

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4965799号
(P4965799)

(45) 発行日 平成24年7月4日(2012.7.4)

(24) 登録日 平成24年4月6日(2012.4.6)

(51) Int. Cl.		F I	
B 8 2 B	1/00	(2006.01)	B 8 2 B 1/00
B 8 1 B	1/00	(2006.01)	B 8 1 B 1/00
B 8 2 Y	30/00	(2011.01)	B 8 2 Y 30/00

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2004-281534 (P2004-281534)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成16年9月28日 (2004.9.28)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(65) 公開番号	特開2005-118985 (P2005-118985A)		インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成17年5月12日 (2005.5.12)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
審査請求日	平成19年9月28日 (2007.9.28)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(31) 優先権主張番号	10/674448		ェニュー 600-700
(32) 優先日	平成15年9月30日 (2003.9.30)	(74) 代理人	100094112
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 譲
		(74) 代理人	100064447
			弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ナノ構造またはマイクロ構造の表面上で流体の流れ抵抗を制御する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ナノ構造またはマイクロ構造の表面上で液体が受ける流れ抵抗を制御する装置において

少なくとも第1の表面を有する基体と、

少なくとも前記第1の表面上の所定の特徴部パターンであって、前記特徴部パターンは複数の閉じたセルを有し、前記複数の閉じたセルの各々は液体が配設されうる開いた側を除く全ての面で閉塞されており、かつ前記複数の閉じたセルは前記ナノ構造またはマイクロ構造の表面を形成する特徴部パターンと、

前記複数のセル上に配置されうる液体のうちの選択された液体の、前記特徴部パターン前記構造の表面への浸透及び浸透の逆戻りの程度を変えるために、複数のセル内に配設された少なくとも第1の流体の圧力を変える手段を与える構造とを備えることを特徴とする液体が受ける流れ抵抗を制御する装置。

【請求項 2】

前記複数のセルは前記ナノ構造の表面を形成し、前記ナノ構造の表面の各セルは1ミリメートルより小さい少なくとも第1の寸法を有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記複数のセルは前記ナノ構造の表面を形成し、前記ナノ構造の表面の各セルは、1ミクロンより小さい少なくとも第1の寸法を有することを特徴とする請求項1に記載の装置

10

20

。

【請求項 4】

前記第 1 の流体の圧力を変える前記手段は、前記第 1 の流体の温度を変える手段を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記第 1 の流体の圧力を変える前記手段は、可変量の前記流体を前記セルへおよび前記セルから、それぞれ、注入および除去する手段を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 1 の流体の圧力を変える前記手段は、前記液体の圧力が変わると、前記流体の圧力が変わるように、前記特徴部パターン上に配設された液体を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 7】

ナノ構造またはマイクロ構造の表面上で液体が受ける流れ抵抗を制御する方法であって、前記表面が特徴部パターンを有し、前記特徴部パターンが複数の閉じたセルを備え、前記制御する方法が、

液体を前記複数の閉じたセルと接触するように配置し、前記複数の閉じたセルの各々は液体が接触しうる開いた側を除く全ての面で閉囲されており、かつ前記複数の閉じたセルは前記ナノ構造またはマイクロ構造の表面を形成する工程、及び

前記複数の閉じたセルのうちの少なくとも一つのセルの少なくとも第 1 の流体の圧力を、前記セルと接触する液体が少なくとも一つのセルに出入りするように変化させる工程を含むことを特徴とする液体が受ける流れ抵抗を制御する方法。

20

【請求項 8】

前記圧力は、前記少なくとも一つのセル内で流体の温度を変化させることによって変化する請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ナノ構造またはマイクロ構造の表面を形成する前記複数の閉じたセル内の各セルは、1 ミリメートル未満の少なくとも第 1 の寸法を有することを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 10】

前記ナノ構造またはマイクロ構造の表面を形成する前記複数の閉じたセル内の各セルは、1 ミクロン未満の少なくとも第 1 の寸法を有することを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は概して、著しく小さく、所定の表面特徴部を有する表面に配設された液体の運動に関し、より詳細には、所定のナノ構造またはマイクロ構造の特徴部を有する表面に配設され液体が受ける流れ抵抗を制御することに関する。

【背景技術】

40

【0002】

無数の用途における多くの有益なデバイスまたは構造は、少なくとも部分的には、少なくとも一つの固体表面と接触する液体を有するという特徴がある。最近の用途は、リソグラフィまたはエッチングの種々の手段などの種々の方法によって製作することができるナノ構造またはマイクロ構造の表面に配設された液体小滴の運動に焦点を当ててきた。こうした表面は、表面に配設された液体滴 (liquid droplet) によって受ける流れ抵抗を大幅に減らすのに役立つ表面をもたらす。

【0003】

こうした一つの用途は、J.Kim および C.J.Kim 著「Nanostructured Surfaces for Dramatic Reduction of Flow Resistance in Droplet-based Microfluidics」IEEE Conf. MEMS,

50

Las Vegas, NV, Jan. 2002, pp. 479-482に記載されており、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。その参考資料は概して、所定のナノ構造の特徴部を有する表面を用いることによって、表面に接触する液体に対する流れ抵抗がどれほど大幅に減るかを述べている。Kimの参考資料は、液体と接触する表面を微細にパターンングすること、および、先に述べた液体の表面張力の原理を用いることによって、表面と液体の間の接触面積を大幅に減らすことが可能であることを教示する。当然の結果として、表面上の液体に対する流れ抵抗はそれに応じて減ることになる。しかし、Kimの参考資料が例によって教示するように、液体に対する流れ抵抗は、液体の運動を制御することが難しいか、または不可能であったレベルまで減る。そのため、液滴の自由な運動を指定 (prescribed) エリア内に制御するために、狭い流路または他の収容部 (enclosure) 内に液滴を配設することが

10

【0004】

ナノ構造またはマイクロ構造でパターンングされた表面に配設された液体滴の運動をよりよく制御するために、より最近の試みは、液滴 (droplet) の特性、または別法として、液体滴の横運動を制御するための、ナノ構造またはマイクロ構造のパターン内特性に依存してきた。こうした制御は、参照によりその全体が本明細書に援用される、2003年3月31日に出願された、「Method And Apparatus For Variably Controlling The Movement Of A Liquid On A Nanostructured Surface」という名称の同時係属中の米国特許出願第10/403159号の主題である。その出願に記載される一実施形態において、液体滴の横運動は、液滴の前縁の接触角度が、液滴の後縁の接触角度より小さくされるように、ナノ構造またはマイクロ構造のサイズ、形状、密度、または電気的特性を例示的に (illustratively) 設計することによって達成される。結果として得られる力の不平衡によって、液滴が前縁の方向に移動する。別の実施形態において、液滴は、液滴がほぼ不動になるように、所望のエリアの特徴部パターンに浸透させられる。この浸透は、たとえば、液滴の表面張力、液滴がパターンのいずれかの温度、あるいは、液滴と特徴部パターンの電圧差を変えることによって行われることができる。

