(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 780 923**

(51) Int. CI.:

B08B 7/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.12.2016 PCT/EP2016/079902**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **15.06.2017 WO17097769**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2016 E 16808608 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3386653**

(54) Título: **Procedimiento para favorecer el deslizamiento de al menos una gota sobre un soporte**

(30) Prioridad:

09.12.2015 FR 1562067

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.08.2020

(73) Titular/es:

UNIVERSITÉ DE LILLE (33.3%)
42, rue Paul Duez
59800 Lille, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) (33.3%) y
ECOLE CENTRALE DE LILLE (33.3%)

(72) Inventor/es:

BUSSONNIERE, ADRIEN;
BOU MATAR-LACAZE, OLIVIER;
BAUDOIN, MICHAËL y
BRUNET, PHILIPPE

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para favorecer el deslizamiento de al menos una gota sobre un soporte

La presente invención se refiere a un procedimiento para facilitar el deslizamiento de al menos una gota de un líquido sobre un soporte.

En ámbitos diversos, es necesario eliminar los efectos relacionados con la acumulación de un líquido sobre una superficie. Por ejemplo, en el caso de aplicaciones médicas, puede mostrarse necesario impedir o cuando menos retrasar la coagulación de una gota de sangre sobre una superficie, sin tener que recurrir a la adición de un agente anticoagulante. En el ámbito óptico, la condensación de gotas de agua sobre una lente puede impedir una observación correcta y entonces es necesario proceder a su limpieza, lo cual resulta pesado. A título de ejemplo suplementario, la acumulación de condensados de productos de combustión o de gotas de carburante sobre algunas piezas de un motor puede disminuir el rendimiento energético.

Puede también resultar útil controlar con precisión el desplazamiento de las gotas sobre una superficie.

Para evacuar las gotas de líquido acumuladas sobre una superficie, es bastante conocido aplicar una fuerza mecánica sobre las gotas, por ejemplo, por medio de un limpiaparabrisas sobre un parabrisas de un vehículo automóvil. Sin embargo, un limpiaparabrisas limita el campo de visión accesible al conductor. Extiende además las partículas grasas depositadas en la superficie del parabrisas. Además, es necesario renovar los accesorios del limpiaparabrisas regularmente. Por otro lado, una fuerza mecánica sobre las gotas no puede fácilmente ser aplicada en un gran número de aplicaciones, por ejemplo, en microfluídica por falta de espacio disponible para colocar los medios mecánicos adaptados que podrían además dañar las superficies.

Una vía conocida para evacuar las gotas acumuladas sobre una superficie consiste en funcionalizar esta superficie. Por ejemplo, las solicitudes US 2014/0817666 y US 2014/290732 describen un soporte recubierto con un cuerpo poroso cuyos poros presentan un tamaño nanométrico o micrométrico, formando así una superficie funcionalizada. Cuando una gota de líquido se deposita sobre esta superficie funcionalizada, el cuerpo poroso es empapado por el líquido, formando así una capa de lubricación entre el soporte y la gota que puede fácilmente deslizarse sobre la superficie. Sin embargo, el número de materiales constitutivos de los soportes adaptados a la funcionalización superficial es limitado. Además, la funcionalización superficial puede modificar otras propiedades de la superficie que la humectabilidad. La misma es, por ejemplo, de poco interés para las aplicaciones que implican las propiedades ópticas de las superficies. Por último, después de varios ciclos de saturación y de secado de la superficie, los poros del cuerpo poroso se llenan progresivamente por acumulación de las partículas residuales contenidas en el líquido, y la capa de lubricación termina por no poder formarse ya. La superficie funcionalizada pierde entonces su capacidad para favorecer el deslizamiento de la gota.

La utilización de un campo eléctrico para controlar la hidrofobicidad de una superficie es también conocida, particularmente en el ámbito de la microfluídica. Esta técnica, conocida bajo el acrónimo EWOD (para «Electro Wetting On Devices» en inglés) consiste en aplicar una diferencia de potencial entre dos electrodos, con el fin de polarizar eléctricamente la superficie para hacerla hidrófila, soltando así la gota de la superficie. Al controlar la localización de la polarización, la gota puede entonces ser desplazada. Sin embargo, pocos materiales están adaptados para esta técnica, que además no está adaptada para soportes de fuerte espesor. Además, la técnica EWOD necesita un posicionamiento particularmente preciso de los electrodos en toda la superficie donde se desean controlar las propiedades de mojado.

También es conocido evacuar las gotas haciendo vibrar el soporte sobre el cual reposan, particularmente generando una onda superficial ultrasonora con el fin de provocar el desplazamiento de las gotas en la superficie o vaporizar las gotas. Las ondas superficiales ultrasonoras presentan la ventaja de poder ser fácilmente generadas por medio de un transductor. Además, son poco atenuadas y pueden propagarse a grandes distancias.

Los documentos GB 2 387 107 y GB 1 037 787 describen respectivamente una visera de casco y un parabrisas que comprende un transductor para generar una onda ultrasonora para eliminar la gotas de lluvia. Estos documentos no dicen nada en cuanto a las características de la onda ultrasonora.

El documento US 4,768,256 describe un dispositivo para desplazar las gotas de lluvia de un parabrisas en el cual una onda ultrasonora aplicada sobre el parabrisas lleva las gotas de lluvia a desplazarse en el sentido opuesto al sentido de propagación de la onda ultrasónica longitudinal.

En el artículo «*Low power sessile droplets actuation via modulated Surface acoustic*», M. Baudoin, P. Brunet, O. Bou Matar y E. Herth, Appl. Phys. Lett., vol. 100, 154102 (2012), ha sido particularmente descrito un procedimiento en el cual una onda superficial ultrasonora es aplicada a un soporte sobre el cual existe una gota de agua, con una

frecuencia y una amplitud tales que la gota vibra y se deforma según un modo asimétrico, produciendo su desplazamiento según el sentido de propagación de la onda de superficie ultrasonora.

