

(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2009-509794
(P2009-509794A)

(43) 公表日 平成21年3月12日(2009.3.12)

(51) Int.Cl.

B82B 1/00
C25D 11/20
F01D 5/28(2006.01)
(2006.01)
(2006.01)

F 1

B 82 B 1/00
C 25 D 11/20
F 01 D 5/28

テーマコード(参考)

3 G 002

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2008-535524 (P2008-535524)
 (86) (22) 出願日 平成18年8月3日 (2006.8.3)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年3月27日 (2008.3.27)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2006/030539
 (87) 國際公開番号 WO2008/036074
 (87) 國際公開日 平成20年3月27日 (2008.3.27)
 (31) 優先権主張番号 60/705,239
 (32) 優先日 平成17年8月3日 (2005.8.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/497,720
 (32) 優先日 平成18年8月2日 (2006.8.2)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC COMPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久

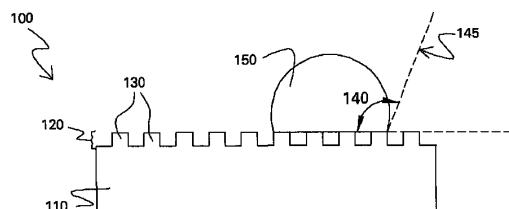
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】低い濡れ性を有する物品及び製造方法

(57) 【要約】

低い濡れ性を有する物品が開示される。かかる物品は、本体部分及び本体部分上に設けられた表面部分を含んでなる。表面部分は本体部分上に設けられた複数のフィーチャーを含み、フィーチャーは表面部分が参照液体に対して約100度以上の接触角を生じるのに十分な濡れ性を有するように選択されたサイズ、形状及び配向を有する。フィーチャーは、高さ寸法(h)及び幅寸法(a)を有すると共に、間隔寸法(b)で特徴づけられる互いに離隔した関係で設けられている。b/a比及びh/a比は、液滴が準安定な非ウェンゼル挙動を示すようなものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

本体部分及び本体部分上に設けられた表面部分を含んでなる物品であつて、

表面部分は本体部分上に設けられた複数のフィーチャーを含み、フィーチャーは表面部分が参照液体に対して約 100 度以上の接触角を生じるのに十分な濡れ性を有するように選択されたサイズ、形状及び配向を有し、

フィーチャーは高さ寸法 (h) 及び幅寸法 (a) を有し、フィーチャーは間隔寸法 (b) で特徴づけられる互いに離隔した関係で設けられ、b / a 比及び h / a 比は液滴が準安定な非ウェンゼル挙動を示すようなものである、物品。

【請求項 2】

b / a 比が、参照液体の液滴に関し、約 45 度以下のロールオフ角を与えるのに十分な低いピン止め力を維持するのに適している、請求項 1 記載の物品。

【請求項 3】

b / a 比が約 20 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 4】

h / a 比が約 0.5 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 5】

b / a 比が約 0.3 ~ 約 10 の範囲内にある、請求項 1 記載の物品。

【請求項 6】

h / a 比が約 0.5 ~ 約 10 の範囲内にある、請求項 5 記載の物品。

【請求項 7】

a が約 1 nm ~ 約 500 μm の範囲内にあり、h が約 1 nm ~ 約 500 μm の範囲内にあり、b が約 1 nm ~ 約 500 μm の範囲内にある、請求項 1 記載の物品。

【請求項 8】

a が約 1 ~ 約 100 μm の範囲内にある、請求項 7 記載の物品。

【請求項 9】

a が約 10 ~ 約 50 nm の範囲内にあり、b / a が約 350 以下であり、h / a が約 10 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 10】

a が約 50 ~ 約 500 nm の範囲内にあり、b / a が約 100 以下であり、h / a が約 10 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 11】

a が約 500 nm ~ 約 5 μm の範囲内にあり、b / a が約 35 以下であり、h / a が約 10 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 12】

a が約 5 ~ 約 50 μm の範囲内にあり、b / a が約 10 以下であり、h / a が約 100 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 13】

a が約 50 ~ 約 100 μm の範囲内にあり、b / a が約 3.5 以下であり、h / a が約 10 以下である、請求項 1 記載の物品。

【請求項 14】

1 以上のフィーチャーがさらに、該フィーチャー上に設けられた複数の二次フィーチャーを含む、請求項 1 記載の物品。

【請求項 15】

各フィーチャーが該フィーチャー上に設けられた複数の二次フィーチャーを含む、請求項 14 記載の物品。

【請求項 16】

二次フィーチャーが高さ寸法 (h') 及び幅寸法 (a') を有し、二次フィーチャーが間隔寸法 (b') で特徴づけられる互いに離隔した関係で設けられ、a' が約 1 ~ 約 100 0 nm の範囲内にあり、h' が約 1 ~ 約 1000 nm の範囲内にあり、b' が約 1 ~ 約 1

10

20

30

40

50

000 nmの範囲内にある、請求項15記載の物品。

【請求項17】

複数のフィーチャーが、高さ(h)、幅(a)及び間隔(b)からなる群から選択される1以上の寸法について多モード分布を有することで特徴づけられる、請求項1記載の物品。

【請求項18】

複数のフィーチャーの少なくとも部分集合が物品の本体部分から突出している、請求項1記載の物品。

【請求項19】

突出したフィーチャーの少なくとも部分集合が、立方体、直角プリズム、円錐、円柱、角錐、台形プリズム及び半球又は他の球部分からなる群から選択される形状を有する、請求項18記載の物品。

【請求項20】

フィーチャーが、セラミック、金属、金属間化合物及び半金属からなる群から選択される1種以上の材料からなる、請求項1記載の物品。

【請求項21】

表面部分が金属からなる、請求項1記載の物品。

【請求項22】

フィーチャーが表面部分と同じ金属からなる、請求項21記載の物品。

【請求項23】

本体部分、表面部分及びフィーチャーが同じ金属からなる、請求項22記載の物品。

【請求項24】

複数のフィーチャーの少なくとも部分集合が本体部分中に設けられた複数のキャビティである、請求項1記載の物品。

【請求項25】

キャビティが細孔壁を境界とする細孔からなる、請求項24記載の物品。

【請求項26】

細孔壁が陽極処理金属酸化物からなる、請求項25記載の物品。

【請求項27】

陽極処理金属酸化物が酸化アルミニウムからなる、請求項26記載の物品。

【請求項28】

細孔壁が細孔壁に設けられた壁フィーチャーを含み、壁フィーチャーが壁から突出した構造体及び壁中に設けられたくぼみからなる群から選択される1以上を含む、請求項25記載の物品。

【請求項29】

壁フィーチャーが約1μm未満の特性寸法を有する、請求項28記載の物品。

【請求項30】

細孔壁が金属からなる、請求項25記載の物品。

【請求項31】

当該物品がさらに、表面部分上に設けられた表面エネルギー調整層を含む、請求項1記載の物品。

【請求項32】

表面エネルギー調整層がイオン注入金属からなる、請求項31記載の物品。

【請求項33】

イオン注入金属が、B、N、F、O、C、He、Ar及びHからなる群から選択される1種以上の元素の注入イオンを含む、請求項32記載の物品。

【請求項34】

表面エネルギー調整層が窒化材料又は炭化材料からなる、請求項31記載の物品。

【請求項35】

表面エネルギー調整層がフィーチャー上に設けられたコーティングからなる、請求項31記載の物品。

10

20

30

40

50

記載の物品。

【請求項 3 6】

コーティングが、疎水性ハードコート、フッ素化材料及びポリマーからなる群から選択される1種以上の材料からなる、請求項30記載の物品。

【請求項 3 7】

疎水性ハードコートが、ダイヤモンド様炭素(DLC)、フッ素化DLC、酸化タンタル、炭化チタン、窒化チタン、窒化クロム、窒化ホウ素、炭化クロム、炭化モリブデン、炭窒化チタン及び窒化ジルコニウムからなる群から選択される材料からなる、請求項36記載の物品。

【請求項 3 8】

当該物品がタービンアセンブリの部品からなる、請求項1記載の物品。

【請求項 3 9】

タービンアセンブリが、風力タービン、ガスタービン及び蒸気タービンからなる群から選択される、請求項38記載の物品。

【請求項 4 0】

ガスタービンが航空機エンジン内に設けられている、請求項39記載の物品。

【請求項 4 1】

部品が、ナセルのリップ、スプリッターの前縁、ブースターの前置静翼、ファンの後置静翼、ファンブレード、センサー及びセンサーシールドからなる群から選択される1以上の部品である、請求項40記載の物品。

10

【請求項 4 2】

部品が翼形部を含む、請求項38記載の物品。

【請求項 4 3】

当該物品が航空機上に設けられている、請求項1記載の物品。

【請求項 4 4】

当該物品が航空機主翼、航空機尾翼又は航空機胴体からなる、請求項43記載の物品。

【請求項 4 5】

当該物品が、タービンブレード、風速計及び歯車箱からなる群から選択される風力タービンアセンブリ部品からなる、請求項1記載の物品。

20

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、低い液体濡れ性を有する表面に関する。さらに詳しくは、本発明は、低い濡れ性を与えるように設計されたテクスチャーを組み込んだ表面に関する。本発明はまた、かかる表面を含む物品並びにかかる物品及び表面の製造方法にも関する。