20

【0005】

159号出願に述べるように、上の実施形態の一方または両方は、例示的に、生体または微小化学検出器、化学反応器、パターンング用途、調整可能回折格子、全内面反射ミラー、微小流体ミキサ、微小流体ポンプ、または、熱放散デバイスなどの種々の用途で役立つ場合がある。

30

【0006】

そのため、上述の従来技術の努力は、液滴が受ける流れ抵抗を減ずるか、表面にわたる水滴の運動を制御することのいずれかに集中した。最近の別の試みにおいて、ナノ構造またはマイクロ構造を用いて、流体を通して運動する物体が受ける流れ抵抗が減ぜられる。その試みは、参照によりその全体が本明細書に援用される、2003年8月27日に出願された、「Method And Apparatus For Reducing Friction Between A Fluid And A Body」という名称の同時係属中の米国特許出願第10/649285号に記載される。285号特許に開示される本発明の実施形態によれば、流体を通して移動する (move) 乗り物 (vehicle) の表面の一部は、ナノ構造またはマイクロ構造でパターンングされる。そのため、上述した原理によれば、パターンングされた表面にわたる流れ抵抗は減る。同様に上述したように、パターンングされた表面に流体を浸透させることによって、パターンングされた表面にわたる流れ抵抗が減る可能性がある。

40

【特許文献1】米国特許出願第10/403159号

【特許文献2】米国特許出願第10/649285号

【特許文献3】米国特許第6,185,961号

【非特許文献1】J.KimおよびC.J.Kim著「Nanostructured Surfaces for Dramatic Reduction of Flow Resistance in Droplet-based Microfluidics」IEEE Conf. MEMS, Las Vegas, NV, Jan. 2002, pp. 479-482

【発明の開示】

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

表面と接触する流体の流れ抵抗を減らす従来の試みは多くの点で有利であるが、本発明者等は、ナノ構造またはマイクロ構造の表面上に配設された流体の浸透の程度を制御することが極めて有利であることに気づいた。

【0008】

したがって、本発明者等は、第1の例示的な実施形態において、前記表面の1つまたは複数のセル内の少なくとも第1の流体の圧力が所望レベル以下に減少すると、その表面上に配設された液滴が、少なくとも部分的に表面に浸透させられるように、クローズドセル (closed-cell) のナノ構造またはマイクロ構造の表面が用いられる方法および装置を考案した。別の例示的な実施形態において、液体滴が、少なくとも部分的にその元の浸透しない位置に戻るように、1つまたは複数のセル内の圧力が所望のレベル以上に増加する。このように、液滴の表面への浸透は、液体滴が受ける流れ抵抗の所望のレベルを達成するように変えられることができる。

【0009】

さらに別の実施形態において、クローズドセル構造の特徴部パターンを用いて、表面上に配設された流体の圧力が比較的大きい時でさえも、ナノ構造またはマイクロ構造の表面の浸透が防止される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

上述したように、最近、液体が表面を横切って移動する時に液体が受ける流れ抵抗を減らすために、マイクロ構造およびナノ構造が使用されている。こうした従来のマイクロまたはナノ構造は、多くの形態をとることができる。たとえば、図1A~1Eは、種々の方法を用いて作成された、例示的な従来技術の異なるナノポストの配置を示し、さらに、こうした種々の直径のナノポストが、異なる規則性の程度で作られることができることを示す。これらの図は、種々の距離だけ離れた種々の直径を有するナノポストを作成することが可能であることを示す。ナノポストを作成する例示的な方法は、その全体が参照により本明細書に援用される、Tonucci他に対して2001年2月13日に発行された、「Nanopost arrays and process for making same」という名称の米国特許第6,185,961号に見出される。ナノポストは、ポストを形成するためにテンプレートを用いることによる、リソグラフィの種々の方法による、および、エッチングの種々の方法によるなどの種々の方法により製作されてきた。本明細書で用いられるように、特に指示がなければ、ナノ構造/ナノポストおよびマイクロ構造/マイクロポストという用語は、交換可能に用いられる。本明細書の説明を通して、ナノポストまたはナノ構造の使用に適用された原理は、マイクロポストまたは特徴部パターンのより大きな他の特徴部に同様に適用されることができるとを、当業者は認識するであろう。

【0011】

先に述べたKimの参考資料によって述べられたように、ナノ構造またはマイクロ構造を有する表面上に液滴を置く従来の試みは、液滴が受ける著しく小さい流れ抵抗によって、水滴を各表面上で静止して保つことがほとんど不可能になるため問題となる。図2に示すように、この小さい流れ抵抗の理由は、(表面構造によって決まる)適切な液体滴201の表面張力によって、液滴201が、液滴と下にある固体表面203の間で接触しないで、ナノ構造特徴部パターン202の上部に懸垂保持されることが可能になるためである。ナノ構造202は、例示的には図2において円筒ポストであるが、円錐ポストなどの多くの適当な幾何学的形状が同様に有利である場合があることに当業者は気づくであろう。例示的に図2に示すように、ナノ構造の上部に液滴を懸垂保持すると、液滴とナノ構造表面204の間の著しく小さいエリアの接触となり(すなわち、液滴が各ポスト202の頂部と接触している)、したがって、小さい流れ抵抗が生ずる。

【0012】

図3Aは、液滴がナノ構造特徴部パターン202の上部で懸垂保持されている時の図2

10

20

30

40

50

の液滴 201 の拡大図である。図 2 と同様に、図 3 A の液滴は、特徴部パターン 202 に浸透せず、したがって、小さい流れ抵抗を受ける。しかし、図 3 B は、液滴が、特徴部パターン 202 に実際に浸透する構成における例示的な液滴 201 を示す。液滴 201 が特徴部パターン 202 に浸透すると、液滴は、比較的不動になる、すなわち、液滴は、比較的大きな流れ抵抗を受ける。一般に、液体滴は、たとえば、液体滴の表面張力が十分に小さいと、特徴部パターンに浸透するであろう。したがって、特徴部パターン 202 の特性に依存して、当業者は、こうしたパターン 202 の浸透を容易にする適切な表面張力を有する、液滴 201 用の液体を選択することができるであろう。別法として、本明細書で先に論じられ、参照により援用された、同時係属中の米国特許出願第 10 / 403159 号に述べるように、種々の方法を用いて、図 3 A に示すように、特徴部パターンの上部に懸垂保持される液滴 201 の表面張力を減らすことができる。