Los documentos FR 1 308 877 y WO 2012/095643 describen un procedimiento para evacuar las gotas de lluvia de un parabrisas por vaporización ultrasónica. La amplitud y frecuencia de vibración son seleccionadas de forma que las gotas de lluvia que caen sobre el parabrisas no puedan entrar en contacto con este último, y sean vaporizadas una vez que las mismas entran en la zona de movimiento vibratorio de la superficie del parabrisas.

Sin embargo, con el fin de obtener una vaporización o un desplazamiento de una gota de líquido, las potencias necesarias para la puesta en vibración de uno de los soportes tales como los descritos son particularmente elevadas, lo cual limita su puesta en práctica, particularmente para el desarrollo de dispositivos autónomos. En particular, aunque los documentos FR 1 308 877 y WO 2012/095643 no especifiquen las amplitudes y frecuencias de las ondas generadas para vaporizar las gotas, es sin embargo bien conocido que la vaporización necesita energías superiores a las necesarias para desplazar las gotas sobre un soporte.

Existe por consiguiente una necesidad para un procedimiento que pueda ser fácilmente realizado, que permita evacuar una gota de un líquido adherida a la superficie de un soporte, y que se aplique a soportes de forma, tamaño y material constitutivo variados.

La invención trata de satisfacer esta necesidad, y lo consigue proponiendo un procedimiento para favorecer el deslizamiento de al menos una gota sobre un soporte, procedimiento en el cual una onda superficial ultrasonora es generada en el soporte con una amplitud suficiente para llevar la gota a deformarse según un modo inercio-capilar de vibración propia reduciendo así la adherencia de la gota al soporte, con el fin de facilitar el desplazamiento de la gota bajo el efecto de una fuerza externa, siendo la amplitud de la onda superficial ultrasonora insuficiente para realizar una deformación asimétrica de la gota al punto de llevarla a desplazarse en ausencia de la fuerza externa en el sentido de propagación de la onda superficial ultrasonora.

El documento GB 2 518 136 A describe un dispositivo para limpiar precipitaciones sobre un parabrisas, un casco de moto o un acristalado de una ventana. El dispositivo comprende uno o varios transductores que generan ondas que se propagan en la capa superior del parabrisas.

El procedimiento según la invención es particularmente destacable en que la gota es liberada de las irregularidades del soporte que impedían su movimiento por medio de una onda ultrasonora de potencia más baja que la utilizada en los procedimientos de la técnica anterior descritos más arriba. La gota puede entonces ser desplazada más fácilmente por la aplicación de la fuerza externa, particularmente de baja amplitud. Por liberación de la gota, se entiende que las vibraciones inercio-capilares de la gota permiten liberar la línea de contacto o línea triple (en contacto a la vez con el soporte, la gota, y el gas ambiente, por ejemplo, el aire) inicialmente atrapada en las irregularidades, particularmente químicas y mecánicas de la superficie.

Además, el procedimiento según la invención es particularmente robusto por que permite controlar activamente las vibraciones de la superficie y por consiguiente de la gota. Por consiguiente, es posible adaptar las vibraciones de la superficie en función del estado de la superficie. El procedimiento según la invención es así menos sensible a las contaminaciones y defectos de la superficie del soporte que los procedimientos de la técnica anterior.

Además, el procedimiento según la invención permite también controlar con precisión el desplazamiento de la gota sobre el soporte.

El rendimiento energético superior del procedimiento según la invención puede ser atribuido al hecho de que, en la técnica anterior, la gota se desplaza en la superficie del soporte sin vibración de las líneas de contacto. Por consiguiente, es necesario proporcionar suficiente energía a la gota para sobrepasar el ángulo llamado de histéresis, a partir del cual las líneas de contacto salen de las trampas constituidas por las irregularidades, para llegar a desplazar la gota. Un aporte de energía más elevado que con el procedimiento según la invención es así necesario para desplazarla. En particular, la potencia de la onda ultrasonora de superficie empleada en el procedimiento según la invención para favorecer el deslizamiento de una gota puede ser al menos 10 veces, incluso al menos 30 veces, más baja que la potencia de una onda ultrasonora utilizada en la técnica anterior para desplazar una gota.

Por otro lado, como se reflejará en lo que sigue, el procedimiento según la invención es particularmente versátil. Particularmente, puede ser realizado sobre una amplia gama de soportes, micrométricos o de varias decenas de metros de longitud, con la condición de que presenten una rigidez suficiente para que una onda de superficie ultrasonora pueda propagarse por ellos, tanto finos como densos. De igual modo, el procedimiento según la invención no está limitado a un tipo específico de líquido.

La invención se realiza así de forma simplificada, y particularmente no necesita tratamiento específico y complejo de la superficie del soporte.

De forma sorprendente y hasta ahora inexplicada, se ha observado que la vibración según el modo inercio-capilar de la gota se realiza a una baja frecuencia inferior, en particular al menos a 60 000 veces inferior, incluso 1 millón de veces inferior a la frecuencia fundamental de la onda de superficie ultrasonora. Por otro lado, se ha observado que es posible llevar gotas de diámetro diverso a vibrar según su modo propio inercio-capilar solicitando la superficie con una onda con la misma frecuencia fundamental. Así una onda de idéntica frecuencia puede hacer vibrar gotas de tamaños muy diferentes.

Un «modo inercio-capilar de vibración propia» de una gota es un modo de resonancia de oscilación de la gota resultante de una competición entre la inercia de la gota y la tensión superficial de la gota. Ha sido demostrado por J. Rayleigh, Proc. R. Soc. London, vol. 29, 71 (1879) y H. Lamb, «*Hydrodynamics*», Cambridge University Press, Inglaterra (1932). También se denomina generalmente modo de Rayleigh-Lamb.

La invención se podrá comprender mejor con la lectura de la descripción detallada que sigue, de ejemplos de realización no limitativos de ésta, y por el examen del dibujo adjunto, en el cual las figuras 1 y 4 representan esquemáticamente diferentes dispositivos para poner en práctica el procedimiento según la invención.

