

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 084**

51 Int. Cl.:

G21B 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.03.2014 PCT/GB2014/050663**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2014 WO14135881**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.03.2014 E 14713565 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2965321**

54 Título: **Concentración de energía localizada**

30 Prioridad:

06.03.2013 GB 201304046

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

21.07.2017

73 Titular/es:

**OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED
(100.0%)**

**Buxton Court, 3 West Way
Botley, Oxford OX2 0JB, GB**

72 Inventor/es:

**VENTIKOS, YIANNIS y
HAWKER, NICHOLAS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 626 084 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

Concentración de energía localizada

5 Esta invención se refiere a métodos y aparatos para producir energías localizadas muy altas. Se relaciona específicamente, aunque no exclusivamente, con la generación de energías localizadas lo suficientemente altas como para provocar la fusión nuclear.

10 El desarrollo de la energía de la fusión ha sido un área de gran inversión de tiempo y dinero durante muchos años. Esta inversión se ha centrado en gran medida en el desarrollo de un reactor de fusión a gran escala, a un gran coste. Sin embargo, hay otras teorías que predicen mecanismos mucho más simples y más baratos para crear la fusión. De interés en el presente documento es el concepto de paraguas "fusión por confinamiento inercial", que usa fuerzas mecánicas (tales como las ondas de choque) para concentrar y enfocar la energía en volúmenes muy pequeños.

15 Gran parte de la confianza en el potencial de los métodos alternativos de fusión por confinamiento inercial proviene de la observación de un fenómeno llamado sonoluminiscencia. Esto se produce cuando un líquido que contiene burbujas de tamaño apropiado se acciona con una frecuencia de ultrasonidos específica. La onda de presión hace que las burbujas se expandan y a continuación se colapsen muy violentamente; un proceso que normalmente se conoce como cavitación inercial. El rápido colapso de la burbuja conduce a una compresión fuera de equilibrio que hace que los contenidos se calienten hasta el punto de emitir luz [Gaitan, D.F., Crum, L.A., Church, C.C. y Roy, R.A., *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(6), 3166-3183 Junio (1992)]. Ha habido diversos esfuerzos para intensificar este proceso y un grupo ha afirmado observar la fusión [Taleyarkhan, R.P., West, C.D., Cho, J.S., Lahey, R.T., Nigmatulin, R.I. y Block, R.C., *Science*, 295(5561) 1868-1873 Marzo (2002)]. Sin embargo, los resultados observados todavía no se han validado o replicado, a pesar de un esfuerzo sustancial [Shapira, D. y Saltmarsh, M., *Physical Review Letters*, 89(10), 104302 Septiembre (2002)]. Este no es el único mecanismo propuesto que ha conducido a la luminiscencia de una burbuja colapsante; sin embargo es el más documentado. La luminiscencia también se ha observado a partir de una burbuja colapsada por una fuerte onda de choque [Bourne, N.K. y Field, J.E., *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 357(1751), 295-311 Febrero 1999]]. Es este segundo mecanismo, es decir, el colapso de una burbuja usando una onda de choque, al que se refiere esta invención.

20 Se ha propuesto en el documento US 7.445.319 disparar gotas esféricas de agua en movimiento a muy alta velocidad (~ 1 km/s) sobre un objetivo rígido para generar una onda de choque intensa. Esta onda de choque puede usarse para colapsar burbujas que se han nucleado y posteriormente se han expandido dentro de la gota. Es dentro de la burbuja colapsada donde la patente mencionada anteriormente espera que se produzca la fusión. El mecanismo de generación de ondas de choque por impacto de gotas de alta velocidad sobre una superficie se ha estudiado anteriormente experimental y numéricamente y está bien documentado (incluyendo el trabajo de uno de los inventores de la presente invención [Haller, K.K., Ventikos, Y., Poulidakos, D., y Monkewitz, P., *Journal of Applied Physics*, 92(5), 2821-2828 de Septiembre (2002)]). La presente invención difiere del documento US 7445319, a pesar de que los mecanismos físicos fundamentales son similares, debido a que no utiliza un impacto de gota de alta velocidad.

