

(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2015-525132
(P2015-525132A)

(43) 公表日 平成27年9月3日(2015.9.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 0 1 J 19/00 (2006.01)	B 0 1 J 19/00 3 1 1 Z	4 B 0 2 9
C 1 2 M 1/00 (2006.01)	B 0 1 J 19/00 B	4 G 0 7 5
	B 0 1 J 19/00 D	
	C 1 2 M 1/00 A	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2015-517435 (P2015-517435)
 (86) (22) 出願日 平成25年6月13日 (2013. 6. 13)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年1月26日 (2015. 1. 26)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/045731
 (87) 国際公開番号 W02013/188702
 (87) 国際公開日 平成25年12月19日 (2013. 12. 19)
 (31) 優先権主張番号 61/659, 400
 (32) 優先日 平成24年6月13日 (2012. 6. 13)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596060697
 マサチューセッツ インスティテュート
 オブ テクノロジー
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州021
 39ケンブリッジ, マサチューセッツ・ア
 ヴェニュー・77
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (74) 代理人 100113413
 弁理士 森下 夏樹
 (72) 発明者 アナンド, スシャント
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02
 145, サマービル, ブロードウェイ
 433エー, アpartment 54

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面上の液体を浮上させるための物品および方法ならびにそれを組み入れたデバイス

(57) 【要約】

本明細書に記載される方法は、表面のもしくは表面上の、または、表面のテクスチャに封入された相変化材料の気化により蒸気クッションを生じさせることによって、表面上を流動する物質の抗力および付着性を低減するかまたは無くす方策を提供するものである。蒸気クッションは、流動物質を表面の上に浮遊させることにより、流動物質と表面との摩擦、抗力および付着性を大幅に低減する。流動物質の温度は、相変化材料の昇華点および/または融点を上回る。相変化材料は、流動物質と接触すると、その流動物質からその材料への局所熱伝達に起因して相変化（気化または昇華）を経ることにより、その固体または液体の材料とその流動物質との間に蒸気クッションを生成する。

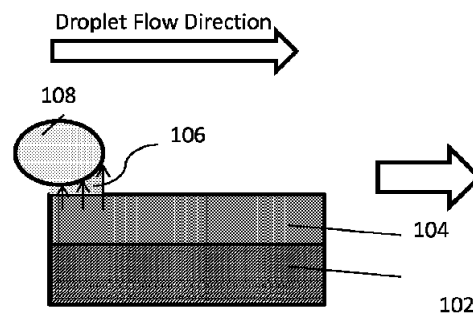


FIG. 1(e)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

相変化材料を含んでいる表面上における流動物質の流動を容易にする方法であって、前記方法は、

前記流動物質の温度よりも低い融解温度および/または昇華温度を（動作圧力において）有する相変化材料を含んでいる表面を提供することと、

前記表面上に前記流動物質を導入し、それによって、前記相変化材料の少なくとも一部分を第 1 の状態から第 2 の状態に局所的に転移させ、それによって、前記流動物質と前記表面との間に潤滑中間層を形成することと

を含んでいる、方法。

10

【請求項 2】

前記表面は、前記相変化材料で含浸させられ、前記表面は、特徴のマトリックスを含み、前記特徴のマトリックスは、前記特徴間または前記特徴内に前記相変化材料を安定的に含有するために十分近い間隔で配列されている、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記流動物質は、液滴である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記流動物質は、動作条件において固体である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記流動物質は、動作条件において液体である、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記流動物質は、液体流である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記流動物質は、液滴流である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記表面は、基材上のコーティングである、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

周囲ガスは、前記相変化材料の前記融解温度および/または昇華温度よりも低い温度を有し、その結果、前記相変化材料は、前記流動物質と接触している位置以外の位置において実質的に前記第 1 の状態のままである、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 10】

前記表面は、チャンネルを形成し、前記チャンネルの上を（または前記チャンネルを通して）前記流動物質が流動する、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

生物学的物質を前記液滴内に封入するステップをさらに含んでいる、請求項 3 または 7 に記載の方法。

【請求項 12】

前記生物学的物質は、DNA および/または RNA を含んでいる、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記液滴は、 $0.1 \text{ pL} \sim 1000 \text{ pL}$ の範囲にある体積を有する、請求項 3、7、11 または 12 に記載の方法。

40

【請求項 14】

前記相変化材料の供給を補充することをさらに含んでいる、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 15】

前記相変化材料は、前記第 1 の状態において液体または固体であり、前記第 2 の状態において蒸気である、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

前記相変化材料は、ケロシン、ジクロロメタン、アセトン、エタノール、ヨウ素およびナ

50

フタレンから選択される液体である、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 17】

前記相変化材料は、ドライアイスである、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 18】

前記相変化材料は、ショウノウおよび乾燥室素から選択される固体である、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

前記流動物質の体積は、輸送中、一定のままである、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

前記第 1 の状態および前記第 2 の状態における前記相変化材料は、前記流動物質と非反応性かつ不混和性である、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 21】

前記表面は、マイクロテクスチャ加工されている、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 22】

前記表面は、選択されたパターンに配置された少なくとも 1 つの前記相変化材料を含んでいて、前記流動物質は、前記選択されたパターンに従って前記表面の上を流動する、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 23】

前記パターンは、略 V 字形パターンであり、前記方法は、第 2 の流動物質を前記表面上に導入することをさらに含み、前記流動物質および前記第 2 の流動物質は、前記略 V 字形パターンの異なる枝道に沿って流動し、前記流動物質および前記第 2 の流動物質は、前記略 V 字形パターンの頂点で合流する、請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記流動物質は、輸送中、前記第 2 の状態における前記相変化材料のみと接触している、前記請求項のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 25】

前記流動物質は、前記相変化材料の前記融点および / または昇華点よりも高い融点および / または昇華点を有する液体である、請求項 1 ~ 2、6、8 ~ 10、または、14 ~ 24 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願

本願は、米国仮特許出願第 61 / 659, 400 号 (2012 年 6 月 13 日出願) への優先権と、その利益とを主張し、それを本明細書で参照によってその全体において援用する

【0002】

技術分野

本発明は、概して、固体または液体の表面の上を流動する液体物質または固体物質の間の抗力を低減するかまたは無くし、かつ、付着性を減少させるための物品、デバイス、および、方法に関する。

【背景技術】

【0003】

背景

固体表面および液体表面の両方の上での物質 (液体および固体の両方) の流動を容易にするための物品および方法が必要とされている。ある種の以前の方法は、コーティングおよび / またはテクスチャ加工された表面であって、その表面と流動液体との接触によってその液体とのある程度の付着性を常に有するものである表面を利用している。

10

20

30

40

50

【0004】

材料間の付着の克服は、多くの工業的問題、例えば、パイプ内の液体についてのポンピング要件の低減、液滴の排出、氷付着の減少およびその他多くの解決に、極めて重要である。一部の状況については、液体と固体表面との間の接触は、かかる接触が固体表面から液体中に汚染物質をもたらすことがあるので、望ましくない。それゆえ、流動物質が流動する表面に対する流動物質の付着性を減少させることができるか、または、流動物質とそれらが一斉に流動する表面との接触を無くすることができるメカニズムを開発する必要がある。後者に関しては、次の方法が利用されてきた：(1) テクスチャ加工表面；(2) ライデンフロスト効果による浮上；および(3) 他の手段、例えば、空気クッション、音響浮上、光浮上、磁気浮上、および、電気力学的/静電浮上の方法。

10

【0005】

テクスチャ加工表面の方法では、マイクロ/ナノ加工表面の使用が、熱流体科学における多種多様な物理現象、例えば、液体-固体抗力、氷付着、自己清浄化および撥水性に適用されている。表面に付与された物理的特質と化学的特質との組み合わせに起因する固体表面と相互作用する液体(水)との接触の減少の結果として、向上が生じる。例えば、マイクロ/ナノスケールの粗さを生じさせるとともに疎水性塗料を堆積させることによって、表面を超疎水性にすることができ、該表面は、表面テクスチャにおける安定した空気-水界面によって水との接触に対する抵抗を示す(図2(a)参照)。この界面が維持される限り、上記表面は、品質向上、例えば、その表面の上を流動する水の抗力低減、および、衝突する水滴の撥水性向上を示す。しかし、空気-水界面は、液体の動圧のため容易に貫入され得(図2(b)参照)、その結果、表面は上記の品質を喪失する。貫入を防止するために、現行の技術は、例えばナノスケール特徴を使用することによるテクスチャ寸法の低減に焦点を当てている。しかし、かかる表面は、製作が難しく、大規模工業適用には非現実的である。さらに、大部分のテクスチャ加工表面の低い付着性は、高い表面張力および低い粘度を有するいくつかの液体、例えば水に限られる。オムニフォビックであり、かつ、様々な液体をはじく表面の作製には、テクスチャ設計へのさらなる検討が必要である。排出されるべき液体に対して不混和性の液体潤滑剤を含浸させたテクスチャ加工表面が、そのような表面に対する液体の付着性を減少させるための代替方法として促進されてきた。しかし、低い付着性にもかかわらず、液滴と固体表面との接触面積は、2液間の界面張力のため大きくなり得、かかる表面上の液滴は、小さい接触角を有し、その結果、液滴と下地表面との接触底面積が大きくなり、抗力が増す。

20

30

【0006】

ライデンフロスト効果の方法による浮上の場合、液滴の浮上は、固体表面を液滴の沸点(典型的には >70)よりもはるかに高い温度に加熱して、過熱された液滴自体の気化により生成される「蒸気クッション」のために液滴がその表面上に浮上するようにすることによって、達成される。これは、ライデンフロスト効果として公知である。浮上した液滴は、表面に沿って自由に移動することができ、下地固体表面との接触はほぼ無視できる。ライデンフロスト効果は、水、低粘度の有機液体、液体窒素、液体酸素、および、ドライアイスに関して実証されてきた。しかし、この方法にはいくつかの制限がある。蒸気クッションの生成は、浮遊材料の気化を必要とし、その結果、浮遊材料の損失が生じる。第2に、このプロセスは、浮遊させる材料の沸点よりもはるかに高い表面温度を必要とする。これにより、大きなエネルギー消費量が必要になり、そのプロセスのより高温での実施も必要となる。多くの液体およびそれらの蒸気は、本来、可燃性であり、過度の加熱は、作業環境において危険である状態を生じさせ得る。第3に、方向性をもつ制御された動きには、基板に対する特別なテクスチャ加工が必要である。第4に、プロセスを高温で開始させるので、この高温が浮遊液体の物理的特性を変化させるが、この変化が望ましくない場合がある。第5に、本来、高粘性である多くの液体は、この技法によって浮遊させることができない場合がある。第6に、浮遊液体の動きに方向性をもたせるには、表面全体をライデンフロスト点(ライデンフロスト効果が表面上で開始される温度)よりも高い温度に加熱しなければならない。第7に、「カーゴ」(液滴または固体基材)は、望ましくな

40

50

い効果、例えば、沸騰または表面上における気泡形成を伴わずに浮上させることができるサイズに限定される。本研究の中で提示する方法は、ある種の実施形態においてこれらの制限を克服する。

【0007】

液体浮上のための他の方法、例えば、空気クッション、音響浮上法、光浮上、および、磁気または電気力学的/静電浮上も提案されてきた。しかし、これらの方法の各々が、その固有の関連制限を有する。液滴の下に空気をポンピングすることによって液滴を浮遊させるには、表面にわたって規則的な間隔で配列された小穴を形成する必要があり、そして、これには、そのような穿孔された固体の微小チャネル内での大きな圧力降下のため、ハイパワーポンプを要する。光、磁気および静電/力学的方法は、必要な音場、磁場または電場を発生させるために浮上のための大きな電力消費を必要とする。さらに、磁場または電場を用いる液滴の浮上には、上述の力による作用を受ける性質をもつ特殊なタイプの液体を使用する必要がある。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0008】

表面の（もしくは表面上の）相変化材料、または、表面のテクスチャに封入された相変化材料の気化によって蒸気のクッションを生じさせることによる、表面の上を流動する物質の抗力および付着性を低減するかまたは無くす方法を、ある種の実施形態で本明細書に記載する。蒸気層は、流動物質を表面の上に浮遊させて、流動物質と表面との摩擦、抗力および付着性を大幅に低下させる。上記物質は、液体、固体、液滴または液滴流の形態であり得る。上記表面は、固体相変化材料、液体相変化材料、または、固体相変化材料と液体相変化材料との組み合わせを含み得る。ある種の実施形態によると、上記表面は、相変化材料（単数または複数）（固体、液体、または、固体相変化材料と液体相変化材料との組み合わせ）から全体的に構成される。上記表面を固体基材の上に配置またはコーティングしてもよい。

