(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 492 692**

(51) Int. Cl.:

B63B 1/38 (2006.01)
B01F 3/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2011** **E 11726826 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014** **EP 2585364**

(54) Título: **Reducción del roce de un casco de un barco**

(30) Prioridad:

22.06.2010 US 357380 P
22.06.2010 DK 201070283

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.09.2014

(73) Titular/es:

KAPTEIJN, PIETER KAREL ANTON (100.0%)
Niels Andersensvej 53
2900 Hellerup, DK

(72) Inventor/es:

KAPTEIJN, PIETER KAREL ANTON

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 492 692 T3

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

Reducción del roce de un casco de un barco

Campo de la invención

Esta invención se refiere en general a la generación de burbujas, en particular microburbujas, para la reducción del roce de un casco de un barco.

Antecedentes de la invención

En general es deseable reducir la resistencia por fricción, también denominada como roce, del casco de un barco, dado que esto puede incrementar la velocidad de operación del barco y/o reducir el consumo de combustible.

El documento JP10119875A describe un sistema para la reducción de la resistencia por fricción de un barco mediante la formación de una boquilla de salida en una cámara instalada sobre una superficie de un arco esférico de un cuerpo de barco, y mediante la eyección de aire a presión suministrado a la cámara por un medio de suministro de aire a presión, desde la boquilla de salida, de modo que se interpongan las burbujas y una capa de aire sobre una capa límite mantenida en contacto con una superficie sumergida. La boquilla de salida se forma mediante una placa frontal de una cámara cuya placa frontal tiene un cierto número de poros. La presión de aire se inyecta en el agua desde los poros de modo que se generen un cierto número de burbujas en el exterior de la boquilla de salida de tal manera que se extiendan a lo largo de las líneas de flujo y cubran la superficie sumergida, mediante lo que se reduce la fricción.

El documento GB2429435A describe un casco de navío que tiene un aparato de lubricación por aire que comprende una bomba de aire para el suministro de aire presurizado a una membrana porosa fijada al exterior del casco y quilla, o un sistema de conductos de aire fijados a la quilla y casco del navío, o montados dentro del casco del navío.

El documento JP10175587A describe un método en el que se suministran pequeñas burbujas de aire en una capa límite de modo que reduzca la generación de resistencia por fricción de un casco. Las burbujas se soplan al exterior de la placa porosa en la que se forman un cierto número de pequeños orificios en separaciones dadas.

El documento CN2652812Y describe un generador de microburbujas usado para la reducción del roce que comprende una cavidad, una tubería de conexión, una máquina motriz de aire a presión y una placa de silicio porosa.

El documento US 2009/0260561 describe un aparato para la generación de burbujas de un fluido para la reducción del roce de un casco de un barco, en el que el dispositivo de generación de burbujas se fija a una superficie exterior del casco, y en el que el aparato comprende uno o más dispositivos microfluídicos para la generación de dichas burbujas.

El documento WO 2008/053174 describe un difusor de vidrio construido a partir de dos láminas de vidrio adheridas cara con cara, en el que, se han grabado canales sobre una lámina.

El documento US 5.524.660 describe una boquilla de tipo placa con una placa de boquilla, con una cámara de atomización y una placa de cubierta dispuesta sobre una cámara de atomización.

Sin embargo, aunque los sistemas de la técnica anterior describen la generación de burbujas por medio de generadores de burbujas que se pueden integrar en un casco de barco, subsiste un problema en proporcionar un método para la generación de microburbujas para la reducción de modo eficiente del roce o resistencia por fricción de un casco de barco durante diferentes condiciones de operación, por ejemplo diferentes velocidades, temperatura de agua, corrientes y/u otras similares.

Sumario

Se describe en el presente documento un aparato para la generación de burbujas para la reducción del roce de un casco de un barco, en el que el dispositivo de generación de burbujas se puede fijar a una superficie exterior del casco, y en el que el aparto comprende un dispositivo microfluídico para la generación de burbujas de un tamaño de burbuja bien definido en las burbujas generadas, en el que el aparato comprende una estructura en capas que comprende dos o más capas, en el que al menos una de las capas comprende una microestructura que forma al menos una parte de uno o más dispositivos microfluídicos, y en el que al menos una de las capas comprende un canal de suministro que conecta a los uno o más dispositivos microfluídicos para la alimentación de aire comprimido al interior de los dispositivos microfluídicos. Las burbujas se forman en una capa límite del agua que rodea el casco, es decir en la interfaz entre el casco y el agua que lo rodea.

El tamaño de burbuja de las burbujas generadas puede ser controlable por medio de un dispositivo microfluídico, por ejemplo mediante el control de un flujo del fluido que forma burbujas, mediante lo que se proporciona un control eficiente del tamaño de burbuja, lo que a su vez permite una reducción eficiente y controlable del roce incluso en diferentes condiciones de operación.

Generalmente, los dispositivos microfluídicos permiten un control y manipulación precisa de los fluidos que están restringidos geométricamente a una escala pequeña, normalmente submilimétrica. Generalmente un dispositivo microfluídico puede comprender un dispositivo que proporciona al menos un recorrido de fluido que tiene una dimensión lateral de menos de 3 mm, por ejemplo menor de 1 mm, por ejemplo menor de 500 micrómetros, por ejemplo entre 100 nm y 500 micrómetros. El comportamiento de los fluidos a microescala puede diferir del comportamiento 'macrofluídico' en factores tales como la tensión superficial, disipación de energía, y resistencia al fluido que dominan el sistema. A escalas pequeñas, donde los diámetros del canal son de aproximadamente 100 nanómetros a varios centenares de micrómetros, el número de Reynolds, que compara el efecto del momento de un fluido con el efecto de la viscosidad, puede llegar a ser muy bajo. Esto da como resultado que los fluidos no se pueden mezclar en el sentido tradicional; y el transporte molecular entre los fluidos puede realizarse a través de difusión.

El término dispositivo microfluídico se refiere a cualquier estructura microfluídica para la manipulación de un flujo de fluido continuo a través de canales microfabricados. La actuación del flujo de fluido puede ser implementada o bien mediante fuentes de presión externa, bombas mecánicas externas, microbombas mecánicas integradas, o mediante combinaciones de fuerzas capilares y mecanismos electrocinéticos.

Las burbujas generadas pueden ser microburbujas, es decir burbujas que tienen un diámetro de menos de 1 mm, por ejemplo menos de 200 μm, por ejemplo menos de 150 μm, por ejemplo menos de 100 μm, tal como menos de 50 μm, proporcionando de ese modo una reducción del roce eficiente mientras se mantiene una flotabilidad suficiente. Al adaptar el tamaño de las burbujas generadas, puede mejorarse la reducción del roce y adaptarse a diferentes condiciones de operación. Las microburbujas se pueden generar mediante el control de un flujo o suministro de un fluido de formación de burbujas tal como aire u otro gas o mezcla de gases adecuados, o incluso líquido. El término fluido de formación de burbujas se pretende referir a cualquier fluido adecuado, tal como un líquido, un gas o una mezcla de gases, por ejemplo aire, que forma burbujas cuando se libera en el interior del agua que rodea al casco del barco. En algunas realizaciones, el aparato comprende una pluralidad de conjuntos de dispositivos microfluídicos, en el que los dispositivos microfluídicos de cada conjunto están adaptados para generar burbujas a una frecuencia predeterminada respectiva, y en el que el aparato comprende un selector de flujo para dirigir selectivamente un flujo de suministro del fluido de formación de burbujas a uno o a un subconjunto del conjunto de dispositivos microfluídicos diferentes en su frecuencia.

En algunas realizaciones, el dispositivo microfluídico está adaptado para generar burbujas de un tamaño de burbuja controlable proporcionando un flujo controlable de fluido de formación de burbujas, flujo que varía a lo largo del tiempo, por ejemplo periódicamente. Por ejemplo, el dispositivo microfluídico puede adaptarse para crear un flujo que varíe periódicamente. Ejemplos de dispositivos microfluídicos adecuados incluyen un oscilador microfluídico, un oscilador microfluídico biestable, un amplificador microfluídico, un conmutador microfluídico, y/o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, el tamaño y/o frecuencia de las burbujas generadas puede controlarse mediante la selección y/o el control de una frecuencia del flujo que varía periódicamente, por ejemplo una frecuencia de generación de las burbujas generadas. En consecuencia, el dispositivo microfluídico puede comprender un amplificador fluídico controlable y/o un oscilador fluídico controlable y/o un conmutador fluídico controlable.

Es una ventaja adicional proporcionar una frecuencia controlable de la corriente de burbujas generada, dado que permite la selección y/o control de la frecuencia de las burbujas de modo que se controle la distancia entre burbujas adyacentes y por ello se reduzca o incluso minimice la coalescencia de las burbujas generadas.

En algunas realizaciones, el aparato es un dispositivo apto para modernizaciones que se puede equipar en barcos existentes. El aparato puede por ejemplo equiparse en un barco en un dique seco, de modo que permita que sean limpiadas y preparadas apropiadamente las superficies a las que el aparato se fija. El aparato puede equiparse incluso bajo el agua mediante una técnica de unión subacuática adecuada, tal como soldadura, adhesivos epoxi, etc.

En general, el aparato se puede fijar a la superficie exterior del casco, por ejemplo al fondo y/o a una pared lateral del barco, mediante cualquier medio de fijación adecuado tal como soldadura, adhesivo, unión por resina epoxi; unión por resina epoxi de dos componentes, por medio de imanes tales como imanes permanentes, etc. o combinaciones de los mismos.

El aparato puede comprender una pluralidad de boquillas de escape u otras salidas adecuadas para las burbujas generadas como por ejemplo boquillas a partir de las que el fluido de formación de burbujas se hace salir en la forma de burbujas. Cada uno de los uno o más dispositivos microfluídicos puede estar en comunicación para fluidos con las una o más boquillas de salida. Las boquillas pueden tener un diseño y una disposición específica para el casco específico y/o tamaño de burbuja deseado y/o forma. Las salidas para las burbujas generadas se pueden recubrir para facilitar el flujo al exterior del dispositivo microfluídico, por ejemplo mediante un recubrimiento hidrofílico o

hidrofóbico, por ejemplo un recubrimiento de teflón.

El aparato puede comprender adicionalmente uno o más canales de suministro para la alimentación del fluido de formación de burbujas al dispositivo microfluídico. Adicionalmente el aparato puede comprender uno o más canales de control para proporcionar un flujo de control de un fluido, por ejemplo el fluido de formación de burbujas, al dispositivo microfluídico de modo que controle un parámetro de operación del dispositivo microfluídico.

En una realización, el aparato se forma como una o más tiras y/o láminas y/o placas que se fija o fijan al exterior del casco del barco. La forma de la placa o tira puede adaptarse para ajustarse a una o más formas y tamaños de casco específicos. El aparato se puede hacer de metal, tal como acero, de polímeros, plásticos, silicona, PDMS, un material compuesto, etc. y/o combinaciones de los mismos. El aparato puede tener un grosor (es decir una dimensión ortogonal a la superficie exterior del casco del barco) que sea menor de 20 mm, tal como menor de 10 mm, por ejemplo menor de 7 mm, por ejemplo menor de 5 mm, por ejemplo menor de 3 mm, tal como menor de 2 mm, menor de 1 mm, o incluso menor de aproximadamente 0,5 mm, reduciendo de ese modo el roce adicional generado por el aparato. La superficie exterior del aparato y/o las superficies interiores de las boquillas e incluso las superficies interiores del dispositivo microfluídico y/o canales se pueden recubrir mediante un agente antisuciedad o comprender en otra forma un agente antisuciedad.