25 La presente invención tiene como objetivo proporcionar alternativas a las técnicas mencionadas anteriormente y también puede tener otras aplicaciones. Cuando se ve desde un primer aspecto, la invención proporciona un método para producir una concentración localizada de energía que comprende crear una onda de choque que se propaga a través de un medio no gaseoso con el fin de que incida sobre un límite entre el medio no gaseoso y un medio gaseoso formado por al menos un orificio en una barrera que separa el medio no gaseoso de un medio gaseoso, formando de este modo un chorro transversal en el otro lado del orificio que incide sobre una superficie objetivo que comprende una depresión que está separada de la barrera en el medio gaseoso.

La invención también se extiende a un aparato para producir una concentración localizada de la energía, que comprende:

55 un medio gaseoso;
un medio no gaseoso separado del medio gaseoso por una barrera que comprende al menos un orificio en la misma;
una superficie objetivo que comprende una depresión que está separada de la barrera en el medio gaseoso; y
60 medios para crear al menos una onda de choque que se propaga a través de dicho medio no gaseoso con el fin de que incida sobre un límite formado por dicho orificio, formando de este modo un chorro transversal en el otro lado del orificio.

Se ha demostrado en el documento WO 2011/138622 que una interacción entre una onda de choque en un medio no gaseoso y un medio gaseoso, por ejemplo, una onda de choque que golpea una burbuja de gas dentro de un líquido, puede generar un chorro transversal de alta velocidad del medio no gaseoso que se mueve a través del medio gaseoso, lo que resulta en el chorro impactando en el lado de sotavento de la burbuja. De acuerdo con la

presente invención, esto se desarrolla adicionalmente. El chorro transversal creado por la onda de choque incidente sobre el límite atrapa un volumen o "burbuja" del medio gaseoso contra el objetivo. Esto da lugar a una intensa concentración de energía dentro del gas por dos mecanismos. El primer mecanismo es una simple transferencia de la energía cinética del chorro en energía potencial y posteriormente en energía calorífica cuando la burbuja se comprime mientras se detiene el movimiento del chorro. Esto incluye el calentamiento por el choque de arco que se mueve delante del chorro y el calentamiento provocado por el rebote de este choque de arco y las posteriores interacciones de los choques resultantes adicionales confinados dentro de la burbuja.

El segundo mecanismo es la transferencia de energía desde la onda de choque convergente generada por el impacto entre el chorro y la superficie del objetivo que se propaga desde el chorro a la burbuja adyacente. A medida que el borde de la onda de choque se propaga hacia el volumen atrapado, se enfoca, formando un círculo de contracción. Cuando esta onda de choque finalmente se enfoca cerca de un punto, da lugar a presiones y temperaturas extremadamente altas en la burbuja comprimida. La gran reducción en la densidad del medio en el que está desplazándose en ir desde el chorro a la burbuja significa que la onda de choque genera temperaturas muy altas en la burbuja, específicamente cuando converge en un punto.