En el dibujo adjunto, las proporciones reales de los diversos elementos constitutivos no han sido siempre respetadas en un intento de dar claridad.

Las figuras 1 a 4 ilustran dispositivos 1a-d para poner en práctica el procedimiento según la invención, que comprende un soporte 5 apto para propagar una onda superficial ultrasonora 10, una gota de líquido 15 y un medio 20 para generar la onda de superficie ultrasonora.

SOPORTE

El soporte 5 puede ser de cualquier material apto para propagar una onda de superficie ultrasonora 10. De preferencia, es de un material que presenta un módulo de elasticidad superior a 0,1 MPa, por ejemplo, superior a 10 MPa, incluso superior a 100 MPa, incluso mismo superior a 1000 MPa, incluso aún superior a 10000 MPa. Un material que presenta dicho módulo de elasticidad presenta una rigidez particularmente adaptada a la propagación de ondas de superficie ultrasonoras.

El soporte puede ser flexible, en el sentido de que puede deformarse, particularmente elásticamente, sin romperse bajo su propio peso.

En particular, puede ser seleccionado entre los materiales piezoeléctricos, los polímeros, en particular los termoplásticos, los vidrios, los metales y las cerámicas.

La superficie del soporte sobre la cual la onda superficial longitudinal se propaga puede ser plana. La misma puede también ser curva, con la condición de que el radio de curvatura de la superficie sea superior a la longitud de onda de la onda de superficie ultrasonora.

La superficie puede ser rugosa y presentar una rugosidad Ra inferior a la longitud de onda.

El soporte puede particularmente presentarse bajo la forma de una placa plana, como, por ejemplo, se ha ilustrado en la figura 1, o presentar al menos una curvatura según una dirección, cuyo espesor *e* es inferior a 0,01 m. La longitud de la placa puede ser superior a 0,1 m, incluso superior a 1 m, incluso mismo superior a 10 m.

Por «espesor del soporte», se considera la dimensión del soporte más pequeña medida según una dirección perpendicular a la superficie sobre la cual se propaga la onda ultrasonora.

En variante, el soporte puede presentar la forma de un bloque, cuyo espesor es por ejemplo superior a 0,05 m, incluso superior a 0,1 m, como se ha ilustrado, por ejemplo, en la figura 2.

El soporte puede disponerse de forma plana con relación a la horizontal. En variante, puede estar inclinado con relación a la horizontal con un ángulo α superior a 10º, incluso superior a 20º, incluso superior a 45º, incluso superior a 70º. Puede colocarse verticalmente.

En un modo de realización, el soporte es de un material ópticamente transparente, particularmente a la luz de lo visible. El procedimiento según la invención se adapta entonces particularmente a las aplicaciones en las cuales se busca la mejora de la comodidad visual de un usuario que observa su entorno a través del soporte.

Un material ópticamente transparente está particularmente adaptado para formar en su totalidad o en parte:

- un acristalado de un vehículo, particularmente un parabrisas, un acristalamiento lateral o una luneta trasera de un vehículo automóvil,
- un acristalamiento de un edificio,

- una lente de un dispositivo óptico seleccionado entre un cristal de gafas, un anteojo, un telescopio, un microscopio, un objetivo fotográfico, unos prismáticos, un retrovisor.

Para las aplicaciones donde tales soportes son utilizados, el procedimiento según la invención permite reducir la densidad superficial de gotas en contacto con el material transparente. Como se ha descrito anteriormente, el procedimiento según la invención libera las gotas del soporte, y las evacúa por medio de la fuerza externa. Se evita así la formación de cúmulos líquidos por cohesión de las gotas que se desplazan en contacto con la superficie como en los procedimientos de la técnica anterior, modificando estos cúmulos de líquidos las propiedades ópticas del soporte.

Particularmente, el procedimiento según la invención puede ser puesto en práctica de forma que el soporte sea auto-limpiador.

Otros tipos de soporte se pueden considerar. Particularmente, el soporte puede ser un substrato de una laboratorio sobre un chip, particularmente destinado para aplicaciones microfluídicas. Puede tratarse de una pared interna de un motor de combustión. El procedimiento según la invención puede así mejorar el rendimiento del motor, evacuando eficazmente las gotas que se forman sobre la pared por condensación de los productos de combustión o por depósito de gotas de combustible sin consumir. El soporte puede ser un elemento de una turbina, por ejemplo, un álabe, particularmente de un motor de avión.

Puede tratarse de un cable eléctrico. Por ejemplo, en la variante donde el soporte es un cable eléctrico de una línea de alta tensión eléctrica y/o de alimentación de vía férrea, el procedimiento según la invención, al favorecer el deslizamiento de las gotas de lluvia que se depositan sobre el cable eléctrico, reduce los efectos de puesta en vibración por la lluvia del cable eléctrico y de los postes que lo soportan. Además, en periodo invernal, el procedimiento según la invención, al favorecer el deslizamiento de las gotas de lluvia que se depositan sobre el cable eléctrico, limita la formación de escarcha o de hielo sobre los cables. Así, el riesgo de dañado, incluso de ruptura de los cables se reduce.

El soporte puede ser un elemento de la estructura de una aeronave, por ejemplo, un ala, un fuselaje o un estabilizador. Como se ha descrito en el párrafo anterior, el procedimiento según la invención, al favorecer el deslizamiento de las gotas, sobre estos elementos, limita la formación de escarcha o de hielo sobre la estructura de la aeronave.

El soporte puede ser un elemento de un implante médico. En particular, la amplitud y la frecuencia fundamental de la onda ultrasonora de superficie pueden ser seleccionadas con el fin de favorecer el deslizamiento de una gota de sangre para evitar su coagulación, o de un líquido biológico, para evitar el depósito de la materia biológica contenida en el líquido biológico sobre la superficie.