El aparato comprende una estructura en capas, por ejemplo teniendo una capa base, una o más capas medias, y una capa de cobertura. Una o más de las capas comprenden microestructuras, por ejemplo provistas en una superficie de la capa, que forman un dispositivo o dispositivos microfluídicos. Cada dispositivo microfluídico se puede disponer en una única capa o formarse mediante una combinación de microcaracterísticas de diferentes capas. La capa base puede proporcionar una superficie de soporte que puede fijarse al casco y soportar la capa media. La capa base puede hacerse por ejemplo de metal tal como acero que puede unirse al casco del barco, por ejemplo mediante soldadura, por medio de un adhesivo adecuado, imanes y/o similares. La capa media y/o las otras capas pueden estar hechas de un material adecuado en el que se pueden formar las estructuras microfluídicas. Ejemplos de materiales adecuados incluyen polímeros, plásticos, silicona, PDMS, un metal tal como acero inoxidable, etc. o combinaciones de los mismos. Las estructuras microfluídicas pueden formarse en una o más de las capas mediante cualquier proceso adecuado para la generación de estructuras microfluídicas, por ejemplo mediante un proceso de grabado adecuado. Una o más de las capas pueden comprender adicionalmente uno o más canales y/o similares para el suministro del fluido de formación de burbujas, para la alimentación del fluido de formación de burbujas a las boquillas de salida y/o similares. Las boquillas de salida se pueden formar en una capa de cobertura. Alternativamente, las boquillas pueden estar provistas en la capa media, por ejemplo en un borde de la capa media.

El aparato se puede conectar a un compresor de aire u otro aparato de suministro del fluido para el suministro del fluido de formación de burbujas. De modo similar, el aparato puede conectarse a una unidad de control para el control de la operación del aparato.

Se describe en el presente documento un aparato para la generación de burbujas de un fluido para la reducción del roce sobre un casco de un barco, en el que el dispositivo de generación de burbujas se puede fijar a una superficie exterior del casco, y en el que el aparato comprende uno o más dispositivos microfluídicos para el control de un tamaño de burbuja de las burbujas generadas y en el que el al menos un dispositivo microfluídico comprende:

- un orificio de entrada para el suministro de un flujo del fluido;
- un primer canal que comprende una primera boquilla para la generación de burbujas del fluido para reducción del roce sobre un casco de un barco, estando dicho primer canal en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada a través de una cámara central; y
- un primer canal de control que comprende una primera entrada de control configurada para controlar el flujo a través de dicha primera boquilla, estando dicha primera entrada de control en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada y dicho primer canal a través de dicha cámara central.

En consecuencia, se proporciona un sistema flexible y simple capaz de producir microburbujas de un tamaño variable. Mediante el uso de canales de control para el control del tamaño de la burbuja, se puede usar una fuente de fluido central simple, por ejemplo un compresor simple, que no tenga funcionalidades complejas de control de flujo directo.

La sección transversal del orificio de entrada, la primera boquilla y/o la primera entrada de control pueden tener un ancho más grande, menor de 3 mm, por ejemplo menor de 1 mm, por ejemplo menor de 500 micrómetros, por ejemplo entre 100 nm y 500 micrómetros.

En algunas realizaciones, el al menos un dispositivo microfluídico comprende adicionalmente

- un segundo canal que comprende una segunda boquilla para la generación de burbujas de fluido para la reducción del roce de un casco de un barco, estando dicho segundo canal en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada y dicha entrada de control a través de dicha cámara central, y en el que dicha primera entrada

de control se configura adicionalmente para controlar el flujo a través de dicha segunda boquilla.

En consecuencia, se puede desplazar periódicamente un flujo entre la primera boquilla y la segunda boquilla. Esto se puede usar para controlar el tamaño de las microburbujas generadas mediante la variación de la frecuencia con la que se desplaza el flujo entre la primera y boquilla y la segunda boquilla, por ejemplo bajo algunas circunstancias mediante el incremento de la frecuencia se crean microburbujas más pequeñas y mediante la disminución de la frecuencia se crean microburbujas mayores.

La sección transversal de la segunda boquilla puede tener un ancho más grande de menos de 3 mm, por ejemplo menor de 1 mm, por ejemplo menor de 500 micrómetros, por ejemplo entre 100 nm y 500 micrómetros.

En algunas realizaciones, al menos un dispositivo microfluídico se configura para incrementar la resistencia al flujo total desde dicho orificio de entrada a dicha primera boquilla proporcionando un primer flujo de control a través de dicha primera entrada de control al interior de dicha cámara central.

En consecuencia, el flujo a través del primer canal se puede disminuir temporalmente. Esto se puede usar para controlar el tamaño de las microburbujas generadas.

El primer flujo de control puede ser transitorio, por ejemplo el primer flujo de control puede tener una duración temporal de no más de 10 segundos, 5 segundos, 2 segundos, 1 segundo, 200 milisegundos, 100 milisegundos, 50 milisegundos, 25 milisegundos o 10 milisegundos. El primer flujo de control puede tener un caudal medio sustancialmente menor que el caudal medio a través del orificio de entrada. El primer flujo de control puede tener un caudal medio correspondiente a menos del 50 %, 25 %, 15 % o 10 % del caudal medio a través del orificio de entrada. El primer flujo de control puede incrementar la resistencia del flujo total desde dicho orificio de entrada a dicha primera boquilla cuando el dispositivo microfluídico comprende tanto un único canal como una pluralidad de canales. El primer flujo de control puede incrementar la resistencia del flujo creando un vórtice en la cámara central. La resistencia del flujo puede incrementarse en al menos el 50 %, 100 %, 500 %, 5000 % e infinito. El primer flujo de control se puede repetir periódicamente con una frecuencia, por ello el flujo a través de la primera boquilla puede disminuirse de modo significativo periódicamente, por ejemplo detenerse periódicamente. La frecuencia con la que el primer flujo de control se repite puede determinar el tamaño de las microburbujas generadas, por ejemplo bajo algunas circunstancias, aumentando la frecuencia se crean microburbujas más pequeñas y disminuyendo la frecuencia se crean microburbujas mayores.

En algunas realizaciones, el al menos un dispositivo microfluídico se configura para desplazar un flujo que circula a través de dicho primer canal a dicho segundo canal proporcionando un primer flujo de control que circula a través de dicha primera entrada de control al interior de dicha cámara central, mediante lo que al menos el 50 %, 60 %, 80 %, 95 %, 99 % o 100 % del flujo que habría circulado a través de dicho primer canal se redirige para circular a través de dicho segundo canal.

El primer flujo de control puede ser transitorio, por ejemplo el primer flujo de control puede tener una duración temporal de no más de 10 segundos, 5 segundos, 2 segundos, 1 segundo, 200 milisegundos, 100 milisegundos, 50 milisegundos, 25 milisegundos o 10 milisegundos. El primer flujo de control puede tener un caudal medio sustancialmente menor que el caudal medio a través del orificio de entrada. El primer flujo de control puede tener un caudal medio que corresponda a menos del 50 %, 25 %, 15 % o 10 % del caudal medio a través del orificio de entrada. El primer flujo de control puede repetirse periódicamente con una frecuencia que crea la primera señal de flujo de control.

En algunas realizaciones, dicho al menos un dispositivo microfluídico comprende adicionalmente

-- un segundo canal de control que comprende una segunda entrada de control para el control del flujo a través de dicha primera boquilla y dicha segunda boquilla, estando dicha segunda entrada de control en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada, dicho primer canal, dicho segundo canal y dicha primera entrada de control a través de dicha cámara central.

La sección transversal de la segunda entrada de control puede tener un ancho más grande de menos de 3 mm, por ejemplo menor de 1 mm, por ejemplo menor de 500 micrómetros, por ejemplo entre 100 nm y 500 micrómetros.

En algunas realizaciones, el al menos un dispositivo microfluídico se configura para desplazar un flujo que circula a través de dicho segundo canal a dicho primer canal proporcionando un segundo flujo de control que circula a través de dicha segunda entrada de control al interior de dicha cámara central, por lo que al menos el 50 %, 60 %, 80 %, 95 %, 99 % o 100 % del flujo que habría circulado a través de dicho segundo canal se redirige para circular a través de dicho primer canal.

El segundo flujo de control puede ser transitorio por ejemplo el segundo flujo de control puede tener una duración temporal de no más de 10 segundos, 5 segundos, 2 segundos, 1 segundo, 200 milisegundos, 100 milisegundos, 50 milisegundos, 25 milisegundos o 10 milisegundos. El segundo flujo de control puede tener un caudal medio

sustancialmente menor que el caudal medio a través del orificio de entrada. El primer flujo de control puede tener un caudal medio correspondiente a menos del 50 %, 25 %, 15 % o 10 % del caudal medio a través del orificio de entrada. El segundo flujo de control puede repetirse periódicamente con una frecuencia que crea una segunda señal de flujo de control. El primer flujo de control y el segundo flujo de control pueden repetirse de una forma sincronizada. La señal del primer flujo de control puede tener la misma frecuencia que la segunda señal de flujo de control. La primera señal de flujo de control puede estar desplazada en fase 180 grados con relación a la segunda señal de flujo de control. Esto se puede usar para controlar el tamaño de las microburbujas generadas variando la frecuencia de la primera señal de flujo de control y de la segunda señal de flujo de control. El flujo puede desplazarse más rápido o más lento entre la primera boquilla y la segunda boquilla, creando así microburbujas más grandes o más pequeñas, por ejemplo bajo algunas circunstancias, incrementando la frecuencia se crean microburbujas más pequeñas y disminuyendo la frecuencia se crean microburbujas mayores.

En alguna realización, dicho al menos un dispositivo microfluídico comprende adicionalmente un canal de realimentación que conecta dicho primer canal de control y dicho segundo canal de control, por lo que dicha primera salida de control y dicha segunda salida de control están en comunicación directa para fluidos.

En consecuencia se pueden crear flujos de control sin necesidad de un sistema de generación de flujo de control.

En algunas realizaciones, el primer canal de control y/o el segundo canal de control están en comunicación para fluidos con un sistema de control configurado para generar flujos de control a través del primer canal de control y/o del segundo canal de control.

El sistema de control puede controlarse mediante una unidad de procesamiento capaz de generar señales de flujo de control adecuadas. El sistema de control puede conectarse en paralelo a una pluralidad de dispositivos microfluídicos. El sistema de control puede estar controlado manualmente o puede comprender algoritmos capaces de generar automáticamente señales de flujo de control adecuadas para las condiciones ambientales del barco, por ejemplo la velocidad del flujo de agua (velocidad del barco), temperatura del agua, u otros parámetros del agua que influencien el efecto de las microburbujas en la reducción del roce. El sistema de control puede comprender un dispositivo de generación de fluidos, por ejemplo un compresor, una bomba u otro dispositivo adecuado para la generación de los flujos de control.