20

【0009】

流動物質の温度は、表面の一部である少なくとも1つの相変化材料の昇華点および/または融解温度よりも高い。相変化材料は、流動物質と接触すると、その流動物質からその材料への局所熱伝達に起因して相変化（気化または昇華）を経て、その固体または液体の材料とその流動物質との間に蒸気クッションを生成する。ある種の実施形態によると、流動物質と接触している相変化材料の一部分（例えば、流動物質のすぐ下にある部分）のみが相変化を経る。相変化材料の上方部分（例えば、流動物質と接触している部分）だけは気化するが、その相変化材料の下方部分は、その元の（例えば、固体または液体）状態のままであると考えられる。さらに、ある種の実施形態によると、流動物質と接触していない相変化材料の部分は、相変化を経ない。本アプローチを多種多様な温度で利用してよく、また本アプローチは沸騰を必要としない。

30

【0010】

一部の実施形態では、本明細書に記載する物品、装置、方法およびプロセスを、小型および/または軽量の固体物質を浮遊させるために十分な蒸気が生成される場合、それらの物質の浮上に用いることができる。本明細書に記載する物品、方法およびプロセスは、適切な熱的特性を有する相変化材料の気化（例えば、浮上させるべき材料の温度よりも低い昇華点および/または融点を有する相変化材料の気化）によって浮上が達成される限り、相変化材料を含む表面の上に任意の材料の小滴を浮上させることができる表面を生じさせる。

40

【0011】

封入された表面、被覆された表面、または、室温で高い蒸気圧を有する相変化材料を含む表面を使用することによって、室温であっても流動物質を浮遊させることができる。さらに、低温（例えば、室温よりも低い温度）でも、その温度で気化することができる適切な相変化材料を選択することによって、浮上効果を得ることができる。加えて、このアプ

50

ローチは、任意の所与の熱力学的環境条件のために高い蒸気圧を有する適切な相変化材料を単に選択することによって、特定の適用に適するように容易にカスタマイズすることができる。

【0012】

本明細書に記載する方法および物品は、最低限の力で固体または液体の表面を越えて移動するように液滴を操作すること；危険な材料または敏感材料の外面との接触を制限すること；長い石油パイプラインを通して高粘度の石油を移動させること；衝突液体を発散させることはもちろん、他の適切な適用も含むような、材料間の接触による影響を受けるすべての適用において用いることができる。さらに、本アプローチでは、固体基材上に特殊な特徴を造る必要がなく、マイクロテクスチャ加工された (microtextured) 固体基材上はもちろんのこと、上記表面と適合性のすべての固体基材上で本アプローチを実行して、既存のアプローチで必要とされるようなナノスケールテクスチャを必要とすることなく向上した品質を維持することができる。マイクロスケール特徴の作製はナノスケールのものよりもはるかに容易であって安価であるので、このことは有利であり、そのため本発明のアプローチはより実用的になる。

10

【0013】

さらに、ある種の実施形態において、上記表面は、その中に配置されたチャネルまたはマイクロチャネルであって、これらのチャネルまたはマイクロチャネルの上を流動するように流動物質を方向づけるためのものであるチャネルまたはマイクロチャネルを含んでもよい。本発明の局面は、所望される場合には、流動物質の特異的な指向性の動きを実現することに關する。

20

【0014】

さらに、ある種の実施形態では、上記流動物質と上記表面との接触を最小にし、それによって、非常に低いヒステリシス ($< 2^\circ$) をもたらす。

【0015】

本発明の1つの実施形態は、相変化材料を含む表面上における流動物質の流動を容易にする方法に關する。上記方法は、流動物質温度よりも低い融解温度および/または昇華温度を (動作圧力において) 有する相変化材料を含んでいる表面を提供することを含む。上記方法は、上記表面上に上記流動物質を導入することも含む。上記表面上への流動物質の導入は、上記相変化材料の少なくとも一部分を第1の状態から第2の状態に局所的に転移させ、それによって、上記流動物質と上記表面との間に潤滑中間層を形成する。

30

【0016】

ある種の実施形態において、上記表面には上記相変化材料が含浸させられており、上記表面は、特徴間または特徴内に上記相変化材料を安定的に含むために十分近い間隔で配列されている上記特徴のマトリックスを含む。ある種の実施形態において、上記表面は、マイクロテクスチャ加工されている。

【0017】

ある種の実施形態において、上記流動物質は、液滴である。ある種の実施形態において、上記方法は、生物学的物質を上記液滴内に封入するステップも含む。ある種の実施形態において、上記生物学的物質は、DNAおよび/またはRNAを含む。ある種の実施形態において、上記液滴は、 $0.1 \text{ pL} \sim 1000 \text{ pL}$ の範囲にある体積を有する。

40

【0018】

ある種の実施形態において、上記流動物質は、動作条件において固体である。ある種の実施形態において、上記流動物質は、動作条件で液体である。ある種の実施形態において、上記流動物質は、液体流である。ある種の実施形態において、上記流動物質は、液滴流である。

【0019】

ある種の実施形態において、上記表面は、基材上のコーティングである。ある種の実施形態において、周囲ガス (例えば、空気) は、上記相変化材料の融解温度および/または昇華温度よりも低い温度を有し、その結果、上記相変化材料は、上記流動物質と接触して

50

いる位置以外の位置において実質的に第1の状態のままである。ある種の実施形態において、上記表面は、チャンネルを形成し、そのチャンネルの上を（またはそのチャンネルを通じて）上記流動物質が流動する。ある種の実施形態において、上記表面は、選択されたパターンに配置された少なくとも1つの相変化材料を含み、上記流動物質は、その選択されたパターンに従って上記表面の上を流動する。ある種の実施形態において、上記パターンは、略V字形状パターンであり、上記方法は、第2の流動物質を上記表面上に導入することをさらに含み、上記流動物質および上記第2の流動物質は、上記略V字形状パターンの異なる枝道に沿って流動し、上記流動物質および上記第2の流動物質は、上記略V字形状パターンの頂点で合流する。

【0020】

ある種の実施形態において、上記方法は、上記相変化材料の供給またはレベルを補充するステップも含む。ある種の実施形態において、上記相変化材料は、第1の状態において液体または固体であり、第2の状態において蒸気である。ある種の実施形態において、上記相変化材料は、ケロシン、ジクロロメタン、アセトン、エタノール、ヨウ素およびナフタレンから選択される液体である。ある種の実施形態において、上記相変化材料は、ドライアイスである。ある種の実施形態において、上記相変化材料は、ショウノウおよび乾燥窒素から選択される固体である。

【0021】

ある種の実施形態において、上記流動物質の体積は、輸送中、一定のままである。ある種の実施形態において、上記相変化材料は、上記流動物質と非反応性かつ不混和性である。ある種の実施形態において、上記流動物質は、輸送中、第2の状態の上記相変化材料のみと接触している。

【0022】

ある種の実施形態において、上記流動物質は、上記相変化材料の融点および/または昇華点よりも高い融点および/または昇華点を有する。

【0023】

本発明の所与の局面に関して記載した実施形態の要素を、本発明の別の局面の様々な実施形態で使用してもよい。例えば、ある独立請求項に従属する従属請求項の特徴を、他の独立請求項のいずれかの装置および/または方法で用いることができると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

下記で説明する図面、および、請求項を参照することで、本発明の目的および特徴をよりよく理解することができる。

【0025】

【図1-1】図1(a)~図1(d)は、材料1と材料2との間に生成される中間層（蒸気）の概略図を示す。材料2は、材料1の相変態点（融点および/または昇華点）よりも高い温度を有する。材料2と材料1との接触は、材料2と接触している材料1の部分を、蒸気状態である中間層状態に転移させる。図1(a)および図1(b)は、材料2の完全浮上状態に対応する。図1(c)および図1(d)は、材料2の部分的または間欠的な浮上状態に対応する。図1(b)および図1(d)において、材料2は、材料1の相変態点（融点および/または昇華点）よりも高い温度を有し、材料2の相変化温度は、材料1の相変化温度よりも高い。

【0026】

【図1-2】図1(e)は、表面104によって少なくとも部分的に被覆されている固体基材102の概略図であり、上記表面は、少なくとも1つの相変化材料を含み、上記相変化材料の少なくとも一部分は、液滴108と接触すると、その元の第1の状態から第2の状態に転移する。層106は、液滴108と表面104との間の潤滑中間層である。図1(f)は、示されている流動方向に液滴108がさらに移動した後の図1(e)の液滴108の概略図である。中間層106は、液滴108の全体の下に形成する。図1(g)は、表面104の上を流動する液滴108の流れの概略図である。潤滑中間層106が液滴

10

20

30

40

50

108の流れと表面104との間に維持されるように、動作条件を選択することができる。言い換えると、液滴108の流れと表面104との間に一定の潤滑中間層106があるように、動作条件を選択することができる。表面104内の相変化材料(単数または複数)を補充源120に結合させることができ、該補充源120は、第2の状態への転移用に構成されているある量の相変化材料(単数または複数)を表面104内に補充するように構成されている。表面104は、表面104内の相変化材料(単数または複数)の量が所定の閾値よりも低下すると表面104内の相変化材料(単数または複数)の量を補充するように補充源120に信号を送信する構成になっている1つ以上のセンサを含んでもよい。各液滴108を、液滴108を識別して選別するように構成されている選別機/検出器122に向かわせることができる。図1(e)~図1(g)は、液滴108に関して示され、説明されているが、液滴108が、表面104の上を流動している任意の固体、液体、または、固体流もしくは液体流であってよいことは、当業者には理解されるであろう。

10

【0027】

【図2-1】図2(a)は、表面テクスチャがまだ液体に貫入していない状態の典型的な疎水性表面上の液体状態の略図である。図2(b)は、テクスチャが液体に貫入している状態の典型的な疎水性表面上の液体状態の略図である。図2(c)は、流動物質(浮遊材料(材料2))と固体基材(固体)との接触を無くすための、固体基材(固体)の表面テクスチャ内の封入物質(二次材料(材料1))の気化によって浮上または浮遊している流動物質(浮遊材料(材料2))の略図である。封入物質(二次材料(材料1))の気化により、中間潤滑蒸気層が形成されることになる。この実施形態では、流動物質(浮遊材料)を完全浮上モードで示す。流動物質(浮遊材料)は、部分浮上モードまたは間欠浮上モードのままであってもよい。

20

【0028】

【図3】図3は、3000 fpsで撮像したドライアイス表面に対する水滴衝突のシーケンスを図示するものである。水滴の体積は、おおよそ5 μ Lである。図面からわかるように、液滴は、乾燥した表面には付着せず、その代わりにその表面で弾み、最終的には表面を脱する。

【0029】

【図4】図4は、3000 fpsで撮像したドライアイス表面に対する水滴衝突のシーケンスを図示するものである。水滴の体積は、おおよそ5 μ Lである。水滴をドライアイス表面から遠く離して吐出した(液滴を吐出した高さ=20 cm)。

30

【0030】

【図5】図5は、30 fpsで撮像した紙の上に保持されているドライアイスの表面上に吐出されたアルファ-プロモナフタレン液滴の動きを示すシーケンスを図示するものである。これらの画像からわかり得るように、液滴は、表面で非常に移動しやすい。t=0.12秒後、液滴は、ドライアイス表面を離れ、紙に吸収され、液滴が吸収される領域は、t=0.20秒の時点の方がより暗く見える。

【0031】

【図6】図6は、30 fpsで撮像した紙の上に保持されているドライアイスの表面上に吐出された高粘度グリセロール液滴の動きを示すシーケンスを図示するものである。これらの画像からわかるように、液滴は表面で非常に移動しやすい。t=0.16秒後、液滴はドライアイス表面を離れ、紙によって捕捉され、そこで液滴として残存する。

40

【0032】

【図7】図7は、30 fpsで撮像した紙の上に保持されているドライアイスの表面上に吐出したテトラエチルオルトシリケートジェットのシーケンスを図示するものである。これらの画像からわかるように、周囲の紙は、その有機液体によっては湿潤していない。その代わりに、その有機液体は広がり、ドライアイス内に吸収される。ドライアイス表面からの二酸化炭素の発生に起因して、その広がっている液体の中で気泡が凝集する。

【0033】

【図8】図8は、ドライアイスにおいてパターン形成された人工作成キャピティの中で振

50

動する水滴のシーケンスを図示するものである。ドライアイスよりも高温に保たれた鋼製ディスクに力を加え、ドライアイスに押し付けることによって、パターンを作った。印加された力に起因する側圧は、鋼製ディスクの下のドライアイスの非常に高度な昇華をもたらし、それによって、水滴が振動するためのキャビティが作られる。様々な異なる形状のチャンネルおよびキャビティを作ることができる。