El soporte puede también ser seleccionado entre un elemento de un intercambiador de calor, una instalación de fontanería, un elemento de un sistema de ventilación, un elemento de un sistema de extracción de petróleo de un pozo, por ejemplo, un tubo. Tales soportes presentan generalmente superficies a las cuales resulta difícil acceder para evacuar las gotas de líquido que se depositan en ellas, por ejemplo, por condensación. El procedimiento según la invención está por consiguiente particularmente adaptado a este tipo de soportes.

El soporte puede ser un elemento de almacenado de alimentos, por ejemplo, una pared interna de un frigorífico, o una pared expuesta a la condensación de un líquido. Por ejemplo, en un frigorífico, la condensación de las gotas de agua sobre una pared aumenta el intercambio térmico entre la pared y el volumen de aire fresco del refrigerador, reduciendo su rendimiento.

Como ya ha sido ilustrado anteriormente, el procedimiento según la invención puede ser puesto en práctica en aplicaciones donde se encuentran altas temperaturas. De preferencia entonces, la temperatura superficial del soporte es superior a 100ºC, incluso superior a los 300ºC, incluso aún superior a los 500ºC.

GOTA DE LIQUIDO

En un modo de realización preferido, la superficie del soporte está al menos parcialmente recubierta por una pluralidad de gotas de líquido.

La gota 15 de líquido puede presentar un tamaño en reposo Φ inferior a 5 mm, particularmente comprendido entre 0,1 mm y 1,5 mm, por ejemplo, igual a 1 mm. Por «tamaño en reposo» de la gota, se entiende la distancia entre el punto de la gota más alejado de la superficie y esta última, sin que sea aplicada ninguna onda superficial longitudinal al soporte. En la presente descripción, cuando se hace referencia al tamaño de la gota, se trata del tamaño en reposo de la indicada gota, salvo mención contraria.

El soporte puede recubrirse con una pluralidad de gotas que presentan una distribución multimodal de tamaños de gotas. De preferencia entonces, una pluralidad de ondas de superficie ultrasonoras es generada en el soporte, con

frecuencias fundamentales y amplitudes adaptadas para llevar cada gota de la pluralidad de gotas a deformarse según un modo inercio-capilar de vibración.

El procedimiento según la invención resulta particularmente versátil por que permite favorecer el deslizamiento de gotas constituidas por líquido con propiedades diversas. A título de ejemplo, la viscosidad del líquido puede estar comprendida entre 0,0001 y 2 Pa.s a 25ºC.

De preferencia, el líquido que constituye la gota es seleccionado entre el agua, particularmente el agua de lluvia, un líquido biológico, por ejemplo, sangre animal o humana, un líquido apto para limpiar el soporte, una solución química, un carburante y sus mezclas.

En un modo de realización, el soporte es recubierto con gotas constituidas por un primer líquido y gotas constituidas por un segundo líquido diferente del primero, sin que la eficacia del procedimiento sea disminuida.

En particular, el líquido puede presentar un ángulo de contacto con el soporte inferior a 180º, particularmente inferior a 120º. El procedimiento según la invención puede así favorecer el deslizamiento de una gota situada sobre un soporte hidrófilo o hidrófobo.

El líquido puede comprender partículas, por ejemplo, partículas coloidales. Puede comprender un principio activo o un medicamento.

Cuando es llevada a vibrar según un modo inercio-capilar, la gota vibra deformándose a baja frecuencia, que depende particularmente de las propiedades, en particular de la densidad, del líquido constitutivo de la gota. De preferencia, la frecuencia de vibración según el modo inercio-capilar de la gota está comprendida entre 20 Hz y 10 kHz.

ONDA SUPERFICIAL ULTRASONORA

La frecuencia fundamental y la amplitud de la onda ultrasonora de superficie se determinan de preferencia en función de las propiedades del soporte y del líquido.

En particular, el experto en la materia sabe determinar la longitud de transmisión de la onda ultrasonora de superficie de un líquido situado sobre el soporte, como se ha descrito en J. Campbell y W. Jones IEEE Trans. Sonics Ultrason., 17: 71 (1970), de preferencia de forma que la relación del tamaño de la gota sobre la longitud de transmisión de la onda ultrasonora de superficie esté comprendida entre 0,04 y 10. En cuanto a la amplitud de la onda de superficie ultrasonora, el experto en la materia sabe adaptarla. Por ejemplo, una gota de un líquido de tensión superficial más elevada que una gota de otro líquido necesita la aplicación de una amplitud más elevada. Sucede lo mismo para una gota de viscosidad más elevada.

De preferencia, la frecuencia fundamental y la amplitud de la onda ultrasonora de superficie son ajustadas para que la relación de la amplitud de oscilación de la gota sobre el tamaño en reposo de la gota sea inferior o igual a 1,4, incluso inferior o igual a 1,3, incluso mismo inferior o igual a 1,15. Por «amplitud de oscilación» de la gota, se entiende el mayor diámetro de la más pequeña esfera circunscrita a la gota, medida en un periodo de vibración de la gota, cuando se aplica una onda acústica de superficie al soporte.

Diferentes tipos de ondas de superficie ultrasonoras pueden ser generadas y son adaptadas particularmente a la geometría del soporte.

De preferencia, la onda de superficie ultrasonora es una onda de Lamb o una onda de Rayleigh. En particular, puede ser una onda de Rayleigh cuando el soporte presenta un espesor superior a la longitud de onda de la onda de superficie ultrasonora. Una onda de Rayleigh es preferida pues una proporción máxima de la energía de la onda se concentra en la superficie sobre la cual se propaga, y puede ser transmitida a la gota para hacerla vibrar.

De preferencia, la frecuencia fundamental de la onda ultrasonora de superfice ultrasonora está comprendida entre 1 Mhz y 100 Mhz. En un modo de realización, la misma puede estar comprendida entre 5 Mhz y 40 Mhz, y particularmente ser igual a 20 Mhz.