En algunas realizaciones, el dispositivo comprende una pluralidad de dispositivos microfluídicos tal como se ha especificado anteriormente. El dispositivo puede comprender al menos 10, 20, 40, 70, 100, 200 o 2000 dispositivos microfluídicos.

La presente invención se refiere a diferentes aspectos que incluyen el dispositivo descrito anteriormente y a continuación, y métodos, dispositivos, usos y/o medios de productos correspondientes, que producen cada uno, uno o más de los beneficios y ventajas descritas en conexión con el primer aspecto mencionado, y teniendo cada uno, una o más realizaciones que corresponden a las realizaciones descritas en conexión con el primer aspecto mencionado y/o descrito en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, se describe en el presente documento un casco para un barco que comprende un aparato de generación de burbujas descrito en el presente documento. Las realizaciones del casco pueden comprender un dispositivo que comprende medios microfluídicos, en el que el dispositivo tiene una pluralidad de aberturas conectadas a una fuente de un fluido, por ejemplo gas, tal como aire presurizado, estando dispuestas dicha pluralidad de aberturas de modo que el fluido se pueda inyectar a través de dichas aberturas mediante lo que se forman burbujas en la capa límite del agua que rodea la superficie del casco, en el que se conectan un oscilador fluídico o un amplificador fluídico entre dicha fuente de fluido y cada una de dicha pluralidad de aberturas, siendo controlable cada uno de dichos osciladores fluídicos o amplificadores fluídicos de modo que el tamaño de las burbujas expulsadas desde las aberturas se pueda variar.

Se describe adicionalmente en el presente documento el uso de un dispositivo que comprende medios microfluídicos, adaptado para fijarse al exterior del casco de un barco para la generación de microburbujas para la reducción del roce del casco.

Breve descripción de los dibujos

Lo anterior y/u objetivos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se esclarecerán adicionalmente mediante la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitativa de las realizaciones de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 muestra esquemáticamente un barco que comprende un aparato de generación de burbujas.
La fig. 2 muestra esquemáticamente un aparato de generación de burbujas.
La fig. 3 ilustra esquemáticamente un oscilador microfluídico que alimenta alternativamente dos boquillas.
La fig. 4 ilustra esquemáticamente un oscilador microfluídico que alimenta alternativamente dos conjuntos de boquillas.

La fig. 5 ilustra esquemáticamente una realización de un aparato que comprende una pluralidad de conjuntos de osciladores microfluídicos.
La fig. 6 muestra esquemáticamente otra realización de un aparato de generación de burbujas.
La fig. 7 muestra esquemáticamente vistas en sección transversal de un aparato de generación de burbujas.
La fig. 8 muestra otro ejemplo de un aparato que incluye múltiples conjuntos de dispositivos microfluídicos tales como osciladores microfluídicos.
La fig. 9a muestra un dispositivo microfluídico de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.
La fig. 9b muestra un dispositivo microfluídico de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada

En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras adjuntas, que muestran por medio de una ilustración como se puede poner en práctica la invención.

La fig. 1 muestra esquemáticamente un barco que comprende un aparato de generación de burbujas. El barco, designado en general como 100, comprende un casco 101 que tiene fijado a él uno o más aparatos 102 de generación de burbujas tal como se describen en el presente documento. Cada aparato 102 de generación de burbujas se conecta a través de un conducto de suministro 106 con un compresor 105 para suministro de aire comprimido al aparato 102 de generación de burbujas a través del conducto de suministro 106. Por ejemplo, el compresor puede tomar y comprimir el aire ambiente, y opcionalmente añadir agentes de flujo en pequeñas cantidades. Incluso aunque el compresor de la fig. 1 se muestra situado en la parte posterior del barco, se comprenderá que el compresor se puede situar en cualquier posición adecuada del barco y/o la entrada de aire puede dirigirse en cualquier dirección adecuada. El aparato de generación de burbujas comprende boquillas de salida 103 desde las que se libera aire comprimido de modo que forme microburbujas 107 en la capa límite del agua que rodea el casco.

En el ejemplo de la fig. 1, se colocan múltiples aparatos 102 de generación de burbujas en localizaciones respectivas distribuidas a lo largo de la longitud del casco del barco. Cada aparato se extiende desde una posición próxima a la quilla hacia arriba a lo largo del casco. Cada aparato 102 genera una corriente respectiva de microburbujas 107 que, durante el movimiento del barco a través del agua, se extienden desde la boquilla de salida 103 hacia atrás y hacia arriba. Se apreciará que en diferentes realizaciones, el número y colocación del aparato puede variar. Por ejemplo, en algunas realizaciones un único aparato, por ejemplo colocado en la parte frontal del casco del barco puede ser suficiente, mientas que en otras realizaciones se pueden distribuir dos, tres o más aparatos a lo largo de la longitud del casco del barco. Para cada barco, se puede determinar un número y colocación óptima del aparato mediante modelos y/o simulaciones de flujo y/o prueba y error.

Cuando se soplan pequeñas burbujas a través de una abertura de una boquilla, puede no ser suficiente hacer el aparato tan pequeño como sea posible para generar burbujas a escala de micrómetros. Las razones para esto incluyen la presencia de una fuerza de humectación que fija la burbuja en crecimiento a la superficie sólida que forma al borde de la abertura. A menos que se rompa esta fuerza de anclaje, la burbuja crecerá hasta que la fuerza de flotación de la burbuja, que es proporcional a su volumen, supere la resistencia de anclaje de la burbuja, que es normalmente proporcional a su perímetro de contacto, y por lo tanto se desprenda. En este escenario de bajo desplazamiento de presión, el equilibrio de fuerzas normalmente desprende la burbuja en un tamaño del orden de magnitud mayor que el diámetro de la abertura. Adicionalmente, las propiedades de humectación de las superficies sólidas son importantes. Si la burbuja hace contacto con la superficie través de una zona mayor que el perímetro de la abertura, por ejemplo si la superficie sólida es hidrofóbica, entonces la fase de gas de la burbuja creciente formará una segunda fuerza de anclaje con la superficie sólida a través de un área más ancha, incrementando la fuerza de flotabilidad y por ello el volumen de la burbuja requerido para superarlo. Si la superficie es hidrofílica, entonces esta fuerza atractiva está ausente. Una segunda dificultad asociada con la generación de burbujas a partir de aberturas pequeñas es la dispersión múltiple de los tamaños de las burbujas y la irregularidad de la separación entre las burbujas que conduce a una rápida coalescencia de la nube de burbujas. Incluso si se forman pequeñas burbujas, entonces la coalescencia puede reducir rápidamente el beneficio.

Una tercera dificultad asociada con la generación de burbujas a partir de aberturas pequeñas se relaciona con la canalización en un banco de boquillas de poros o a través de un material cerámico poroso. La burbuja mayor que se forma proporciona el recorrido de menor resistencia, creciendo preferentemente contra todas las otras burbujas en el proceso de percolación paralelo en un banco de boquillas o de material cerámico poroso.

En realizaciones del aparato 102 de generación de burbujas descrito en el presente documento, el tamaño de burbujas se controla mediante un dispositivo microfluídico que evita al menos algunas de las dificultades anteriores.

La fig. 2 muestra esquemáticamente vistas en sección transversal de un aparato de generación de burbujas. La fig. 2a muestra una vista en sección del aparato en un plano horizontal. La dirección del flujo del agua con relación al casco del barco durante el movimiento hacia adelante del barco se ilustra por la flecha 220.

El aparato 202 es una estructura en capas que tiene una capa base 213 cuya superficie de soporte se une a la superficie exterior del casco 201 del barco tal como se ilustra en la fig. 2 mediante la capa de unión 218. Adicionalmente la estructura en capas 202 puede comprender dos o más capas adicionales 211 y 212 empaquetadas juntas mediante una técnica de unión adecuada. Por ejemplo, las capas del aparato pueden ser tiras o placas/láminas hechas de acero inoxidable o uno u o más de otros materiales adecuados, tales como plásticos, que se pueden asegurar al casco del barco. Las capas 211, 212, 213 se pueden soldar juntas y/o encolar juntas mediante un material adhesivo adecuado, por ejemplo un material basado en epoxi. La capa base se puede unir al casco del barco mediante soldadura, una sustancia adhesiva adecuada, por ejemplo una sustancia adhesiva a base de a epoxi, imanes y/o similares. El aparato 202 comprende una capa media 212 dentro de la que se embeben uno o más dispositivos microfluídicos 215, por ejemplo un oscilador microfluídico, por ejemplo mediante un proceso de grabado. Por ejemplo, los dispositivos fluídicos 215 pueden ser fresados superficialmente o grabados química/electrostáticamente en una tira de acero inoxidable. La fig. 2b muestra una vista en sección en un plano vertical a través de una parte de la capa media 212 que muestra dos dispositivos microfluídicos dispuestos en fila. Se apreciará que la capa media puede incluir más de dos dispositivos fluídicos dispuestos en una o más filas, por ejemplo varios centenares incluso millares de dichos dispositivos dispuestos en una configuración lado con lado para formar una o más filas. En general, se pueden disponer una o más filas de dispositivos microfluídicos 215 a partir de una posición bajo la línea de flotación hacia abajo hacia la quilla del barco. Cada dispositivo microfluídico 215 se conecta a través de un conducto 214 a un canal de suministro 206 que alimenta el aire comprimido al interior del dispositivo microfluídico 215. Cada dispositivo microfluídico tiene dos orificios de salida o conductos 216 y 217 que alimentan aire a través del dispositivo microfluídico 215 hacia las boquillas de salida 203 y 204, respectivamente. La capa media 212 se cubre mediante una capa de cobertura 211. La capa de cobertura puede tener una superficie exterior convexa, y los bordes de ataque y salida de las respectivas capas pueden estar en pendiente de modo que proporcionen al aparato una forma global de ala.

En el ejemplo de la fig. 2, el aparato comprende una capa media única 212 que incluye una única fila de dispositivos microfluídicos. En realizaciones alternativas, el aparato puede comprender una pluralidad de capas medias, por ejemplo todas empaquetadas entre la capa base 213 y la capa de cobertura 211. Por ejemplo, diferentes partes del dispositivo microfluídico se pueden grabar o fresar en el interior de superficies de las capas respectivas que pueden alinearse posteriormente y unirse entre sí de modo que formen el dispositivo microfluídico. Alternativa o adicionalmente, cada capa media puede incluir una capa respectiva de dispositivos microfluídicos que son alimentados con aire comprimido mediante los conductos de suministro respectivos y que comprenden filas respectivas de boquillas de salida. Por ello, el número de boquillas de salida puede incrementarse, y/o se pueden construir múltiples filas de boquillas para la generación de diferentes tamaños de burbujas mediante la inserción de una o más capas adicionales con dispositivos microfluídicos. Adicionalmente, la capa base y/o la capa de cobertura puede comprender también dispositivos microfluídicos y/o partes de los mismos.

En el ejemplo de la fig. 2, las boquillas se muestran situadas en el borde de salida del aparato y mirando hacia la popa del navío. Sin embargo, se apreciará que alternativa o adicionalmente, los dispositivos microfluídicos se pueden disponer con sus boquillas en el borde de ataque y/o en la zona central de la tira.