【背景技術】

【0002】

固体表面の「液体濡れ性」又は「濡れ性」は、表面と表面上に配置された所定液体の液滴との間に起こる相互作用の性質を観察することで決定される。液体に対して高い濡れ性を有する表面は、液滴が表面の比較的広い範囲にわたって広がるのを許す傾向(それによって表面を「濡らす」傾向)を示す。極端な場合には、液滴は表面を覆う膜をなして広がる。他方、表面が液体に対して低い濡れ性を有する場合には、液体は明確に形成されたボル形の液滴を維持する傾向を示す。極端な場合には、液体は表面上に球状の液滴を形成し、これはほんのわずかな外乱で表面から容易に転がり落ちる。

40

【0003】

液体が固体表面を濡らすことができる程度は、液体及び固体が互いにどのような相互作用を示すかを判定する上で重要な役割を演じる。高度の濡れは比較的大きい液体-固体接触面積をもたらし、2つの表面間で多くの相互作用が起こることが有益である用途(例えば、接着用途及び被覆用途)において望ましい。例えば、いわゆる「親水性」材料は水の存在下で比較的高い濡れ性を有していて、固体表面上において高度の水の「シート化」を

50

もたらす。逆に、低い固体 - 液体相互作用を要求する用途では、固体表面に対して最小の接触面積を有する液滴の形成を促進するために濡れ性は一般にできるだけ低く保たれる。「疎水性」材料は比較的低い水濡れ性を有する。いわゆる「超疎水性」材料はさらに一段と低い水濡れ性を有していて、場合によっては、水滴と固体表面との相互作用の性質のために表面に衝突する水のすべてをはじくように見えることがある表面を生じる。

【0004】

注文通りに調整された表面特性を有する物品は、輸送、化学処理、健康管理及び織物のような分野における広範囲の用途で使用されている。これらの用途の多くは、物品表面と各種液体との相互作用を低減させるため、比較的低い液体濡れ性を有する表面をもった物品の使用を必要とする。特に、低い抗力又は低い摩擦、セルフクリーニング能力、並びに着氷、汚損及び曇りに対する抵抗性を始めとする性質を有する表面を生じるために材料の濡れ性が調整されることがある。

10

【0005】

金属は一般に水のような常用液体に対して高い濡れ性を有するので、金属部品は着氷、汚損などを受けやすい。耐濡れ性の高い金属物品の表面を形成することに捧げられた研究の多くは、疎水性で大抵はポリマーのコーティングの使用に依存していた。これらのコーティングは、有効ではあるが、低い耐摩耗性及び温度性能のために実際の用途が限定されることが多い。

【0006】

したがって、低い液体濡れ性を有する耐久性表面をもった物品（例えば、金属物品）に対するニーズが存在している。さらに、かかる表面及びかかる表面をもった物品の製造方法に対するニーズも存在している。

20

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0221072号明細書

【特許文献2】米国特許第6623241号明細書

【非特許文献1】“Dropwise Condensation Heat Transfer on Ion Implanted Metallic Surfaces”, Alfred Leipertz, K-H Choi and Liv Diezel

【非特許文献2】“Advances in Dropwise Condensation Heat Transfer: Chinese Research”, X. Ma., J.W. Rose, D. Xu, J. Lin and B. Wang, Chemical Engineering Journal 78 (2000) 87-93

【非特許文献3】“Transition Between Superhydrophobic States on Rough Surfaces”, N. Patankar, Langmuir 2004, 20, 7097-7102

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の実施形態は、上記その他のニーズに応えるものである。例えば、一実施形態は、本体部分及び本体部分上に設けられた表面部分を含んでなる物品である。表面部分は本体部分上に設けられた複数のフィーチャーを含み、フィーチャーは表面部分が参照液体に対して約100度以上の接触角を生じるのに十分な濡れ性を有するように選択されたサイズ、形状及び配向を有する。フィーチャーは、高さ寸法(h)及び幅寸法(a)を有すると共に、間隔寸法(b)で特徴づけられる互いに離隔した関係で設けられている。b/a比及びh/a比は、液滴が準安定な非ウェンゼル挙動を示すようなものである。

40

【0008】

本発明の上記その他の特徴、態様及び利点は、添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読んだ場合に一層良く理解されよう。図面全体を通じて、同じ符号は類似の部分を表している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下の説明では、図面中に示す複数の図のすべてにわたり、同じ参照符号は類似の又は対応する部分を表している。また、「上部」、「下部」、「外方」、「内方」などの用語は便宜上の言葉であって、限定的な用語と解すべきでないことはもちろんである。さらに

50

、本発明の特定のフィーチャーがある群の複数の構成要素の1以上又はこれらの組合せを含むか或いはそれからなるといわれる場合には、かかるフィーチャーがその群の構成要素のいずれかを単独で又はその群のいずれか他の構成要素と共に含むか或いはそれからなり得ることはもちろんである。

【0010】

図面全般、特に図1について述べれば、これらの図は本発明の特定の実施形態を説明するためのものであり、本発明を限定するものでないことはもちろんである。図1は、本発明の物品の表面の概略断面図である。物品100は、本体部分110上に設けられた表面部分120を含んでいる。幾つかの実施形態では、表面部分は金属からなる。本明細書中で使用する「金属」という用語は、元素態金属材料又は合金のような金属材料を意味する。好適な金属には、例えば、鉄、ニッケル、コバルト、クロム、アルミニウム、銅、チタン、白金又はその他適宜の金属元素を含む金属がある。幾つかの実施形態では、表面部分120は本質的に金属からなる。即ち、表面部分120上にいかなるコーティングも設けられない。下記に一層詳しく説明する他の実施形態では、コーティング又は他の表面エネルギー調整材料が表面部分120に付加される。

10

【0011】

表面部分120はさらに、本体部分110上に設けられた複数のフィーチャー130を含んでいる。これらのフィーチャー130は、表面部分120が低い液体濡れ性を有するように選択されたサイズ、形状及び配向を有している。表面120の液体濡れ性の一般に認められている尺度の1つは、表面120と、表面120及び液滴150の接触点において参照液体の液滴150の表面に対する接線145との間に形成される静止接触角140の値である。接触角140の値が大きいことは、表面120上での参照液体に対する濡れ性が低いことを表す。参照液体は、興味の対象となる任意の液体であり得る。多くの用途では、参照液体は水である。他の用途では、参照液体は1種以上の炭化水素（例えば、油、石油、ガソリン、有機溶媒など）を含む液体である。上述のように、「超疎水性」という用語は、水に対して非常に低い濡れ性を有する表面を記述するために使用する。本明細書中で使用する「超疎水性」という用語は、水に対して約120度を超える静止接触角を生じる表面をいうものと理解される。濡れ性は一部では参照液体の表面張力に依存するので、所定の表面は様々な液体に対して異なる濡れ性を有すること（したがって異なる接触角を形成すること）がある。本発明の実施形態に係る表面部分120は、参照液体に対して約100度以上の接触角140を生じるのに十分な濡れ性を有するが、この接触角は平坦な金属表面に関して通例測定される接触角よりかなり大きい。

20

【0012】

上述の通り、フィーチャー130のサイズ、形状及び配向は、物品100の表面部分120が著しく低い濡れ性を示すように選択される。かかる選択は、液体と固体粗面との相互作用の基礎となる物理学に基づいている。液滴は、通例、複数の平衡状態のいずれか1つでテクスチャー化表面上に存在する。図2Aに示される「カッシー(Cassie)」状態では、液滴200は粗面210の突起上に着座して突起間にエアポケットを閉じ込める。図2Bに示される「ウェンゼル(Wenzel)」状態では、液滴200は表面210全体を濡らして突起間の空隙を液体で満たす。他の平衡状態は、一般に純粋なカッシー挙動と純粋なウェンゼル挙動との中間状態として想定でき、液滴は粗面フィーチャー間の空隙を部分的に満たす。本明細書中で使用する「非ウェンゼル」という用語は、純粋なウェンゼル状態の挙動を示さない任意の状態をいう。したがって、「非ウェンゼル」という用語は、純粋なカッシー状態の挙動及び純粋なウェンゼル挙動を示さない任意の中間状態を包含する。

30

【0013】

表面上の液滴が取る特定の状態は液滴／固体系の総合エネルギーに依存し、これはまた固体の粗面フィーチャーの幾何学的特性（例えば、サイズ、形状及び配向）の関数である。例えば、カッシー状態がウェンゼル状態より低いエネルギーを与える場合、衝突する液滴はほぼ常にカッシー状態の挙動を示す。しかし、ウェンゼル状態が低いエネルギーを与える場合であっても、2つの状態の間にはエネルギー障壁が存在し、「準安定な」非ウェ