10

【0013】

図 4 A および 4 B は、液滴 201 を、ナノ構造特徴部パターンに浸透するようにさせるのに役立つ 1 つの方法のこうした従来技術の実施形態を示す。図 4 A は、たとえば、特徴部パターン 202 と接触する液滴 201 の図 3 のエリア 301 を示す。図 4 A を参照すると、液滴 201 は例示的には、導電性液体であり、円錐ナノポストのナノ構造パターン 202 上に配設される。先に述べ、図 3 A に示すように、液滴 201 の表面張力は、液滴 201 が、特徴部パターン 202 の上側部分で懸垂保持されるようなものである。この配置において、液滴 201 のみが、各ナノポストの表面エリア f_1 を覆う。ナノポストの特徴部パターン 202 は、導電性基体 203 の表面によって支持される。液滴 201 は例示的には、リード線 402 を通して電圧源 401 によって印加される、基体 203 に対する電位差で保持される。

20

【0014】

図 4 B は、低電圧（たとえば、10 ~ 20 ボルト）を導電性液体滴 201 に印加することによって、電圧差が、液体 201 とナノポストの特徴部パターン 202 の間に生ずる。結果として、液滴 201 の接触角度が減少し、液滴 201 は、ナノポストの表面に沿って y 方向に降下し（move down）、液滴が、完全にナノポストのそれぞれを包囲し、基体 203 の上部面と接触するようになるまで、ナノ構造特徴部パターン 202 に浸透する。この構成において、液滴は、各ナノポストの表面エリア f_2 を覆う。 $f_2 > f_1$ であるため、液滴 201 とナノポストの特徴部パターン 202 の間の全体の接触エリアは比較的大きく、したがって、液滴 201 が受ける流れ抵抗は、図 4 A の実施形態より大きい。このため、図 4 B に示すように、液滴 201 は、特徴部パターン 202 から液滴を取り除くのに十分な別の力がない場合に、ナノ構造特徴部パターンに対して効果的に静止するようになる。

30

【0015】

本発明者等は、液体滴を、選択的に特徴部パターンに浸透させることができ、次に、この浸透を選択的に逆戻りさせる（reverse）ことができることが望ましいであろうということに気づいた。図 5 A、5 B、および 5 C は、パターン 504 に対する液滴 501 のこうした選択的 / 可逆的な浸透を示す。図 5 A は、基体 505 によって支持されるナノ構造またはマイクロ構造の特徴部パターン 504 上に配設される例示的な液滴 501 を示す。液滴と特徴部パターンの間の接触角度は、 θ_1 として示される。次に、図 5 B に示し、先に論じたように、液滴 501 は、特徴部パターン 504 に浸透させられる。液滴が、個々の要素（たとえば、ナノポスト）に沿って基体 505 の方に降下するので、液滴と特徴部パターンの間の接触角度はこの場合、 θ_2 に増加する。最後に、図 5 C に示すように、パターン 504 への液滴 502 の浸透を逆戻りさせるのが望ましい。この場合、液滴と特徴部パターンの間の接触角度は、 θ_1 以下である。本明細書では、例示的に、液滴 501 と特徴部パターン 504 の間の接触角度は、例示的には θ_1 より小さい角度である θ_3 として示される。

40

【0016】

図 6 A および 6 B は、図 5 A ~ 5 C に示す可逆的な浸透を行うことができる、本発明の

50

原理による例示的な特徴部パターンの3次元図および平断面図をそれぞれ示す。具体的には、図6Aおよび6Bが表す本発明の例示的な実施形態において、特徴部パターンは、互いにある距離だけ離れて配置された複数のポストを備えない。代わりに、複数の閉じた(closed)セル、本明細書では六角形断面の例示的なセルが用いられる。本明細書で用いられるように、閉じたセルという用語は、その上に液体が配設されているか、または、配設されるであろう面を除く全ての面で閉囲されているセルとして規定される。同様に有効なクロードセル配置を達成するのに、他の同様に有利なセル構成および幾何学的形状が可能であることに当業者は気づくであろう。図7Aおよび7Bは、図6Aおよび図6Bの特徴部パターンの例示的な個々のセルの平断面図である。具体的には、図7Aを参照すると、それぞれの個々のセル701は、幅dの最大幅702、長さd/2の個々の辺の長さ703、および、厚みtの壁厚704を特徴とする。図7Bを参照すると、セル701の高さ705は高さhである。

10

【0017】

図8A、8B、および8Cは、本明細書で断面で示される、図6Aおよび6Bの特徴部パターンと同様な例示的なクロードセルの特徴部パターンを例示的に用いて、どのように、液体滴801が、特徴部パターンに可逆的に浸透するようにされることができを示す。具体的には、六角形断面を有するセル701などの、特徴部パターン804内の各セルは、液体滴が、そのセルの開口を覆うと、完全に閉じたセルである。このため、図8Aを参照すると、その上に液滴が配設されるこうした閉じたセルはそれぞれ、初期温度 $T = T_0$ および初期圧力 $P = P_0$ を有する流体を含む。本明細書で用いられるように、流体という用語は、特徴部パターンのセル内に配設されることができであろう(例示的には空気などの)気体および液体の両方を包含することを意図する。本発明者等は、セル701などの個々のセル内の圧力を変えることによって、液体滴801が、セル内に引き込まれるか、または、別法として、セルから跳ね返されることができに気づいた。具体的には、図8Bを参照すると、セル701内の圧力が、初期圧力(すなわち、 $P < P_0$)を下回るようにされると、特徴部パターンとの液滴の接触角度が、 θ_1 から θ_2 へ増加し、そのセルの上の液滴が、圧力Pの減少の大きさに関連する距離だけセル内に引き込まれるであろう。こうした圧力の低下は、例示的には、 $T < T_0$ になるようにセル内の流体温度を下げることによって達成されてもよい。こうした温度減少は、例示的には、基体805および/または特徴部パターン804の温度を下げることによって達成されてもよい。