【0034】

【図9】図9(a)は、下地表面材料において切り抜かれた半球形パターンを図示するものである。図9(b)は、下地表面材料で製造された管を図示するものである。図9(c)は、下地表面材料にパターン形成された任意形状のチャンネルを図示するものである。

【0035】

【図10】図10は、相変化材料でコーティングまたは被覆された下地表面にパターン形成された微小チャンネルを含む、流動物質の流動を容易にするためのシステムを図示するものである。2(またはそれよりも多くの)タイプの材料の液滴を2本の異なるチャンネルからシステムに(例えば射出によって)導入する。2本の異なるチャンネルからの液滴は、それら2チャンネル間の交差点で集束し、混ざり、その後、輸送チャンネルに沿って移動する。

【0036】

【図11】図11は、熱エネルギーを流動物質に供給する、同軸上に位置するレーザーによる流動物質材料の人工的加熱を図示するものである。

【0037】

【図12】図12は、相変化材料を使用して封入物品を製造するための実施形態の例を図示するものである。この実施形態は、2本の同心管、外側ケーシング(固体表面)と内側ケーシング(溝付き固体表面)とを図示するものである。外側ケーシングは、物品全体を保持するために強度を提供する固体表面である。内側ケーシングは有孔管であり、それを通して相変化材料が管の内側に押しやられる。外側ケーシングと内側ケーシングとの間の領域は、最初は空であり、一定の離隔距離で維持され、これを「フィードスルー領域」と呼ぶ。昇華性基材材料は、封入物品の外側で生成されるか、または、封入物品の外側から送り込まれ、そしてその後、フィードスルー領域を通してその物品に送り込まれ、そこで相変化材料は、2本の同心管間での圧縮のために内側ケーシングの穿孔を通して管の内側の方に流動し、最終的に複合材を形成する。

【発明を実施するための形態】

【0038】

請求項に記載の本発明の装置、物品、方法およびプロセスは、本明細書に記載する実施形態からの情報を用いて開発される変形形態および適合形態を含むことが想定されている。関連技術分野の当業者であれば、本明細書に記載する装置、物品、方法およびプロセスの改変および/または変更を行うことができる。

【0039】

本明細書を通して、装置および物品が特定の成分を有するか、含むか、または、含んでいると記載されている場合、または、プロセスおよび方法が特定のステップを有するか、含むか、または、含んでいると記載されている場合、挙げられている成分から本質的になる、または、挙げられている成分からなる本発明の装置および物品があること、ならびに、挙げられている加工ステップから本質的になる、または、挙げられている加工ステップからなる本発明によるプロセスおよび方法があることが、想定されている。

【0040】

なお、ステップの順序またはある種の動作を実施するための順序は、本発明が依然として実施可能である限り、重要でない。さらに、2つ以上のステップまたは動作を同時に行ってもよい。

【0041】

本明細書における、例えば背景技術セクションにおける任意の出版物についての言及も、その出版物が、本明細書に提示する請求項のいずれかに関する先行技術として役立つことを認めるものではない。背景技術セクションは、明瞭さを目的として提示するものであ

10

20

30

40

50

り、いずれかの請求項に関する先行技術の説明としての意図はない。

【0042】

ある種の実施形態では、マイクロスケール特徴を使用する（例えば、特性寸法が1マイクロメートル～約100マイクロメートル）。ある種の実施形態では、ナノスケール特徴を使用する（例えば、1マイクロメートル未満、例えば、1nm～1マイクロメートル）。

【0043】

本発明のある種の実施形態は、図1および図1(e)～図1(g)に示すように下地表面のまたは下地表面上の少なくとも1つの相変化材料の相変化（気化/昇華）によって生成される潤滑中間層を作ることによって2材料間の付着性を低下させることに関する。1つの実施形態によると、上記中間層は、下地表面からの少なくとも1つの相変化材料（材料1）の気化（上記材料1が液体である場合）、または、下地表面からの少なくとも1つの材料（材料1）の昇華（上記材料1が固体である場合）のいずれかによって形成される蒸気層を含む。下地表面は、異なる熱的特性を呈する1つ以上の相変化材料を含むことがある。

10

【0044】

1つの実施形態において、上記中間潤滑蒸気層の形成は、流動物質（浮遊材料）の完全浮上をもたらすことがあり、したがって、流動物質（浮遊材料）と下地表面との接触をもたらさない（図1(a)および図1(b)）。別の実施形態において、上記中間潤滑蒸気層の形成は、部分浮上をもたらすことがあり、その結果、流動物質（浮遊材料）と下地表面との接触が減少する（図1(c)および図1(d)）。さらに別の実施形態において、上記流動物質（浮遊材料）は、下地表面材料と間欠的に接触することがある（図1(c)および図1(d)）。

20

【0045】

ここで、「完全浮上」は、流動物質（浮遊材料）が、その流動物質（浮遊材料）の輸送中、中間潤滑蒸気層によって常に分離している状態と定義される。「部分浮上」は、流動物質（浮遊材料）が、その流動物質（浮遊材料）の輸送中、中間潤滑蒸気層と常に部分的に接触している状態と定義される。「間欠浮上」は、流動物質（浮遊材料）が、その流動物質（浮遊材料）の輸送中の異なる時点で「部分浮上」または「完全浮上」のいずれかで存在する場合に存在する。

30

【0046】

浮上が完全であるか、部分的であるか、または、間欠的であるかは、流動物質（浮遊材料）の重量、相変化材料の気化率、流動物質（浮遊材料）の熱的特性、システムにおける不安定性、および、流動物質（浮遊材料）の流動条件を含むが、これらに限定されないいくつかの因子に応じ得る。流動物質（例えば、水滴または膜）は、かかる中間潤滑蒸気層上を、無視できる付着性で移動することができる。ある種の実施形態では、多種多様な流動物質の部分浮上または間欠浮上が可能であり、それによって、流動物質の下地表面への付着性は非常に低くなる。

【0047】

本発明の別の実施形態によると、相変化材料を図2(c)に図示するように含浸によって固体表面に捕捉することができる。液体含浸表面は、2011年11月22日に出願された「Liquid-Impregnated Surfaces, Methods of Making, and Devices Incorporating the Same」と題する米国特許出願第13/302,356号に記載されており、この開示はその全体が参照によって本明細書に援用される。表面からの液滴発散を増進または抑制する物品および方法は、2012年6月13日に出願された「Articles and Methods for Modifying Condensation on Surfaces」と題する米国特許出願第13/495,931号明細書に記載されており、この開示はその全体が参照によって本明細書に援用される。

40

【0048】

50

本発明のある種の局面によると、固体基材（例えば、パイプライン）は、固体または液体の表面によって少なくとも部分的に被覆される。上記固体または液体の表面を任意の適切なやり方で固体基材に注入、コーティング、ラミネートまたは適用することができる。上記固体または液体の表面は、流動物質（固体または液体）と接触すると気化または昇華するように、かつ、上記流動物質と上記固体または液体の表面との間に蒸気層を形成するように構成されている少なくとも1つの相変化材料を含むか、または、少なくとも1つの上記相変化材料からなる。ある種の実施形態では、流動物質と接触している固体表面の大部分が相変化材料で被覆されるように、固体表面が相変化材料を包み込む。

【0049】

異なる温度で気化することができる広範な種類の固体相変化材料および液体相変化材料が存在する。それゆえ、蒸気クッションによる低い付着性を、水のライデンフロスト温度よりも有意に低い温度で達成することができる。したがって、本発明の局面は、下地の固体または液体の表面を水のライデンフロスト温度に加熱して表面の上に水滴を浮遊させるための有意なエネルギーの増大を必要としない。室温で高い蒸気圧を有する相変化材料を含む表面を使用することによって、室温であっても流動物質を浮遊させることができる。さらに、流動物質の浮遊を低温（例えば、室温よりも低いかまたは有意に低い温度）において、そのような低温で気化することができる上記表面のもしくは上記表面上の、または、上記表面のテクスチャ内に封入された適切な固体相変化材料または液体相変化材料を選択することによって、達成することができる。

【0050】

さらに、流動物質（水）の（気化による）損失をもたらすライデンフロスト現象とは対照的に、本発明の局面は、流動物質の損失をまったくもたらさないか、無視できる損失しかもたらさない物品および方法に関する。流動物質が表面の上を流動すると、気化または昇華する相変化材料のみが消散する。流動物質の体積および量は、輸送中、一定のままである。さらに、流動物質は、輸送中、無損傷のままである。さらに、本発明の局面は、酸素、塵粒および他の汚染物質を遮断することによるか、あるいは、酸素、塵粒および他の汚染物質が流動物質に到達させないようにすることによる、流動物質の汚染の低減および防止に関する。ある種の実施形態は、流動物質を包み込み、それによって、汚染物質および他の粒子を流動物質に到達させないようにすることができる中間潤滑蒸気層を作ることに関する。

【0051】

浮遊流動物質と基材材料との接触領域

流動物質（固体または液体）と、相変化材料（単数または複数）を含む下地表面との接触面積は、下地表面上のまたは下地表面の相変化材料（単数または複数）によって生成される中間層の厚みおよび均一性によって決まる。中間層の厚みは、相変化材料（単数または複数）の気化／昇華率によって決まる。先に述べたように、完全浮上、部分浮上および間欠浮上という3つの浮上状態が可能である。

【0052】

完全浮上は、流動物質が中間層によって常に分離しているので結果として流動物質と下地表面とが接触しない状態である（例えば、図1（a）および1（b））。密度 ρ_d および半径 R_d の流動物質についての体積力は、 $\rho_d R_d^3 g$ によって与えられる。完全浮上のために、気化率は、この体積力に対抗するために十分なものである必要がある。相変化材料が、

【数1】

$$\dot{m}_v$$

k g / 秒の率で気化／昇華し、 U_v m / 秒の蒸気速度を生じさせる場合には、完全浮上のために：

10

20

30

40

【数 2】

$$\begin{aligned} \rho_d R_d^3 g &\sim \dot{m}_v U_v \\ &\sim \rho_v R_d^2 U_v \\ \rightarrow U_v &\sim \frac{\rho_d g}{\rho_v} R_d \end{aligned} \quad (1)$$

【0053】

したがって、相変化材料が、等式(1)によって与えられる流量で蒸気を生じさせる場合、生成される蒸気クッション上に流動物質を完全に浮遊させることができる。

10

【0054】

部分浮上は、流動物質が常に中間潤滑蒸気層と部分的に接触しており、結果として流動物質と下地表面との接触が減少した状態である(例えば、図1(c)および図1(d))。

【0055】

間欠浮上は、流動物質がその流動物質の輸送中の異なる時点で部分的に浮上しているか、または、完全に浮上しており、したがって流動物質が下地表面と間欠的に接触することがある状態である(例えば、図1(c)および図1(d))。ある種の実施形態は、流動物質の所望の浮上領域を実現するための、適切な相変化材料および/または動作条件の選択に関する。

20

【0056】

完全浮上が存在しない場合であっても、中間潤滑蒸気層の存在が、接触を事実上間欠的にすることによってでも、流動物質と下地表面との付着を減少させる。中間層が形成される方式によっては、蒸気クッションの局所的形成が可能であり、それに起因して、流動物質と下地材料との付着力が低減する。中間層形成の蒸気メカニズムを下記に述べる。

【0057】

中間(蒸気)層の生成

相変化材料は、昇華性固体、気化性液体、非昇華性固体と昇華性固体との複合材、または、気化性液体と非昇華性固体との複合材であってよい。上述の点での相変化材料組成にかかわらず、下記で説明する次の6メカニズムのいずれかによって蒸気中間層を生成することができる：(1)液体からの自然気化；(2)固体からの自然昇華；(3)外部加熱による液体からの強制気化；(4)外部圧力変化による固体からの強制昇華；(5)接触熱伝達による気化；および(6)接触熱伝達による昇華。

30

【0058】

液体からの自然気化

気化は、温度 T_{liquid} の液体基材(Aによって示す)が、温度 $T_{surrounding}$ の不飽和蒸気成分を有するガス混合物(Bによって示す)によって包囲されると発生する。周囲ガス混合物中の基材液の蒸気の拡散係数が D_{AB} $m^2/秒$ である場合には、周囲への物質移動の速度は、

【数 3】

$$\dot{m}_c \propto D_{AB} (\rho_A^* - \rho_{Aco}) \quad (2)$$

40

によって与えられ、この式中、

【数 4】

ρ_{Aco}

は、液体基材から遠く離れた場所での蒸気の密度であり、

【数 5】

$$\rho_A^*$$

は、液体基材のすぐ近くの蒸気の密度であり、飽和条件によって与えられる。かかる相変化液体材料の例としては、アセトン、エタノール、様々な有機液体、および、これらの任意の組み合わせが挙げられる。