40

50

ンゼル状態から最終的に低エネルギーのウェンゼル状態への遷移を達成するためにはエネルギーの入力が必要であるので、非ウェンゼル状態の挙動はなおも維持されることがある。表面の幾何学的形状とエネルギーとの関係を理解すれば、固体表面上で液体が示す接触角及び湿潤状態挙動のタイプを始めとして、所望の湿潤特性が得られるように表面を設計することができる。

【0014】

一般に、非ウェンゼル状態の液滴の相当部分は現実の表面ではなくエアポケットに接触しているので、非ウェンゼル状態は、固体表面に対する液滴の付着力の低下が有利である用途（例えば、着氷防止表面、セルフクリーニング表面及び耐抗力表面）にとってより望ましい。本発明の幾つかの実施形態に従えば、物品100の表面部分120は、表面部分120上に配置された参照液体の液滴に関し、非ウェンゼル状態の液滴挙動（例えば、カッサー状態の液滴挙動）がウェンゼル状態の液滴挙動より低いエネルギー状態にあるように、即ち非ウェンゼル状態が安定な状態であるように設計される。別法として、表面部分120は、上述のように非ウェンゼル状態の液滴挙動が準安定状態であるように設計することもできる。かかる場合には、表面部分は、準安定な非ウェンゼル状態の挙動からウェンゼル状態の挙動への遷移を行う際に大きなエネルギー障壁に打ち勝たなければならないように設計される。準安定な非ウェンゼル状態の挙動を得るために設計は、ある種の条件下でウェンゼル状態の液滴が生じる可能性をもたらすものの、かかる設計は下記に一層詳しく記載するような他の利点を有し得る。フィーチャー130のサイズ、形状及び配向は、表面部分上に配置された液滴の接触角に対してばかりでなく、液滴の挙動が安定な非ウェンゼル状態、準安定な非ウェンゼル状態又は安定なウェンゼル状態のいずれにあるかに対しても強い影響を及ぼす。

10

20

30

40

【0015】

フィーチャー130（図1）のサイズは、幾つかのやり方で特徴づけることができる。幾つかの実施形態では、図3に示すように、複数のフィーチャー130の少なくとも部分集合は物品の本体部分110上に突出している。さらに、幾つかの実施形態では、複数のフィーチャーの少なくとも部分集合は本体部分110中に設けられた複数のキャビティ300である。フィーチャー130は高さ寸法（h）310を有するが、これは本体部分110上に突出しているフィーチャーの高さを表すか、或いは（キャビティ300の場合には）キャビティが本体部分110中に延在する深さを表す。フィーチャー130は、さらに幅寸法（a）330を有する。幅寸法の正確な性質はフィーチャーの形状に依存するが、フィーチャーが物品の表面上に配置された液滴に自然に接触している地点におけるフィーチャーの幅であると定義される。フィーチャー130の高さ及び幅パラメーターは、表面部分120上で観察される湿潤挙動に大きな影響を及ぼす。

【0016】

多種多様のフィーチャー形状がフィーチャー130として使用するのに適している。幾つかの実施形態では、フィーチャー130の少なくとも部分集合は、立方体、直角ブリズム、円錐、円柱、角錐、台形ブリズム及び半球又は他の球部分からなる群から選択される形状を有する。これらの形状は、フィーチャーが突起320又はキャビティ300のいずれであっても好適である。例えば、特定の実施形態では、フィーチャーの少なくとも部分集合は、数十ナノメートル以下に限定された横方向サイズ及び限定されない縦方向サイズを有する構造体であるナノワイヤからなる。各種材料のナノワイヤの製造方法は当技術分野で公知であり、例えば、基体上への化学蒸着を含んでいる。ナノワイヤは、表面部分120上に直接成長させてもよいし、或いは独立の基体上に成長させ、（例えば、超音波処理の使用で）その基体から取り除き、溶媒中に入れ、溶媒を表面部分上に配置して乾燥させることで表面部分120上に移してもよい。

40

【0017】

次に図4について述べれば、突起状のフィーチャー320は、フィーチャー320が本体部分110に結合している位置にある底面410と上面420との間に延在する側壁400によって特徴づけられる。上面420及び側壁400は交わって角430を形成する

50

。幾つかの実施形態では、角430は約90度以下である。約90度を超える角も幾つかの実施形態では好適であるものの、ある種の条件下では、かかる構成は角430は約90度以下である場合よりもウェンゼル状態の湿潤に耐えられないことがある。キャビティ300もまた、本体部分110の表面460に位置するキャビティ開口450とキャビティ底面470との間に延在するキャビティ側壁440によって特徴づけられる。底部470及び側壁440は交わってキャビティ角480を形成する。幾つかの実施形態では、角430に関して上述したのと同じ理由により、角480は約90度以下である。

【0018】

フィーチャー配向は、本発明の実施形態に従って表面濡れ性を設計する際ににおける追加の考察事項である。フィーチャー配向の重要な特性の1つは、フィーチャーの間隔である。図3について述べれば、幾つかの実施形態では、フィーチャー130は間隔寸法(b)350で特徴づけられる互いに離隔した状態で設けられている。間隔寸法350は、2つの最も近くに隣り合ったフィーチャーの縁端間の距離と定義される。配向の他の特性(例えば、上面420(又はキャビティについては底面470)が表面460との平行状態からずれている程度、或いはフィーチャー130が表面460に対する垂直方向からずれている程度)を考察することもできる。

10

【0019】

幾つかの実施形態では、複数のフィーチャー130のすべてがh、a及び/又はbに関して実質的に同じ値を有する(「規則アレイ」)が、これは一般的な要件でない。例えば、複数のフィーチャー130は、サイズ、形状及び/又は配向のランダム分布を示すフィーチャーの集合体(例えば、ナノワイヤ)であり得る。さらに、幾つかの実施形態では、複数のフィーチャーはh、a、b又はこれらの任意の組合せが多モード分布(例えば、二モード又は三モード分布)を示すことで特徴づけられる。かかる分布は、一定範囲の液滴サイズに遭遇する環境中において濡れ性の低下をもたらし得るので有利である。かくして、濡れ性に対するh、a及びbの効果の推定は、これらのパラメーターの分布特性を考慮に入れることで最もよく実行される。確率分布を表す変数を用いて解析を行うための技法(例えば、モンテカルロシミュレーション法)は当技術分野で公知である。かかる技法は、本発明の物品で使用するためのフィーチャー130を設計する際に適用できる。したがって、個々のフィーチャーではなく複数のフィーチャーに関してa、b、hなどのパラメーターが本明細書中に記載される場合、これらのパラメーターは母集団と見なされる複数のフィーチャーに関する中央値を表すものと解すべきであることが理解されよう。

20

【0020】

液滴サイズがフィーチャー130のサイズよりずっと大きい場合、液滴と表面部分120との相互作用の物理学を解析すれば、b/a比及びh/aが湿潤挙動に大きな影響を及ぼすことがわかる。例えば、N. A. Patankar, Langmuir 2004, 20, 7097-7102を参照されたい。上述の通り、幾つかの実施形態では、表面部分120は非ウェンゼル状態の挙動がエネルギー的に安定な状態であるように設計される。かかる実施形態では、b/a比及びh/aは、表面部分上に配置された参照液体の液滴に関し、非ウェンゼル状態の液滴挙動(例えば、カッサー状態の挙動)がウェンゼル状態の液滴挙動より低いエネルギー状態にあり、かくして液滴が非ウェンゼル状態の挙動を示すように設計される。これは、相対間隔パラメーター(b/a)を強制的に非常に小さい値に設定することで達成されることが多い。

30

【0021】

液滴状態を純粋なカッサー状態に維持することは幾つかの用途で有利であり得るが、物品の実際の濡れ性能を決定する上では液滴状態以外の因子が重要な役割を演じる。低濡れ性表面(例えば、セルフクリーニング表面及び着氷防止表面)に関する用途の多くは、大きい接触角ばかりでなく、液滴の容易なロールオフを促進するために液滴と表面との間ににおける低レベルの摩擦及び他の接触力も要求する。カッサー状態を維持するために要求される小さい相対間隔(b/a)値では、表面部分120上における高密度のフィーチャー130が大きい固体-液体接触面積をもたらす。大きい接触面積は、液滴を表面に付着し

40

50

た状態に保つように作用する接触力（「ピン止め力」）を生じ、接触角が比較的大きい場合でも液滴のロールオフを妨げることがある。

【0022】

本発明者らは、大きい接触角（低い濡れ性）及び液滴の容易なロールオフを示す表面テクスチャーを生じるための設計方法を開発した。使用環境に基づいて材料を適正に選択することに加えて b/a 及び h/a を適正に選択することで、表面に衝突した液滴が非ウェンゼル湿潤を示すと共に容易なロールオフ挙動を示すように表面を設計できる。 b/a の増加に伴い、液滴挙動は（液滴が元来は非ウェンゼル液滴であると仮定して）安定な非ウェンゼル状態から準安定な非ウェンゼル状態に変化するが、フィーチャー密度の減少のために固体 - 液体接触線長さは減少する。結果として生じるピン止め力の減少により、液滴は大きい固体 - 液体接触線長さを有する表面の場合よりも容易に表面から転がり落ちる。

