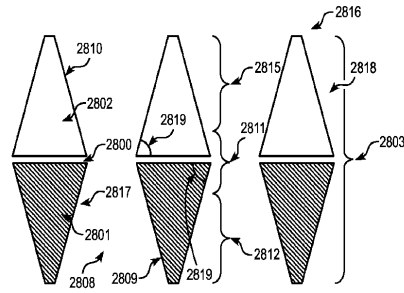


FIG. 28

【 図 2 9 】

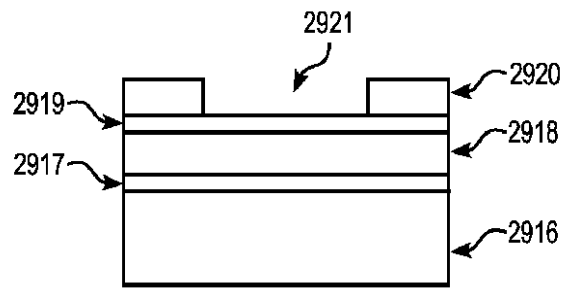


FIG. 29

【 図 3 0 】

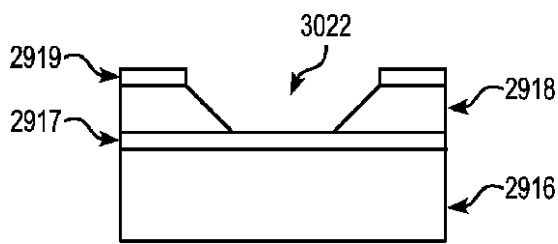


FIG. 30

【 図 3 2 】

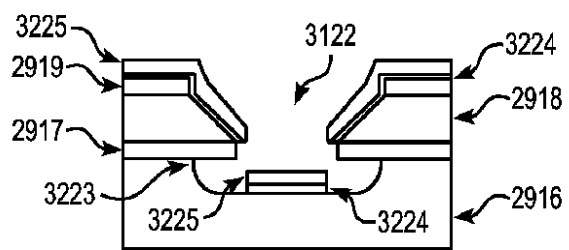


FIG. 32

【 図 3 1 】

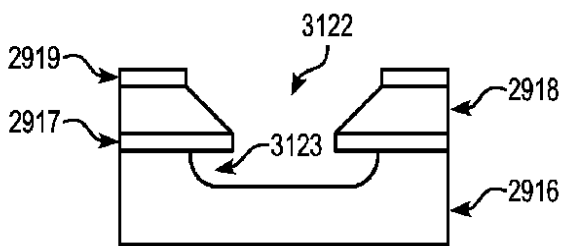


FIG. 31

【 図 3 3 】

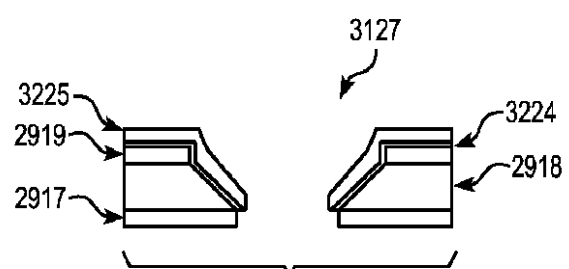


FIG. 33

【 図 3 4 】

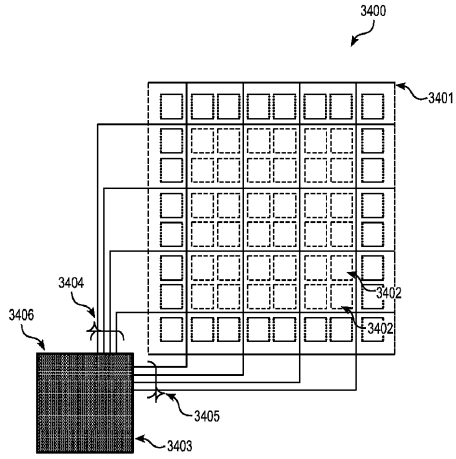