【0059】

固体からの自然昇華

昇華は、固体基材が、相図におけるその固体基材の三重点よりも低い温度および圧力で、その固体状態から蒸気状態に直接変化すると、発生する。したがって、圧力 P および温度 T を有する系に曝露された昇華温度 $T_{\text{sublimation}}$ を有する固体基材は、継続的に蒸気に変換されることになる。先に説明した液体からの気化に類似して、物質移動速度は、

10

【数 6】

$$\dot{m}_c \propto D_{AB} (\rho_A^* - \rho_{A\infty})$$

によって与えられ、この式中、

【数 7 - 1】

$$\rho_{A\infty}$$

20

は、固体基材から遠く離れた場所での蒸気の密度であり、

【数 7 - 2】

$$\rho_A^*$$

は、固体基材のすぐ近くの蒸気の密度であり、飽和条件によって与えられる。かかる相変化固体材料の例としては、ドライアイス（固体二酸化炭素）が挙げられる。

【0060】

外部加熱による液体からの強制気化

30

上の等式 2 から、蒸気密度の差

【数 8】

$$(\rho_A^* - \rho_{A\infty})$$

を増加させることによって気化率を増加させることができることが、わかる。これは、液体の温度 T_{liquid} を増加させ、したがって

【数 9】

$$\rho_A^*$$

40

を増加させることによって、蒸気の飽和条件を増すことによって達成される。加熱温度の上限は、所与の動作圧力における基材液の沸騰温度である。したがって、より高温に揮発性の液体を加熱することによって、気化率を増加させることができ、したがって中間層の厚みを増加させることができる。かかる液体相変化材料の例としては、アセトン、エタノール、様々な有機液体、および、これらの任意の組み合わせが挙げられる。

【0061】

外部圧力変化による固体からの強制昇華

上の等式 2 から、蒸気密度の差

【数 10】

$$(\rho_A^* - \rho_{Ac})$$

を増加させることによって昇華率を増加させることができることがわかる。これは、系の圧力を低下させることによって、または、相変化材料の温度を上昇させることによって達成される。かかる材料の例としては、加熱すると直接昇華するヨウ素、ナフタレンが挙げられる。

【0062】

接触熱伝達による気化

温度 $T_{\text{surrounding}}$ のガス混合物によって包囲された温度 T_{liquid} の液体相変化材料を、流動物質温度 T_{material} が該液体相変化材料の沸点 T_{BP} よりも高いような流動物質（固体または液体）と接触させた場合には、これら2つの材料の接触は、液体相変化材料の局所的相変化をもたらすことができ、それによって、蒸気層が作られる。

【0063】

接触熱伝達による昇華

温度 $T_{\text{surrounding}}$ のガス混合物によって包囲された温度 T_{solid} の固体相変化材料を含むかまたは上記固体相変化材料でコーティングされた固体基材を、流動物質温度 T_{material} が該固体相変化材料の昇華温度 $T_{\text{sublimation}}$ よりも高いような流動物質（固体または液体）と接触させた場合には、これら2つの材料の接触は、固体相変化材料の局所的相変化をもたらすことができ、それによって、蒸気層が作られる。流動物質が液体である実施形態において、その流動液の凝固点が相変化材料の昇華温度よりも高い場合、昇華性固体相変化材料上にその流動物質が広がらないようにすることができる。

【0064】

下地表面の相変化に起因する付着減少

先に述べたように、浮遊流動物質は、液体であってもよいし、または、固体の物体であってもよい。下地の固体または液体の表面は、相変化固体材料、相変化液体材料、または、固体相変化材料と液体相変化材料との複合材であってよく、または、相変化固体材料、相変化液体材料、または、固体相変化材料と液体相変化材料との複合材を含んでもよい。

【0065】

図3は、水滴のサイズ（直径）に匹敵する高さからドライアイスの表面上に吐出された水滴の衝突のシーケンスを示す。吐出される水滴は室温であるが、実験を室圧条件で行うので、下地ドライアイス表面は、約 -78 の一定温度で昇華している。このシーケンスは、水滴が、凍結するのではなく、下地相変化ドライアイス材料と即座に相互作用し、その結果、水滴から下地相変化ドライアイス材料に熱が伝達され、その結果、ドライアイスの局所的昇華が増進されることを示す。結果として、水滴の下のドライアイスが蒸気層に変換され、その結果、水滴がその元の固体状態でドライアイスに付着することが顕著に減少する。水の凝固点（ 0 ）は、ドライアイスの昇華温度よりも高いので、水は、ドライアイス上に広がるのではなく、液滴形状のままである。言い換えると、ドライアイスの昇華の結果として、水滴は、固体状態のドライアイスと接触するのではなく、ドライアイスの昇華によって生成される蒸気層と主として接触するか、または、蒸気層とのみ接触することになる。図3の画像シーケンスからわかるように、下地ドライアイス表面は、非常に小さい傾斜角（ $< 2^\circ$ ）を有し、水滴は、下地ドライアイス表面への非常に低い接着性を示し、最終的には下地ドライアイス表面から脱する。

【0066】

図4は、水滴がドライアイス表面から離れて遠い距離（例えば、水滴の直径よりも有意に大きい距離）で吐出されたときのドライアイス表面に対する水滴衝突挙動を示す（水滴吐出高さ = 20 cm）。図4に示すように、水滴は、衝突し、広がり、かつ、多くのよ

10

20

30

40

50

り小さい液滴に分解し、ドライアイス表面を転がり続ける。重ねて、水の凝固点(0)はドライアイスの昇華温度よりも高いので、水は、ドライアイス上に広がるのではなく、液滴形状のままである。相変化材料を含む固体または液体の表面の上に流動物質が導入される際の条件は、所望される効果に応じて異なる。ある種の流動物質については、その流動物質が、衝突するか否か、広がるか否か、および、より小さい液滴または粒子に分解するか否かは重要ではないが、それは他の適用には重要である。したがって、流動物質を表面に導入する様式を、流動物質の所望の流動様式に応じて調整することができる。

【0067】

様々な液体のオムニフォビシティ

本発明者らの発案の研究については、中間潤滑蒸気層が、自然の原因(液体からの自然気化もしくは固体からの自然昇華)もしくは強制的な原因(外部加熱による液体からの強制気化もしくは外部圧力変化による固体からの強制昇華)によって、または、接触熱伝達(接触熱伝達による気化もしくは接触熱伝達による昇華)によって確立されることが、肝要である。

10

【0068】

図5および図6は、2つの材料、アルファプロモナフタレンとグリセロールがドライアイスの表面上に吐出され、それらの相互作用がこれらの浮遊材料からドライアイスへの接触熱伝達をもたらす場合を示す。各材料は、(-78)のドライアイスの昇華温度と同じ)ドライアイスの温度よりも高い融点を有する。結果として、これら両方の材料が、ドライアイス表面に広がるのではなく、ドライアイス表面を転がる。

20

【0069】

他方で、図7は、材料、テトラエチルオルトシリケート液滴がドライアイス上に広がる場合を示す。この液体は、ドライアイスの昇華温度に匹敵する凝固点(-78)を有する。結果として、この液体は、ドライアイスに気化させるために十分な熱を伝達することができず、ドライアイス上に直接広がる。t = 0.12秒より後の時点で観察された気泡は、流動物質と接触しているドライアイスの気化によって生成された二酸化炭素ガスのために形成される。広がることもありまたは転がることもある様々な材料のリストを下の表1に示す。

【表 1】

表 1：ドライアイス上に広がるかまたはドライアイス上を転がる材料のリスト

	CAS	MP °C	hfg kJ/kg	hfg+CligΔTl	表面張力、 液体	力学的粘底 (Dyna- mic Viscosity)、 液体	動粘底 (Kinemat- ic Viscosity)、 液体	広がる か?
					mN/m または dyn/cm	cP	cSt	
テトラエチル オルトシリケート	78-10-4	-78						Y
トリクロロビニルシラン	75-94-5	-95						Y
ヘキサン	110-54-3	-95.16	171.057	390.1074522	17.98091517	0.286218927	0.43613885	Y
ヘプタン	142-82-5	-90.43	140.014	365.3677443	19.77681872	0.402551947	0.590530499	Y
酢酸エチル	141-78-6	-83.7	118.947	308.7606708	23.24044626	0.420240359	0.470390523	Y
ペンタン	109-66-0	-129.73	116.438	338.6958283	15.46605533	0.245270362	0.394807534	Y
エタノール	64-17-5	-114.4	108	336.4596796	23.38597471	1.041758346	1.323400893	Y
アセトン	67-64-1	-95	97.99	313.1729369	23.04083028	0.31114062	0.396011821	Y
トルエン	108-88-3	-95	71.847	239.3461512	27.92544186	0.565450807	0.653932496	Y
CO2	124-38-9	-78						
水		0	334	417.66	72	0.89		N
エタノールアミン	141-43-5	10.65	335.538	368.0345905	50.24550288	22.16725894	21.86773596	N
プロピレングリコール	57-55-6	-60	99.48	322.6950712	35.47006509	48.99417181	47.4532577	N
デカン	124-18-5	-29.51	201.849	311.0172571	23.40590276	0.835779944	1.147257355	N
ドデカン	112-40-3	-9.43	216.04	281.1068158	24.9390154	1.357389348	1.822018018	N
テトラデカン	629-59-4	5	227.176	260.3015124	26.15179745	2.052424839	2.708083711	N
エチレングリコール	107-21-1	-12.4	160.436	246.8327712	49.89191875	17.19415434	15.49171193	N
ヘキサデカン	544-76-3	17	235.641	242.2904979	27.0868661	3.127040173	4.060217401	N
ジエチレングリコール	111-46-6	-10.3	154.54	228.3087359	49.53865475	29.10512223	26.12913981	N
ホルムアミド (formamida)	75-12-7	2.55	177.171	218.8663302	59.41123634	3.397153179	3.008767657	N
グリセロール	56-81-5	18.33	198.535	202.5046541	65.15998508	747.1141884	594.4756088	N
ジメチルスルホキシド	67-68-5	18.7	183.912	186.3790333	43.78274035	2.005994401	1.830903246	N
1234 テトラヒドロナフタレン	119-64-2	-35.75	94.172	185.8649022	33.15802758	2.046945373	2.116575107	ビーズ
オレイン酸	112-80-1	13.53	140.193	155.8680584	32.34042661	29.28821752	32.98492136	N
プロモベンゼン	108-86-1	-30.72	67.684	117.8223173	35.91432672	1.003555172	0.674659794	ビーズ
1-ブロモナフタレン (Bromnaphthalene)	90-11-9	6.35	73.405	88.68826053	44.38748057	3.713082848	2.511937393	N
1, 2, 3- トリプロモプロパン	96-11-7	16.19	82.17	85.0959112	46.52288885	3.737720492	1.550352255	N
シクロヘキサン	110-82-7	6.47	31.844	57.89907132	24.6518243	0.918205149	1.187571686	N
シリコン油 1000 cSt	63148-62-9	-59						N

10

20

30

【0070】

指向性流動および基材のパターン形成

表面が昇華性固体（例えば、ドライアイス）を含むある種の実施形態では、表面に、その上での流動物質の移動の制御を可能にするパターンを形成することができる。図 8 は、ドライアイス中に作られた人工微小チャンネル内で振動する水滴の画像のシーケンスを図示するものである。所望の形状のパターン形成を様々な方法で行って、優先的な昇華増進を生じさせることができる。図 8 に示す 1 つの実施形態によると、ドライアイス表面に押し付けられるドライアイスよりも高温に保たれた鋼製ディスクに力を加えることによって、図示されているパターンが作られた。印加された力による側圧は、鋼製ディスクの下のドライアイスの大量の昇華をもたらす。ある種の実施形態において、相変化材料（例えばドライアイス）を含むかまたは該相変化材料で被覆されている下地表面内または下地表面上にパターンを作る方法としては、プレス、切断、スライシングなどが挙げられるが、これらに限定されない。様々なパターン形成表面を図 9 (a) ~ 図 9 (c) に示す。

40

【0071】

ある種の実施形態において、ドライアイスが下地表面であるか、下地表面上に含まれる場合、任意の所望の形状のチャンネルをドライアイス材料上に直接パターン形成することができる。ドライアイスは、流動物質を包み込むことができる二酸化炭素を生成するので、