10

【0023】

ロールオフの容易さは、液滴が表面から転がり落ちるまでに必要な水平位置からの傾斜角を求めて測定できる。ほぼ垂直な傾斜を要求する液滴は表面に対して高度にピン止めされているのに対し、容易なロールオフを示す液滴は表面から転がり落ちるために非常にわずかな傾斜角しか要求しない。幾つかの実施形態では、液滴は、液滴を引く重力が液滴を表面にピン止めする力に等しくなった時点で表面から転がり落ちる。このような状況は、下記の式で表すことができる。

【0024】

$$Vg(\sin\alpha) = 2\mu r \quad (1)$$

20

式中、 ρ は液体の密度、 V は液滴の体積、 g は重力定数、 α は水平位置からの傾斜角、 μ はピン止めパラメーター、 r はピン止めされた接触線の分率、 r は基体に対する液滴の接触領域の半径である。ピン止めパラメーター μ は表面テクスチャーに無関係の材料定数であるが、 α 及び r はテクスチャーの関数である。幾つかの実施形態では、テクスチャーはフィーチャー 130 のパラメーター a 、 b 及び h で表される。液滴が球状であると仮定した場合、式(1)は次のように書き直すことができる。

【0025】

【数1】

$$\sin\alpha = \mu \cdot (2\pi) \left(\frac{3}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{1}{\rho g} V^{-\frac{2}{3}} \cdot \beta \cdot f(\theta) \quad (2);$$

30

式中、

【0026】

【数2】

$$f(\theta) = \frac{\sin\theta}{(2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta)^{\frac{1}{3}}} \quad (3),$$

であり、 α は平衡接触角であり、 $f(\theta)$ は表面の幾何学的形状の関数である。 $f(\theta)$ に関する式は、使用するフィーチャーの幾何学的形状から簡単に導くことができる。例えば、フィーチャーが幅 a かつ間隔 b の直角プリズムである単純な状況下にあるカッキー状態の液滴に関しては、 β は次式で表される。

40

【0027】

【数3】

$$\beta = C \left(\frac{a}{a+b}\right) \quad (4);$$

式中、 C は主として固体表面に対する液体の接触で画成される領域の形状に依存する定数である。

50

【0028】

図5は、上記の解析結果を確認することを目標とした研究の結果を示している。シリコン基体に、リソグラフィーにより、約15μmの幅(a)及び約5～約150μmの範囲内の様々な間隔(b)を有する直角ブリズム形フィーチャーを設けた。次いで、かかる基体を液体フルオロシランの入ったバイアルと共にチャンバー内に配置した。チャンバーを排気することで、液体を蒸発させ、気相からシリコン基体上に凝縮させ、それによって表面上に疎水性フィルムを形成した。水滴が表面から転がり落ちるために必要な傾斜角を、フィーチャーの間隔パラメーターの関数として記録した。図5に示すように、 $\sin(\cdot)$ と $\cdot f(\cdot)$ との関係は明らかに直線状であり、上記式(3)に示された関係がこのタイプのテクスチャー化表面に関する液滴のロールオフを予測することを示唆している。解析結果に基づき、パラメーター μ はこの研究で使用した材料について約0.013N/mであると推定された。

10

【0029】

当技術分野で公知の通り、傾斜した基体上の液体は、多くの場合に2つの異なる接触角を示す。即ち、液滴の低い側(液滴が斜面を滑り落ちる時に前縁となる側)における前方接触角及び液滴の高い側における後方接触角である。ピン止めパラメーター μ は、前方及び後方接触角に対するその理論的関係に基づいて容易に計算できる。ピン止めパラメーターは、液滴の前縁(下端)では固体と蒸気との間の表面張力(σ_{SV})と同じ方向に働く力として、また液滴の後縁(上端)では σ_{SV} の反対方向に働く力としてモデル化される。当技術分野で一般に知られている力のバランスを適用することにより、蒸気環境の存在下で固体表面上に位置する液滴に働く力を記述する。

20

【0030】

傾斜した基体上の前端に関しては、次式のようになる。

【0031】

【数4】

$$\cos\theta_A = \frac{\sigma_{SV} - \mu - \sigma_{SL}}{\sigma_{LV}}.$$

傾斜した基体上の後端に関しては、次式のようになる。

30

【0032】

【数5】

$$\cos\theta_R = \frac{\sigma_{SV} + \mu - \sigma_{SL}}{\sigma_{LV}}.$$

2つの式を加算すれば、下記の式が得られる。

【0033】

【数6】

40

$$\cos\theta_A - \cos\theta_R = \frac{2\mu}{\sigma_{LV}};$$

式中、 θ_A 及び θ_R はそれぞれ前方及び後方接触角であり、 σ_{LV} は蒸気と液体との間の表面張力である。水及び空気に関しては、この値は約0.073N/mであることが知られている。かくして、直上の式に関し、ピン止めパラメーターは以下の手順を用いて容易に計算できる。即ち、1)興味の対象となる基体材料からなる平滑面を用意し、2) θ_A 及び θ_R (それぞれ前方及び後方接触角)を測定し、3)上記の式を用いて μ を計算する。

【0034】

μ がわかれば、上記の式(2)及び(3)を用いて、既知の幾何学的形状のフィーチャ

50

ーを有する表面のロールオフ角を予測できる。最大ロールオフ角（即ち、ロールオフに対する最大許容抵抗力）が得られる相対間隔 b / a の下限を設定できる。相対間隔 b / a はそこから増加することができ、それによってロールオフに対する抵抗力がさらに小さい表面が得られる。しかし、相対間隔は、液滴が準安定な非ウェンゼル挙動を示すのを止める時点（即ち、間隔が多くなりすぎて液体がフィーチャー間の空隙を満たし始める時点）で上限に達する。この時点に達するのは、内部（ラプラス）圧力プラス（例えば、衝突速度に由来する）何らかの動圧に原因する液滴中の圧力が表面の幾何学的形状によって与えられる非ウェンゼル状態とウェンゼル状態との間のエネルギー障壁に打ち勝つのに十分となる場合である。結局、これは液滴を非ウェンゼル状態に維持する表面張力を画定する。

【0035】

非ウェンゼル状態の挙動を準安定条件に維持する能力は、非ウェンゼル状態とウェンゼル状態との間に存在するエネルギー障壁に依存し、これは主として b / a 及び h / a の選択で決定される。幾つかの実施形態では、 b / a は約 0.3 ~ 約 1.0 の範囲内にあり、 h / a は約 0.5 ~ 約 1.0 の範囲内にある。特定の実施形態では、これらの範囲は、 a が約 1 ~ 約 100 μm の範囲内にありかつ基体材料が約 90 度を超える固有接触角（即ち、平滑面に関して測定される接触角）を有するポスト形フィーチャーに関して使用される。十分な大きさのエネルギー障壁を生じることで、大きい衝突速度に原因する運動エネルギーのような高いエネルギーを有する液滴に関してはウェンゼル状態への遷移を著しく妨げることができる。幾つかの実施形態では、 b / a はさらに参照液体の液滴に対して低いピン止め力を維持するように選択される。上述の通り、ピン止め力は、基体からの液滴のロールオフを引き起こすために必要な水平位置からの表面傾斜角を測定することで求められる。特定の実施形態では、低いピン止め力とは、ロールオフ角が約 45 度以下である場合として定義される。

【0036】

液体の少なくとも一部が衝突ではなく凝縮によって物品 100 上に配置される用途では、特にフィーチャー 130 が物品 100 上に凝縮する液滴のサイズより大きい場合、液体の少なくとも一部はウェンゼル状態の挙動を示す可能性がある。このような場合には、ロールオフを達成するのが純粋なカッサー液滴の場合より難しくなることがある。しかし、上述のように、液滴とフィーチャー 130 との低摩擦相互作用が満足すべきロールオフを可能にするのに十分な程度に小さくなるように表面を設計することがなお可能である。凝縮を伴う用途には、例えば、凝縮装置及び蒸気タービン部品があり、かかる用途は本明細書中で一層詳しく後述される。

【0037】

a 、 b 及び h に関して選択される値は用途に依存し、少なくとも凝縮より液滴の衝突を伴う用途に関しては、選択は通常はこれらのパラメーターが予想される液滴サイズより顕著に小さくなるように行われる。幾つかの実施形態では、 a 、 b 及び h はいずれも約 1 nm ~ 約 500 μm の範囲内にある。特定の実施形態では、 a は約 10 nm ~ 約 100 ミクロンの範囲内にある。幾つかの実施形態では、 b / a 比は約 2.0 以下であり、特定の実施形態では、 b / a は約 1.0 以下である。しかし、準安定な非ウェンゼル液滴挙動を維持することを考察すれば、準安定な非ウェンゼル状態と安定な（低エネルギーの）ウェンゼル状態との間の有効活性エネルギー障壁を維持するため、 b / a パラメーターの選択が a に関する特定の範囲に依存するような実施形態が導かれる。さらに詳しくは、幾つかの実施形態では、 b / a は表面に接触する液滴に作用する約 100 パスカル (Pa) 超の毛管圧力を与えるように選択される。 100 Pa の最小圧力は、準安定な非ウェンゼル状態からウェンゼル状態への液滴状態の転移を促進するように作用するラプラス圧力及び重力に打ち勝つのに十分な抵抗力を与えることができる。したがって、幾つかの実施形態では、 a は約 1.0 ~ 約 5.0 nm の範囲内にあり、 b / a は約 3.5 以下であり、 h / a は約 1.0 以下である。幾つかの実施形態では、 a は約 5.0 ~ 約 50.0 nm の範囲内にあり、 b / a は約 1.0 以下であり、 h / a は約 1.0 以下である。幾つかの実施形態では、 a は約 50.0 nm ~ 約 5 μm の範囲内にあり、 b / a は約 3.5 以下であり、 h / a は約 1.0 以