この例示的な実施例において、流体の温度は、よく知られている伝導/対流の原理によって下がることができ、したがって、セル内の圧力が降下するであろう。セル内の流体の温度を下げる任意の他の方法を含んで、セル内の圧力を下げる任意の方法が、同様な結果をもたらすであろうことに当業者は気づくであろう。

20

30

【0018】

図8Cは、圧力を、初期圧力 P_0 以上に増加させることによって、どうして液滴801の浸透を逆戻りさせることが可能であることを示す。再び、こうした圧力増加は、例示的には、図8Cのセル内の流体の温度を、初期温度 T_0 を超える温度に変えることによって達成されてもよい。増加した温度は、セル内の圧力を、初期圧力 P_0 を超えて増加させるであろう。そのため、液滴と特徴部パターンの要素の間の接触角度は、 θ_1 より小さい θ_3 に変わり、液体はセルの外へ移動するであろう、そのため、液滴801を、特徴部パターン804との非常に小さい流れ抵抗接触に戻す。再び、セル内の流体の温度を増加させる任意の他の方法を含んで、液滴801の浸透を逆戻りさせるための、セル内の圧力を増加させる任意の方法が、同様の結果をもたらすであろうことに当業者は気づくであろう。

40

図9は、液滴の特徴部パターン内への浸透を達成するために、120度の接触角度という進んだ状態(advancement)(図8Bの θ_2)を達成するのに必要な温度(T_{trans})のグラフ904を示す。図9は、160ミクロンのセル高さおよび62mN/mの液滴2面間張力を仮定する。これらの条件を用いて、図9は、セル内の流体の初期温度 T_0 について、また、代表的な幅d(プロット901、902、および903で表され、図7Aおよび7Bにおいて寸法702として示される)について、それ以下では、液滴が特徴

50

部パターンに浸透すると思われる所与の温度 (T_{trans}) が存在する。たとえば、セルの幅が、グラフ 904 のプロット 902 で示す 15 ミクロンであり、かつ、セル内の流体の初期温度 T_0 が摂氏 60 度である場合、液滴が、プロット 902 上の点 905 で示す約摂氏 15 度の遷移温度 T_{trans} 以下で特徴部パターンに浸透するようにさせるのに十分に、圧力が降下するであろう。

【0019】

図 10 は、上述した異なるセル幅 d を表すプロット 1001、1002、および 1003 を有するグラフ 1004 を示す。再び、液滴の 2 面間張力は、62 mN/m であると仮定し、セル高さ h は、160 ミクロンであると仮定する。図 10 は、液滴が特徴部パターンに浸透した後、液滴の浸透を逆戻りさせるために理論的に達成可能な最も小さい接触角度である 0 度の接触角度 (図 8B の θ_2) を達成するのに必要な温度変化を示す。たとえば、再び、プロット 1002 で示す 15 ミクロンのセル幅について、また、摂氏 40 度の (特徴部パターンの任意の浸透の前の) 初期温度 T_0 について、プロット 1002 上の点 1005 は、セル内の圧力を増加させ、液滴の接触角度を 0 度に戻し、浸透の完全な逆戻りを達成するのに、約摂氏 110 度の遷移温度が必要であることを示す。異なる接触角度を達成することができ、一般に、浸透を逆戻りさせる場合、遷移温度が低くなることによって、その他全ては同じままで、接触角度が大きくなるであろうことを、当業者は認識するであろう。そのため、多くの異なる温度 (T_0 より低い) を用いて、特徴部パターン内に液体が浸透することができ、同様に、多くの異なる温度 (T_0 より高い) を用いて、その浸透を逆戻りさせることができる。

【0020】

そのため、先に論じたことは、特徴部パターンの浸透がどのように達成されることができ、および、その浸透を選択的にどのように逆戻りさせることができるかを示す。しかし、浸透の逆戻りを容易にすること以外に、本発明者等は、上述したような閉じたセルの特徴部パターンは、他の目的にとって有益であることを認識した。たとえば、こうした特徴部パターンは、液滴がその特徴部パターンに加える圧力が増加する状況が存在しても、特徴部パターンの任意の浸透を実質的に防止するように働くことができる。こうした機能は、たとえば、水中用の乗り物に関して望ましい場合がある。水中用の乗り物に関する上述のオープンセルのナノ構造特徴部パターンの使用は、その全体が参照により本明細書に援用される、2003 年 8 月 27 日に出願された「Method And Apparatus For Reducing Friction Between A Fluid And A Body」という名称の同時係属中の米国特許出願第 10/649285 号の主題である。

【0021】

285 号出願は、潜水艦または魚雷などの水中用乗り物の上で用いられると、オープンセル (open-celled) のナノ構造特徴部パターンが、例示的に、水中の乗り物の表面にわたって通過する水の流れ抵抗によって生ずる摩擦 (抗力) をどのように劇的に減らすかを開示する。しかし、多くの状況において、このように摩擦が減るのは有利であるが、本発明者等は、(特徴部パターンの特性に応じて) 水の圧力が一定のしきい値を超えると、水は特徴部パターンに浸透し、おそらく、水中用乗り物に対する抗力を劇的に増加させるであろうことに気づいた。したがって、本発明者等はさらに、水が、比較的高い圧力の存在下にあっても特徴部パターンに浸透しないようにすることが望ましいことに気づいた。

【0022】

図 11A および 11B は、本発明の原理による例示的な一実施形態を示し、液体は、液体が比較的高い圧力にある時でさえも特徴部パターンに浸透しないようにされる。図 11A を参照すると、各セルが矩形断面を有するナノ構造またはマイクロ構造の特徴部パターンの平面図が示される。各セルは、長さ l 、壁厚 t 、および幅 r を有する。図 11B を参照すると、各セルはまた高さ h を有する。例示的に、 $l = 10$ マイクロメートル、 $t = 0.3$ マイクロメートル、 $r = 4$ マイクロメートル、および $h = 0.25$ マイクロメートルである。最初は、図 11A のセルのそれぞれの内部の圧力は周囲圧力 P_0 である。そのため、たとえば、図 11A および 11B の特徴部パターンが、潜水艦の表面に配設される場

