

Doctor

José Luis Salazar

Director de División de Nuevas Creacio

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y C

E. S.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



Fecha: 2015-10-28 15:24 44 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 444 RESPUESTAREQUE Folios 19

Referencia: Expediente No. 14.042.258

Solicitud de Patente de Invención titulada: "Dispositivos que incorporan una superficie impregnada con líquido"

Solicitante: Massachusetts Institute Technology

RESPUESTA AL AUTO NOTIFICADO POR FIJACIÓN EN LISTA NO. 25 DEL 23 DE JUNIO DE 2015, OFICIO NO. 6798 (EXAMEN DE FONDO)

ÁLVARO CORREA ORDÓÑEZ, mayor de edad y vecino de Bogotá D.C., identificado tal como aparece al pie de mi firma, en mi carácter de apoderado de la sociedad en referencia, doy respuesta al auto emanado por ese Despacho dentro del término de prórroga solicitado en mi memorial 14.042.258-00007-0000 de fecha 2 de septiembre de 2015:

1. Respuesta a las observaciones del Examinador

1.1 Reivindicaciones relativas a un uso o a un segundo uso

Su Despacho considera que el objeto de las reivindicaciones 11 y 12 hacen referencia a un uso "el artículo es un miembro seleccionado del grupo que consiste en parte de una turbina de vapor...", "el artículo es un miembro seleccionado del grupo que consiste en anteojos y un espejo", "el artículo es una parte de intercambiador o una tubería de aceite o gas".

Al respecto informamos a su Despacho que de conformidad con el artículo 34 de la Decisión 486 las reivindicaciones se han modificado de tal forma que superan las observaciones del examinador.

La expresión "artículo" se cambió por "superficie".

Por otro lado, se aclara al examinador que estas reivindicaciones no corresponden a usos, estas reivindicaciones son reivindicaciones de producto en donde se define que la superficie es una superficie de un miembro seleccionado del grupo que consiste en una parte de turbina de vapor o que la superficie es una superficie de una tubería o donde la superficie es una superficie de termocambiador o una tubería de aceite o gas etc.

Teniendo en cuenta las modificaciones y las explicaciones dadas, se da por superada las observaciones del examinador.

1.2 Claridad de la solicitud

1.2.1 Reivindicaciones 1, 11, 12, 13 y 15

Su Despacho establece que las reivindicaciones 1,11,12,13 y 15 no son claras porque presentan efectos:

"se puede verter a temperatura ambiente de almacenamiento". Al respecto informamos a su Despacho que dicha expresión no se encontró en el texto.

"el líquido impregnado lleva el espacio entre dichas partes sólidas, y es retenido.....". Al respecto informamos a su despacho que esta expresión se cambió por " el líquido impregnado llena el volumen entre dichas partes sólidas..."

Con relación a la expresión *".....está configurada para...."* informamos a su Despacho que dicha expresión fue cancelada.

De esta forma considero que las reivindicaciones 1,11,12,13 y 15 son claras y concisas, y definen por sus características esenciales la superficie que comprende una superficie impregnada con líquido.

1.2.2 Reivindicaciones 1,2,3,4,5,10,11,12 y 15

Su Despacho establece que estas reivindicaciones no son claras porque presentan términos generales "artículo", "líquido", "partes sólidas".

Al respecto informamos a su Despacho que la palabra "artículo" se cambió por "superficie".

Con relación a las palabras líquido y partes/características sólidas, se aclara que para una persona medianamente experta dichas expresiones son claras a partir de la lectura de las reivindicaciones.

De conformidad con lo anterior, se supera las observaciones del examinador.

1.2.3 Reivindicaciones 1 a 3, 8, 9, 12

Su Despacho menciona que las reivindicaciones 1 a 3, 8, 9, 12 no son claras porque presentan términos indefinidos y/o imprecisos "suficientemente", "diversas", "cerca", "no mayor", "sustancialmente", "al menos", "diferentes tamaños", "opcionalmente".

Al respecto informamos a su Despacho que el término "sustancialmente" se canceló.

Los términos "no mayor" y "diferentes tamaños" fueron cancelados.

La palabra "diversas" se cambió por "pluralidad" que corresponde a la palabra en inglés "plurality".

La palabra "cerca" se cambió por "estrecha".

Con relación a los otros términos mi representada manifiesta que dichos términos son claros y son términos limitativos ampliamente usados en el lenguaje de la redacción de las patentes

y que deberían ser claros para una persona medianamente experta en la materia de la lectura de las reivindicaciones.

1.2.4. Reivindicación 1

Su Despacho afirma que la reivindicación 1 incluye características funcionales *"para contener en forma estable un líquido impregnado entre ellas", "para que el líquido forme una película delgada estable en la parte superior de las paredes"*

Al respecto informamos al examinador que la expresión *"para que el líquido forme una película delgada estable en la parte superior de las paredes"*, fue cancelada.