10

20

30

40

50

下である。幾つかの実施形態では、 a は約5～約50μmの範囲内にあり、 b/a は約10以下であり、 h/a は約100以下である。最後に、幾つかの実施形態では、 a は約50～約100μmの範囲内にあり、 b/a は約3.5以下であり、 h/a は約100以下である。 h/a 比の上限は、製造が可能であること、並びにある種の用途で応力及び衝撃に耐え得る頑強なフィーチャーが必要であることによって決定される。幾つかの実施形態では、 h/a は0.5以上である。

【0038】

多くの用途では、部分的には衝突する液滴が一層小さい液滴に分裂したり、或いは一定範囲の液滴サイズが本質的に環境中に存在することにより、上述した効果を維持するために小さいサイズスケールのフィーチャーの存在が必要となるので、多重サイズスケールのフィーチャーが望ましい。その上、多重サイズスケールのフィーチャーの存在は、上述のようにテクスチャ化した表面に関して得られる低濡れ性効果を拡大し、フィーチャーサイズ、形状及び配向の一層広い許容範囲を可能にする。図6に示すように、幾つかの実施形態では、1以上のフィーチャー130がフィーチャー130上に設けられた複数の二次フィーチャー500を含んでいる。特定の実施形態では、二次フィーチャー500は各々のフィーチャー130上に設けられている。図6に図示した例は同一の二次フィーチャー500の規則アレイを示しているが、かかる配列は一般的な要件でない。ランダム配列並びにサイズ、形状及び配向の他の分布も、特定の用途にとっては適当であり得る。二次フィーチャー500は、側壁を含むフィーチャー130の任意の表面上に設けることができる、またフィーチャー130間の空隙内部の表面部分上にも設けることができる。二次フィーチャー500は、フィーチャー基線平面510を基準とした高さ寸法 h' （二次フィーチャーは平面510から上方に突出しているか、或いは平面510から下方に深さ h' を有するようにしてフィーチャー130中に設けられたキャビティである。）、幅寸法 a' 及び間隔寸法 b' によって特徴づけることができる。これらのパラメーターはいずれも上述の a 、 b 及び h と同様に定義される。パラメーター a' 、 b' 及び h' は、所望の用途に特有の条件に基づいて選択されることが多い。幾つかの実施形態では、 a' 、 b' 及び h' はいずれも約1～約1000nmの範囲内にある。

【0039】

多重サイズスケールフィーチャーの別の例を図7に示す。この例では、細孔600は本体部分110上に設けられたキャビティ形フィーチャーである。細孔は連続細孔（「開放気孔」）であっても独立細孔（「閉鎖気孔」）であってもよい。細孔のサイズ、形状及び配向は、所望用途の要件に基づいて選択される。幾つかの実施形態では、約500μm以下の幅（細孔径）を有し、他の実施形態では、細孔は直線1インチ当たり約60細孔（ppi）以上の密度を有する。幾つかの実施形態で好適であり得る多孔質表面の例には、Porvair Fuel Cell Technology社から商業的に入手できる連続気泡メタルフォーム、及び三菱マテリアル社から商業的に入手できる連続気泡グラジエントメタルフォームがある。細孔600は、金属からなる細孔壁610を境界とする。この例示的な実施形態では、細孔壁は細孔壁610に設けられた細孔壁フィーチャー620を含んでいる。細孔壁フィーチャー620は、細孔壁610から突出した構造体又は壁中に設けられたくぼみであり得る。幾つかの実施形態では、細孔壁フィーチャーは1μm未満の特性寸法（例えば、上述の高さ h' 、幅 a' 又は間隔 b' ）を有する。

【0040】

表面部分120（図1）は金属からなる。本発明の幾つかの実施形態では、フィーチャー130は金属、金属間化合物及び半金属からなる群から選択される材料からなる。他の実施形態では、フィーチャー130は非金属（例えば、セラミック又はポリマー）からなる。これらの材料の多くは多くの重要な液体（例えば、水及び油）に対して中位乃至高度の固有濡れ性（即ち、公称的に平坦な表面に関して測定された濡れ性）を有するが、本発明の実施形態に従って物品表面を改造すれば、かかる材料から作られた物品の濡れ性を顕著に低下させることができる。表面部分120及びフィーチャー130を形成するための好適な金属の例には、特に限定されないが、アルミニウム、銅、鉄、ニッケル、コバルト

10

20

30

40

50

、金、白金、チタン、亜鉛、スズ、及びこれらの元素の1種以上を含む合金（例えば、鋼、高温超合金及びアルミニウム合金）がある。好適な金属間化合物の例には、特に限定されないが、上述した元素の1種以上を含む化合物（例えば、アルミニウム化物や他の金属間化合物）がある。シリコンが好適な半金属の非限定的な一例である。幾つかの実施形態では、表面部分120はフィーチャー130と同じ金属からなる。特定の実施形態では、本体部分110、表面部分120及びフィーチャー130は一体であり、同一の金属組成物からなる。

【0041】

フィーチャー130は、幾つかの方法で物品100上に形成しあつ設けることができる。幾つかの実施形態では、フィーチャー130は物品100の表面部分120上に直接形成される。他の実施形態では、フィーチャー130を本体部分110から独立して形成し、次いで表面部分120として本体部分110上に設ける。本体部分110上へのフィーチャー130の配設は、フィーチャー130を個別に結合することで行うことができる。或いは、フィーチャーをシート、箔又は他の適当な媒体上に配設し、次いでかかる媒体を本体部分110に結合してもよい。いずれの場合の結合も、特に限定されないが、溶接、ろう付け、機械的結合、或いはエポキシ系又は他の接着剤による接着結合のような任意適宜の方法で達成できる。

10

【0042】

フィーチャー130の配設は、物品の表面上に材料を堆積させること、表面から材料を除去すること、或いは堆積及び除去の組合せによって達成できる。表面に対して材料を付加又は除去するためには、当技術分野で多くの方法が知られている。例えば、適当な媒体／工具及び表面材料を選択すれば、研削、グリットプラスチング又はショットピーニングのような機械的操作による表面の単純な粗面化が好適であり得る。かかる操作は一般に表面上に分布したランダム配列のフィーチャーを生じるが、フィーチャーのサイズスケールは材料除去操作のために使用する媒体及び／又は工具のサイズに大きく依存する。金属表面を始めとするエッティング可能な表面上に表面フィーチャーを生じるためには、リソグラフィー法が通常使用される。これらの方法では、フィーチャーの規則アレイを得ることができる。これらの技法によって得られるフィーチャーサイズの下限は、適用される特定のリソグラフィー法の解像度によって制限される。

20

【0043】

電気めっき法も、表面にフィーチャーを付加するために通常使用される。パターン化アレイをなすようにして導電性表面をマスクすることで、フィーチャーを配設すべき領域を露出させ、これらの露出領域上にめっきでフィーチャーを堆積させることができる。この方法は、エッティング技法で通常得られるものより高いアスペクト比を有するフィーチャーを生じることができる。特定の実施形態では、マスキングは、十分に制御された細孔サイズを有する陽極処理酸化アルミニウム（AAO）テンプレートの使用で達成される。細孔を通して基体上に材料を電気めっきし、次いでAAOテンプレートを選択的に除去する。この方法は、当技術分野では、ナノロッドのような高アスペクト比のフィーチャーを形成するために通常適用される。周知の加工方法を用いて金属及び金属酸化物のナノロッドを堆積させることができると、これらの材料を（例えば、炭化法で）さらに処理して炭化物のような各種セラミック材料を形成することができる。下記に一層詳しく記載する通り、コーティング又は他の表面改質技法をフィーチャーに適用することでさらに一段と良好な濡れ性を得ることができる。

30

【0044】

（例えば、シリコン及びステンレス鋼に対して通常使用される）レーザーミクロ加工のようなミクロ加工技法及びエッティング技法（例えば、シリコンに対して通常使用されるもの）も好適な方法である。かかる技法は、突出したフィーチャーばかりでなく（レーザードリリングの場合のように）キャビティを形成するためにも使用できる。複数のフィーチャー320がキャビティ300を含む場合、幾つかの実施形態では、表面部分120は多孔質材料（例えば、陽極処理金属酸化物）からなる。陽極処理酸化アルミニウムは、幾つ