La fig. 3 ilustra esquemáticamente un oscilador microfluídico 315 que alimenta alternativamente dos boquillas 303 y 304, respectivamente. Debido a su disposición plana en general, el oscilador se puede disponer en una o más de las capas de una estructura en capas, por ejemplo la capa media 212 de la fig. 2. El oscilador 315 microfluídico comprende un orificio de entrada 314 que puede conectarse a un canal de suministro de aire presurizado u otro fluido de formación de burbujas adecuado; un canal de formación de chorro 319 que alimenta a un recorrido dividido compuesto de un par de canales ramificados 316 y 317 en que cada uno termina en uno respectivo de los orificios de salida 303 y 304. Los orificios de salida pueden formar o conectarse a las boquillas de salida correspondientes en donde sale el fluido de formación de burbujas al interior del agua que lo rodea de modo que forme burbujas. El oscilador comprende adicionalmente canales de control 321a y 321b conectados a orificios laterales opuestos (con relación a la dirección del flujo) de una zona de interacción 322 del oscilador, aguas abajo del canal de formación de chorro 319 y aguas arriba del par de canales ramificados. En el ejemplo de la fig. 3, los canales de control 321a y 321b están en comunicación para fluidos entre sí a través de un bucle de realimentación 321c.

Durante el uso, se introduce aire comprimido en el interior del orificio de entrada 314 desde un canal de suministro, por ejemplo el canal de suministro 206 de la fig. 2. En alguna realización, la dimensión de la sección transversal del canal de formación de chorro 319 puede disminuir en una dirección aguas abajo, haciendo así que la velocidad de la corriente inyectada se incremente. Cuando la corriente de aire pasa a la zona de interacción 322, la corriente induce la formación de una onda de presión oscilante en un fluido de control en los canales de control 321a y 321b. El fluido de control puede ser un líquido o un gas tal como aire. Las ondas de presión oscilantes fuerzan a la corriente del chorro al interior de uno de los canales ramificados 316 y 317. Cuando la onda de presión en el fluido de control oscila arriba y abajo a través del bucle de realimentación 321c, el chorro se conmuta alternativamente entre los dos canales ramificados, produciendo de ese modo ráfagas oscilantes de flujo de aire en cada uno de los canales ramificados. Cuando una ráfaga alcanza una de las boquillas de salida formada por, o conectada a, los orificios de salida 303 y 304, se genera una burbuja de aire. El crecimiento de la burbuja se limita por la duración de la ráfaga oscilante, y por ello mediante la frecuencia de oscilación del oscilador 315. En particular, el crecimiento de la burbuja puede detenerse cuando las burbujas son más pequeñas que las burbujas que se generarían mediante un flujo

constante de aire a través de una boquilla de salida del mismo tamaño. Adicionalmente, dado que las ráfagas en cada canal ramificado oscilan con una diferencia de fase relativa, las burbujas se generan alternativamente desde las boquillas de salida 303 y 304, mejorando así la separación de las burbujas que se originan desde las boquillas contiguas. Cuando los canales de control se conectan para formar un bucle de realimentación, no se requiere ningún canal de suministro de control adicional. La frecuencia de las ráfagas oscilantes se puede seleccionar o incluso alterar de varias maneras, por ejemplo mediante la alteración de la longitud del bucle de realimentación.

Se apreciará que, en realizaciones alternativas, los canales de control 321a y 321b pueden conectarse a canales de suministro de control respectivos además de, o en lugar de, conectarse entre sí mediante un bucle de realimentación. En dicha realización, los canales de suministro de control se pueden conectar a una o más fuentes de presión pulsante, por ejemplo una fuente de sonido, por ejemplo tal como se describe en conexión con la fig. 7 a continuación. Por ello, el dispositivo microfluídico operaría como un amplificador en donde la onda de presión pulsante se aplica a los canales de control 321a y 321b lo que su vez provoca las ráfagas oscilantes de flujo de aire en los canales ramificados. Mediante el control de la frecuencia de la fuente de presión pulsante, se puede controlar el tamaño de las burbujas generadas. Se apreciará adicionalmente que se pueden usar realizaciones alternativas de dispositivos microfluídicos para la generación de ráfagas pulsantes de aire presurizado, por ejemplo tal como se describe en el documento US 5.524.660 en el contexto de la atomización de un líquido.

Al proporcionar los dispositivos microfluídicos formados en una placa, lámina u otra capa de una estructura en capas, el aparato de generación de burbujas se puede implementar como una estructura relativamente plana, permitiendo de ese modo asegurar el aparato al casco de un barco sin un incremento excesivo del roce. Por ejemplo, el grosor total de la estructura en capas de la fig. 2 puede ser menor de 20 mm, por ejemplo menor de 10 mm, por ejemplo entre 5-7 mm, o incluso menos.

En algunas realizaciones, la superficie que rodea las boquillas de salida 303 y 304 y/o al menos una parte de la superficie interior de los canales ramificados al menos en una proximidad de las boquillas de salida se puede recubrir con un recubrimiento adecuado, por ejemplo un recubrimiento hidrofóbico, un recubrimiento hidrofílico, un recubrimiento de teflón, o similar, de modo que facilite la liberación de la burbuja.

La fig. 4 ilustra esquemáticamente un oscilador microfluídico 415 que alimenta alternativamente dos conjuntos de boquillas 403 y 404, respectivamente. Por ello, cada oscilador u otro dispositivo microfluídico puede alimentar bancos de boquillas respectivos, incrementando así el número de boquillas de salida.

En general, en algunas realizaciones, la frecuencia de los dispositivos microfluídicos es controlable, por ejemplo mediante el control de la frecuencia de los pulsos de presión aplicados a los canales de control de un amplificador microfluídico tal como se ha descrito anteriormente, o mediante la combinación de uno o más osciladores microfluídicos con otros dispositivos microfluídicos, por ejemplo un amplificador microfluídico configurado para variar la presión de una corriente de aire comprimido que entra en el oscilador microfluídico, y/o mediante la variación en otra forma de parámetros, por ejemplo la presión y/o la temperatura, del aire comprimido que entra en los osciladores microfluídicos y/o del fluido de control en el bucle de realimentación. Por ejemplo, se puede embeber un hilo de calefacción en la estructura en capas para el control de la temperatura del fluido de control.

Alternativamente, el aparato puede incluir dos o más conjuntos de dispositivos microfluídicos tales como osciladores microfluídicos, adaptado cada conjunto para funcionar a una frecuencia diferente, generando así burbujas de diferentes tamaños. Esto se ilustra en la fig. 5, en donde el dispositivo comprende tres conjuntos de osciladores microfluídicos, designados 515a, 515b y 515c, respectivamente, estando alimentado cada conjunto mediante un canal de suministro respectivo 506a, 506b, 506c. Los osciladores microfluídicos de cada conjunto tienen una frecuencia de oscilación común, pero los osciladores microfluídicos de diferentes conjuntos tienen diferentes frecuencias, por ejemplo definidas por la longitud de sus bucles de realimentación respectivos. Consecuentemente, al suministrar aire selectivamente al interior de uno de los conjuntos de dispositivos microfluídicos, se pueden crear burbujas de diferentes tamaños.

El aparato de la fig. 5 es similar al aparato mostrado en la fig. 2 en que es una estructura en capas que comprende una capa base 213 y dos capas adicionales 212 y 211 tal como se ha descrito en conexión con la fig. 2. La capa base 213 se monta sobre la superficie exterior del casco 201 de un barco. La capa media 212 comprende un número de dispositivos microfluídicos 515a y 515c y canales de suministro correspondientes 506a y 506c, y está empaquetada entre la capa base 213 y la capa de cobertura 211. En la realización de la fig. 5, la capa de cobertura 211 está también estructurada e incluye un conjunto adicional de dispositivos microfluídicos 515b y un canal de suministro 506b. Por ejemplo, los dispositivos microfluídicos 515a y 515c pueden proporcionarse en la superficie de la capa media que mira a la capa de cobertura, y los dispositivos microfluídicos 515b pueden proporcionarse en la superficie de la capa de cobertura mirando a la capa media.

Los dispositivos microfluídicos de cada conjunto de dispositivos microfluídicos se disponen en una configuración lado con lado de modo que sus boquillas de salida se disponen en filas respectivas. En la fig. 5b, una parte del aparato se muestra incluyendo filas de tres dispositivos microfluídicos. Se apreciará que el aparato puede comprender un gran número de dispositivos dispuestos en filas respectivas. En la realización de la fig. 5, las

boquillas de salida 503a y 504a de los dispositivos microfluídicos 515a se disponen en el borde de salida del aparato; las boquillas de salida 503b y 504b de los dispositivos microfluídicos 515b se disponen a lo largo de una línea central del aparato; y las boquillas de salida 503c y 504c de los dispositivos microfluídicos 515c se disponen en el borde de ataque del aparato.

La fig. 6 muestra esquemáticamente otra realización de un aparato de generación de burbujas. La fig. 6a muestra esquemáticamente una vista en sección transversal del aparato de generación de burbujas. El aparato de la fig. 6 es similar a la realización mostrada en la fig. 2 comprendiendo una capa base 213, una capa media 212, y una capa de cobertura 211. Las figs. 6b-d muestran vistas superiores de partes de las diferentes capas. Las partes mostradas incluyen un único oscilador microfluídico; sin embargo, se comprenderá que el aparato puede comprender un gran número de dichos osciladores dispuestos en una configuración lado con lado. En particular, la fig. 6b muestra una vista superior de una parte de la capa base, es decir la superficie que mira hacia la capa media; la fig. 6c muestra una vista superior de una parte de la capa media 212, mientras que la fig. 6d muestra una vista inferior de una parte de la capa de cobertura 211, es decir mostrando la superficie que mira hacia la capa media. En el ejemplo de la fig. 6, el aparato comprende una pluralidad de dispositivos microfluídicos 615 conectados a un canal de suministro. Las tres capas están estructuradas y comprenden partes respectivas del dispositivo microfluídico 615 y/o del canal de suministro. La capa base 213 comprende la estructura microfluídica principal de los dispositivos microfluídicos, en este caso un oscilador microfluídico tal como se describe en conexión con la fig. 3. La estructura embebida en la capa base comprende el orificio de entrada 314, el canal de formación de chorro 319, la zona de interacción 322, los canales de control 321a y 321b, el bucle de realimentación 321c y los canales ramificados 316 y 317 que terminan en los orificios de salida 603 y 604 respectivos.

La capa media 212 comprende un canal de entrada 617 y canales de salida 633 y 644. Los canales de entrada y salida de la capa media se forman como orificios pasantes que se extienden a través de la capa media completa y están alineados con el orificio de entrada 314 y los terminales 603 y 604 de los canales ramificados, respectivamente. El canal de entrada 617 proporciona así comunicación para fluidos entre el orificio de entrada 314 y el canal de suministro 606. Dado que la capa de cobertura 211 no se extiende sobre el ancho completo de la capa media, dejando una parte del borde de la superficie de la capa media expuesto, los canales de salida 633 y 644 se extienden a la superficie exterior del aparato formando así boquillas de salida respectivas. La capa de cobertura 211 comprende el canal de suministro 606, por ejemplo en la forma de un rebaje alargado en la superficie inferior de la capa de cobertura.

La fig. 7 muestra esquemáticamente vistas en sección transversal de un aparato de generación de burbujas. La fig. 7a muestra una vista en sección del aparato en un plano horizontal. La dirección del flujo del agua con relación al casco del barco durante el movimiento de avance del barco se ilustra por la flecha 720.