Con relación a la expresión *"para contener en forma estable un líquido impregnado entre ellas"*, se aclara a su Despacho que esta expresión corresponde a una característica esencial de la invención, que de acuerdo a los argumentos que se presentan a continuación será más claro el entendimiento de la invención:

El solicitante afirma respetuosamente que la reivindicación 1 es clara. La Reivindicación 1 menciona una superficie impregnada en líquido que contiene de manera estable un líquido entre las características/partes sólidas sobre la superficie. La técnica anterior no enseña ni sugiere una superficie como se menciona en la reivindicación independiente 1 y sus reivindicaciones dependientes.

Como se mencionó en el párrafo [0054], de la descripción de la solicitud PCT, página 19 de la solicitud colombiana, los líquidos de impregnación "pueden ser cualquier tipo de líquido que sea capaz de proporcionar las propiedades no humectantes deseadas". Por ejemplo, algunas de las propiedades no humectantes deseadas de ejemplo pueden ser que estas superficies impregnadas de líquidos sean resistentes a empalamiento (por ejemplo, el empalamiento por un líquido en contacto), formación de hielo, formación de incrustaciones, formación de hidratos, y / o que las superficies tengan propiedades anti-incrustantes. Como se discute adicionalmente en el párrafo [0056] de la descripción de la solicitud PCT, páginas 20 y 21 en algunas realizaciones, "Después que se ha aplicado la impregnación del líquido 126, las fuerzas capilares mantienen el líquido en su lugar. Las fuerzas capilares aumentan escasamente con el inverso de la distancia rasgo a rasgo o radio de poro, y las características

se pueden diseñar de tal manera que el líquido se mantenga en su lugar a pesar del movimiento de la superficie y a pesar del movimiento del aire u otros fluidos sobre la superficie (por ejemplo, cuando la superficie 120 está sobre la superficie externa de una aeronave con aire que corre sobre, o en una tubería con aceite y / u otros fluidos que fluyen a través del mismo)". Por lo tanto, la presente descripción describe El líquido de impregnación y cómo se mantiene en su sitio entre o dentro de las características/partes sólidas de micro-escala y/o nano-escala.

En la Figura 1C se muestra una vista en sección transversal esquemática de ejemplo de un líquido en contacto con una superficie impregnada de líquido de acuerdo con determinadas realizaciones de la invención:

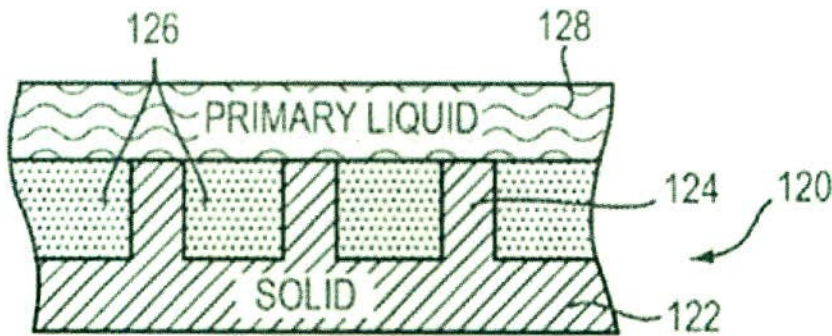


FIG. 1C

La Figura 1C muestra una superficie impregnada de líquido no humectante 120 que incluye un sólido 122 que tiene texturas (por ejemplo, pero no limitado a, los postes 124) que se impregna con un líquido de impregnación de 126 (por ejemplo, en lugar de un gas). Como se muestra en la realización representada en la Figura 1C, un líquido de contacto 128 está en contacto con la superficie y descansa en los postes 124 (u otra textura) de la superficie 120. Como se muestra en la realización representada en la Figura 1C, en las regiones entre los postes 124, el líquido de contacto 128 está soportado por el líquido de impregnación 126.

Además, la fracción de área de superficie Φ descrita en la reivindicación 1 se refiere a la fracción de área de superficie de la superficie impregnada de líquido (por ejemplo, 120) que no está sumergida por dicho líquido de impregnación (por ejemplo, 126).

De acuerdo con lo anterior, el solicitante sostiene respetuosamente que la reivindicación independiente 1 es clara.