合、潜水艦が水の表面を進む時、少なくともセルの部分は、潜水艦を取り巻く空気の初期圧力を有するであろう。しかし、図 1 1 B に例示的に示すように、潜水艦が潜水すると、水は、圧力 P_2 を特徴部パターン上加え始め、そのため、液体とパターンの間の接触角度が生ずる。結果として得られる接触角度の増加は、相応して、セル内の流体（たとえば、空気）の圧力を P_0 から P_1 に増加させるであろう。潜水艦の深さが増え、圧力 P_2 が増加するため、接触角度は増加するであろう。その結果、セル内の圧力 P_1 が同様に増加するであろう。特徴部パターン 1 1 0 3 の特性（たとえば、セルの長さ、高さ、および幅）によって決まるしきい値において、圧力 P_2 、したがって、接触角度は大きくなり過ぎ、水 1 1 0 2 は、基体 1 1 0 1 に接触するまで、特徴部パターンに浸透するであろう。図 1 1 A および 1 1 B の特徴部パターンの場合、したがって、一定の圧力限界まで、それに対して水が特徴部パターンに浸透しないと思われる圧力範囲（潜水艦の例示的な実施例の場合、水の深さに対応する）が存在するであろう。そのため、潜水艦の場合、水中用乗り物は、特徴部パターンの浸透なしで、たとえば、ナノポストのオープンセルの特徴部パターンが用いられた場合よりも深い深さへ潜水できる。結果として、こうした開いたパターンを用いるよりもずっと深い深さまで小さい流れ抵抗が維持されることができる。

10

【 0 0 2 3 】

図 1 2 は、プロット 1 2 0 1、1 2 0 2、および 1 2 0 3 を有するグラフ 1 2 0 4 を示し、セルが特定の高さ対幅比 (h/r) で規定される時に、図 1 1 A および 1 1 B の特徴部パターンのセル内の異なる圧力によってどのように具体的な接触角度が生ずるかを示す。たとえば、プロット 1 2 0 1 は、 $h/r = 0.18$ を有するセルの場合、初期圧力 P_0 の 2 倍である圧力 P_1 によって、1 2 0 度の接触角度が生ずるであろうことを示す。プロット 1 2 0 2 および 1 2 0 3 は、所与のセル直径について、圧力 P_1 の変化がどのように異なる接触角度を生ずるかを示す。当業者は、図 1 2 に示す接触角度以外の異なる接触角度について異なるプロットを作成することが容易にできるであろう。

20

【 0 0 2 4 】

図 1 2 はまた、グラフ 1 2 0 4 のエリア 1 2 0 5 内に入る圧力およびセル寸法の組み合わせの場合、特徴部パターンの表面に浸透しないことをもたらすであろう解決策が存在しないことを示す。そのため、たとえば、任意セル寸法について、周囲圧力 P_0 の 5 倍である圧力 P_1 は、特徴部パターンの浸透をもたらすであろう。しかし、こうした圧力を、潜水艦などの水面下の乗り物が日常的に受けているため、著しく大きな圧力について、特徴部パターンの浸透を防止することが望ましい。

30

【 0 0 2 5 】

図 1 3 A および 1 3 B は、著しく大きな圧力において特徴部パターンへの水の浸透を防止するであろう例示的なセル構成を示す。図 1 3 A に示すように、より大きな圧力に耐えることができる特徴部パターンの平断面図は、図 1 1 A の平断面図と同じように見え、実際、その図の実施形態と同じ長さ ($l = 10$ マイクロメートル)、壁厚 ($t = 0.3$ マイクロメートル)、および幅 ($r = 4$ マイクロメートル) を有することができる。同様に、図 1 3 B を参照すると、個々のセルの高さは例示的に、図 1 1 B のセルの高さ h (0.25 ミクロン) と同じである。しかし、図 1 3 B は、図 1 1 B のセルがそうであったように、側断面が矩形である代わりに、1 3 B のセルは底部が丸く、そのため、各セルは少量の流体（たとえば、空気）を保持することができる。結果として、圧力 P_2 が上昇し、セル内の流体を圧縮すると、圧力 P_1 は、図 1 1 A および 1 1 B の実施形態の場合よりも迅速に上昇する。そのため、セルは、液体が、特徴部パターンのセルに浸透する前に、ずっと高い水圧に耐えることができる。

40

【 0 0 2 6 】

図 1 4 は、プロット 1 4 0 1、1 4 0 2、および 1 4 0 3 を有するグラフを示し、図 1 3 A および 1 3 B の特徴部パターンのセル内の異なる圧力が、セルが特定の高さ対幅比 (h/r) で規定される時に、どのように具体的な接触角度を生ずるかを示す。点 1 4 0 5 に見ることができるように、約 0.12 の高さ対幅比の場合、約 110 度の接触角度が、初期周囲圧力 P_0 の 5 倍の圧力 P_1 から生ずるであろう。同様に、点 1 4 0 6 は、 0.1

50

8の少し大きなセル高さ対幅比の場合、120度の接触角度が、初期周囲圧力 P_0 の6倍の圧力 P_1 から生ずるであろうことを示す。実際、120度の接触角度は、特徴部パターンの浸透なしで、耐えられることができる圧力 P_1 に関して事実上無制限である。したがって、表面の低い流れ特性はそのままに留まり、潜水艦の場合、より大きな水圧/水深でさえも小さな摩擦(抗力)を受け続けるであろう。

【0027】

上述したことは、本発明の原理を説明するだけである。そのため、当業者は、本明細書において明示的に述べられまたは示されていないが、本発明の原理を具体化し、本発明の精神および範囲内にある種々の構成を考案することができるであろう。さらに、本明細書における種々の実施形態の説明に照らして、本発明の原理は、広く本質的に異なる分野および応用において利用されることができ、当業者は認識するであろう。たとえば、本明細書において明示的には述べていないがエンボス加工、打ち抜き加工、印刷加工などのような、ナノ構造またはマイクロ構造を作成する他のよく知られている方法を用いることができるであろうことを当業者は認識するであろう。

【0028】

本発明の態様および実施形態を引用する本明細書における全ての説明ならびに本発明の特定の実施例は、本発明の機能的な等価物を包含することを意図する。さらに、本明細書において引用される全ての実施例および制限付きの言語は、本発明の原理を理解する時に読者の役に立つ教育的な目的だけのためであることを明白に意図し、こうした具体的に引用した実施例および条件に限定しないように解釈されるべきである。たとえば、先の実施形態の説明は、ナノ構造またはマイクロ構造の表面上に配設された液滴を論じることに限定されるが、先の実施形態は、表面を横切る任意の液体の流れまたは液体を通した表面の移動を包含することが意図されることを、当業者はすぐに認識するであろう。さらに、圧力の変化が、特徴部パターンに液体が浸透するようにさせるのに用いられることが論じられているが、液滴の表面張力が降下するようにさせるなどの、こうした浸透を行わせる従来の方法が同様に有利であるであろうことを、当業者は認識するであろう。