El aparato 702 es similar al aparato de la fig. 2 en que está formado como una estructura en capas que tiene una capa base 713 cuya superficie de soporte está unida a la superficie exterior del casco 701 del barco tal como se ilustra en la fig. 7 mediante la capa de unión 718. Adicionalmente la estructura en capas 702 puede comprender dos o más capas adicionales 711 y 712 empaquetadas juntas mediante una técnica de unión adecuada, tal como se ha descrito en conexión con la fig. 2.

El aparato 702 comprende una capa media 712 dentro de la que se embeben uno o más dispositivos microfluídicos 715, por ejemplo un oscilador microfluídico, por ejemplo mediante un proceso de grabado adecuado, también como se describe conexión con la fig. 2. La fig. 7b muestra una vista en sección en un plano vertical a través de una parte de la capa media 712 mostrando dos dispositivos microfluídicos dispuestos en una fila.

Cada dispositivo microfluídico 715 se conecta a través de un conducto 714 a un canal de suministro 706 que alimenta aire comprimido al interior del dispositivo microfluídico 715. Cada dispositivo microfluídico tiene dos orificios de salida o conductos 716 y 717 que alimentan aire de salida mediante el dispositivo microfluídico 715 a las boquillas de salida 703 y 704, respectivamente. La capa media 712 está cubierta por una capa de cobertura 711, todo tal como se ha descrito en conexión con la fig. 2. El dispositivo microfluídico 715 es un oscilador microfluídico que alimenta alternativamente las dos boquillas 703 y 704, respectivamente. El oscilador microfluídico 715 es similar al oscilador microfluídico mostrado en la fig. 3 en que es un orificio de entrada 714 conectado a la alimentación de un canal de suministro para aire presurizado 706; un canal de formación de chorro 719 que alimenta el interior de un recorrido dividido compuesto de un par de canales ramificados 716 y 717 en que cada uno termina en uno respectivo de los orificios de salida 703 y 704, todo tal como se ha descrito en conexión con la fig. 3. El oscilador comprende adicionalmente canales de control 721a y 721b conectados a los orificios laterales opuestos (con relación a la dirección del flujo) de una zona de interacción 722 del oscilador, aguas abajo del canal de formación de chorro 719 y aguas arriba del par de canales ramificados.

El aparato de la fig. 7 difiere del aparato de la fig. 2 y del oscilador microfluídico de la fig. 3 en que los canales de control 721a y 721b se conectan a canales de suministro de control 723a y 723b, de modo que proporcionen una comunicación para fluidos entre cada uno de los canales de control y uno respectivo de los canales de suministro de control para la alimentación de un flujo de control de aire presurizado u otro fluido adecuado al interior de los canales de control 721a y 721b, respectivamente. Cada canal de suministro de control se conecta a una fuente de presión

pulsante correspondiente (no explícitamente mostrada), por ejemplo una fuente de sonido. Las fuentes de presión pulsante se controlan para proporcionar una presión pulsante del aire presurizado; en particular las fuentes de presión se pueden controlar para variar la presión en los canales de control 721a y 721b a la misma frecuencia pero con un desplazamiento de fase relativamente entre sí de un semiperiodo, de modo que fuercen al oscilador 715 a oscilar a la frecuencia impuesta por las fuentes de presión pulsante.

La fig. 8 muestra otro ejemplo de un aparato que incluye múltiples conjuntos de dispositivos microfluídicos tal como osciladores microfluídicos, adaptado cada conjunto para funcionar a una frecuencia diferente, generando así burbujas de diferentes tamaños. El aparato 802 comprende tres conjuntos de osciladores microfluídicos, designados 815a, 815b y 815c, respectivamente, estando alimentado cada conjunto mediante un canal de suministro respectivo 806a, 806b, 806c, por ejemplo tal como se describe en conexión con la fig. 5. Los osciladores microfluídicos de cada conjunto tienen una frecuencia de oscilación común, pero los osciladores microfluídicos de diferentes conjuntos tienen diferentes frecuencias, por ejemplo definidas por la longitud de sus bucles de realimentación respectivos. En consecuencia al suministrar selectivamente aire u otro fluido al interior de uno de los conjuntos de dispositivos microfluídicos, se pueden crear burbujas de diferentes tamaños. Con este fin, los canales de suministro 806a-c se conectan en comunicación para fluidos a un selector de flujo 875 que a su vez se conecta a través de un conducto para fluidos 876 a una fuente de fluido 805, por ejemplo un compresor de aire comprimido. El fluido de formación de burbujas se alimenta así desde la fuente de fluido al interior del selector de flujo 875 que es controlable para dirigir selectivamente el fluido al interior de uno de los canales de suministro 806a-c y, de ese modo, a uno de los conjuntos de dispositivos microfluídicos 815a-c.

La fig. 9a muestra un dispositivo microfluídico 900 de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. El dispositivo microfluídico comprende un orificio de entrada 901, un primer canal 902, un segundo canal 904, un primer canal de control 907 y un segundo canal de control 909. El primer canal 902 y el segundo canal 904 están en comunicación para fluidos con el orificio de entrada 901, el primer canal de control 907 y el segundo canal de control 909 a través de una cámara central 906. El primer canal 902 comprende una primera boquilla 903 para la generación de microburbujas. El segundo canal comprende una segunda boquilla 905 para la generación de microburbujas. El primer canal de control 907 comprende una primera entrada de control 908, y el segundo canal de control 909 comprende una segunda entrada de control 910. El primer canal de control 907 se puede conectar al segundo canal de control 909 mediante un canal de realimentación de modo que la primera salida de control 908 y la segunda salida de control 910 estén en comunicación para fluidos directa a través de dicho canal de realimentación. Adicional o alternativamente el primer canal de control 907 y/o el segundo canal de control 909 pueden estar en comunicación para fluidos con un sistema de control configurado para generar flujos de control.

La fig. 9b muestra un dispositivo microfluídico 900 de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, en donde el dispositivo microfluídico comprende solamente un único canal y boquilla.

Aunque se han descrito y mostrado en detalle algunas realizaciones, la invención no está restringida a ellas, sino que puede realizarse también en otras formas dentro del alcance de la materia objetivo definida en las reivindicaciones a continuación. En particular, se ha de comprender que se pueden utilizar otras realizaciones y se pueden realizar modificaciones estructurales y funcionales sin apartarse del alcance de la presente invención.

En las reivindicaciones del dispositivo que enumeran diversos medios, varios de estos medios se pueden realizar mediante uno y el mismo artículo de hardware. El mero hecho de que ciertas medidas se enumeren en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes o se describan en diferentes realizaciones no indica que no se pueda usar una combinación de estas medidas como una ventaja.

Se debería remarcar que el término “comprende/comprendiendo” cuando se usa en esta especificación se toma para especificar la presencia de las características, enteros, etapas o componentes establecidos pero no impide la presencia o adición de una o más de otras características, enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (102) para la generación de burbujas de un fluido para la reducción del roce de un casco (101) de un barco (100), en donde el aparato (102) de generación de burbujas se puede fijar a una superficie exterior del casco (101), y en donde el aparato comprende uno o más dispositivos microfluídicos (215) para la generación de dichas burbujas, en donde el aparato comprende una estructura en capas que comprende dos o más capas (211; 212; 213), en donde al menos una de las capas (212) comprende una microestructura que forma al menos una parte de uno o más dispositivos microfluídicos (215), y en donde al menos una de las capas comprende un canal de suministro (206) que conecta a los uno o más dispositivos microfluídicos (215) para la alimentación de aire comprimido al interior de los dispositivos microfluídicos (215).

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo microfluídico (215) está adaptado para controlar un tamaño de burbuja de las burbujas generadas.

3. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) comprende:

- un orificio de entrada (314) para el suministro de un flujo del fluido;
- un primer canal (902) que comprende una primera boquilla (303; 304) para la generación de burbujas del fluido para reducción del roce sobre un casco de un barco, estando dicho primer canal (902) en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada a través de una cámara central (906); y
- un primer canal de control (907) que comprende una primera entrada de control (908) configurada para controlar el flujo a través de dicha primera boquilla (303; 304), estando dicha primera entrada de control (908) en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada y dicho primer canal a través de dicha cámara central (906).

4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 a 3, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) comprende adicionalmente

- un segundo canal (904) que comprende una segunda boquilla (905) para la generación de burbujas del fluido para la reducción del roce de un casco de un barco, estando dicho segundo canal en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada y dicha entrada de control a través de dicha cámara central (906), y en donde dicha primera entrada de control (908) se configura adicionalmente para controlar el flujo a través de dicha segunda boquilla (905).

5. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) se configura para incrementar la resistencia de flujo total desde dicho orificio de entrada a dicha primera boquilla al proporcionar un primer flujo de control a través de dicha primera entrada de control (908) al interior de dicha cámara central (906).

6. El aparato de acuerdo con las reivindicaciones 4 o 5, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) se configura para desplazar un flujo que circula a través de dicho primer canal (902) a dicho segundo canal (904) proporcionando un primer flujo de control que circula a través de dicha primera entrada de control (908) al interior de dicha cámara central (906), mediante lo que al menos el 50 % del flujo que habría circulado a través de dicho primer canal se redirige para circular a través de dicho segundo canal (904).

7. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que dicho al menos un dispositivo microfluídico (900) comprende adicionalmente

-- un segundo canal de control (909) que comprende una segunda entrada de control (910) para el control del flujo a través de dicha primera boquilla (903) y dicha segunda boquilla (905), estando dicha segunda entrada de control (910) en comunicación fluídica con dicho orificio de entrada, dicha primera boquilla, dicha segunda boquilla y dicha primera entrada de control a través de dicha cámara central (906).

8. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) se configura para desplazar un flujo que circula a través de dicho segundo canal (904) a dicho primer canal (902) proporcionando un segundo flujo de control que circula a través de dicha segunda entrada de control (910) al interior de dicha cámara central (906), por lo que al menos el 50 % del flujo que habría circulado a través de dicho segundo canal se redirige para circular a través de dicho primer canal (902).

9. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en el que el al menos un dispositivo microfluídico (900) comprende adicionalmente un canal de realimentación que conecta dicho primer canal de control y dicho segundo canal de control, por lo que dicha primera salida de control y dicha segunda salida de control están en comunicación para fluidos directa.

10. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 9, en el que el primer canal de control y/o el segundo canal de control están en comunicación para fluidos con un sistema de control configurado para generar

flujos de control a través del primer canal de control y/o del segundo canal de control.

11. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el dispositivo comprende una pluralidad de dispositivos microfluídicos (900) tal como se ha especificado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

12. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, adaptado para generar burbujas de un tamaño de burbuja controlable proporcionando un flujo de un fluido de formación de burbujas cuyo flujo varía a lo largo del tiempo.

13. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el dispositivo microfluídico comprende un oscilador microfluídico (815a; 815b y 815c) y/o un oscilador microfluídico biestable y/o un amplificador microfluídico y/o un conmutador microfluídico.

14. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el aparato es un dispositivo apto para modernizaciones que puede fijarse a un barco existente.

15. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende una pluralidad de boquillas de salida (903; 905) para la salida de un fluido en forma de burbujas.

16. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de conjuntos de dispositivos microfluídicos (900), en el que los dispositivos microfluídicos de cada conjunto están adaptados para generar burbujas que tienen un tamaño de burbuja respectivo, y en donde el aparato comprende un selector de flujo para dirigir selectivamente el flujo de suministro del fluido de formación de burbujas a uno o a un subconjunto de los conjuntos de dispositivos microfluídicos diferentes en su frecuencia.

17. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 16, en el que los dispositivos microfluídicos de cada conjunto están adaptados para generar burbujas a una frecuencia predeterminada respectiva.

18. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el fluido es un gas tal como aire.

19. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la al menos una de las capas comprende una superficie microestructurada que forma al menos una parte de uno o más dispositivos microfluídicos.

20. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato comprende una superficie de unión para la unión del aparato al casco de un barco y una superficie exterior convexa opuesta a la superficie de unión.

21. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de boquillas de salida (903; 905) para la salida del fluido; en donde un área superficial que rodea a cada boquilla de salida esta provista de una superficie hidrofílica.

22. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno del uno o más dispositivos microfluídicos está conformado como un sistema plano de canales y/o cámaras.

23. Un casco (101) para un barco (100) que comprende un dispositivo que comprende medios microfluídicos, en donde el dispositivo tiene una pluralidad de aberturas conectadas a una fuente de un fluido, estando dispuesta dicha pluralidad de aberturas de modo que el fluido se pueda expulsar a través de dichas aberturas (903; 905) de modo que formen burbujas en la capa límite del agua hacia el casco cuando el fluido fluye a lo largo de dicho casco, en donde se conectan un oscilador fluídico o un amplificador fluídico separado entre dicha fuente de aire bajo presión y cada una de dicha pluralidad de aberturas, siendo controlable cada uno de dichos osciladores fluídicos o amplificadores fluídicos de modo que el tamaño de las burbujas expulsadas desde la abertura se pueda variar, en donde el aparato comprende una estructura en capas que comprende dos o más capas (211; 212; 213), en donde al menos una de las capas (212) comprende una microestructura que forma al menos una parte del uno o más dispositivos microfluídicos (215), y en donde al menos una de las capas comprende un canal de suministro (206) que conecta a uno o más dispositivos microfluídicos para la alimentación de aire comprimido al interior de los dispositivos microfluídicos (215).

24. Uso de un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22 que comprende medios microfluídicos, adaptado para fijarse al exterior de un barco para la generación de microburbujas para la reducción del roce de un casco de barco.

25. Un método para la reducción del roce sobre un casco (101) de un barco (100), comprendiendo el método

- la fijación de un aparato tal como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22 a una superficie exterior del casco;
- la generación de burbujas de un fluido de generación de burbujas en un límite entre el casco y el agua que rodea al casco mediante la descarga de dicho fluido de generación de burbujas a través de las boquillas de salida (903; 905) del aparato al interior del agua;
- el control de un tamaño de las burbujas generadas proporcionando un flujo de un fluido de formación de burbujas cuyo flujo varía a lo largo del tiempo.

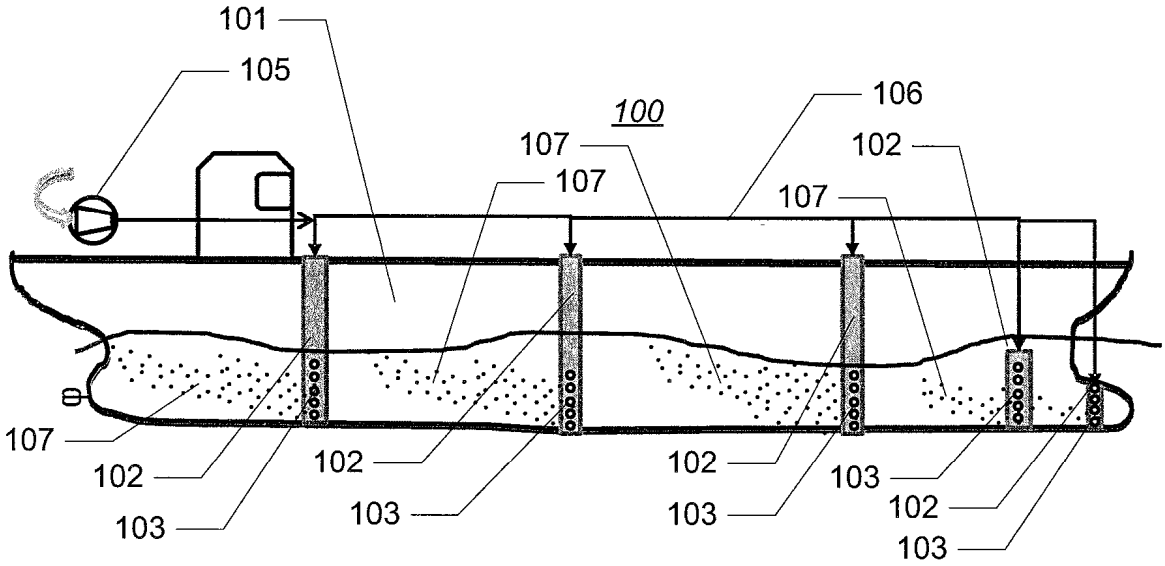
101
105
100
106
107
107
102
107
107
102
103
102
103
102
103
103
102
103

Fig. 1

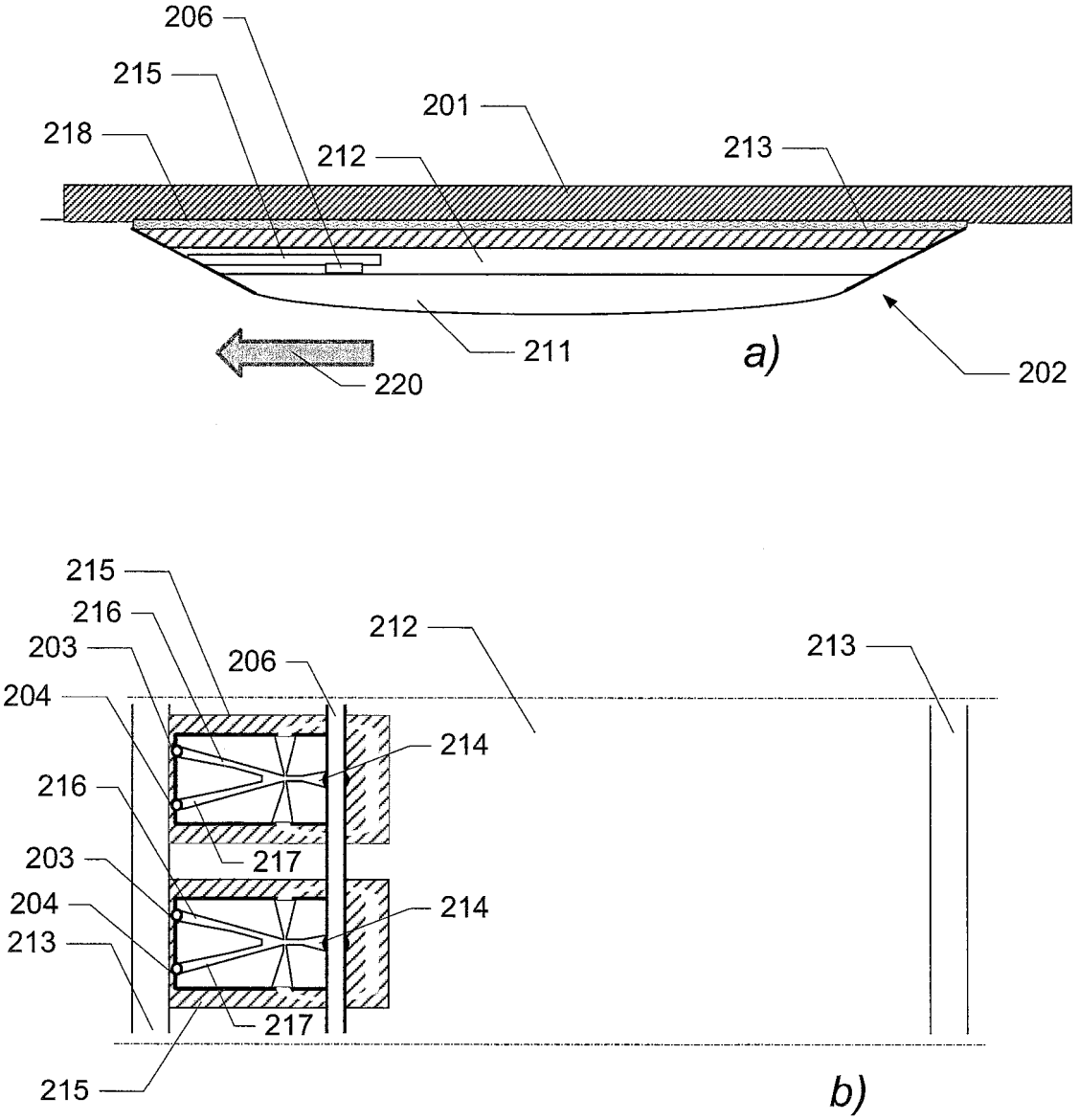
206
215
218
201
212
213
211
220
a)
202
215
216
203
204
206
212
213
214
216
217
203
204
213
214
217
215
b)

Fig. 2

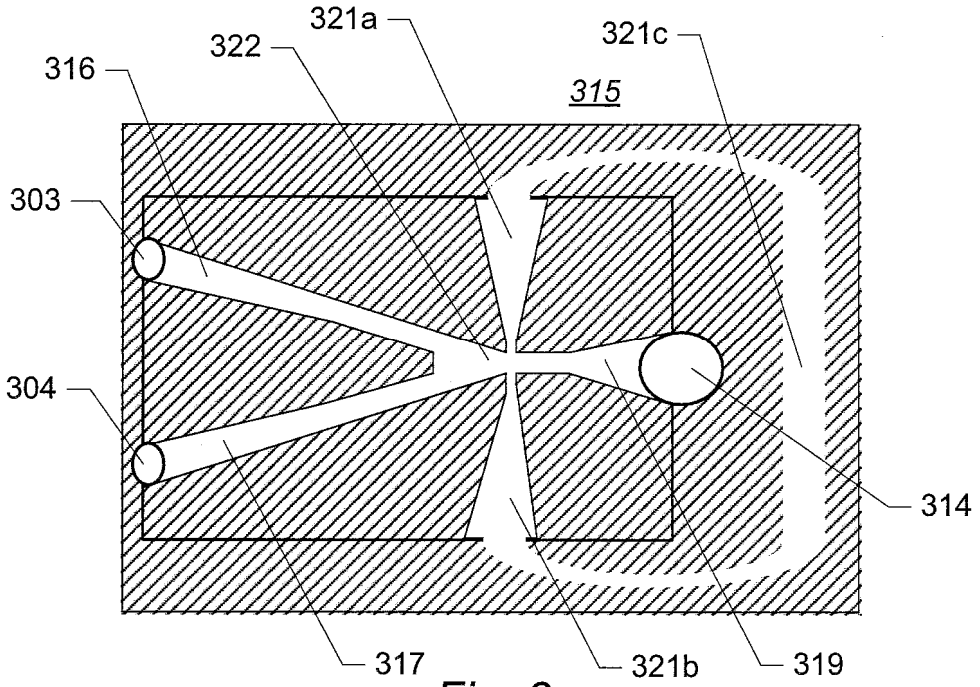
321a
322
316
321c
315
303
304
314
317
321b
319