Adicionalmente, el Solicitante sostiene respetuosamente que la reivindicación dependiente 2 es clara. La Reivindicación 2 está totalmente respaldada por la descripción tal como fue presentada originalmente. Por ejemplo, el párrafo [0011] de la descripción de la solicitud PCT proporciona, páginas 5 y 6 del texto en español:

[0011] En un aspecto, la invención se refiere a un artículo que comprende una superficie impregnada de líquido, dicha superficie comprende una matriz de características separadas suficientemente estrechas para contener de manera estable un líquido o entre las mismas o dentro de ellas. En determinadas realizaciones, el líquido tiene una viscosidad a temperatura ambiente no mayor de aproximadamente 1.000 cP (o cSt), no mayor de aproximadamente 100 cP (o cSt), o no mayor de aproximadamente 50 cP (o cSt). En determinadas realizaciones, el líquido tiene presión de vapor a temperatura ambiente no mayor de aproximadamente 20 mm Hg, no mayor de aproximadamente 1 mm Hg, o no mayor que aproximadamente 0,1 mmHg.

Adicionalmente, los párrafos [0054] y [0055] de la descripción de la solicitud PCT proporcionan, que corresponde a las páginas 19 y 20 del texto en español presentado.

[0054] El líquido de impregnación 126 puede ser cualquier tipo de líquido que es capaz de proporcionar las propiedades de no humectación deseadas. Por ejemplo, El líquido de impregnación 126 se puede basarse en aceite o agua o (es decir, acuosa). En determinadas realizaciones, el líquido de impregnación 126 es un líquido iónico (por ejemplo, BMI-IM). Otros ejemplos de posibles líquidos de impregnación incluyen hexadecano, aceites de bombas de vacío (por ejemplo, FOMBLIN.RTM. 06/6, KRYTOX.RTM. 1506) aceites de silicona (por ejemplo, 10 cSt o 1000 cSt), fluorocarbonos (por ejemplo, perfluoro-tripentilamina, FC -70), fluidos de pseudoplasticidad, fluidos dilatante, polímeros líquidos, polímeros disueltos, fluidos viscoelásticos, y/o fluoroPOSS líquido. En determinadas realizaciones, el líquido de impregnación es (o comprende) un metal líquido, un fluido dieléctrico, un fluido ferroso, un (MR) de fluido magneto-reológico, un fluido (ER) electro-reológico, un fluido iónico, un líquido de hidrocarburo, y / o un líquido de fluorocarbono.

En una realización, el líquido de impregnación 126 está hecho de fluido dilatante con la introducción de nano partículas. Un líquido de impregnación de fluido dilatante 126 puede ser deseable para la prevención de empalamiento y resistir el impacto de los líquidos que inciden, por ejemplo.

[0055] Para minimizar la evaporación del líquido de impregnación 126 de la superficie 120, generalmente es deseable utilizar la impregnación de líquidos 126 que tienen bajas presiones de vapor (por ejemplo, menos de 0,1 mm de Hg, a menos de 0,001 mm Hg, a menos de 0,00001 mm Hg, o menos que 0.000001 mmHg). En determinadas realizaciones, El líquido de impregnación 126 tiene un punto de congelamiento de menos de -20 ° C, a menos de -40 ° C, o aproximadamente de -60 ° C. En determinadas realizaciones, la tensión superficial del líquido de impregnación 126 es aproximadamente 15 mN / m, aproximadamente 20 mN / m, o aproximadamente 40 mN / m. En determinadas realizaciones, la viscosidad del líquido de impregnación 126 es de aproximadamente 10 cSt a aproximadamente 1000 cSt).

De acuerdo con lo anterior, la descripción describe explícitamente el uso de líquidos de impregnación que, por ejemplo, tienen bajas presiones de vapor de "menos de 0,000001 "mmHg", etc. Los expertos en la técnica apreciarán fácilmente el alcance de la reivindicación dependiente 2. Del mismo modo, aquellos expertos comunes en la técnica apreciarán fácilmente el alcance de la reivindicación dependiente 8 que menciona características que tienen una altura de menos de 100 micras. El solicitante afirma respetuosamente que no es inadecuado definir un líquido mediante un límite superior de su presión de vapor. De acuerdo con lo anterior, el solicitante afirma respetuosamente que las reivindicaciones dependientes 2 y 8 son claras.

De conformidad con las modificaciones efectuadas al pliego reivindicatorio y de acuerdo a las explicaciones dadas anteriormente, se considera que el nuevo pliego reivindicatorio cumple a cabalidad con el artículo 30 de la Decisión 486.

1.3 Novedad

Con relación al requisito de novedad su Despacho menciona que los documentos **D1**¹ US 20060013735 y **D2**² WO2010129807 afectan la novedad de la solicitud en estudio.