FIG. 34

【 図 3 5 】

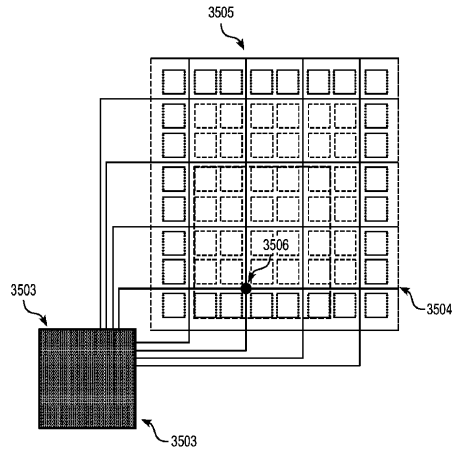


FIG. 35

【 図 3 6 】

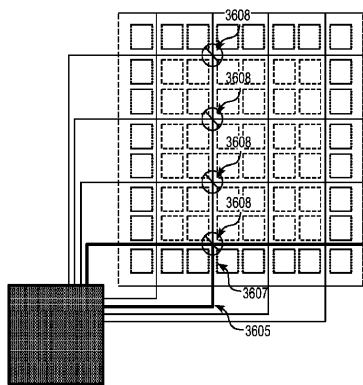


FIG. 36

【 図 3 7 】

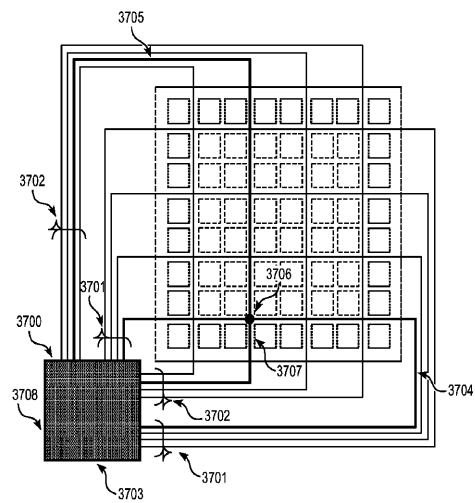


FIG. 37

【 図 3 8 】

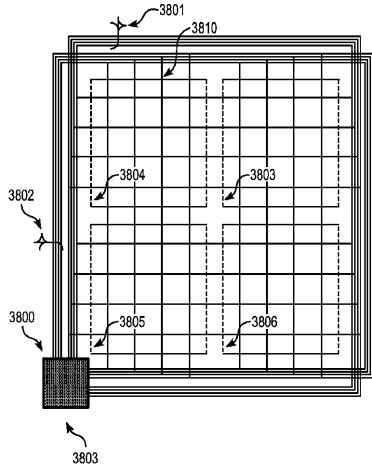


FIG. 38

【 図 3 9 】

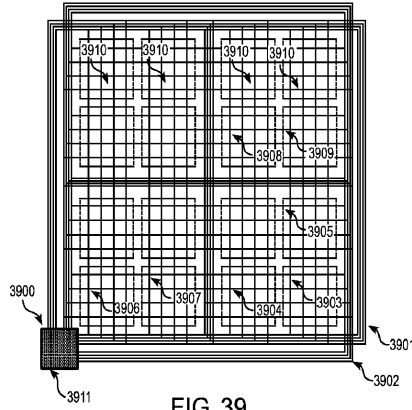


FIG. 39

【 図 4 0 A 】

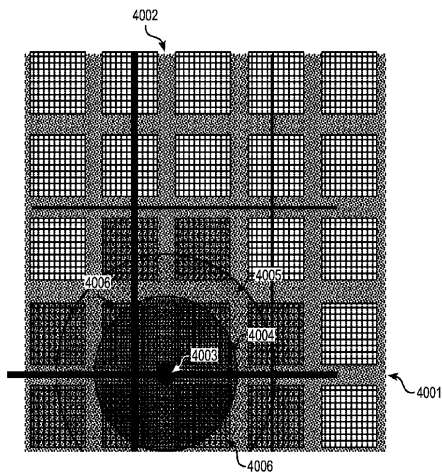


FIG. 40A

【 図 4 1 A 】