Fig. 3

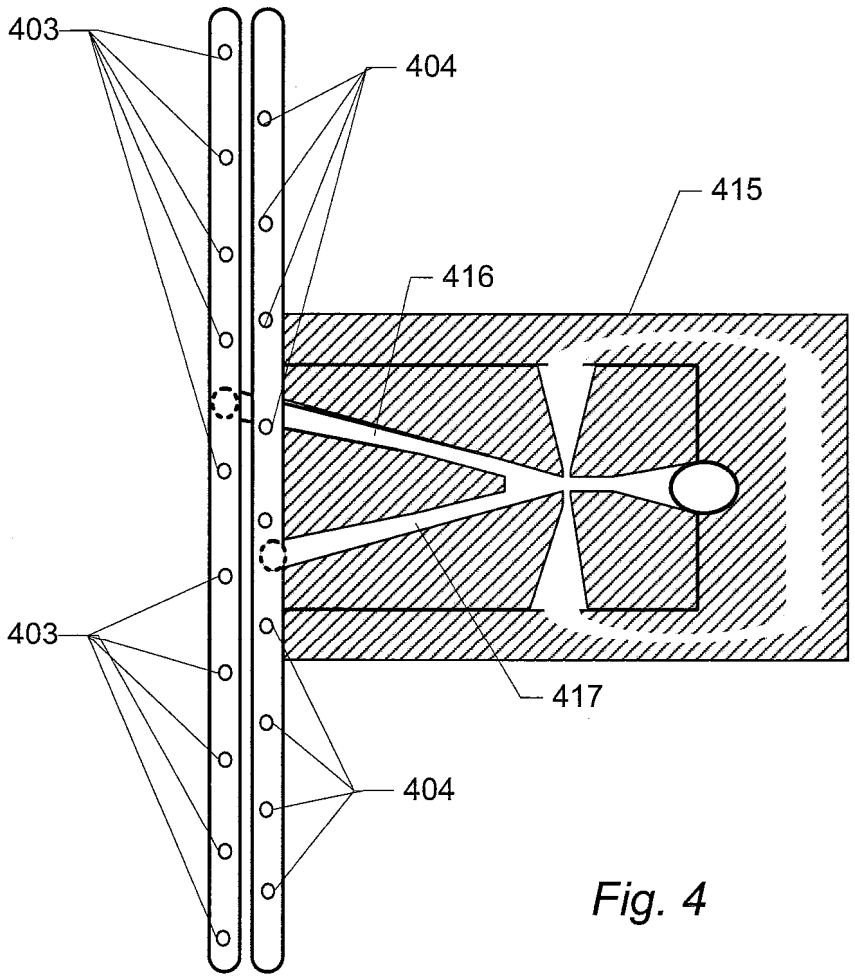
403
404
415
416
403
417
404

Fig. 4

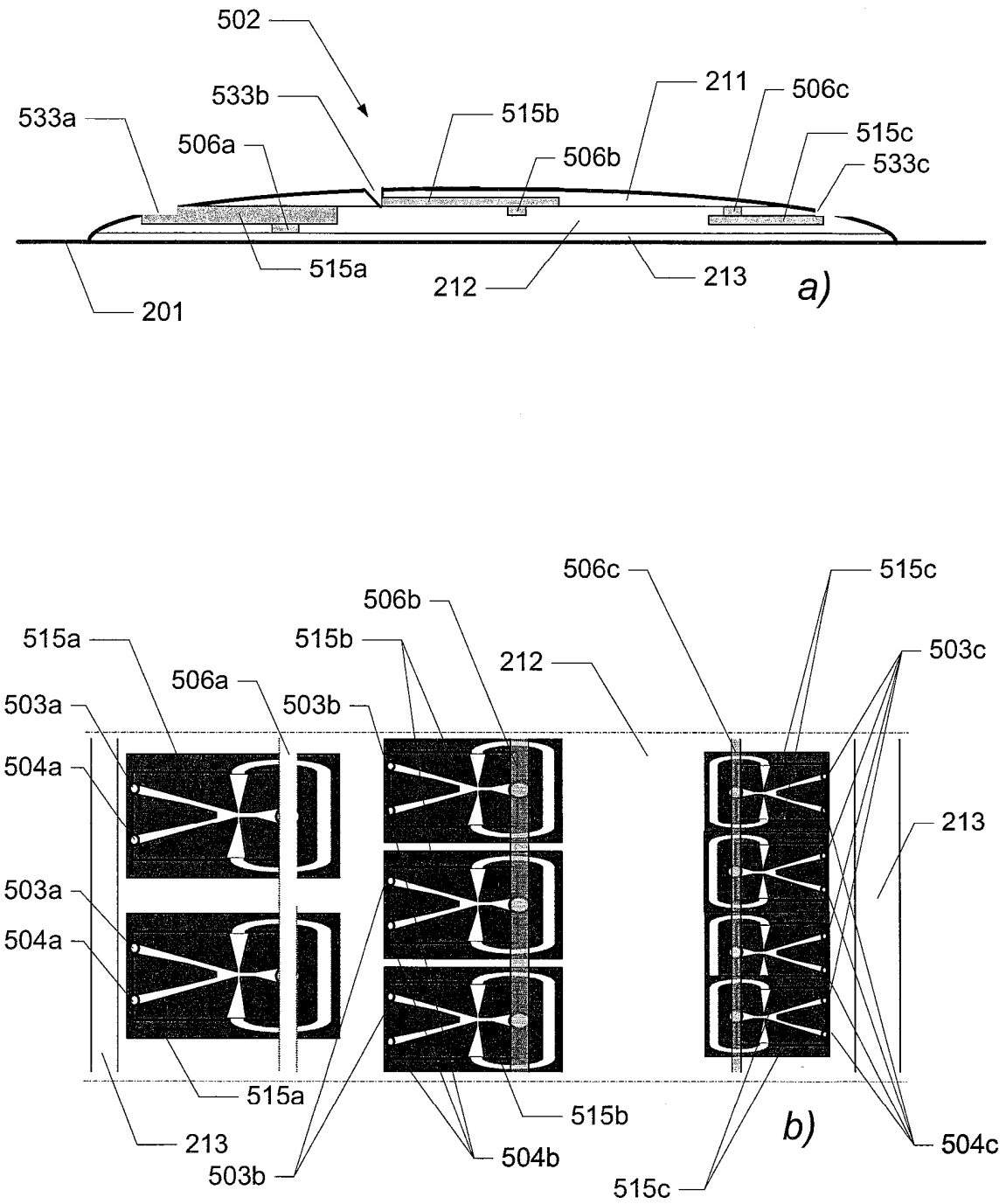
502
533a
533b
506a
515b
506b
211
506c
515c
533c
515a
212
213
201
a)
506c
515c
506b
515a
515b
212
503c
506a
503a
503b
504a
213
503a
504a
515a
515b
213
504b
b)
504c
503b
515c

Fig. 5

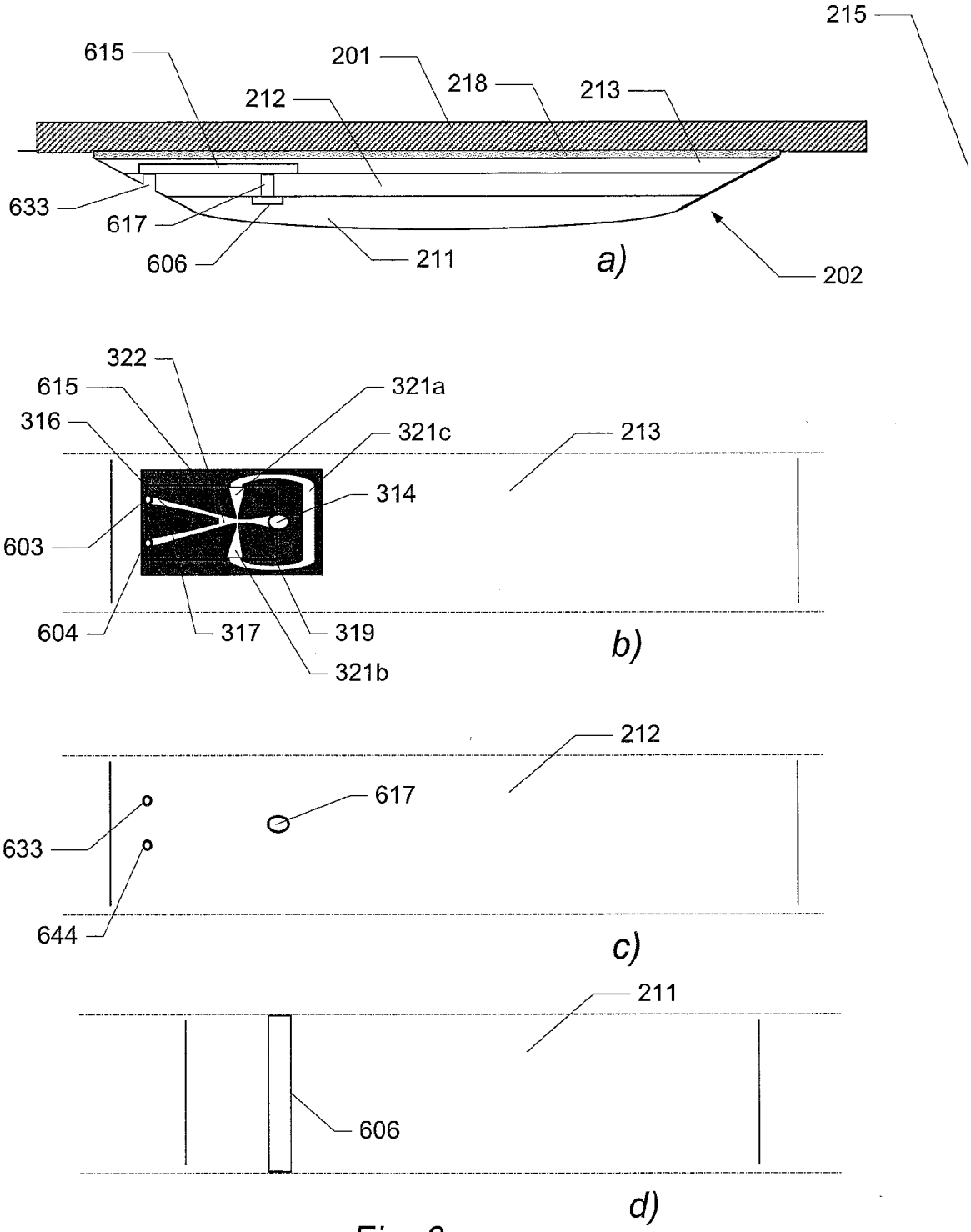
215
615
201
218
213
212
633
617
606
211
a)
202
322
615
321a
316
321c
213
314
603
604
317
319
321b
b)
212
617
633
644
c)
211
606
d)