En forma resumida mencionan lo siguiente:

Características esenciales	D1	D2
Un artículo que comprende	Estructura plana en particular una placa (Reivindicación 1, Resumen, Párrs. 58 a 65, 73 y 74; Figs. 2a a 2c).	Un artículo de fabricación que comprende (Reivindicación 2).
Una superficie impregnada con líquido	La superficie se impregna con un líquido humectante como acetona, acetonitrilo o alcohol, preferiblemente isopropanol o mezclas de ellos (Párr. 60).	
Dicha superficie comprende diversas partes sólidas a microescala y/o nanoescala espaciadas suficientemente cerca para contener de forma estable un líquido impregnado entre ellas.	Tiene una superficie hidrofóbica en que áreas de hidrófilos y/o oleofilos se pueden producir en forma reversible y cada una son completamente rodeados por áreas untrafóbicas (Reivindicaciones 1 y 2, Resumen, Figs. 2a a 2c y 4).	Un sustrato; y una nanoestructura superhidrófilo en al menos una porción de una superficie del sustrato, la nanoestructura superhidrófilo que comprende; nanopartículas; las nanopartículas formadas en grupos poroso; y los grupos porosa formada en grupos agregados (Reivindicación 2).
Dicha superficie estable contiene dicho líquido impregnado entre dichas partículas sólidas	Preferiblemente, el fluido humectante se dispensa como gota en la superficie ultrafóbica, donde el número de gotas humectantes es [] que el número de las gotas que se deposita sobre la superficie ultrafóbica. Preferiblemente, el volumen de la humectación gotas es 10^{-1} a 10^{-3} veces el volumen de las gotas a ser depositados, donde la proporción inmediatamente antes de depositar la gota es crítica.	Hay una preferencial se extiende por la superficie con una velocidad media de ~ 0.3 cm/s, seguido por hundimiento de la gotita de agua en la capa porosa (Párr. 35). La adsorción de hidrocarburos en superficie de TiO_2 a menudo se ha reportado que causa aumento del ángulo de contacto (Párr. 36).

¹ "Ultrapophobic Surface having a multitude of reversibly producible hydrophilic and/or oleophilic areas"

² "Superhydrophilic nanostructure"

	especialmente porque muchos líquidos humectantes una superficie ultrafóbica tienen una alta presión de vapor y se evapora rápidamente (Párr. 62) Una superficie ultrafóbica se moja por el líquido humectante 1, en el presente caso acetona. En esta parte mojada de la superficie ultrafóbica 4 y luego una gota de agua 2 se dispensa (FIG. 2 b), que es mucho más grande que la gota 2 con la que se humedeció la superficie ultrafóbica. La gota de agua se deposita así firmemente sobre la superficie ultrafóbica. Las flechas en FIG. 2 b indican la difusión entre el líquido humectante 1 y la gota de agua 2 .FIG. 2 c muestra la situación después de que haya pasado algún tiempo. El agua se ha mezclado con la acetona, de manera que la superficie se humedece ultrafóbica en ciertos puntos por esta mezcla. Sin embargo, esto humectación permanece confinado en el área mojada originalmente por acetona (Párrs. 73 y 74, Figs. 2a a 2c).	
--	---	--

De acuerdo con la tabla anterior, las características esenciales del producto de la reivindicación 1 habían sido divulgadas previamente en los documentos D1 y D2, por lo tanto, la materia reivindicada no es nueva.

1.31 Argumentos en favor de la novedad

La novedad de una solicitud está legalmente definida en el Artículo 16 de la Decisión 486 así: *“una invención se considerará nueva, cuando no está comprendida en el estado de la técnica. El estado de la técnica comprenderá todo lo que haya sido accesible al público por una descripción escrita u oral, utilización, comercialización o cualquier otro medio antes de la fecha de presentación de la solicitud de patente o, en su caso de la prioridad reconocida...”*

En virtud de la anterior definición, consideramos que los documentos D1 y D2 no constituyen documentos del arte previo que afecten la novedad de la presente solicitud por las siguientes razones:

Documento D1:

El documento D1 parece referirse a “una estructura plana, en particular una placa, que tiene una superficie ultrafóbica sobre la cual se pueden producir de forma reversible áreas oleófilas”. Documento D1, párrafo [0001]. Adicionalmente, el documento D1, en el párrafo [0006] (el subrayado es nuestro), “Una estructura plana de acuerdo con la invención es cualquier cuerpo formado con una superficie formada arbitrariamente. **Sin embargo preferiblemente, es una placa con una superficie plana**, especialmente preferible un portador de muestra, **que no muestra ninguna hendidura**. La estructura plana de la invención más preferible es una película con una superficie ultrafóbica. Preferiblemente la superficie de la estructura plana de la invención es esencialmente plana. **Eso significa que la topografía necesaria para una superficie ultrafóbica no muestra ningún microvolumen en la cual el líquido se pueda acumular**”.