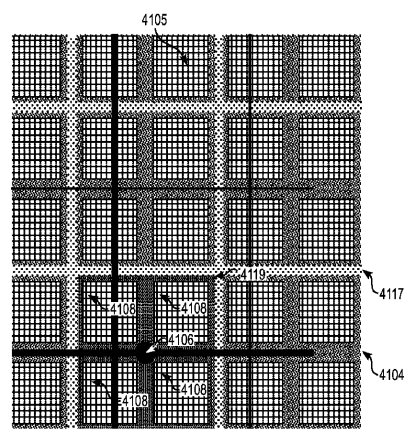


FIG. 41A

【 図 4 0 B 】

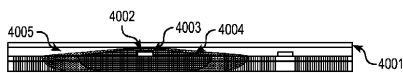


FIG. 40B

【 図 4 1 B 】

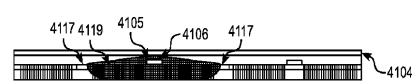


FIG. 41B

【 図 4 0 C 】



FIG. 40C

【 4 2 A 】

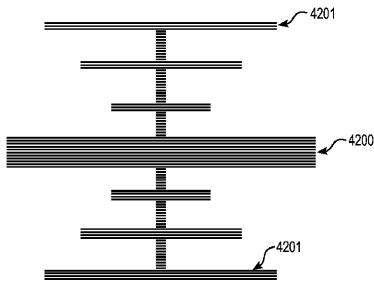


FIG. 42A

【 4 2 B 】

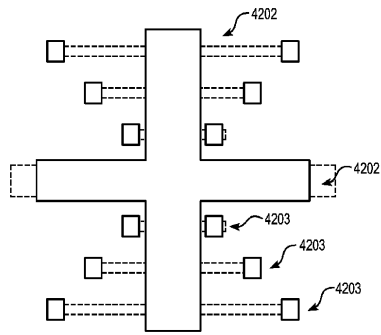


FIG. 42B

【 4 2 C 】

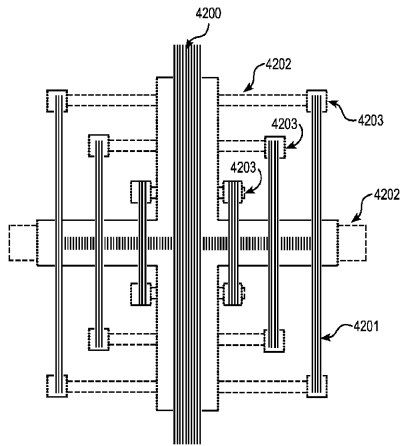
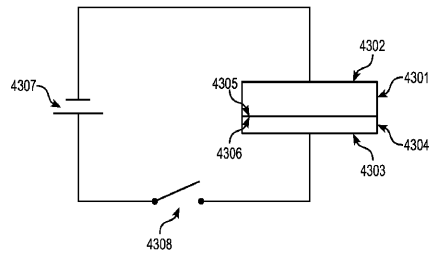