Por otro lado, la frecuencia fundamental de la onda de superficie ultrasonora puede ser modulada a una frecuencia de modulación comprendida entre 20 Hz y 10 kHz, particularmente para optimizar en función del tamaño de la gota su régimen vibratorio según un modo inercio-capilar. De preferencia, la frecuencia fundamental de la onda de superficie es modulada por la frecuencia propia del modo inercio-capilar de vibración propia de la gota. La frecuencia propia f_g de la gota puede ser determinada aproximadamente a partir de la fórmula de Rayleigh-Lamb, descrita en J. Rayleigh, Proc. R. Soc. London, vol. 29, 71 (1879) y de H. Lamb, «*Hydrodynamics*», Cambridge University Press, Inglaterra (1932).

$$f_g = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{n(n-1)(n+2)\sigma}{\rho R^3}}$$

donde:

- *n* designa el orden del modo de vibración, que es por ejemplo igual a 2 en el caso de un modo de vibración cuadripolar,
- σ es la tensión superficial, expresada en $N.m^{-1}$,
- ρ es la densidad del líquido, expresada en $kg.m^{-3}$, y
- *R* es el radio de curvatura de la gota que depende de su volumen y del ángulo de contacto, expresado en m^{-3}.

En efecto, la frecuencia propia f_g indicada más arriba se calcula para una gota de baja viscosidad y en levitación. Para una gota depositada, el cálculo de la frecuencia propia debe adaptarse utilizando las modificaciones propuestas por M. Strani and F. Sabetta, J. Fluid Mech., 141: 233-247 y en el caso de líquidos viscosos, las correcciones a la fórmula indicada más arriba descritas en el artículo de H. Lamb anteriormente citado deben tomarse en cuenta.

La frecuencia fundamental puede ser modulada por medio de una onda con un perfil en almena cuya amplitud equivale a 0 o 1, y cuya frecuencia es igual a la frecuencia de modulación, o por medio del producto de dos señales armónicas a las dos frecuencias consideradas.

Por otro lado, la amplitud de la onda de superficie ultrasonora es suficiente para llevar la gota a deformarse según un modo inercio-capilar de vibración propia. De preferencia, la amplitud de la onda ultrasonora de superficie, que corresponde al desplazamiento normal de la superficie del soporte sobre el cual se propaga la onda de superficie ultrasonora y medido por interferometría láser, es inferior a 50 nm. En un modo de realización particular del procedimiento, puede ser inferior a 5 nm, incluso inferior a 1 nm, incluso mismo inferior a 0,5 nm.

Para generar la onda de superficie ultrasonora, diferentes dispositivos, alimentados por una fuente de potencia eléctrica y opcionalmente un amplificador 18, pueden ser utilizados. Pueden ser elegidos entre un láser, un sonotone, un transductor. De preferencia, la onda de superficie ultrasonora es generada por medio de un transductor conectado con el soporte, de preferencia en contacto con el soporte.

En un modo de realización, el transductor es un transductor ultrasónico de contacto, que está particularmente adaptado para aplicaciones donde el área de la superficie sobre la cual la onda de superficie ultrasonora de propagación es superior a 10^{-3} m^2. Para optimizar la propagación de la onda del transductor hacia la superficie del soporte, un gel de transmisión de índice acústico adaptado en impedancia puede disponerse en sándwich entre el transductor acústico y la superficie.

En una primera variante, como se ha ilustrado en la figura 1, particularmente cuando el substrato presenta un espesor inferior a la longitud de onda de superficie ultrasonora y/o que esta última sea una onda de Lamb, el transductor ultrasónico de contacto 20a es de preferencia situado en ángulo recto con la superficie sobre la cual la onda ultrasonora se propaga. Un segundo transductor del mismo tipo puede disponerse en la superficie opuesta a aquella sobre la cual la onda ultrasonora se propaga.

En una segunda variante, como se ha ilustrado en la figura 2, particularmente cuando el substrato presenta un espesor superior a la longitud de la onda de superficie ultrasonora y/o cuando esta última es una onda de Rayleigh, el transductor ultrasónico de contacto 20b está dispuesto, por ejemplo, por medio de un calzo 25, de forma que el eje del transductor forme un ángulo θ con la normal a la superficie sobre la cual la onda de superficie ultrasonora se propaga, inferior a 90º y cuyo valor puede determinarse utilizando la ley de Snell-Descartes.

En otro modo de realización, particularmente para aplicaciones donde el área de la superficie sobre la cual la onda de superficie ultrasonora se propaga es inferior a 10^{-3} m^2 y en particular aplicaciones de tipo microfluídico, el transductor 20 comprende de preferencia peines 30a, 30b interdigitados dispuestos en contacto directo del soporte o en contacto con una capa intermedia situada sobre el soporte, siendo la capa intermedia de un material piezoeléctrico, en particular seleccionado entre el grupo formado por el niobato de litio, el nitruro de aluminio, el titanio-zircanato de plomo, y sus mezclas. Las figuras 3 y 4 ilustran dispositivos según este modo de realización. En la figura 3, el soporte 5 es de material piezoeléctrico y está recubierto por y en contacto con el transductor. En variante, como se ha ilustrado en la figura 4, el soporte 5 es un material no piezoeléctrico, y está recubierto por una capa intermedia 35 de un material piezoeléctrico. Un transductor está dispuesto en contacto con la capa intermedia.

En el caso de un soporte que presenta un área de propagación de la onda de superficie elevada, por ejemplo, superior a 10^{-3} m^2, o cuando la superficie está recubierta por una pluralidad de gotas, una pluralidad de ondas de superficie

ultrasonoras puede ser generada por medio de una red de transductores. Una red de transductores permite así limitar los efectos de interacción y de difusión de onda por cada gota individual de la pluralidad de gotas. El experto en la materia sabe adaptar la disposición de los transductores de la red con el fin de generar ondas de superficie ultrasonoras que presentan una amplitud suficiente para llevar las gotas a deformarse según un modo inercio-capilar.