De acuerdo con lo anterior, el documento D1 enseña que en sus realizaciones preferidas, la superficie es plana y “no muestra ninguna hendidura”, y que la topografía necesaria para una superficie ultrafóbica “no muestra ningún microvolumen en la cual el líquido puede acumularse”. Por lo tanto, el documento D1 no enseña ningún líquido que llene el volumen entre las características/partes de superficie, y no hay líquido que se mantenga en su lugar entre las características/partes de la superficie en el documento D1. De acuerdo con lo anterior, el documento D1 no enseña ni sugiere una “pluralidad de características/partes sólidas de micro-escala y / o nano-escala separadas suficientemente estrechas para contener de manera estable un líquido de impregnación entre ellas, dicha superficie estable que contiene dicho líquido de impregnación entre dichas características/partes sólidas” como se menciona en la reivindicación independiente 1 y sus reivindicaciones dependientes. El solicitante afirma respetuosamente que las reivindicaciones de la solicitud en estudio son nuevas e inventivas con relación al documento D1.

Documento D2:

El documento D2 parece referirse a nanoestructuras superhidrófilas que se forman en grupos agregados porosos (por ejemplo, el párrafo [0010] del documento D2). El documento D2 no enseña ningún líquido que llene el volumen entre las características/partes de la superficie, y no hay líquido que se mantenga en el lugar entre dichas características/partes en el

documento D2. Por lo tanto, el documento D2 no enseña ni sugiere una “pluralidad de características/partes sólidas a micro-escala y / o nano-escala separadas suficientemente estrechas para contener de manera estable un líquido de impregnación entre ellas, dicha superficie estable contiene dicho líquido de impregnación entre dichas características sólidas” como se menciona en la reivindicación independiente 1 y sus reivindicaciones dependientes. El solicitante afirma respetuosamente que las reivindicaciones de la solicitud en estudio son nuevas e inventivas sobre el documento D2.

En este orden de ideas, tenemos que la invención propuesta por el solicitante si cumple con los requisitos de patentabilidad y de esta manera es susceptible de ostentar el título de patente de invención.

2. Solicitudes concedidas en otros países para esta misma invención.

A manera informativa, pongo en conocimiento del Examinador que la patente US 8,574,704 equivalente a la presente solicitud colombiana ha sido otorgada. Aún cuando entiendo que estas decisiones de ninguna manera obligan al Despacho para decidir de igual forma, considero que por tratarse de una pregunta fáctica la determinación de la existencia de novedad, nivel inventivo y aplicación industrial, las decisiones de otras oficinas de patentes constituyen un antecedente persuasivo en la materia.

En virtud de lo anterior, solicito que se acepten las razones expuestas en el presente documento y en consecuencia, se otorgue el privilegio de patente de invención para el invento que se tramita en este expediente.

Atentamente,



ÁLVARO CORREA ORDÓÑEZ

C.C.No.79.143.366 de Usaquén

T.P.20.281

Anexos: Capítulo reivindicatorio modificado conformado por 15 reivindicaciones
Copia de la Patente US 8,574,704 junto con las reivindicaciones.

3135918-v1\BOGDMS

22

Reivindicaciones modificadas para la solicitud de patente
No. 14.042.258 como respuesta al Oficio de fondo en Octubre de
2015

1. Una superficie que comprende una superficie impregnada con líquido, dicha superficie comprende una pluralidad de partes sólidas a microescala y/o nanoescala espaciadas suficientemente estrechas para contener de forma estable un líquido impregnado entre ellas, dicha superficie estable impregnada con líquido contiene dicho líquido impregnado entre dichas partes sólidas, en donde dicho líquido impregnado llena el volumen entre dichas partes sólidas, donde dicho líquido impregnado es retenido en el lugar entre dicha pluralidad de partes sin tener en cuenta la orientación de dicha superficie, en donde $0 < \phi < 0.5$, donde ϕ es la fracción de área de la superficie de dicha superficie no inmersa en dicho líquido impregnado y donde dicha superficie es una superficie de textura y dichas partes sólidas son protuberancias de ingeniería de dicha superficie de textura.

2. La superficie de la reivindicación 1 en donde dicho líquido impregnado tiene una tensión superficial entre 15 mN/m y 40 mN/m a temperatura ambiente; o donde dicho líquido impregnado tiene una viscosidad entre 10 cP y 1000 cP a temperatura ambiente; o donde dicho líquido impregnado tiene una presión de

vapor entre menos de 0.000001 mm Hg y 20 mm Hg.

3. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las partes tienen una altura uniforme.

4. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde la pluralidad de partes sólidas a microescala y/o nanoescala son espaciadas uniformemente.

5. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde la pluralidad de partes sólidas a microescala y/o nanoescala comprenden partes espaciadas de manera aleatoria.

6. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el espaciamiento entre partes es de 1 micrómetro a 100 micrómetros o desde 5 nanómetros a 1 micrómetro.

7. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde las partes comprenden estructuras jerárquicas o donde las partes que comprenden estructuras jerárquicas son partes a microescala que comprenden partes a nanoescala sobre ellas.

8. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las partes tienen una altura menor de 100 micrómetros.

9. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el cual las partes comprenden al menos un miembro seleccionado del grupo que consiste de un poste, una partícula esférica, una nanoaguja, un "nanograss" (nanohierba) y una parte de geometría aleatoria que proporciona rugosidad de superficie.

10. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el cual el líquido comprende un miembro seleccionado del grupo que consiste en aceite de silicona, un líquido de perfluorocarbono, un aceite de vacío perfluorofluorado (por ejemplo Krytox 1506 o Fromblin 06/6), un refrigerante fluorado (p. ej., perfluoro-tripentilamina vendido como FC-70, fabricado por 3M), un líquido iónico, un líquido iónico fluorado que es inmiscible con agua, un aceite de silicona que comprende PDMS, un aceite de silicona fluorado, un metal líquido, un fluido electrorreológico, un fluido magnetorreológico, un ferrofluido, un líquido dieléctrico, un líquido de hidrocarburo, un líquido de fluorocarbono, un refrigerante, un aceite de vacío, un material de cambio de fase, un semilíquido, grasa, líquido sinovial, un fluido corporal.

11. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie es una superficie de un miembro seleccionado del grupo que consiste en una parte de turbina de vapor, una parte de turbina de gas, una parte de aeronave y una parte de turbina de viento, y en donde la superficie impregnada con líquido repele el líquido incidente y/o donde la superficie es una superficie

de un miembro seleccionado del grupo que consiste en anteojos y un espejo, y en donde la superficie impregnada con líquido inhibe el empañamiento y/o donde la superficie es una superficie de un miembro seleccionado del grupo que consiste en una parte de aeronave, una turbina de viento, una línea de transmisión de energía y un parabrisas, y en donde la superficie impregnada con líquido inhibe la formación de hielo.

12. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en donde la superficie es una superficie de una tubería (o una parte o recubrimiento de esta) y en donde la superficie impregnada con líquido inhibe la formación de hidratos y/o mejorar el deslizamiento (reducir la resistencia) del fluido que fluye sobre ella o

donde la superficie es una superficie de termocambiador o una tubería de aceite o gas (o una parte o recubrimiento de esta), y en donde la superficie impregnada con líquido inhibe la formación y/o adhesión de sal sobre ella o donde la superficie es una junta artificial y en donde la superficie impregnada con líquido reduce la fricción entre las superficies de contacto y/o proporcionar lubricación de larga duración de la junta, en donde la superficie impregnada con líquido opcionalmente libera líquido desde la superficie impregnada con líquido a lo largo del tiempo, proporcionando así lubricación a lo largo del tiempo o donde la superficie es una superficie de un motor (p. ej., pistón o cilindro) y en donde la superficie impregnada con líquido proporciona lubricación de larga duración de la pieza, en donde la superficie impregnada con

16

líquido opcionalmente libera líquido desde la superficie impregnada con líquido a lo largo del tiempo, proporcionando así lubricación a lo largo del tiempo o donde la superficie es una superficie de una parte de termocambiador, y donde la superficie de líquido impregnado facilita desprendimiento de condensado en ella, mejorando así la transferencia de calor de condensación.

13. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en el cual la superficie impregnada con líquido inhibe la corrosión y/o donde la superficie impregnada con líquido es una superficie antiincrustante que resiste la adsorción de restos en ella.

14. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde $0 < \phi \leq 0.25$.

15. La superficie de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho líquido impregnado es retenido en el lugar entre dichas diversas partes sólidas a microescala y/o nanoescala a pesar del movimiento de aire u otros fluidos sobre la superficie impregnada con líquido.

The
United
States
of
America



The Director of the United States
Patent and Trademark Office

Has received an application for a patent for a new and useful invention. The title and description of the invention are enclosed. The requirements of law have been complied with, and it has been determined that a patent on the invention shall be granted under the law.

Therefore, this

United States Patent

Grants to the person(s) having title to this patent the right to exclude others from making, using, offering for sale, or selling the invention throughout the United States of America or importing the invention into the United States of America, and if the invention is a process, of the right to exclude others from using, offering for sale or selling throughout the United States of America, or importing into the United States of America, products made by that process, for the term set forth in 35 U.S.C. 154(a)(2) or (c)(1), subject to the payment of maintenance fees as provided by 35 U.S.C. 41(b). See the Maintenance Fee Notice on the inside of the cover.

Leea Street Sea

Deputy Director of the United States Patent and Trademark Office

18



(12) **United States Patent**
Smith et al.