【0029】

また、先に記載した原理に照らして、特徴部パターンの浸透を防止することができることから、または、こうした浸透を逆戻りさせることから利益を得ることができるであろう多くの異なる応用を考案することができるであろう。最後に、液体の特徴部パターン内への浸透およびその浸透を逆戻りさせることは、閉じたセル内の流体の温度を増加または減少させることではなくて他の手段にとって達成されてもよい。たとえば、空気がセルへ/から入れられる/出されることができ、そのため、これらのセル内の圧力が、それぞれ、増加/減少する。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】A~Eは、本発明において用いるのに適した予め画定されたナノ構造から成る種々の従来技術のナノ構造の特徴部パターンの1つの特徴部パターンを示す図である。

【図2】液体滴が、ナノ構造またはマイクロ構造の特徴部パターン上に配設される、例示的な従来技術のデバイスを示す図である。

【図3A】図3のナノ構造の特徴部パターン上に懸垂保持される図2Aの液体滴を示す図である。

【図3B】図3のナノ構造の特徴部パターンに浸透するようにさせられる図4Aの液体滴を示す図である。

【図4A】エレクトロウエットング(electrowetting)の原理を用いて、液体滴が、ナノ構造パターンに浸透させられる、例示的な従来技術のデバイスを示す図である。

【図4B】エレクトロウエットングの原理を用いて、液体滴が、ナノ構造パターンに浸透させられる、例示的な従来技術のデバイスを示す図である。

【図5A】液滴が、ナノ構造の特徴部パターンの上部に懸垂保持される初期位置に配設されている、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

【図 5 B】液滴が、特徴部パターンに浸透するようにさせられる、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

【図 5 C】液滴がその後、特徴部パターンの上部に懸垂保持される位置に戻るようさせられる、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

【図 6 A】本発明の原理による例示的な閉じたセル構造を示す図である。

【図 6 B】本発明の原理による例示的なクローズドセル構造を示す図である。

【図 7】A および B は、図 6 A および 6 B の例示的な構造内の 1 つのセルの詳細を示す図である。

【図 8 A】液滴が、ナノ構造の特徴部パターンの上部に懸垂保持される初期位置に配設されている、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

10

【図 8 B】液滴が、特徴部パターンに浸透するようにさせられる、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

【図 8 C】液滴がその後、特徴部パターンの上部に懸垂保持される位置に戻るようさせられる、本発明の原理によるデバイスを示す図である。

【図 9】閉じたセルの初期温度およびセルのサイズ d の関数としての、図 5 A のデバイスから図 5 B のデバイスへの移行を行うのに必要な閉じたセルの流体温度のグラフである。

【図 10】閉じたセルの初期温度およびセルのサイズ d の関数としての、図 5 A のデバイスから図 5 B のデバイスへの移行を行うのに必要な閉じたセルの流体温度のグラフである。

【図 11】A および B は、本発明の原理によるクローズドセル構造の別の実施形態を示す図である。

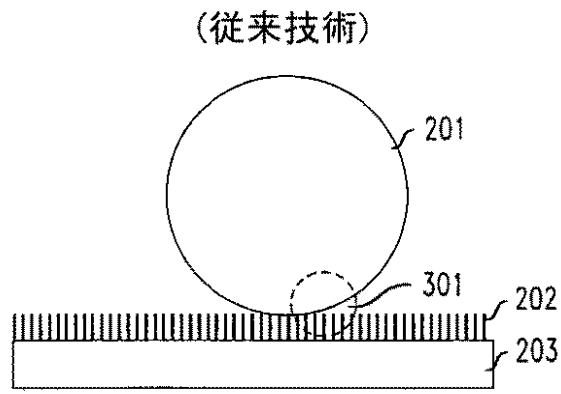
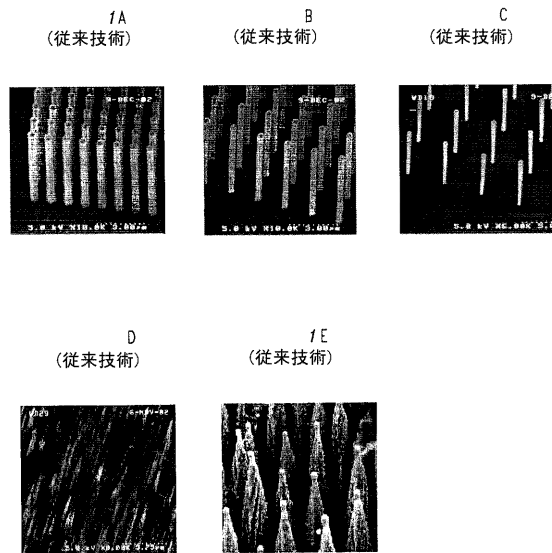
20

【図 12】図 11 A および 11 B の実施形態についての圧力対セル寸法のグラフである。

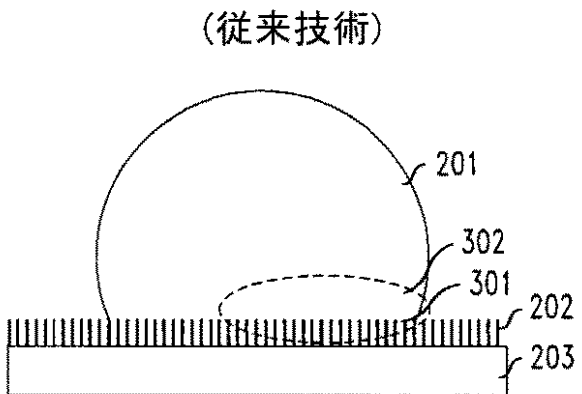
【図 13】A および B は、本発明の原理によるクローズドセル構造の別の実施形態を示す図である。