FUERZA EXTERNA

La fuerza externa permite favorecer el deslizamiento de la gota que vibra según un modo propio inercio-capilar.

En particular, el deslizamiento puede ser obtenido con una pequeña fuerza externa. De preferencia, la fuerza externa es inferior a la fuerza necesaria para desplazar la gota sobre la superficie del soporte cuando no se genera ninguna onda ultrasonora en la superficie del soporte.

De preferencia, la fuerza externa es seleccionada entre las fuerzas gravitacionales, de inercia, reacción, fricción, magnética, eléctrica, o puede resultar de la puesta en movimiento de un fluido, por ejemplo, aire, o puede resultar del contacto de la gota con un cuerpo en movimiento. De preferencia, es una fuerza gravitacional, en particular en la variante donde el soporte está inclinado. Una fuerza gravitacional presenta la ventaja de no necesitar ningún dispositivo particular para ser aplicado a la gota. La fuerza externa puede bien entendido resultar de una combinación de las fuerzas externas descritas en este párrafo.

A título ilustrativo, en el caso en que el soporte sea un parabrisas inclinado de un vehículo automóvil, la fuerza externa puede presentar una componente gravitacional y una componente aerodinámica resultante del movimiento del vehículo. A baja velocidad, la componente aerodinámica es más baja que la componente gravitacional, si bien la fuerza externa actúa para favorecer el deslizamiento de la gota hacia abajo. Al contrario, cuando el vehículo circula a alta velocidad, la componente aerodinámica puede volverse preponderante, y la gota se desliza entonces bajo la acción de la fuerza externa sobre el parabrisas en dirección al techo del vehículo.

Ejemplos

Un dispositivo tal como se ha ilustrado en la figura 3 es preparado para poner en práctica el procedimiento según la invención.

El soporte está inclinado con relación a la horizontal por un ángulo α comprendido entre 10 y 40º.

El soporte es de niobiato de litio cortado a 128º, sobre el cual se dispone un transductor que comprende electrodos interdigitados depositados por fotolitografía. Estos electrodos están constituidos por una capa de adhesión al soporte de titanio de 20 nm de espesor y por una capa conductora de oro de un espesor de 100 nm. La anchura de los electrodos y su separación α son las dos iguales a 43,75 µm. Determinan la frecuencia de resonancia f_{saw} del transductor calculada como siendo igual a $f_{saw} = \frac{c_s}{\lambda} = \frac{c_s}{4a}$ = 19,7 MHz donde λ es la longitud de onda de la onda longitudinal y c_s = 3484 m/s es la velocidad de propagación de la onda de Rayleigh según el eje cristalográfico Z del niobiato de litio. Una tensión alternativa es aplicada por un generador IFR2023A y amplificada por un amplificador de marca Empower, modelo BBM0D3FE1 generando entonces ondas de Rayleigh que se propagan por la superficie del soporte. La potencia acústica de la onda generada se calcula a partir de la medición del desplazamiento normal de la superficie por interferometría láser y la frecuencia de la onda.

El transductor se posiciona sobre el soporte de tal forma que la onda ultrasonora de superficie se propague según la dirección de inclinación del soporte hacia lo alto.

Por otro lado, una capa monoatómica de octadeciltriclorosilano se deposita sobre la superficie del soporte para hacerla hidrófoba y para controlar el ángulo de contacto de la gota con el soporte.

Para cada ensayo, una gota de agua se deposita sobre el soporte.

Diferentes volúmenes de gota V son utilizados para los ensayos: 2 µl, 5 µl, 10 µl y 15 µl.

En reposo, sin aplicación de una onda ultrasonora de superficie, la gota permanece inmóvil sobre la superficie, sea cual fuere el ángulo de inclinación del soporte.

Las ondas son seguidamente generadas en continuo. La gota se pone entonces a vibrar y su dinámica es registrada con la ayuda de una cámara ultra-rápida Photron SA3 equipada con un fuelle y un objetivo macro con una longitud focal de 100 mm.

La posición de las líneas de contacto es seguidamente determinada por tratamiento de las imágenes adquiridas por la cámara con el software imageJ, lo cual permite comprobar si la gota permanece adherida al soporte o si la misma se ha liberado de él.

Para los diferentes ensayos del ejemplo, ondas con número de Weber acústico We_{ac} inferior a 0,5 son generadas.

El número de Weber acústico We_{ac} caracteriza el comportamiento de una onda ultrasonora de superficie para deformar la superficie. Se expresa según la ecuación siguiente:

$$We_{ac} = \frac{\rho A_s^2 \omega_s^2 R}{\sigma \cos^2 \theta_R}$$

donde:

- ρ es la masa volúmica del líquido, expresada en $kg.m^{-3}$,
- A_s es la amplitud de la onda ultrasonora, correspondiente al desplazamiento normal de la superficie de la onda medido por interferometría láser, y expresada en m,
- ω_s es la pulsación de la onda ultrasonora, expresada en $rad.s^{-1}$ ($\omega_s = 2\pi f_s$ donde f_s es la frecuencia fundamental de la onda),
- $R = \left(\frac{3V}{2\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$ es el radio equivalente de la gota calculado a partir del volumen V de la gota, expresado en m^{-3},
- θ_R es el ángulo de Rayleigh, obtenido a partir de la ley de Snell-Descartes, que caracteriza la dirección de propagación de la onda acústica en el seno del líquido constitutivo de la gota, y
- σ es la tensión superficial entre el soporte y la gota de líquido, expresada en $N.m^{-1}$.

Sea cual fuere la inclinación del soporte, para una onda ultrasonora que presenta un número de Weber acústico We_{ac} inferior a 0,2, la gota vibra según un modo inercio-capilar y la misma es liberada de su adhesión al soporte. La misma se desliza entonces a lo largo del soporte hacia abajo, movida por la acción de la gravedad.