Fig. 6

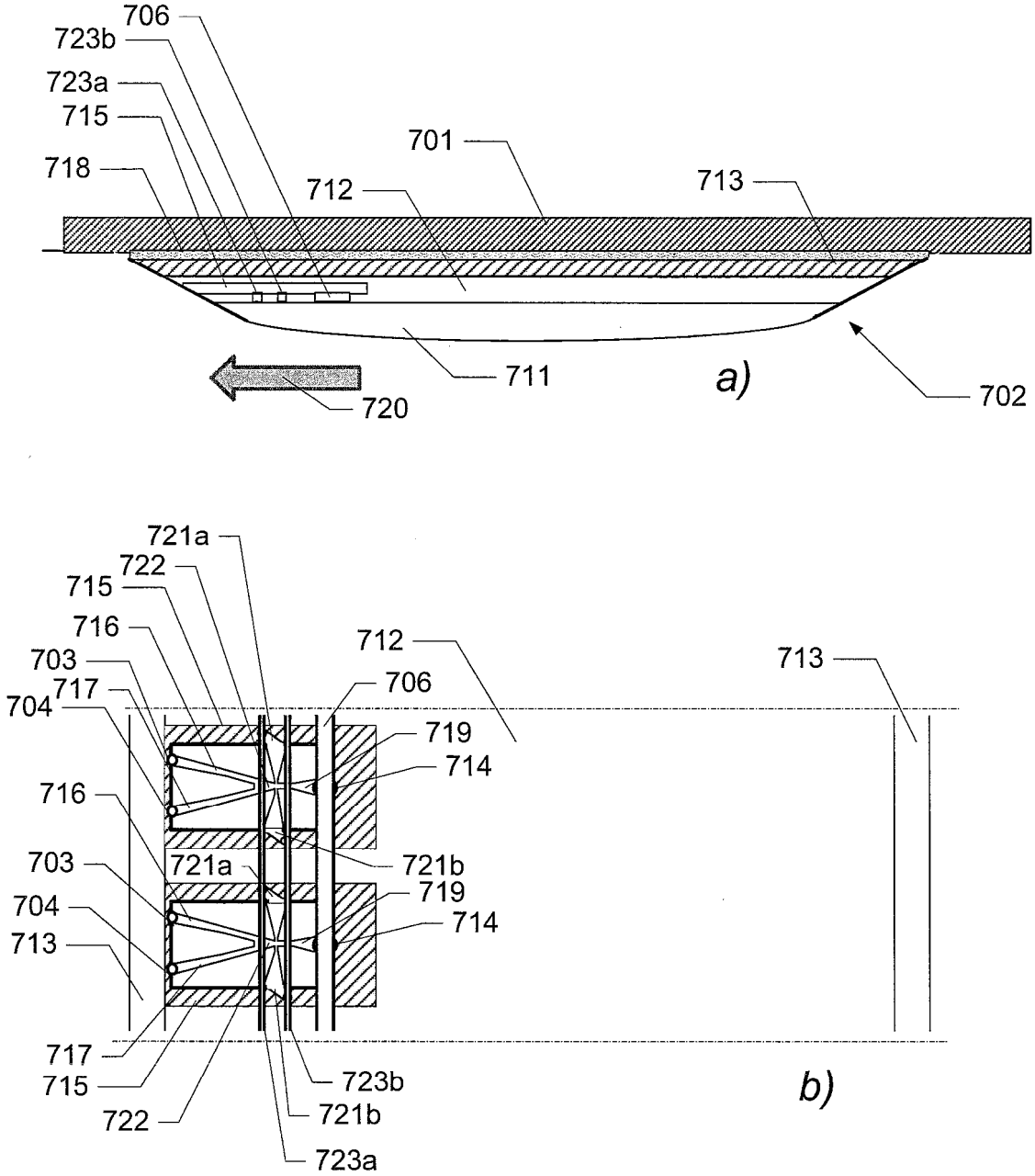
706
723b
723a
715
718
701
712
713
711
a)
720
702
721a
722
715
716
703
717
704
712
706
713
719
714
716
721a
721b
703
704
719
714
713
717
715
722
723b
721b
723a
b)

Fig. 7

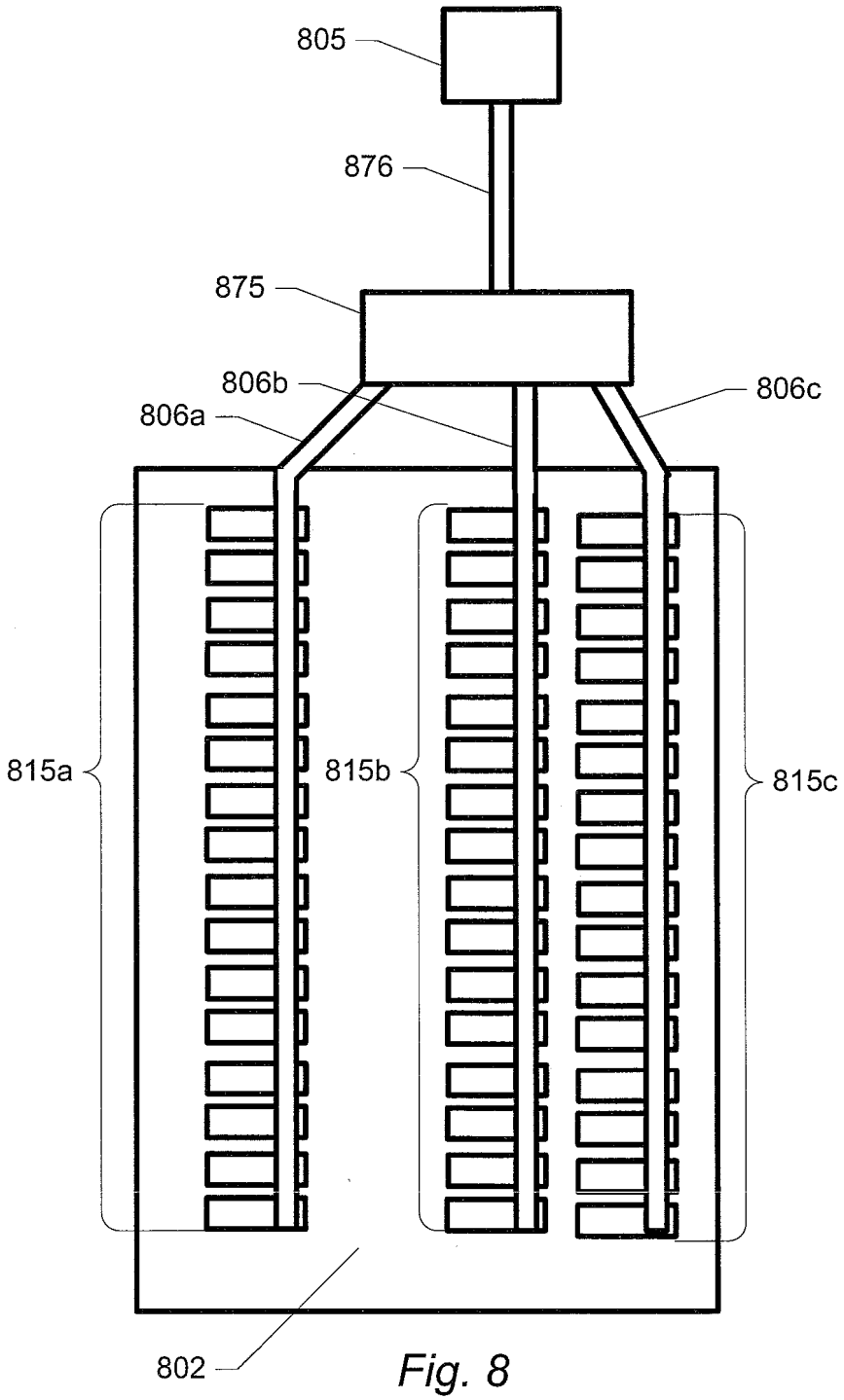

Fig. 8

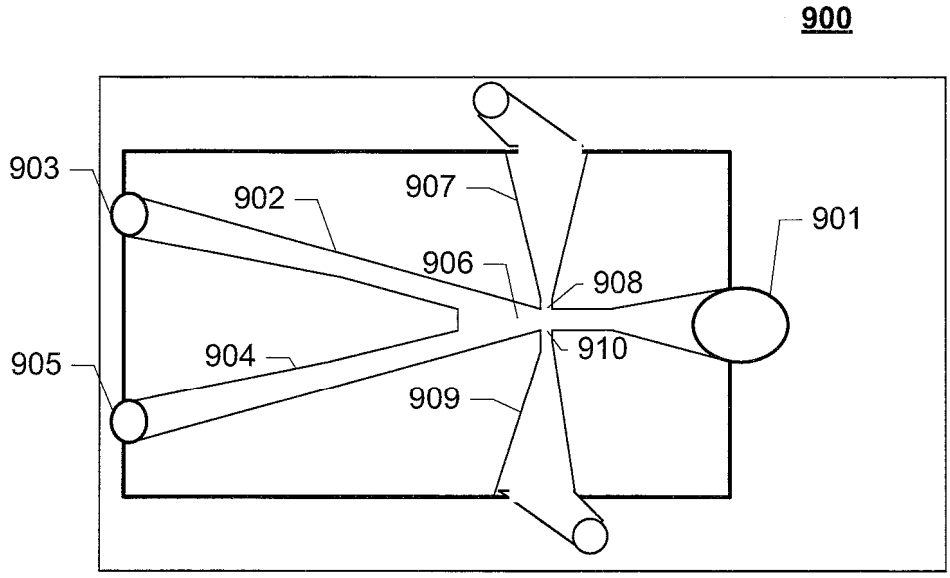
900
903
902
907
901
906
908
905
904
910
909

Fig. 9a

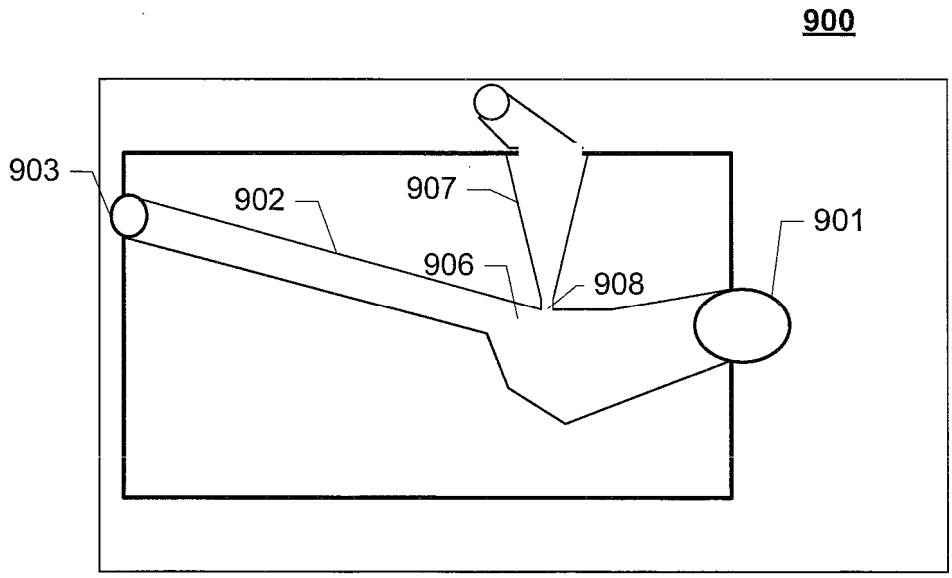
900
903
902
907
901
906
908

Fig. 9b