(10) **Patent No.:** **US 8,574,704 B2**
(45) **Date of Patent:** **Nov. 5, 2013**

(54) **LIQUID-IMPREGNATED SURFACES,
METHODS OF MAKING, AND DEVICES
INCORPORATING THE SAME**

(75) **Inventors:** **J. David Smith**, Cambridge, MA (US);
Rajeev Dhiman, Malden, MA (US);
Kripa K. Varanasi, Lexington, MA
(US); **Ernesto Reza-Garduño Cabello**,
Cambridge, MA (US)

(73) **Assignee:** **Massachusetts Institute of Technology**,
Cambridge, MA (US)

(*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) **Appl. No.:** **13/586,945**

(22) **Filed:** **Aug. 16, 2012**

(65) **Prior Publication Data**
US 2013/0034695 A1 Feb. 7, 2013

Related U.S. Application Data

(63) Continuation of application No. 13/302,356, filed on
Nov. 22, 2011.

(60) Provisional application No. 61/515,395, filed on Aug.
5, 2011.

(51) **Int. Cl.**
B32B 1/00 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
USPC 428/143; 428/141

(58) **Field of Classification Search**
USPC 428/141-144
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,069,933	A	1/1978	Newing	
5,624,713	A	4/1997	Ramer	
7,458,384	B1 *	12/2008	Seal et al.	137/13
8,252,259	B2 *	8/2012	Seal et al.	423/263
2002/0164443	A1	11/2002	Oles et al.	
2003/0096083	A1	5/2003	Morgan et al.	
2005/0016489	A1	1/2005	Endicott et al.	
2005/0112326	A1	5/2005	Nun et al.	
2006/0013735	A1	1/2006	Engelking et al.	

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

CN	101269960	B	5/2011
DE	198 18 956	A1	11/1998

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report of PCT/US12/30370, dated Oct. 15,
2012, 6 pages.

(Continued)

Primary Examiner — Maria Veronica Ewald

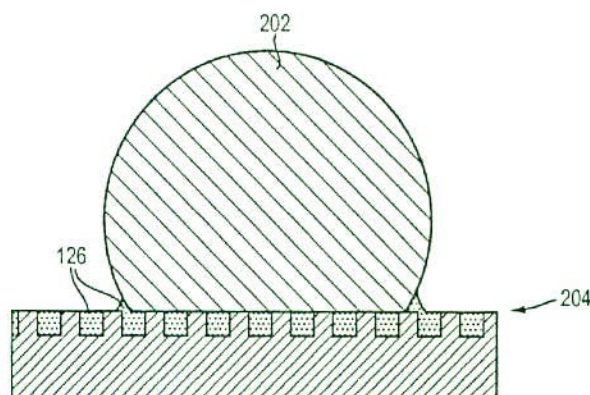
Assistant Examiner — Nathan Van Sell

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Choate, Hall & Stewart LLP

(57) **ABSTRACT**

The invention is directed to an article with a liquid-impregnated surface, the surface having a matrix of features thereupon, spaced sufficiently close to stably contain a liquid therebetween or therewithin, and preferable also a thin film thereupon. The surface provides the article with advantageous non-wetting properties. Compared to previous non-wetting surfaces, which include a gas (e.g., air) entrained within surface textures, these liquid-impregnated surfaces are resistant to impalement and frost formation, and are therefore more robust.

18 Claims, 14 Drawing Sheets



15

in the surface (feature dimensions a and b are as shown in FIG. 2D). Note that the "Air" case represents a conventional superhydrophobic surface (i.e., a gas-impregnated surface). The plot shows that roll-off angle α was very small (less than 5°) for silicone oils and was not significantly affected by solid fraction ϕ . For an ionic liquid (i.e., BMI-IM), which does not wet the impregnating surface completely, the roll-off angle α was relatively higher, almost equal to the air case, and increased with solid fraction ϕ due to increased pinning of the droplet on microposts. This is likely because an increase of solid fraction ϕ means more microposts in a unit area. FIG. 10 is a plot of water droplet sliding velocity v_o , for a test in which the surface was tilted at 30° , as a function of solid fraction ϕ for 1000 cSt silicone oil. The plot shows that sliding velocity v_o decreased when the solid fraction ϕ increased, due to increased pinning.

FIGS. 11 and 12 show additional experimental measurements of water droplet sliding velocity v_o for different impregnating fluids having different viscosities, when the surface was tilted to 30° . The figures show that sliding velocity v_o with air is higher than with silicone oils, but sliding velocity v_o has the same decreasing trend with solid fraction ϕ due to increased pinning. FIG. 12 is a plot of sliding velocity v_o as a function of solid fraction ϕ for 10 cSt silicone oil. The plot shows that the magnitude of sliding velocity v_o is higher than with 1000 cSt but less than with air. The trend with solid fraction ϕ remains the same. The measurements in FIGS. 10 and 12 show that droplet mobility (e.g., sliding velocity v_o) increases as the viscosity of the impregnating liquid decreases. This suggests that the greatest mobility is likely achieved with low viscosity impregnating fluids, such as air.