A título comparativo, cuando el número de Weber es superior a 0,2, la deformación asimétrica de la gota inducida por la onda de superficie, es suficiente para que ésta se deforme en el sentido de propagación de la onda. Para un bajo ángulo de inclinación, la misma se propaga en el sentido de propagación de la onda, subiendo a lo largo del soporte. Para un ángulo más elevado, la misma se propaga en el sentido opuesto.

Para números de Weber superiores a 1, la deformación asimétrica de la gota puede ser tal que la gota se escinda. Esta división de la gota puede producirse por atomización de la gota o debido a los efectos opuestos de las fuerzas de gravedad y acústica.

Bien entendido, la invención no está limitada por los ejemplos, proporcionados para fines ilustrativos solamente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para favorecer el deslizamiento de al menos una gota (15) sobre un soporte (5), procedimiento en el cual una onda de superficie ultrasonora (10) es generada en el soporte con una amplitud suficiente para llevar la gota a deformarse según un modo inercio-capilar de vibración propia reduciendo así la adherencia de la gota al soporte, con el fin de facilitar el desplazamiento de la gota bajo el efecto de una fuerza externa, siendo la amplitud de la onda de superficie ultrasonora insuficiente para producir una deformación asimétrica de la gota al punto de llevarla a desplazarse en ausencia de la fuerza externa en el sentido de propagación de la onda de superficie ultrasonora.

2. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el cual la frecuencia fundamental y la amplitud de la onda ultrasonora de superficie se adaptan para que la relación de la amplitud de oscilación de la gota sobre el tamaño en reposo de la gota sea inferior o igual a 1,4, incluso inferior o igual a 1,3, incluso mismo inferior o igual a 1,15, siendo la amplitud de oscilación de la gota la de mayor diámetro de la esfera más pequeña circunscrita a la gota, medida en un periodo de vibración de la gota, cuando una onda acústica de superficie se aplica al soporte.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual la frecuencia fundamental de la onda de superficie ultrasonora está comprendida entre 1 Mhz y 100 Mhz.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la frecuencia fundamental de la onda de superficie ultrasonora se modula a una frecuencia de modulación comprendida entre los 20 Hz y los 10 kHz, siendo la frecuencia fundamental de la onda de superficie de preferencia modulada por la frecuencia propia del modo simétrico inercio-capilar de vibración propia de la gota.

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la onda de superficie es una onda de Rayleigh o una onda de Lamb.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la gota presenta un tamaño (Φ) inferior a 5 mm, particularmente comprendido entre 0,1 mm y 1,5 mm, por ejemplo, igual a 1 mm.

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la frecuencia propia del modo inercio-capilar de vibración propia de la gota está comprendido entre los 20 Hz y 10 kHz.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el soporte es de un material que presenta un módulo de elasticidad superior a 0,1 MPa.

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el soporte es de un material seleccionado entre los materiales piezoeléctricos, los polímeros, en particular los termoplásticos, los vidrios, los metales y las cerámicas.

10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la onda de superficie ultrasonora es generada por medio de un transductor (20; 20a; 20b) conectado al soporte, de preferencia en contacto con el soporte, comprendiendo el transductor de preferencia peines interdigitados (30a; 30b) dispuestos en contacto directo del soporte o en contacto con una capa intermedia (35) dispuesta sobre el soporte, siendo la capa intermedia de un material piezoeléctrico, en particular seleccionado entre el grupo formado por el niobato de litio, el nitruro de aluminio, el titanio-zircanato de plomo, y sus mezclas.

11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la fuerza externa se selecciona entre las fuerzas de gravedad, inercia, de reacción, magnética, eléctrica, de fricción, particularmente resultante de la puesta en movimiento de un fluido, por ejemplo, aire o es una fuerza de gravedad o resulta del contacto de la gota con un cuerpo en movimiento.

12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el líquido que constituye la gota es seleccionado entre el agua, particularmente el agua de lluvia, un líquido biológico, por ejemplo, una sangre animal o humana, un líquido apto para limpiar el soporte, una solución química, un carburante y sus mezclas.

13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el soporte es de un material ópticamente transparente.

14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el soporte es seleccionado entre un acristalamiento de un vehículo, un acristalamiento de un edificio, una lente de un dispositivo óptico, un substrato de un laboratorio sobre chip, una pared interna de un motor de combustión, un elemento de turbina, por ejemplo un álabe, un cable eléctrico, un elemento de la estructura de una aeronave, por ejemplo un ala, un fuselaje o un estabilizador, un elemento de un implante médico, un elemento de un intercambiador de calor, un elemento de una instalación de fontanería, un elemento de un sistema de ventilación, un elemento de un sistema de extracción de petróleo de un pozo, un elemento de almacenado de alimento, por ejemplo una pared interna de un frigorífico, una pared expuesta a la condensación de un líquido.

15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la temperatura de superficie del soporte es superior a 100ºC.