40

50

かの実施形態で使用するために好適であり得る多孔質材料の具体例である。陽極処理酸化アルミニウムは通常柱状の細孔を含み、直径及びアスペクト比のような細孔パラメーターは、金属層を多孔質金属酸化物層に転化させる技術分野で公知のプロセス制御装置を用いる陽極処理法で綿密に調節できる。

【0045】

要するに、当技術分野で一般に知られている多数の堆積方法又は材料除去方法のいずれかを使用して表面上にフィーチャーを設けることができる。上述の通り、フィーチャーは物品100の本体部分110上に直接配設してもよいし、或いは基体上に配設してから本体部分110に結合してもよい。

【0046】

ある種の用途では、使用条件はポリマーコーティング、フッ素化材料及び他の従来の低濡れ性材料の使用を許す。かくして、本発明の幾つかの実施形態では、これらの材料を表面部分120に適用して耐濡れ性を向上させることができる。しかし、本発明の実施形態に従って低い濡れ性を有する物品の使用が有益である多くの用途（例えば、ある種の医療器具、熱交換器、航空機部品、及び航空機エンジンのようなターボ機械）は、従来のポリマー系の低濡れ性材料及びコーティングの使用を妨げる苛酷な化学的、熱的及び／又は摩擦学的条件に暴露される。したがって、幾つかの実施形態では、表面部分120及びそれのフィーチャー130はいかなるポリマー材料又はコーティングも含まない。即ち、これらは金属材料、金属間化合物又はセラミック材料から本質的になる。しかし、これらの材料は一般に高度乃至中位の濡れ性を有する。したがって、フィーチャー130の固有濡れ性を低下させる何らかの手段が存在しなければ、本明細書中に記載するようなフィーチャー130を設けることによる表面テクスチャ化の効果は所望レベルの濡れ性を得るために必ずしも十分でないことがある。

10

20

30

40

【0047】

幾つかの実施形態では、物品100はさらに、表面部分120上に設けられた表面改質層（図示せず）を含んでいる。この層は、一実施形態では、表面部分120に材料層を配置してフィーチャー130を覆うコーティングを設けることで形成される。疎水性ハードコーティングが好適なオプションの1つである。本明細書中で使用する「疎水性ハードコーティング」とは、金属について認められる硬さを超える硬さを有すると共に、水滴に対して約70度以上の静止接触角を生じるのに十分な耐濡れ性を示す部類のコーティングをいう。通常高い耐摩耗性を有するダイヤモンド様炭素（DLC）コーティングが、耐濡れ性を向上させるため金属物品上に施工してきた（例えば、米国特許第6,623,241号を参照されたい。）。非限定的な例として、フッ素化DLCコーティングは水による湿潤に対して顕著な抵抗性を示した。窒化物、ホウ化物、炭化物及び酸化物のような他のハードコーティングも、このような目的に役立ち得る。平滑な金属基体上に堆積させた場合に水に対して約90度以上の接触角を生じることが本発明者らによって証明された特に好適な候補材料には、酸化タンタル、炭化チタン、窒化チタン、窒化クロム、窒化ホウ素、炭化クロム、炭化モリブデン、炭窒化チタン、窒化ホウ素及び窒化ジルコニウムがある。これらのハードコーティング及びその施工方法（例えば、化学蒸着（CVD）、物理蒸着（PVD）など）は当技術分野で公知であり、苛酷な環境中で特に有用であり得る。フルオロシランのようなフッ素化材料も、ある種の液体（例えば、水）に対して低い濡れ性を示す好適なコーティング材料である。最後に、条件が許せば、コーティングはポリマー材料からなり得る。ある種の液体による湿潤に対して有利な抵抗性を有することが知られるポリマー材料の例には、シリコーン、フルオロポリマー、ウレタン樹脂、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、ポリシラザン、脂肪族炭化水素、ポリイミド、ポリカーボネート、ポリエーテルイミド、ポリスチレン、ポリオレフィン、ポリプロピレン、ポリエチレン及びこれらの混合物がある。

30

【0048】

別法として、表面改質層は、分子種、原子種又はイオン種を表面部分120中に拡散又は注入して、表面改質層の下方の材料に比べて変化した表面特性を有する材料層を生じる

50

ことでも形成できる。一実施形態では、表面改質層はイオン注入材料（例えば、イオン注入金属）からなる。ホウ素（B）、窒素（N）、フッ素（F）、炭素（C）、酸素（O）、ヘリウム（He）、アルゴン（Ar）又は水素（H）のイオンによる金属材料のイオン注入は、注入された材料の表面エネルギー（したがって濡れ性）を低下させることができる。例えば、A. Leipertz et al., "Dropwise Condensation Heat Transfer on Ion Implanted Metallic Surfaces", http://www.ltt.uni-erlangen.de/inhalt/pdfs/tk_gren.pdf 及び Xuehu Ma et al., "Advances in Dropwise Condensation Heat Transfer: Chinese Research", Chemical Engineering Journal, 2000, volume 78, 87-93 を参照されたい。

10

20

30

40

50

【0049】

一実施形態では、窒化法又は炭化法のような拡散硬化法の使用で表面改質層が設けられ、したがって表面改質材料は窒化材料又は炭化材料からなる。窒化法及び炭化法は、金属の表面中に窒素又は炭素を拡散させ、金属中に含まれる強固な窒化物生成元素又は炭化物生成元素と反応させ、金属組成及び加工パラメーターに応じて反応材料層或いは硬質炭化物又は窒化物粒子の分散物を形成することで金属の表面を硬化させることができが当技術分野で知られている。鋼に対しては、窒化法は通常約500～550の温度範囲内で実施される。当技術分野で知られている窒化法にはイオン窒化法、ガス窒化法及び塩浴窒化法があるが、これらは当該方法で使用する窒素源の状態に基づいて名づけられている。一例では、32マイクロインチの表面仕上を有する403鋼の（参照液体として水を用いて測定した）接触角は、イオン窒化法によって約60度から約115度に増大した。鏡面仕上試験片に適用した窒化表面の予備観察によれば、窒化法は金属の固有表面エネルギーを低下させることに加えて表面にナノスケールのフィーチャーを堆積させ得ることが示唆される。

【0050】

表面改質層は、表面部分120上にフィーチャー130を設けた後に施工できる。別法として、表面部分120上に表面改質層を施工した後にフィーチャー130を形成することもできる。順序の選択は、使用する特定の加工方法並びにフィーチャー130、表面部分120及び／又は本体部分110のために使用される材料に依存する。

30

【0051】

上述のように、特定の表面パラメーターの選択は、一部では物品100を使用する用途に依存する。以下、本発明の実施形態に係る特定の用途の非限定的な例を示す。

【0052】

氷の蓄積：着氷は、水滴（時には過冷却された水滴）が航空機部品又はタービン（例えば、ガスタービン又は風力タービン）の部品のような物品の表面に衝突し、該表面上で凍結する場合に起こる。航空機部品、タービン部品、及び自然に暴露される他の機械装置上における氷の蓄積は、性能を低下させ、安全上のリスクを増加させ、定期的な氷除去作業のための費用を生じる。本発明の幾つかの実施形態は、かかる表面上における氷の形成、付着及び／又は蓄積を低減させると考えられる。幾つかの実施形態では、物品100は航空機部品（例えば、航空機の主翼、尾翼又は胴体）である。他の実施形態では、物品100は航空機に動力を供給するために使用するガスタービンエンジンの部品のようなガスタービン部品である。さらに他の実施形態では、物品100はウィンドタービンアセンブリの部品である。

40

【0053】

本発明の実施形態に係る物品として好適な航空機エンジン部品の非限定的な例には、ナセルの入口リップ、スプリッターの前縁、ブースターの前置静翼、ファンの後置静翼、センサー及び／又はそのシールド、並びにファンブレードがある。ファンブレードのような幾つかの部品は、時には金属で作られるものの、多くは炭素系複合材料で作られている。かかる場合には、表面部分120は複合材料製本体部分110に結合された薄い箔（例え

ば、金属箔)からなればよく、フィーチャー130は箔上に設けられる。他の場合には、上述のような被覆方法によって複合材料製物品上にフィーチャー130を直接に配設してもよいし、或いは複合材料製物品自体を機械加工又は他の方法で成形してその表面に一体フィーチャーを設けてもよい。

【0054】

風速計及びタービンブレードのような各種部品上における氷の蓄積は風力タービン運転の効率を低下させると共に安全上のリスクを増大させるので、風力タービンにとって着氷は重要な問題である。風力タービンブレード及び他の部品は、多くは軽量化のためにガラス繊維のような軽量複合材料で作られており、氷の蓄積はその効率を顕著に低下させる程度までブレードに有害な負荷をもたらすことがある。本発明の幾つかの実施形態では、物品100は風力タービンアセンブリの部品(例えば、タービンブレード、風速計、歯車箱又は他の部品)である。フィーチャー130は、ジェットエンジンの複合材料製ファンブレードに関して上述した方法と同様にしてかかる部品上に設けることができる。