50

汚染は回避される。

【 0 0 7 2 】

本発明の別の実施形態によると、流動物質が流動する表面は、略V字形状であるか、略U字形状であるか、または、任意の所望の様式に造形されているチャンネルを含むことができる。かかるチャンネルは、例えば、化学反応を容易にするために有用であり得る。図10に示すチャンネルのようにチャンネルが略V字形状である場合、第1の流動物質をその略V字形状チャンネルの第1の枝道のコーナー（例えば、液滴1導入位置）で導入してもよく、第2の流動物質をその略V字形状チャンネルの第2の枝道のコーナー（例えば、液滴2導入位置）で導入してもよい。その場合、第1の流動物質および第2の流動物質は、図10に示すように、その略V字形状チャンネルの頂点の方に流動するように方向づけられ、その頂点で合流し、その後、輸送チャンネルに沿って流動してもよい。ある種の実施形態は、マイクロスコピック/ナノスコピックな量の反応体を一緒に合流させることおよび反応させることに関し、これは、下地表面に対する流動物質の静止摩擦が存在しないためである。

10

【 0 0 7 3 】

流動（浮遊）物質の温度安定化の達成

相変化材料の気化による中間層の形成に起因する接触の減少は、相変化材料からの熱伝達および物質移動とともに相変化材料の流動物質との相互作用に基づく。これは、相変化材料のみからの気化率が流動物質の浮上に十分でないとき（例えば、

【 数 1 1 】

$$U_v < \frac{\rho_d g}{\rho_v} R_d$$

20

のとき）、流動物質と相変化材料との温度差を必要とする。これは、長い距離にわたる流動物質の輸送に特に重要である。相変化材料および流動物質は、（間欠浮上または部分浮上の場合には）直接接触によって、そして（すべての場合に）中間潤滑蒸気層を通して、継続的に熱交換する。これは、流動物質の温度と相変化材料の温度が互いに平衡に達する点に流動物質の温度を低下させる結果となり、それによって、中間潤滑層の生成を妨げるか、または、中断させ、流動物質と、相変化材料を含む下地表面との高い付着性をもたらす。さらに、流動物質が、液体であるか、他の成分が封入されている液体であり、相変化材料が、昇華性固体（例えば、ドライアイス）であるとき、先に言及した平衡状態への到達は、結果として液体を凍結させることになる。

30

【 0 0 7 4 】

流動物質を人工的に加熱することによって、その平衡状態を防止してもよい。人工加熱成分（例えば、レーザー）を含むシステムの例を図11に示す。

【 0 0 7 5 】

図11を参照すると、流動物質を加熱するために十分な出力を有するレーザーをチャンネルの輸送路に集中させ、パターン形成された微小チャンネルに液滴を射出する。液滴は、相変化基材材料と完全浮上モード、部分浮上または間欠浮上モードのいずれかで相互作用するので、基材相変化材料と流動物質との熱交換のために液滴温度が低下する。しかし、レーザーパルスを流動物質の方に向けるので、レーザーからのエネルギーは流動物質によって吸収され、その結果、液滴の温度が上昇する。平衡状態で、レーザーは、流動物質の温度を基材相変化材料の温度よりも高い値に維持するために十分なエネルギーを流動物質に与える。流動物質の温度を高レベルに維持するために必要とされるレーザー出力の選択は、流動物質の体積、微小チャンネルの輸送路長、基材材料の温度、および、その他の因子を含むが、これらに限定されない複数の因子に依存する。この状態を達成するために必要とされ得るレーザーのタイプの例としては、赤外レーザー、Nd:YAGレーザー、ヘリウムレーザー、および、他の適切なレーザーが挙げられる。レーザーの最小出力要件は約5 mWであるが、流動物質を沸騰させることなく、かつ/または、流動物質の完全性を妨げることなく流動物質を加熱することができるレーザー出力によって上限が設定される。熱を流動物質に供給することができる他のメカニズムとしては、赤外光および他の適切な

40

50

メカニズムが挙げられる。

【0076】

基材利用技法

様々な実施形態において、本明細書に記載する方法およびシステムは、少なくとも次の2つのやり方で用いることができる：(1)置換可能な相変化基材、および、(2)補充され得る相変化基材。

【0077】

置換可能な基材

1つの実施形態によると、パターン形成された基材相変化材料を、それが(例えば、気化損失によって)完全に使い果たされるまで使用することができ、そしてその後、同様にパターン形成された基材相変化材料によって置換することができる。このタイプのシステムには、いくつかの利点がある。利点の1つは、相変化基材材料の気化が、無視できるほどのメンテナンスしか必要としない自己清浄化システムを作り出すことを可能にすることである。流動物質が性質的に危険(例えば、酸、塩基、病原体封入液など)である実施形態では、絶えず気化している材料がこれらの危険材料を包み込み、そしてそれによって酸素、塵などを含む外部の汚染因子への供給を遮断する。さらに、相変化基材材料の除去は、輸送後の相変化基材の環境的清浄化の必要性を最小にする。従来のシステム、例えば、流動物質の流動を促進する材料でコーティングされていない通常の表面を使用するシステムは、流動物質の輸送前および/または輸送後に複数の清浄化動作を必要とする。かかる清浄化動作としては、アセトン洗浄、DI水洗浄などが挙げられる。これらの動作は、有機廃棄物を作り、その廃棄処分および管理は、有意な量の金銭的および時間的な支出を必要とする。

10

20

【0078】

基材材料が補充される

ある種の実施形態では、特に相変化基材材料が液体である場合、固体基材上にマイクロ/ナノテクスチャを提供して相変化液体を保持することによって、相変化材料の補充を遂行することができる。特に、液体含浸表面を利用する実施形態では、この補充は、テクスチャ特性の調整によって、かつ、他の手段、例えば、テクスチャ加工基材の近くに揮発性液体の人工レザバを、そのテクスチャ加工基材の一部がそのようなレザバと接触しているように提供し、その結果、揮発性液体が毛管作用によってそのテクスチャ加工基材内に出ることができるようになることによって達成することができる。

30

【0079】

相変化材料が昇華性基材(例えば、ドライアイス)である実施形態では、ドライアイスをインサイチュで生成することができる。上記固体基材は、その底部に、昇華性固体の生成に必要とされる圧力を維持するための穿孔(穴、スリットなど)を含むことができ、上記昇華性固体は、かかる穿孔によって圧搾され、最終的に、その固体内で上昇して平衡レベルに達する。かかる実施形態の例を図12に示す。

【0080】

相変化材料の詳細

本発明の実施形態に従って有用な表面についてのいくつかの一般的な望ましい要件は、相変化材料とその蒸気の両方が、流動性物質と非反応性かつ不混和性であることと、相変化材料(単数もしくは複数)を含む表面をその上に配置することができるか、または、相変化材料を保持する固体基材と非反応性かつ混和性であることとを含む。さらに、そのような適用のための相変化材料(単数または複数)の選択は、熱力学的条件に依存する。大きな蒸気圧(高揮発性)を有する相変化材料に適した液体を得ることができる。これらの液体をさらに加熱して、蒸気フラックスを増すことができ、供給される熱は、燃焼または関連した望ましくない現象の発生を回避するために、これらの液体がそれらの引火点に決して達しない程度の熱である。

40

【0081】

流動物質が水であるときに相変化材料として使用することができるいくつかの一般的な

50

液体は、ケロシン、ジクロロメタンなどである。流動物質が水であるときに相変化材料として使用することができるいくつかの一般的な固体としては、ドライアイス、ショウノウ、乾燥室素が挙げられる。

【0082】

流動物質（浮遊材料）の例

流動物質は、（固相、液相または蒸気相の）基材相変化材料と非反応性かつ不混和性である。適切な流動物質の例としては、有機液体（かかる液体の例は、上記の表1に提供されている）、水、任意の相溶性固体、ナノ流体、生体液（例えば、血漿、血液など）、他の成分（例えば、病原体、抗体、ウイルス、細胞培養物、核酸など）が含まれる液体、相溶性の酸、および、相溶性の塩基（上記の表1に提供されているものを含む）が挙げられる。本明細書に記載する方法は、低い表面張力の液体、高粘度の液体などを含む多種多様な液体の付着性を低減することが可能である。

10

【0083】

さらなる適用

先に述べたように、材料間の接触が懸念される様々な適用および産業において本発明を用いることができる。

【0084】

1つの実施形態によると、本発明を製薬および薬物関連産業において用いて、インサイチュ化学反応を行うことができる。先に説明したように、相変化材料（例えば、ドライアイス）を含む固体または液体の表面内に所望の形状（例えば、おおよそU字形またはV字形）のチャンネルを刻みつけることができる。その後、2つの流動物質を対向する点（例えば、略V字形のチャンネルの対向するコーナー）に導入することができ、上記2つの流動物質は、中心点または合流点（例えば、略V字形チャンネルの頂点）の方に進んで合流し、混ざり、そしてその後、所望の位置に輸送されるように構成することができる。ドライアイス（または使用される相変化材料）を反応中の任意の時点で必要に応じて補充チャンバによって、補充することができる。ある種の他の実施形態によると、相変化材料でコーティング、被覆またはパターン形成されている下地表面を、その相変化材料が完全に使い果たされるまでだけは使用することができ、そしてその後、その下地表面を同様にコーティング、被覆またはパターン形成されている新たな下地表面で置換することができる。

20

【0085】

相変化材料の気化は、無視できるほどのメンテナンスしか必要としない自己清浄化システムを作り出すことを可能にする。対照的に、従来の方法は、下地表面、管、アセンブリなどの定期的清浄化を必要とする。

30

【0086】

本発明のさらなる局面によると、本発明を、マイクロ流体および/または生体関連適用において使用することができる。例えば、ナノリットルサイズまたはピコリットルサイズの液滴は、生物学的物質（例えば、DNAまたはRNA）を封入することができ、この場合、シングルプレックス・ポリメラーゼ連鎖反応（PCR）を各液滴において行い、それらの液滴を選別、検出などのために輸送する。各液滴の体積は、例えば、 $0.1 \sim 1000$ pL； $1 \sim 10$ pL； $1 \sim 100$ pLの範囲であっても、または、生体関連適用に適した任意の他のサイズであってもよい。

40

【0087】

連続流マイクロ流体工学、デジタルマイクロ流体工学、DNAチップ、分子生物学適用、進化生物学の研究、微生物挙動の研究、細胞生物物理学、光流体工学、燃料電池適用、音響液滴吐出、および、すべての他の適切なマイクロ流体適用においても本発明を使用することができる。酵素分析、DNA分析、分子生物学適用（例えば、タンパク質およびDNA、細胞分離（血液細胞の分離を含む）、細胞操作および分析（細胞生存度分析を含む）のための様々な電気泳動および液体クロマトグラフィー適用）に本発明の局面を使用することができる。

【0088】

50

本発明の局面は、石油およびガス適用、特に、とりわけ長距離にわたって行うときの莫大なポンプ動力を必要とするパイプによる液体輸送にも関する。(パイプなどの固体基材を封入することができる)気化性/昇華性材料を適切に選択することによって、固体界面での接触線ピンギをなくすことによって大きな滑動を誘導することができ、その結果、抗力およびポンプ動力が激減する。ある種の実施形態によると、水は、パイプライン壁の内側を覆うことができる。パイプラインに送り込まれる石油が加熱され、この熱が、その水の内張りまたはその水の内張りの一部を蒸発させ、それによって、下に蒸気層を作る。これは、流動する石油に対する抗力を大幅に低減し、かつ、要求されるポンプ動力を低減する。

【0089】

本発明の局面を、密閉環境で固体表面と接触することなく化学物質/液体を輸送するために使用することもできる。

【0090】

本発明の局面を、航空機および公益事業適用に使用することもできる。揮発性/昇華性材料が封入されたかまたは揮発性/昇華性材料でコーティングされた表面は、結果的に氷/霜付着を減少させるので、航空機の翼に対する着氷を防止するために必要とされるエネルギーおよび環境に有害な化学物質を有意に低減することができる。同様に、送電線から氷を容易に除去することができる。風車に対する着氷も有意に低減することができ、したがって、それらの効率を向上させることができる。

【0091】

本発明の実施形態を、スチームおよびガスタービンに使用することもできる。スチームに同伴する水滴は、タービンブレードに衝突し、それらにくっつき、その結果、タービン出力が低減する。表面内に相変化材料を封入することによって、または、表面上にそのような相変化材料をコーティングもしくは適用することによって、液滴を羽根から発散させることができ、タービン出力を有意に向上させることができる。

【0092】

氷付着の問題と同様に、相変化材料が封入されたかまたは相変化材料でコーティングされた表面を、深海適用において石油およびガスパイプライン内の天然ガスハイドレートの付着を低減するために使用して、ハイドレートプラグ形成を低減することもできる。これらの表面をスケーリング(塩形成および付着)の低減のために適用することもできる。