【図 14】図 11 A および 11 B の実施形態についての圧力対セル寸法のグラフである。

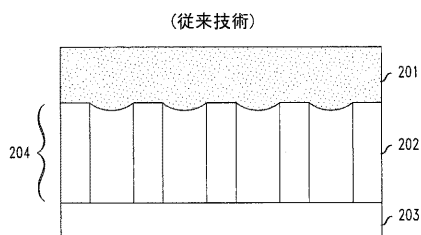
【図 1】 【図 3 A】



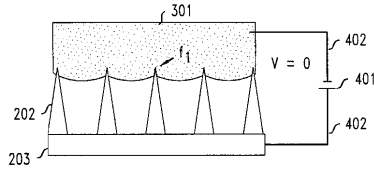
【図 3 B】



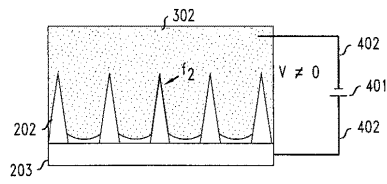
【図 2】



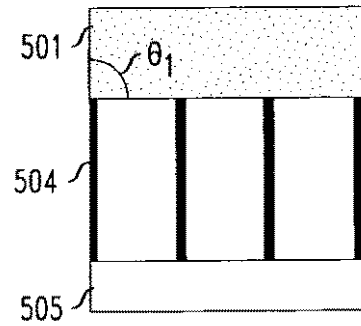
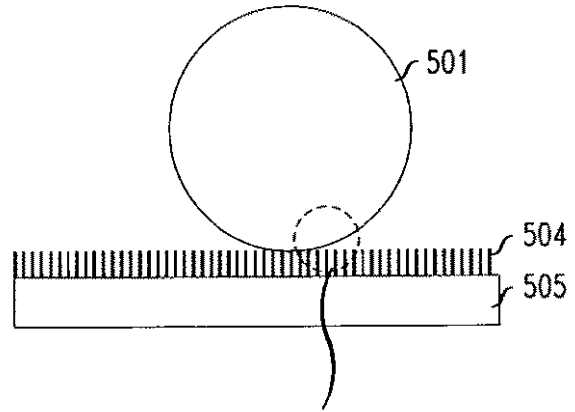
【 図 4 A 】



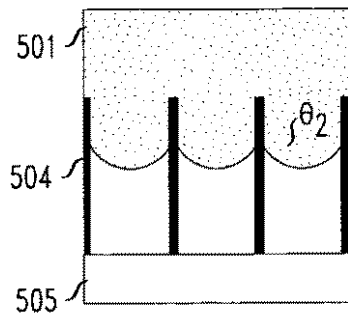
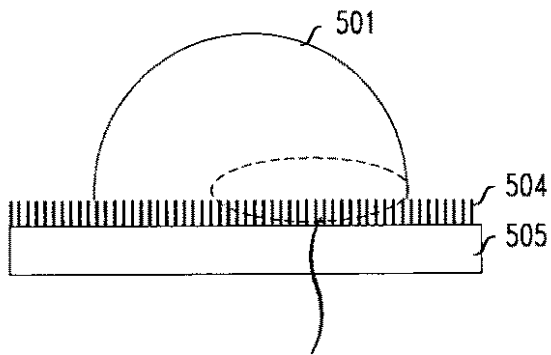
【 図 4 B 】



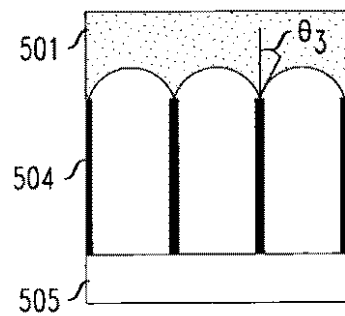
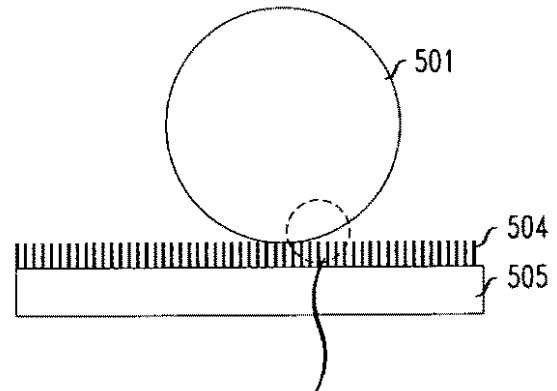
【 図 5 A 】



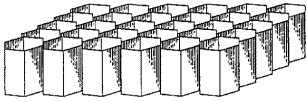
【 図 5 B 】



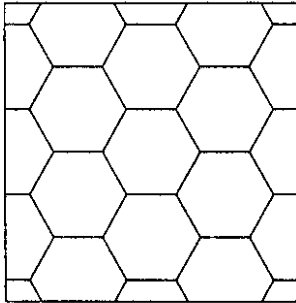
【 図 5 C 】



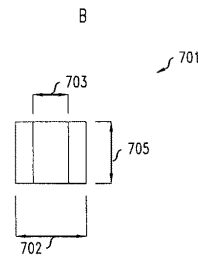
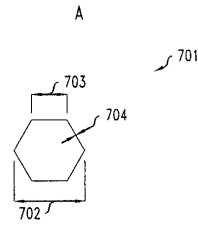
【図 6 A】



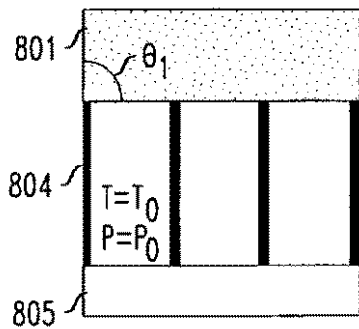
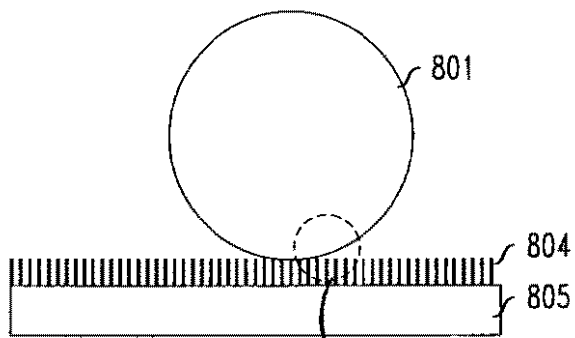
【図 6 B】