FIG. 42C

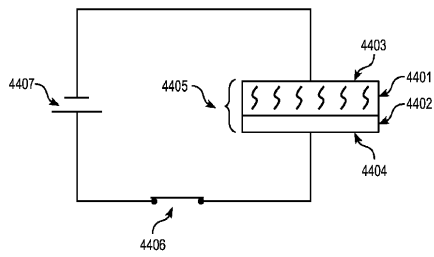
【 4 3 】

FIG. 43



【 4 4 】

FIG. 44



【 4 5 】

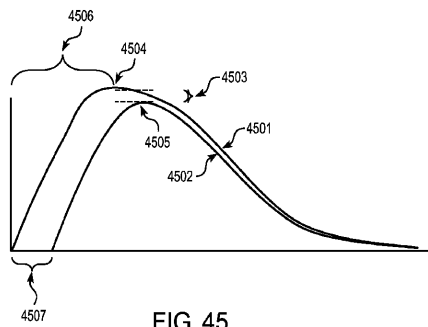


FIG. 45

【 4 6 】

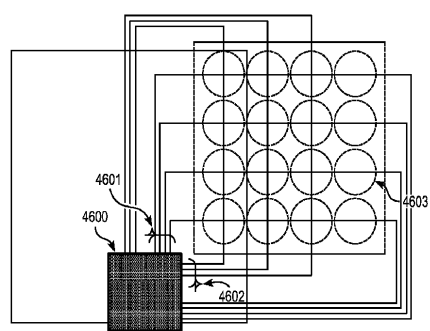


FIG. 46

【 47 】

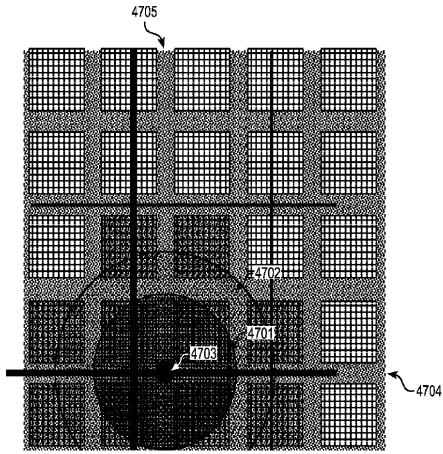


FIG. 47

【 48 】

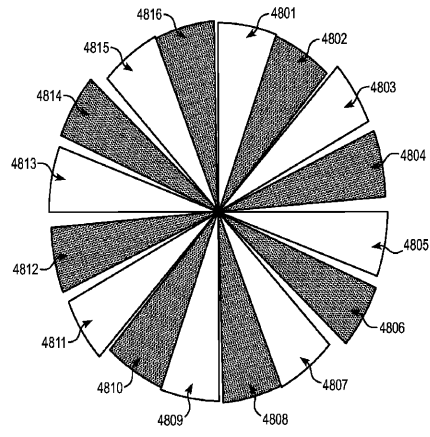


FIG. 48

フロントページの続き

- (72)発明者 ジェイソン・ディ・サンチェス
アメリカ合衆国12054ニューヨーク州デルマー、デラウェア・アベニュー633番、ナンバー
10
- (72)発明者 ピョートル・アー・ガルプス
アメリカ合衆国10036ニューヨーク州ニューヨーク、ウェスト・フォーティサード・ストリー
ト560番、ナンバー43ビー
- (72)発明者 アンドリュー・ディ・ゾネンバーグ
アメリカ合衆国12180ニューヨーク州トロイ、フィフス・アベニュー1425番、セカンド・
フロア

審査官 田合 弘幸

- (56)参考文献 特開平02-132501(JP,A)
実開昭58-179298(JP,U)
米国特許出願公開第2006/0000215(US,A1)
特開2001-223263(JP,A)
LIU Xu-hui et al., Research on addressing ignition control system for solid micro-thru
ster array, Journal of Solid Rocket Technology, 中国, 2010年12月 1日, vol. 33,
No. 6, pp. 708-712
Marcus Young et al., An Overview of Advanced Concepts for Near-Space Systems, 45th AIA
A/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 米国, 2009年, pp. 1-18
Hwanil Huh, Micro-Nozzle Performance and Thermal Transpiration Based Self Pumping in V
acuum Conditions, 38th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit 2008, 米国, 2008
年, Vol. 3, pp. 2052-2059

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F03H 99/00