【0093】

均等物

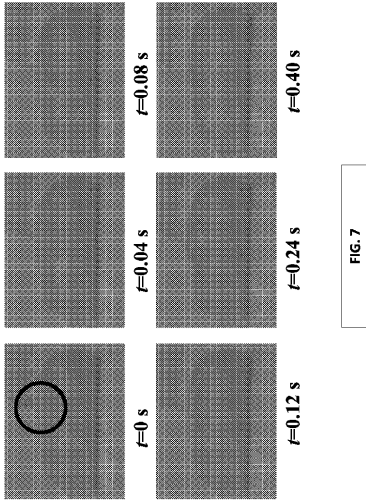
本発明を特定の好ましい実施形態に関して特に示し、説明したが、添付の特許請求の範囲によって規定される本発明の精神および範囲から逸脱することなく、形態および詳細における様々な変更をなすことができることは、当業者には理解されるべきである。

10

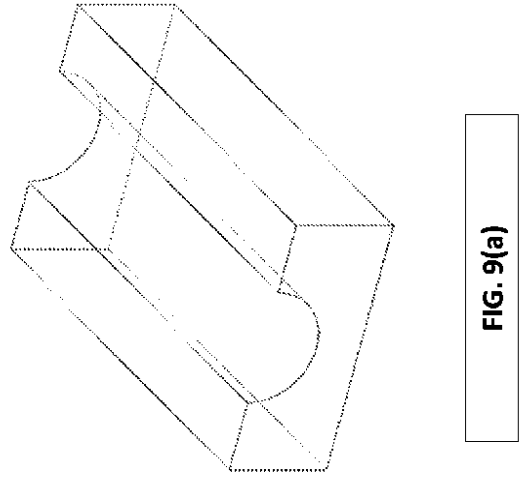
20

30

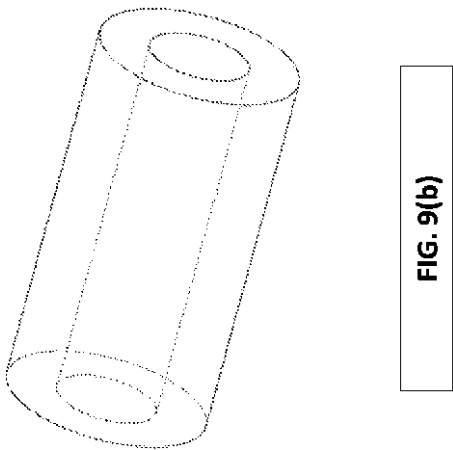
【 図 7 】



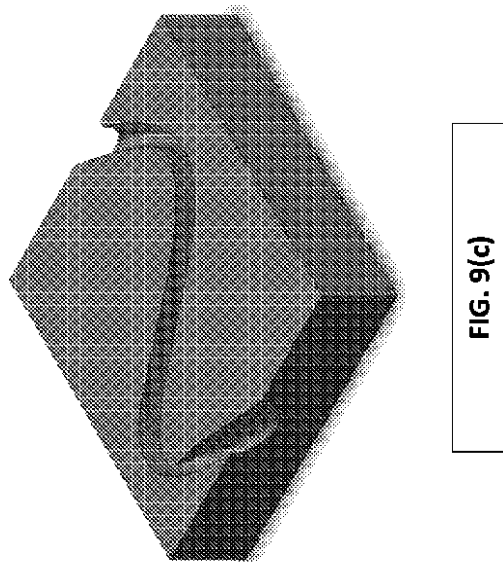
【 図 9 (a) 】



【 図 9 (b) 】



【 図 9 (c) 】



【 図 1 - 1 】

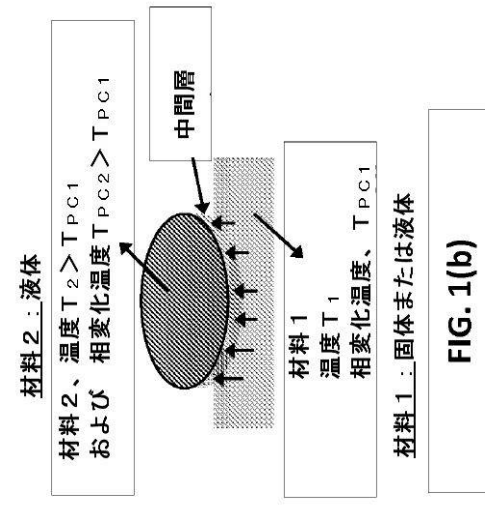


FIG. 1(a)

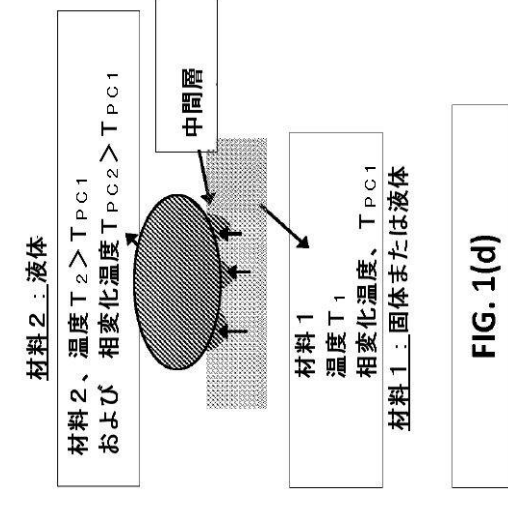


FIG. 1(b)

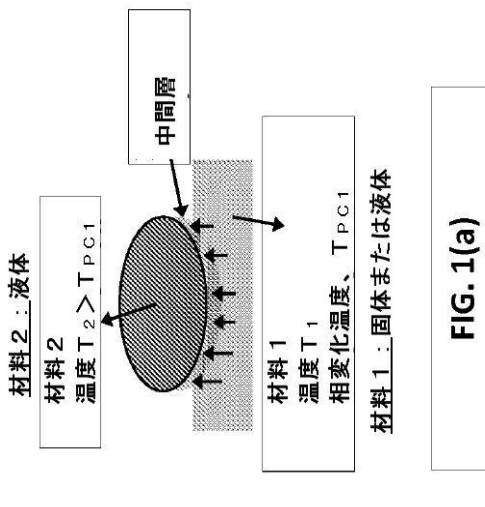


FIG. 1(c)

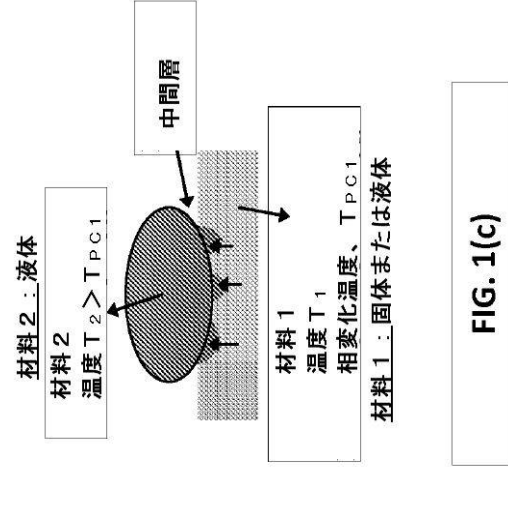


FIG. 1(d)

【 図 1 - 2 】

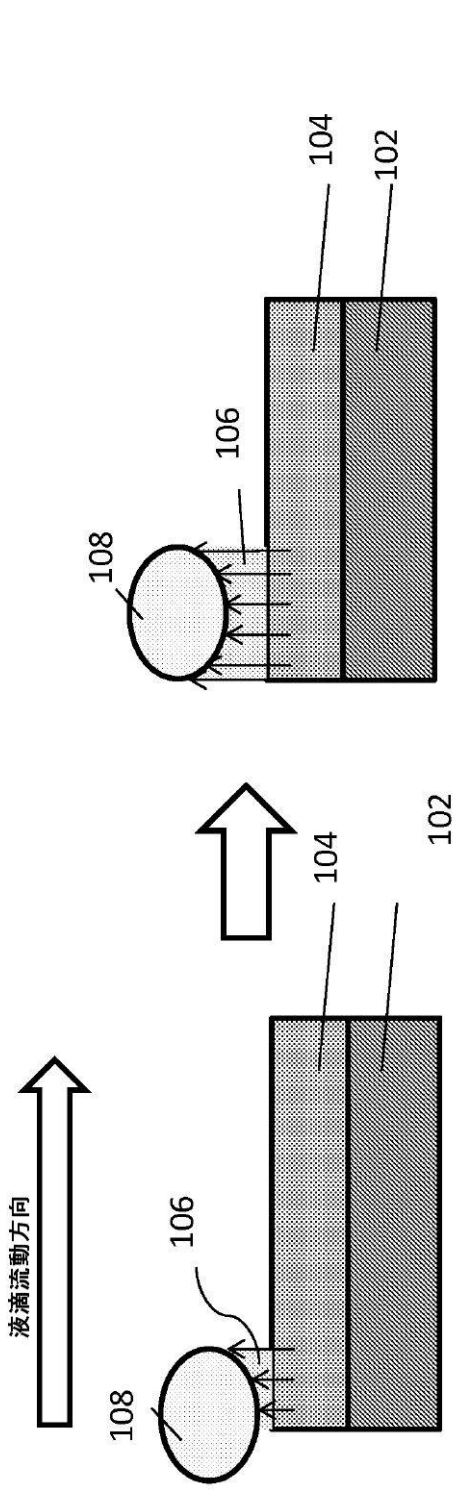


FIG. 1(f)

FIG. 1(e)

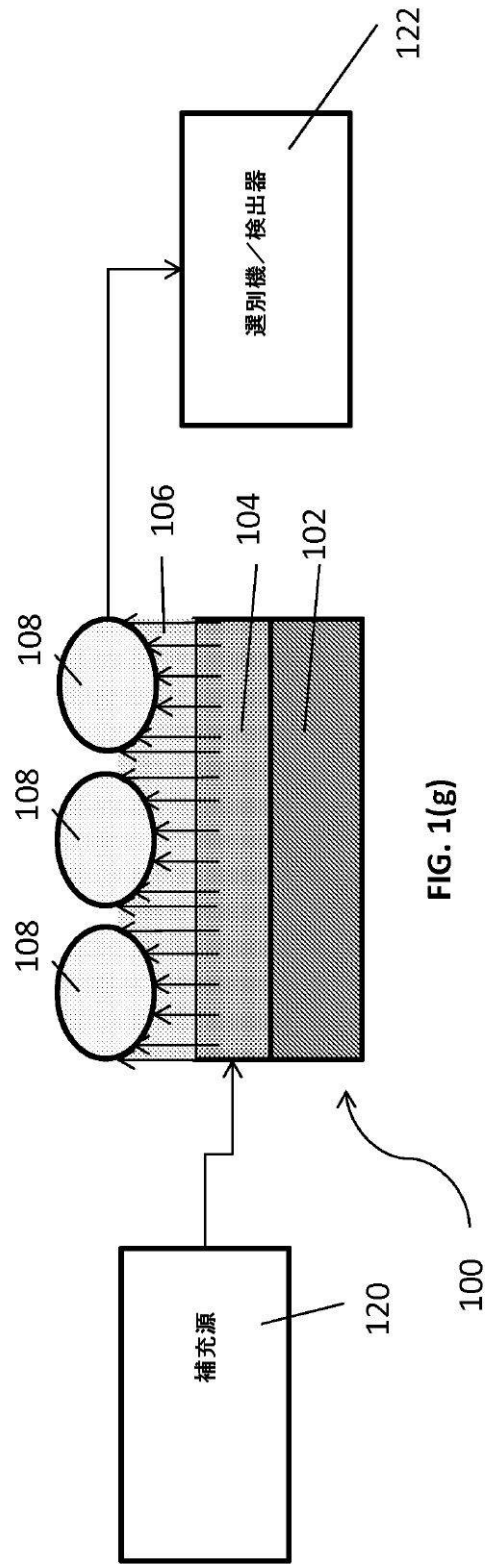
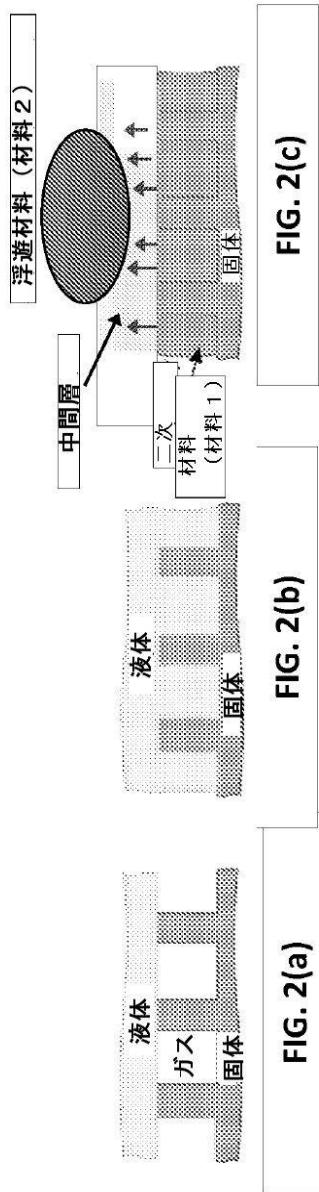