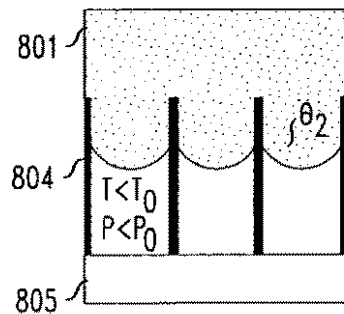
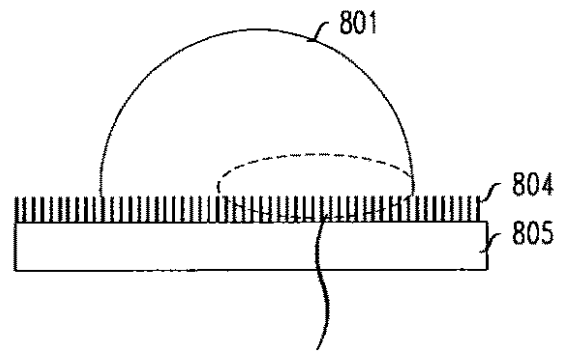
【図 7】



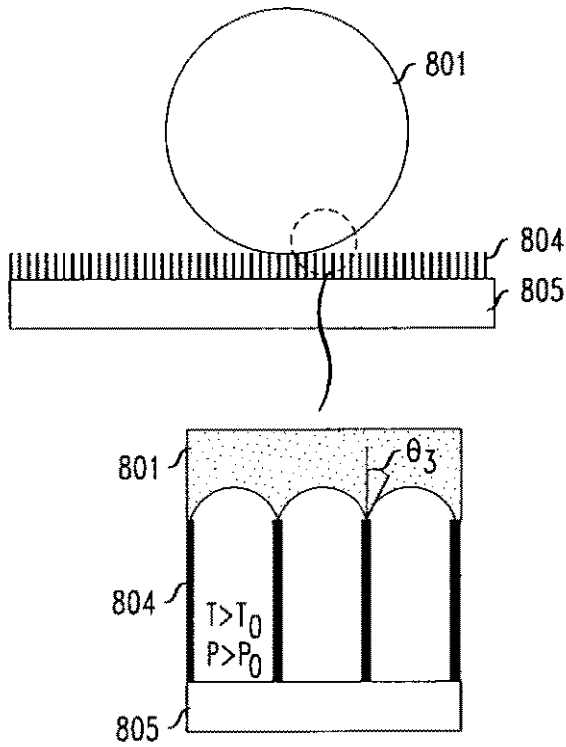
【図 8 A】



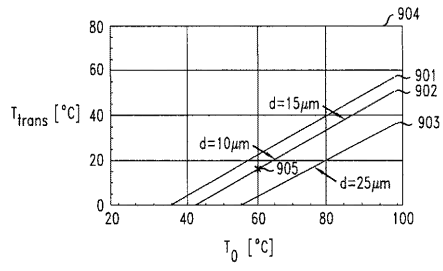
【図 8 B】



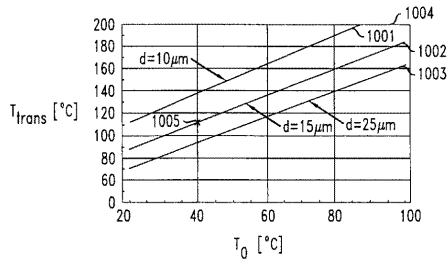
【 図 8 C 】



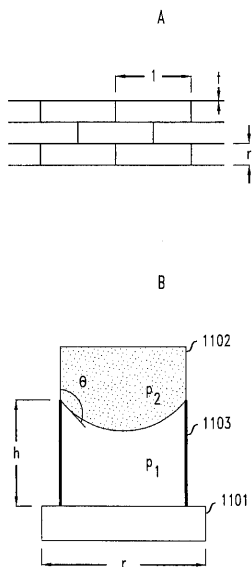
【 図 9 】



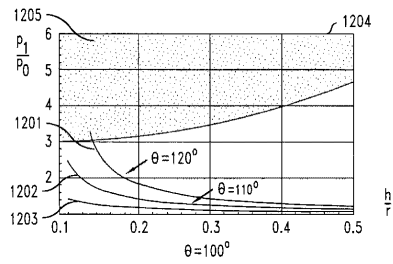
【 図 1 0 】



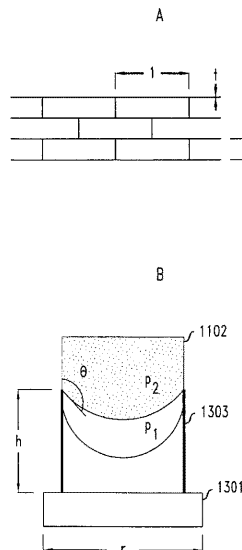
【 図 1 1 】



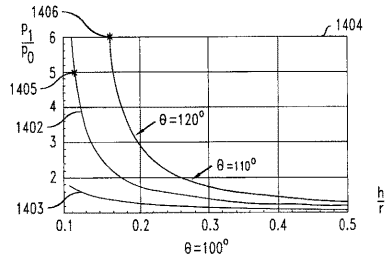
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 14 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100096943
弁理士 臼井 伸一
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100128657
弁理士 三山 勝巳
- (72)発明者 マーク スコット ホーデス
アメリカ合衆国 07974 ニュージャーシィ, ニュー プロヴィデンス, サウスゲイト ロード 38, アパートメント 2エー
- (72)発明者 ポール ロバート コロドナー
アメリカ合衆国 07030 ニュージャーシィ, ホボークン, ブルームフィールド ストリート 1025
- (72)発明者 ティモフェイ ニキータ クロウベンキン
アメリカ合衆国 07059 ニュージャーシィ, ワレン, レッド ヒル ロード 22
- (72)発明者 アラン マイケル リオンス
アメリカ合衆国 07974 ニュージャーシィ, ニュー プロヴィデンス, モアハウス プレイス 28
- (72)発明者 メアリー ルイーズ マンディッチ
アメリカ合衆国 08836 ニュージャーシィ, マーティンヴィル, ヴォッセラー アヴェニュー 1037
- (72)発明者 ジョセフ アシュレイ テイラー
アメリカ合衆国 07081 ニュージャーシィ, スプリングフィールド, ストーン ヒル ロード 7シー アパートメント シー

審査官 渡邊 吉喜

- (56)参考文献 特開平08-141484(JP, A)
特開平02-149675(JP, A)
特開平11-129460(JP, A)
特開2001-207123(JP, A)
特表2000-514756(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B82B 1/00-3/00、
B82Y 5/00-99/00、
B01J 10/00-12/02、14/00-19/32、
C09K 3/18
JSTPlus(JDreamII)