10

【0055】

航空機の着氷防止用途に関する条件下では、水滴サイズは通常約10～約70μmの範囲内にある。かかる条件に対処するためには、本発明の例示的な物品の1つは、 h/a が約10以下の値を有し、 b/a が約4以下の値を有し、かつ a が約3μm以下の値を有するようなフィーチャーを設けた物品である。このような特定の場合、約2～10の範囲内の h/a 及び約2以下の b/a に関しては安定なカッシャー条件の挙動が期待される一方、約1～約3の範囲内の h/a 及び約4の b/a に関しては準安定な挙動が期待される。しかし、上述した例示的な実施形態は本発明を限定するものではなく、液滴サイズ、環境変数及び構造材料が変化すれば異なるパラメーターが適当となる可能性があることに注意すべきである。

20

【0056】

液滴のロールオフ(脱落)：上述のように、表面フィーチャーのサイズ、形状及び配向は、表面上における液滴の湿潤特性を決定する上で主要な役割を演じる。非ウェンゼル状態の湿潤の必要性と低い液滴ピン止め力の必要性とをバランスさせるために上述の解析結果を用いれば、容易なロールオフを要求するデザインを開発することができる。一例では、リソグラフィー技法を用いてフルオロシランフィルムで被覆したシリコン基体にエッチングを施することで、約15μmの幅(a)及び約25μmの高さ(h)を有する直角ブリズム形フィーチャーを設けた。様々な間隔パラメーター(b =約5～約150μm)でこれらのフィーチャーを用いた各種の表面デザインを、参照液体として水滴を用いて試験した。表面エネルギーに由来する毛管力及び液滴に作用する加圧力の解析結果に基づき、ウェンゼル湿潤が起こるまでの上限は約90μmの間隔であることが予測され、準安定な非ウェンゼル状態は約30～約90μmの範囲内にあると計算された。約30μm以下の間隔では、ロールオフ角は高くて約60度を超えた。しかし、60μm及び75μmの間隔は約20度のロールオフ角を与えた。約110μm及び約150μmの間隔を有する表面上に配置された液滴は、表面を90度の角まで傾斜させた場合にも表面にピン止めされる傾向を示した。

30

【0057】

蒸気タービンの水分管理：ある種の用途(例えば、蒸気タービン)では、金属表面は衝突する水滴及び凝縮する水滴にさらされる。タービン内で蒸気が膨張すると、流れ中に(通常は霧滴サイズの)水滴が出現する。これらの水滴はタービンブレード及び他の部品上で凝集し、大きな水滴として脱落するが、これはタービンに熱力学的損失、空気力学的損失及び浸食損失を引き起こすことがある。タービン部品の表面を低濡れ性(例えば、超疎水性)にすれば、水滴は凝集して大きい水滴になる前にこれらの表面から脱落することができ、したがってこのような機構は蒸気タービンにおける水分損失を防止できる。本発明の実施形態に従えば、これらの用途で使用するために設計された表面は、一方におけるカッシャー状態の液滴挙動及び衝突液滴による湿潤に対する高い抵抗性の要求(これらの因子は高密度のフィーチャー130を推奨する)を、小さい液滴の容易な脱落の要求(これは

40

50

低密度のフィーチャー 130 をもった表面を推奨する)とバランスさせることによるトレードオフを表している。

【0058】

実際問題としては、これらの設計考慮事項を適用することで、大きい接触角及び容易な液滴ロールオフを促進する表面デザインが得られる。多くの静止用途では、液滴のロールオフは液滴に作用する重力が液滴を表面にピン止めする摩擦力に打ち勝った場合に起こる。ボンド数(流体力学の分野で常用されるパラメーター)を適用することで、所望の液滴サイズでの液滴のロールオフを可能にするために所望されるフィーチャー 130 間の間隔を推定できる。物品 100 が空気力学的な力を受けるタービンブレード又は他のタービン部品である場合、液滴のロールオフは前進力が液滴を表面にピン止めする摩擦力に打ち勝った場合に起こる。これらの場合には、ウェーバー数(空気力学及び流体力学の分野で常用されるパラメーター)を適用することで、所望の液滴サイズでの液滴のロールオフを可能にするために所望されるフィーチャー 130 間の間隔を推定できる。ウェーバー数は、所定の環境条件及び流れ条件下で得られる最大液滴サイズの推定を可能にする。このサイズを考慮に入れることで、液滴に接触するフィーチャーの数を最小にし、したがって液滴を表面にピン止めする力を最小にする表面を設計できる。液滴同士が十分に離隔していれば、液滴は合体して大きい有害な液滴になる前に空気力学的な力で脱落し得る。

10

【0059】

タービン部品：幾つかの実施形態では、物品 100 はタービン部品である。特定の実施形態では、タービンは風力タービン、蒸気タービン又はガスタービンである。上述したように、かかる部品の好適な例は翼形部を含む部品であって、回転羽根及び静止部品(静翼又はノズル)が実例である。図 8 に示すように、(断面図で示す)翼形部 800 は、予想される指向性の流体流れに対して前縁 802 及び後縁 804 を含んでいる。幾つかの実施形態では、フィーチャー(図示せず)は翼形部 800 の表面全体にわたって設けられる。しかし、幾つかの実施形態では、翼形部 800 の特定部分(例えば、前縁 802 及び/又は後縁 804)のみにフィーチャーが要求又は所望されることがある。用途の性質により、物品上にフィーチャーを設ける範囲が決定される。

20

【0060】

以上、本明細書中で様々な実施形態を説明してきたが、当業者であれば様々な要素の組合せ、変更、同等物又は改良を使用し得ると共に、これらもやはり本発明の技術的範囲内に含まれることが本明細書から理解されよう。

30

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図 1】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 2A】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 2B】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 3】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 4】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 5】本発明の実施形態に従って液滴のロールオフ角を表面の幾何学的形状に関係づけるプロットである。

40

【図 6】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 7】本発明の例示的な実施形態を示す概略断面図である。