FIG. 1(g)

【 図 2 】



【 図 3 】

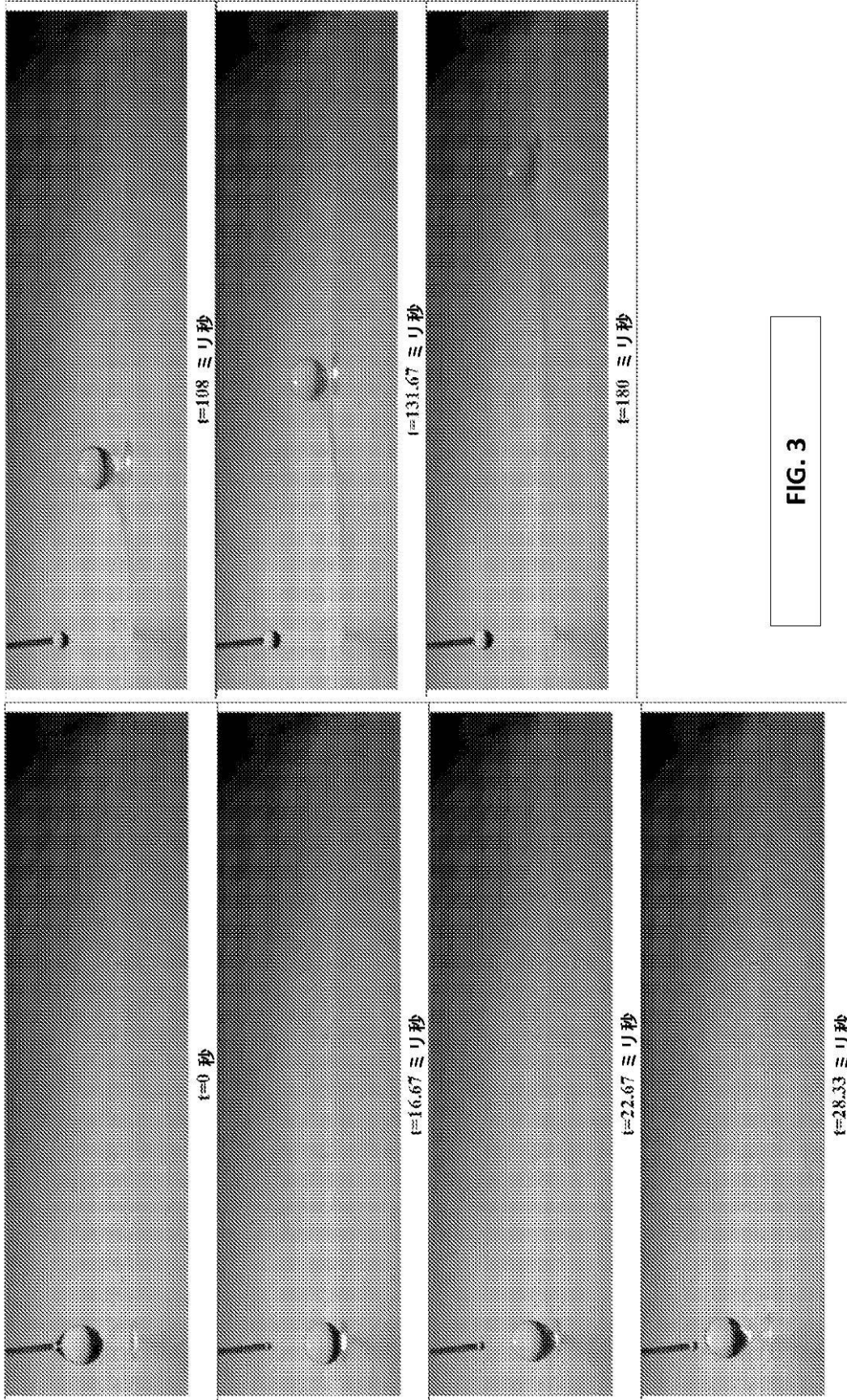


FIG. 3

【 図 4 】

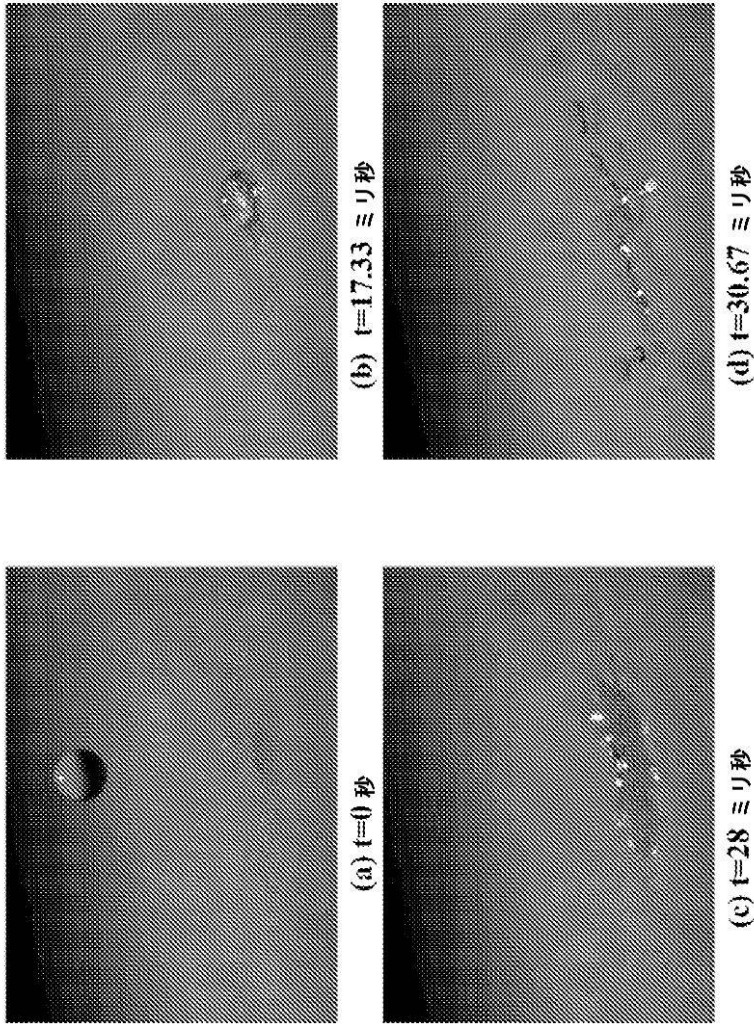


FIG. 4

【 図 5 】

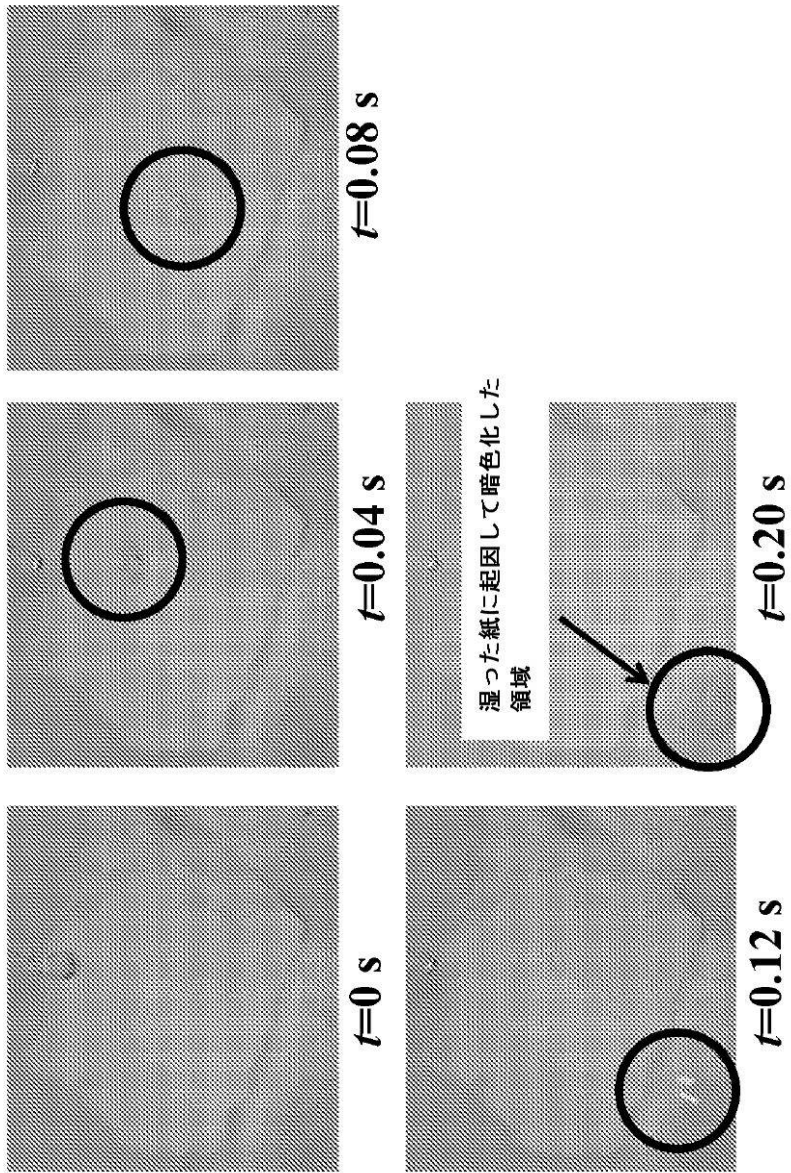


FIG. 5

【 図 6 】

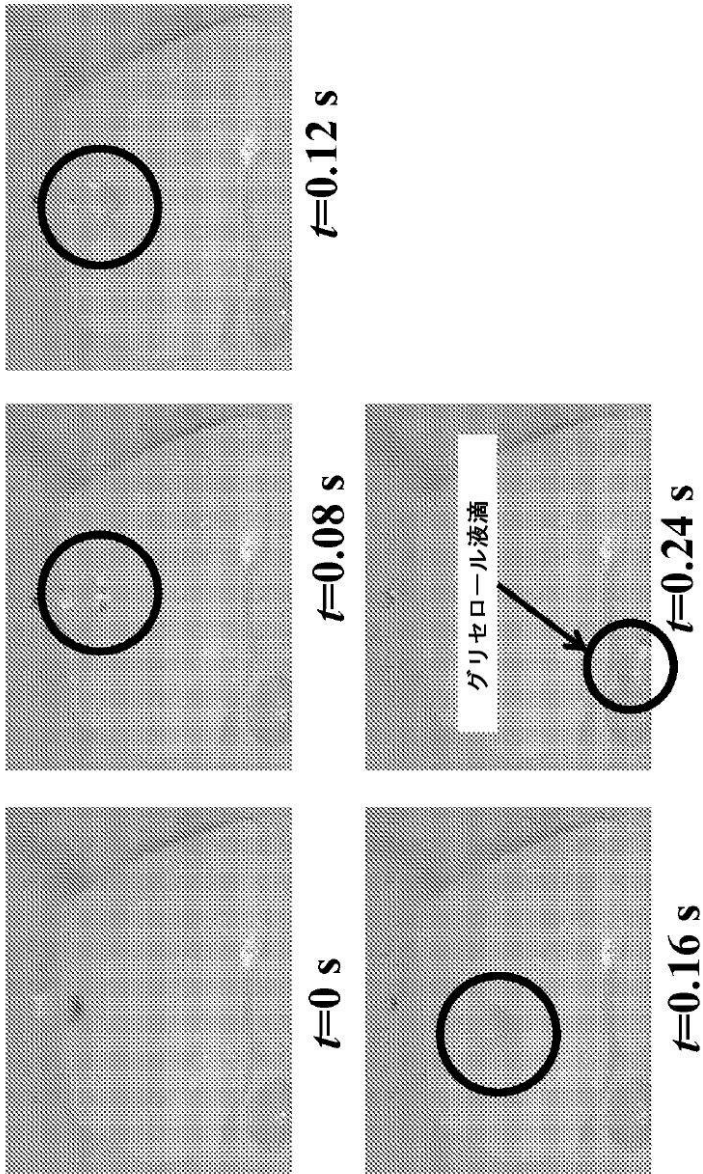


FIG. 6

【 図 8 】

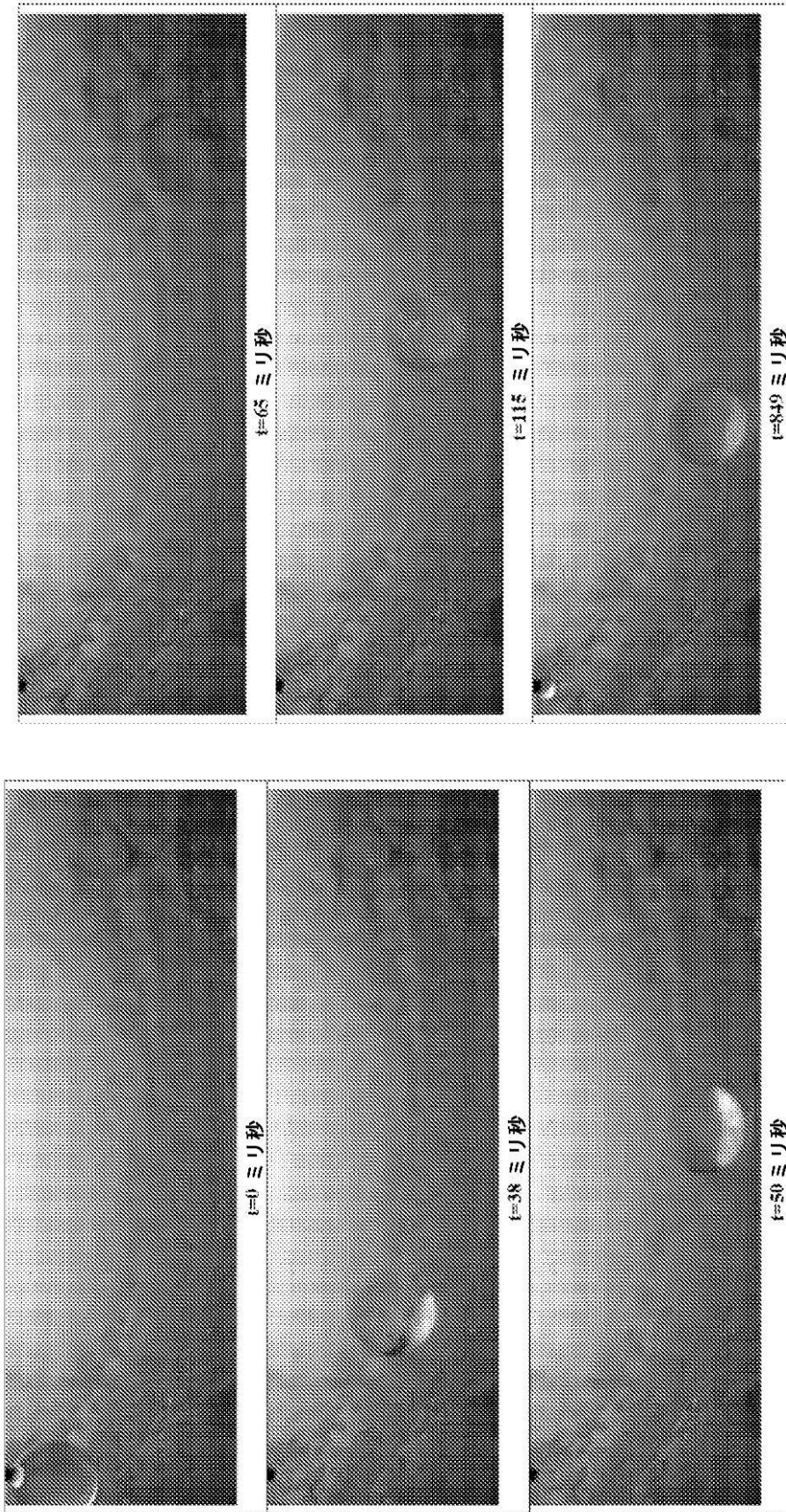


FIG. 8

【図 10】

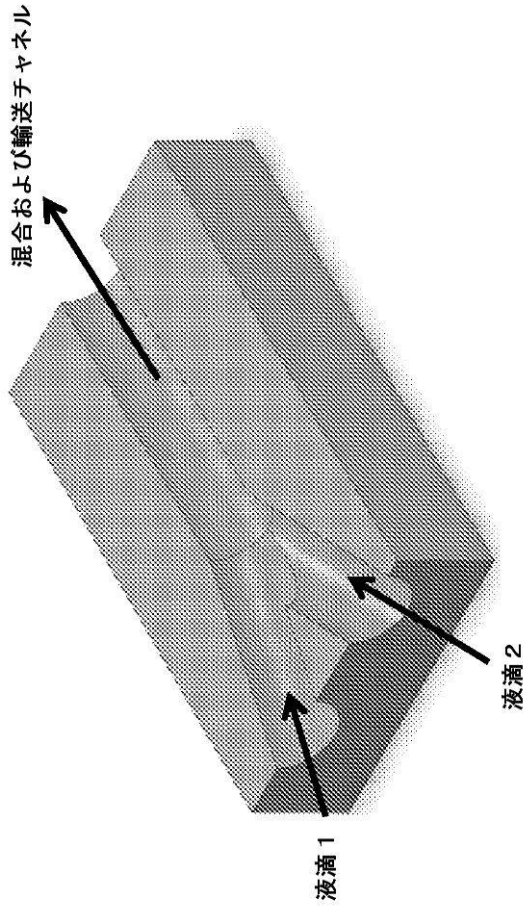


FIG. 10

【図 11】

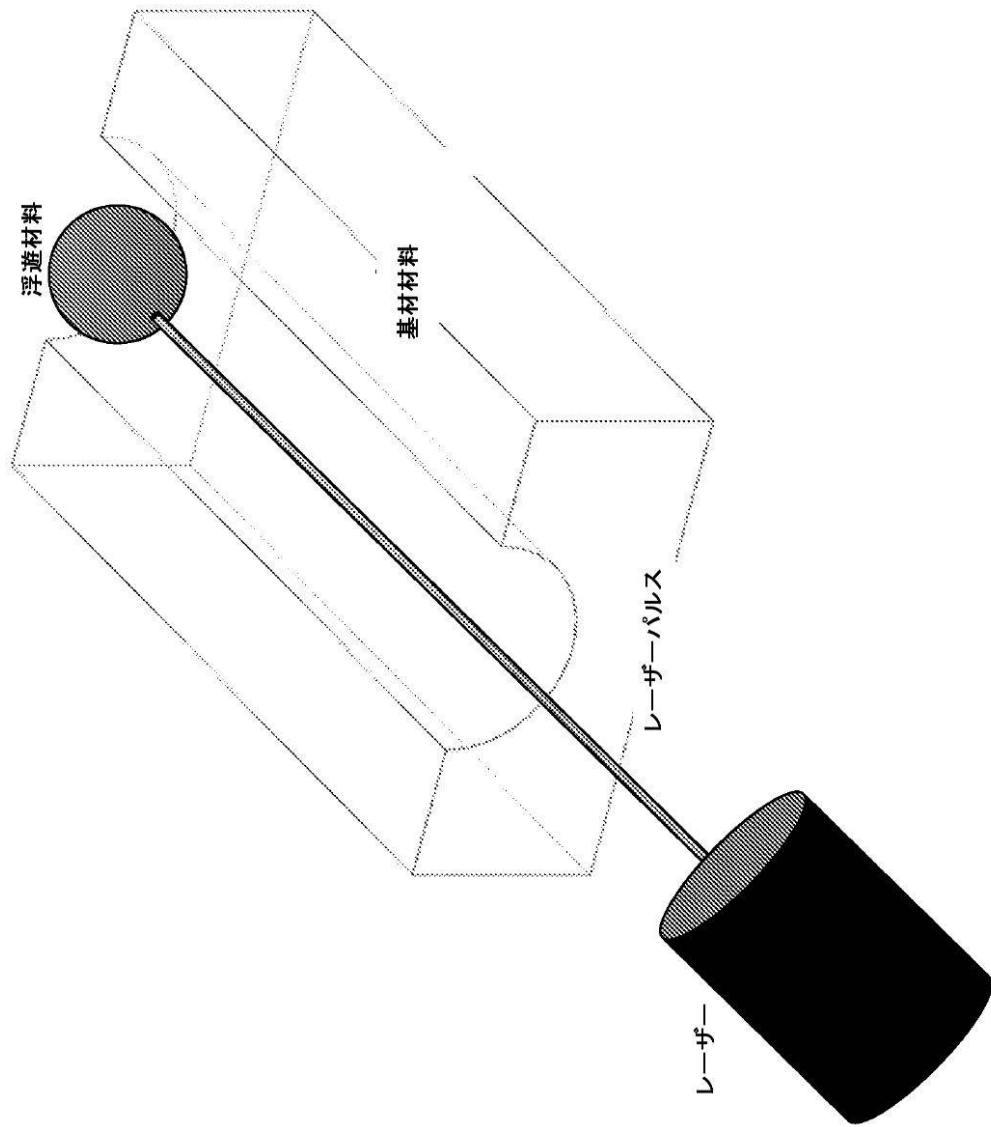


FIG. 11

【 図 1 2 】

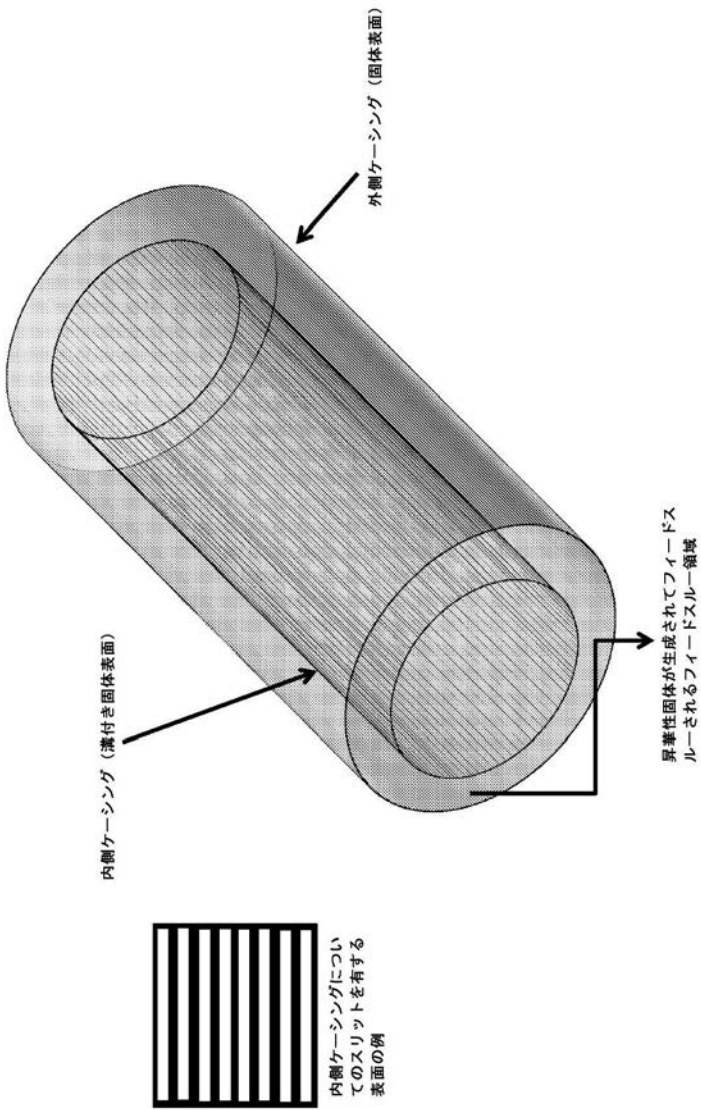


FIG. 12

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2013/045731

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B01L3/00 ADD.		
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) B01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/285229 A1 (ELBAHRI MADY [DE] ET AL) 11 November 2010 (2010-11-11) paragraphs [0012] - [0014]	1
T	J. DAVID SMITH ET AL: "Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces", SOFT MATTER, vol. 9, no. 6, 17 December 2012 (2012-12-17), pages 1772-1780, XP002715575, the whole document	
<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		Date of mailing of the international search report
29 October 2013		12/11/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Tragoustis, Marios

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2013/045731

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2010285229	A1	11-11-2010	DE 102006038703 A1	28-02-2008
			EP 2051936 A2	29-04-2009
			US 2010285229 A1	11-11-2010
			WO 2008019670 A2	21-02-2008

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72)発明者 パラナシ, クリパ キラン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02420, レキシントン, フレッチャー アベニュー
31, ナンバー5

Fターム(参考) 4B029 AA07 BB01 BB20

4G075 AA13 AA22 AA61 BB02 BB10 CA02 DA02 DA18 EB50 FA12

FB01 FB11 FC20