In one experiment, the viscosity of the impregnating liquid was varied to determine the influence of viscosity on droplet impingement. The surface used for the test included silicon microposts ($10 \times 10 \times 10 \mu\text{m}$) with a post spacing of $10 \mu\text{m}$. When the viscosity of the impregnating liquid was 10 cSt, the impinging water droplet was able to bounce off the liquid-impregnated surface. By contrast, when the viscosity of the impregnating liquid was 1000 cSt, the impinging water droplet remained on the surface (i.e., it did not bounce off the surface). Unlike a similar impingement experiment conducted with a gas-impregnated surface, however, the droplet was able to subsequently roll-off the surface, although the sliding velocity was low.

FIGS. 13 and 14 include Environmental SEM (ESEM) images of frost nucleation on micropost surfaces impregnated with silicone oil. FIG. 13 shows a surface 1402 before nucleation was triggered. FIG. 14 shows a surface 1404 during nucleation and indicates that frost 1306 had the tendency to nucleate on the micropost tops.

EQUIVALENTS

While the invention has been particularly shown and described with reference to specific preferred embodiments, it should be understood by those skilled in the art that various changes in form and detail may be made therein without departing from the spirit and scope of the invention as defined by the appended claims.

What is claimed is:

1. An article comprising a liquid-impregnated surface, said surface comprising a plurality of micro-scale and/or nano-scale solid features spaced sufficiently close to stably contain an impregnating liquid therebetween, said surface stably containing said impregnating liquid between said solid features,

16

wherein said impregnating liquid fills the volume between said solid features, wherein said impregnating liquid is held in place between said plurality of features regardless of orientation of said surface, wherein $0 < \phi < 0.5$, where ϕ is the surface area fraction of said surface non-submerged by said impregnating liquid, and wherein said surface is a textured surface and said solid features are engineered protrusions of said textured surface.

2. The article of claim 1, wherein said impregnating liquid has viscosity at room temperature no greater than about 1000 cP.

3. The article of claim 1, wherein said impregnating liquid has vapor pressure at room temperature no greater than about 20 mm Hg.

4. The article of claim 2, wherein said impregnating liquid has a viscosity at room temperature on the order of 10 cSt or less.

5. The article of claim 1, wherein the plurality of solid features has a feature-to-feature spacing from about 1 micrometer to about 100 micrometers.

6. The article of claim 1, wherein the plurality of solid features has a feature-to-feature spacing from about 5 nanometers to about 1 micrometer.

7. The article of claim 1, wherein the plurality of solid features comprises hierarchical structures.

8. The article of claim 7, wherein the hierarchical structures are micro-scale features that comprise nano-scale features thereupon.

9. The article of claim 1, wherein the solid features have height no greater than about 100 micrometers.

10. The article of claim 1, wherein the solid features comprise at least one member selected from the group consisting of a spherical particle, a nanoneedle, a nanogras, and a random geometry feature that provides surface roughness.

11. The article of claim 1, wherein the impregnating liquid comprises a member selected from the group consisting of silicone oil, a perfluorocarbon liquid, a perfluoroFluorinated vacuum oil, a fluorinated coolant, an ionic liquid, a fluorinated ionic liquid that is immiscible with water, a silicone oil comprising PDMS, a fluorinated silicone oil, a liquid metal, an eletro-rheological fluid, a magneto-rheological fluid, a ferrofluid, a dielectric liquid, a hydrocarbon liquid, a fluoro-carbon liquid, a refrigerant, a vacuum oil, a phase-change material, a semi-liquid, grease, synovial fluid, bodily fluid.

12. The article of claim 1, wherein the article is a part of or coating of a pipeline, and wherein the liquid-impregnated surface inhibits the formation of hydrate thereupon and/or enhances the slippage of fluid flowing thereupon.

13. The article of claim 1, wherein the liquid-impregnated surface inhibits corrosion.

14. The article of claim 1, wherein the liquid-impregnated surface is an anti-fouling surface that resists adsorption of debris thereupon.

15. The article of claim 1, wherein $0 < \phi \leq 0.25$.

16. The article of claim 1, wherein said impregnating liquid is held in place within said plurality of solid features regardless of contact of said liquid-impregnated surface with a liquid different from said impregnating liquid.

17. The article of claim 1, wherein the plurality of micro-scale and/or nano-scale solid features comprises randomly-spaced features.

18. The article of claim 1, wherein the plurality of micro-scale and/or nano-scale solid features are evenly spaced.

* * * * *