【図 8】翼形部の概略断面図である。

【符号の説明】

【0062】

100 物品

110 本体部分

120 表面部分

130 フィーチャー

140 静止接触角

50

1 4 5 接線
1 5 0 液滴

【図 1】

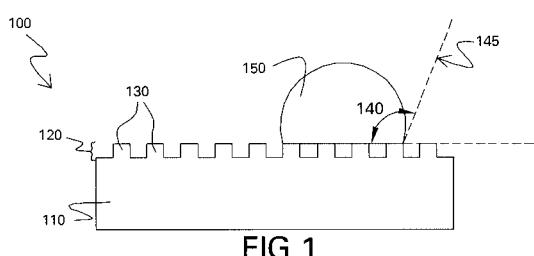


FIG.1

【図 2 A】

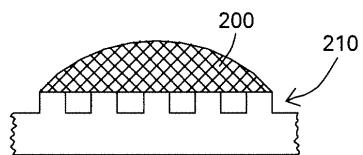


FIG.2A

【図 2 B】

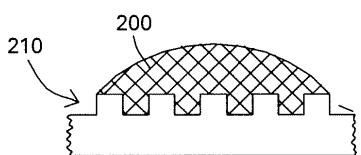


FIG.2B

【図 3】

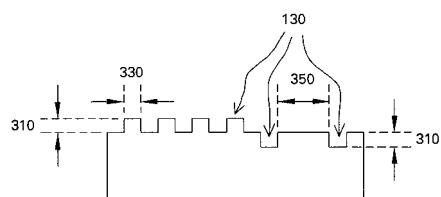


FIG.3

【図 4】

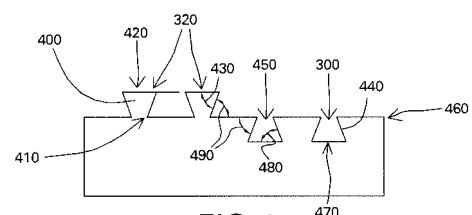


FIG.4

【図5】

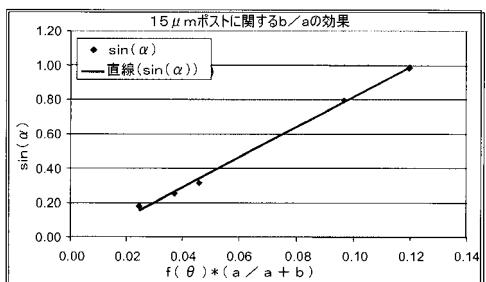


FIG.5

【図6】

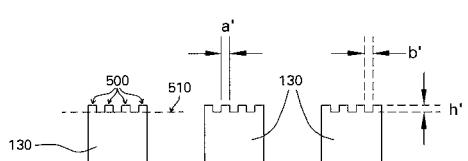


FIG.6

【図7】

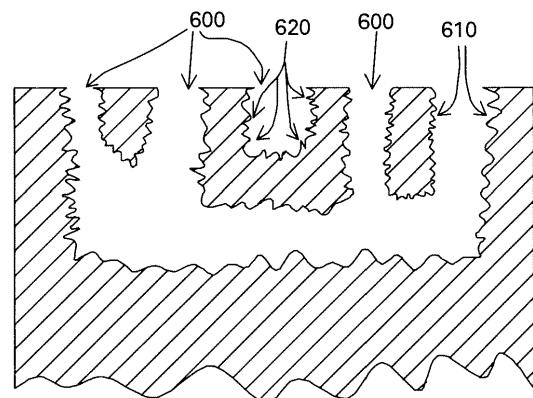


FIG.7

【図8】

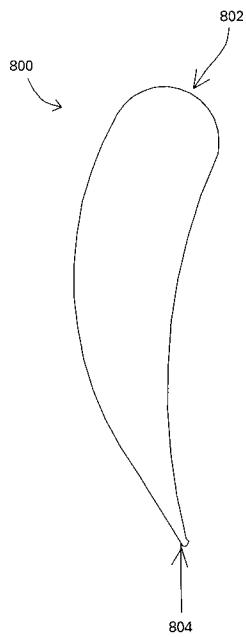


FIG.8

【国際調査報告】

60800460009		INTERNATIONAL SEARCH REPORT	International application No. PCT/US2006/030539
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F15D1/12			
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) F28F F15D B08B B01D B64C			
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 practical, 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.	
X	WO 2004/091747 A (ENTEGRIS INC [US]; EXTRAND CHARLES W [US]) 28 October 2004 (2004-10-28) page 6, line 21 – page 7, line 6; figures 1-8,11	1,2,4-7, 17, 20-25, 28-30	
Y		3,9-16, 18,19, 26,27, 31-45	
X	WO 2004/091792 A (ENTEGRIS INC [US]; EXTRAND CHARLES W [US]; WRIGHT MICHAEL [US]) 28 October 2004 (2004-10-28) page 18, lines 8-10; claim 12; figures 1-8	1-8, 20-25	
		-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.	
<p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the International filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>			
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the International search report		
2 June 2008	10/06/2008		
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Busto, Mario 15.8.2008		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2006/030539

2

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EXTRAND C W.: "Model for Contact Angles and Hysteresis on Rough and Ultraphobic Surfaces" LANGMUIR, ACS, WASHINGTON, DC, US, vol. 18, no. 21, 4 September 2002 (2002-09-04), pages 7991-7999, XP002375118 ISSN: 0743-7463 figure 7; tables 1-3	1,2,25
X	US 3 354 022 A (HAROLD DETTRE ROBERT ET AL) 21 November 1967 (1967-11-21) column 9, lines 65-75; figures 3-6	1,2,24, 28
A	WO 96/04123 A (BARTHLOTT WILHELM [DE]) 15 February 1996 (1996-02-15) page 3, paragraph 3; claim 1	1-8
Y		9-13
A	DE 198 03 787 A1 (CREAVIS TECH & INNOVATION GMBH [DE]) 5 August 1999 (1999-08-05) column 1, line 59 ~ column 2, line 14 column 3, lines 18-38,59-62 column 4, line 53 ~ column 5, line 4 claims 1-8 column 3, lines 17-38 column 4, line 53 ~ column 5, line 64; claims 1-8; figure 1	1-8
Y		3,9-16, 18
A	US 2003/094265 A1 (CHU RENCAI [JP] ET AL) 22 May 2003 (2003-05-22) paragraphs [0013] ~ [0016], [0046] ~ [0077]; figures	1-13
Y		14,18, 19,36
A	EP 1 219 912 A (CREAVIS TECH & INNOVATION GMBH [DE]) 3 July 2002 (2002-07-03) the whole document	1-29
Y		31-36
A	US 6 428 863 B1 (LEIPERTZ ALFRED [DE] ET AL) 6 August 2002 (2002-08-06) abstract	1-31
Y		31-34
A	EP 1 052 307 A2 (UNIV NANYANG [SG]) 15 November 2000 (2000-11-15) abstract	1-36
Y		37
		-/-

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2006/030539

3

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 990 862 A (DAHL MICHAEL M ET AL) 9 November 1976 (1976-11-09) claims 1,2	1-25 26,27
A	EP 1 186 749 A (SIEMENS AG [DE]) 13 March 2002 (2002-03-13) the whole document	1-37 38,39
A	US 2005/163963 A1 (MUNRO ALEXANDER S [US] ET AL) 28 July 2005 (2005-07-28) the whole document	1-39 40-44
A	US 2005/008495 A1 (WOBBEN ALOYS [DE]) 13 January 2005 (2005-01-13) the whole document	1-44 45
A	DE 103 33 877 A1 (SDK TECHNIK GMBH [DE]) 24 February 2005 (2005-02-24) abstract paragraphs [0044] - [0048]	14-17
A	US 2005/003146 A1 (SPATH BERND [DE]) 6 January 2005 (2005-01-06) the whole document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2006/030539

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2004091747	A	28-10-2004	EP 1624998 A2 JP 2006524567 T KR 20060010748 A US 2004256311 A1	15-02-2006 02-11-2006 02-02-2006 23-12-2004
WO 2004091792	A	28-10-2004	EP 1618035 A2 JP 2006523533 T KR 20060003001 A	25-01-2006 19-10-2006 09-01-2006
US 3354022	A	21-11-1967	NONE	
WO 9604123	A	15-02-1996	AT 174837 T AU 3165595 A CZ 9700245 A3 DK 772514 T3 EP 0772514 A1 ES 2128071 T3 HU 75807 A2 JP 10507695 T PL 318260 A1 US 6660363 B1	15-01-1999 04-03-1996 14-05-1997 23-08-1999 14-05-1997 01-05-1999 28-05-1997 28-07-1998 26-05-1997 09-12-2003
DE 19803787	A1	05-08-1999	AT 226227 T CA 2260470 A1 DK 933388 T3 EP 0933388 A2 JP 11286047 A	15-11-2002 30-07-1999 24-02-2003 04-08-1999 19-10-1999
US 2003094265	A1	22-05-2003	JP 2003156297 A	30-05-2003
EP 1219912	A	03-07-2002	CA 2366236 A1 DE 10065797 A1 JP 2002219301 A US 2002148601 A1	30-06-2002 04-07-2002 06-08-2002 17-10-2002
US 6428863	B1	06-08-2002	AT 236276 T AU 1029399 A DE 19744080 A1 WO 9918252 A1 EP 1021585 A1 ES 2207860 T3	15-04-2003 27-04-1999 15-04-1999 15-04-1999 26-07-2000 01-06-2004
EP 1052307	A2	15-11-2000	GB 2352247 A SG 91866 A1 US 6571865 B1	24-01-2001 15-10-2002 03-06-2003
US 3990862	A	09-11-1976	AU 502151 B2 AU 1031276 A BR 7600462 A CA 1059500 A1 DE 2603362 A1 FR 2299611 A1 GB 1540121 A IT 1054449 B JP 51102243 A JP 59120393 U US 4093755 A	12-07-1979 21-07-1977 31-08-1976 31-07-1979 05-08-1976 27-08-1976 07-02-1979 10-11-1981 09-09-1976 14-08-1984 06-06-1978

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

5

International application No PCT/US2006/030539	
---	--

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 1186749	A 13-03-2002	DE WO JP	50106988 D1 0220949 A1 2004526089 T	08-09-2005 14-03-2002 26-08-2004
US 2005163963	A1 28-07-2005		NONE	
US 2005008495	A1 13-01-2005		NONE	
DE 10333877	A1 24-02-2005		NONE	
US 2005003146	A1 06-01-2005	CA WO DE EP JP	2456251 A1 03000483 A1 10292713 D2 1404508 A1 2005537034 T	03-01-2003 03-01-2003 05-08-2004 07-04-2004 08-12-2005

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,L,C,LK,LR,LS,LT,LU,LV,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

- (72)発明者 シュ , ミン・フェン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12866、サラトガ・スプリングス、アパートメント・13
シー、クセッセント・ストリート、82番
- (72)発明者 ヴァラナシ , クリパ・キラン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12065、クリフトン・パーク、スクワイア・レーン、27
番
- (72)発明者 ベイト , ニティン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12148、レックスフォード、アスター・ドライブ、45番
- (72)発明者 オニール , グレゴリー・アレン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12065、クリフトン・パーク、ディヴォー・ドライブ、2
6番
- (72)発明者 シュタイン , ジュディス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12308、スケネクタディ、ユニオン・ストリート、100
5番
- (72)発明者 デン , タオ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12065、クリフトン・パーク、カスパー・ドライブ、6番
- (72)発明者 オクヤマ , シャノン・メイル
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12056、デュエンズバーグ、スコハリー・ターンパイク、
375番
- (72)発明者 ターンキスト , ノーマン・アーノルド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12160、スローンスヴィル、コービン・ヒル・ロード、1
432番
- (72)発明者 プラン , ミリヴォイ・コンスタンティン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12074、ギャルウェイ、キャンプ・ロード、1009番
- (72)発明者 ガリスブーア , ファーシャッド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12302、スコッティア、パインウッド・ドライブ、5番
- (72)発明者 クリシュナン , カシラマン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12065、クリフトン・パーク、エイピーティー・エイ、ホ
ーランデール・レーン、4番
- (72)発明者 カイメル , クリストファー・フレッド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、スケネクタディ、ディーン・ストリート、841
番

F ターム(参考) 3G002 EA04