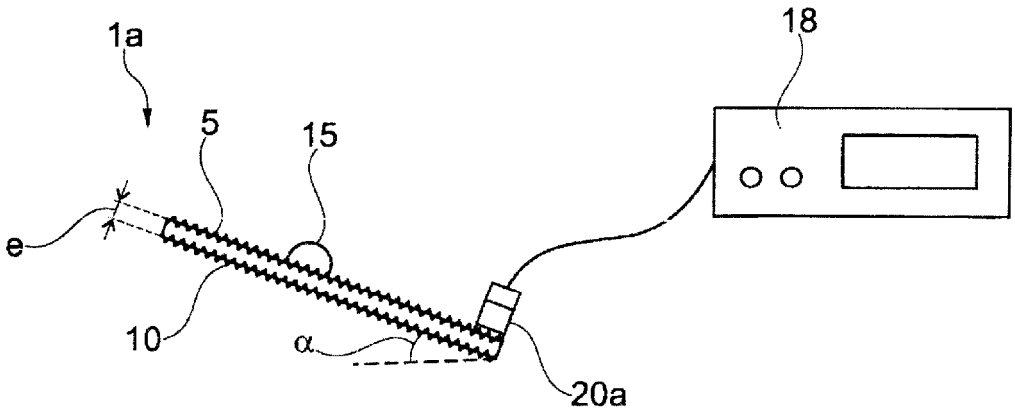

Fig. 1

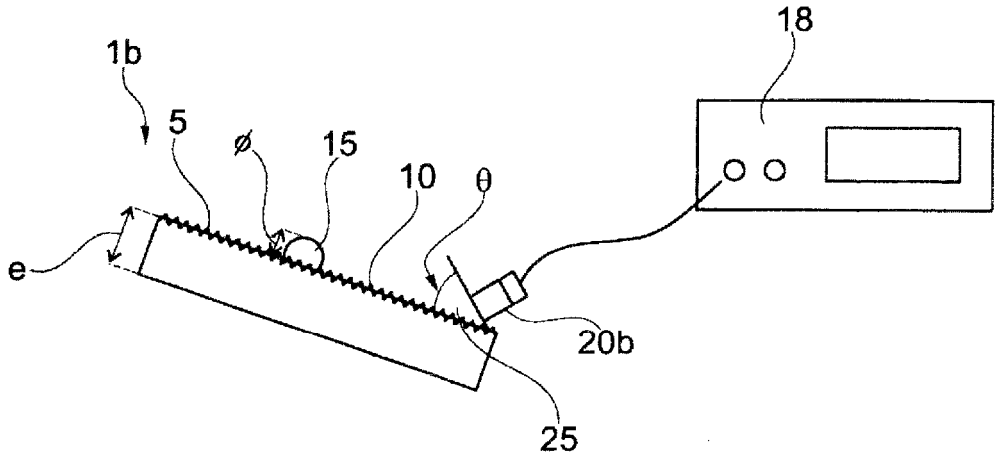

Fig. 2

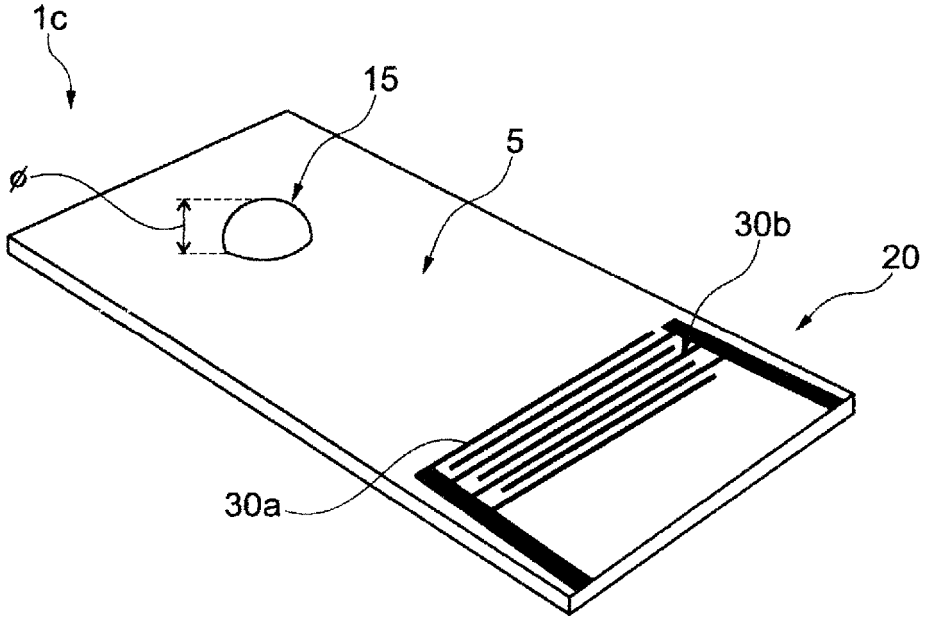

Fig. 3

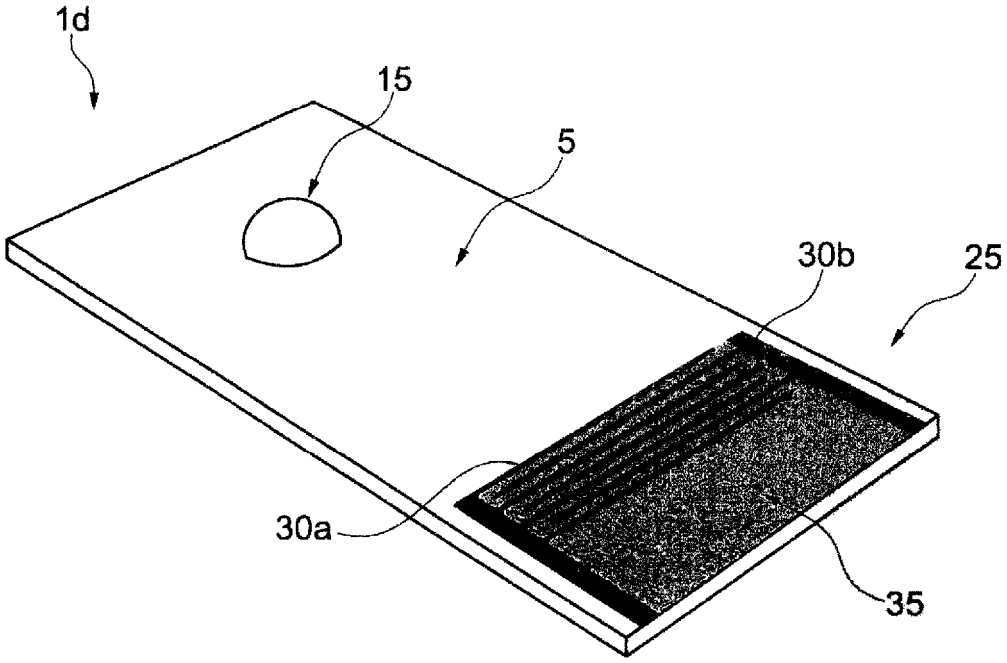

Fig. 4