El chorro transversal creado cuando la onda de choque en el medio no gaseoso incide sobre el medio gaseoso acelera desde el límite entre los medios no gaseoso y gaseoso a su alta velocidad en la superficie objetivo donde se atrapa y se comprime un volumen del gas. A medida que el chorro continúa a través del medio gaseoso continúa acelerándose a medida que la onda de choque converge. Por lo tanto, proporcionando la separación de la superficie objetivo del orificio en la barrera, es decir, donde el chorro transversal se forma primero en el límite, el chorro tiene espacio para acelerar más, de tal manera que alcanza una velocidad más alta al impactar sobre la superficie objetivo que sin esa separación. La separación máxima de la superficie objetivo del orificio en el límite está determinada por el punto en el que el chorro transversal comienza a ser inestable y, por lo tanto, se descompone en una pulverización de gotas. Por lo tanto, la separación de la superficie objetivo del orificio en la barrera podría ser menor que 20 veces el diámetro del orificio, por ejemplo menor que 10 veces el diámetro, por ejemplo, menor que 5 veces, por ejemplo menor que el doble del diámetro del orificio. En un conjunto de realizaciones tratadas a continuación en las que la superficie límite (es decir, el límite entre los medios no gaseoso y gaseoso) es curvada, la separación podría ser menor que 10 veces el radio de curvatura de la superficie límite, por ejemplo, menor que 5 veces, por ejemplo, menor que dos veces el radio de curvatura de la superficie límite. En teoría no hay una separación mínima, simplemente se requiere que la barrera y la superficie objetivo no se toquen. En la práctica, sin embargo, la separación debe ser suficiente para proporcionar un suministro del medio gaseoso y, en un conjunto de realizaciones tratadas a continuación, deslizarse en una nueva superficie objetivo. Esta separación permite que se aproveche más energía de la onda de choque en el chorro y posteriormente en el impacto sobre la superficie objetivo, aumentando de este modo la compresión y el calentamiento de la burbuja atrapada. Esto se compara con, por ejemplo, una disposición en la que el medio gaseoso se une directamente a la superficie objetivo cuando una burbuja sin la presencia de una barrera se separa de la superficie objetivo, como se divulga en el documento WO 2011/138622.

Por lo tanto, en función de una variedad de factores, tales como la separación entre la barrera y la superficie objetivo, puede ser posible mejorar la velocidad alcanzada por el chorro usando la presente invención. Además, como se explicará más adelante, la separación de la barrera de la superficie objetivo proporciona una serie de otras ventajas.

Las realizaciones de la invención pueden usarse para crear concentraciones muy altas de energía a través de la creación de un chorro de un medio no gaseoso que comprime un volumen de un medio gaseoso contra una superficie objetivo. Debido a las concentraciones muy elevadas de energía en la burbuja atrapada y la superficie objetivo adyacente, resultará inevitablemente un daño a la superficie objetivo. En algunas realizaciones de la invención, por ejemplo, aquellas en las que la superficie objetivo incluye un combustible para la fusión nuclear o unos reactantes para una reacción química, se pretende dañar la superficie objetivo. Si la invención se va a usar para tales fines, con el fin de obtener una reacción sostenible, son deseables impactos repetidos a una alta tasa de repetición. Sin embargo, se apreciará que para los impactos repetidos del chorro sobre la superficie objetivo, específicamente cuando la superficie objetivo está dañada por un impacto, la superficie objetivo tendrá que reemplazarse rápidamente. La separación de la barrera y la superficie objetivo hace esto posible, específicamente por que la superficie objetivo no está en contacto con ninguno de los medios no gaseosos excepto cuando la onda de choque se está propagando. Por ejemplo, la superficie objetivo podría reemplazarse completamente, por ejemplo, la superficie dañada puede deslizarse hacia fuera y una nueva superficie deslizarse hacia adentro, o la superficie objetivo con un número de diferentes lugares de impacto podría moverse a lo largo sucesivamente para colocar cada lugar de impacto en relación con el orificio en la barrera de tal manera que con cada repetición, o múltiples de las mismas, de la onda de choque en el medio no gaseoso, un nuevo lugar objetivo sobre la superficie objetivo reciba el impacto del chorro transversal creado.

La separación de la superficie objetivo y la barrera permiten que puedan fabricarse de diferentes materiales, cada una adecuada para su fin. Con el fin de resistir las presiones creadas por la onda de choque, y posiblemente por múltiples ondas de choque, en un conjunto de realizaciones la barrera se fabrica de un material fuerte, por ejemplo, acero de alta resistencia. La barrera podría reforzarse alrededor del perímetro del orificio, ya que es donde la presión

y la energía es probable que sean mayores. A la inversa, la superficie objetivo puede no necesitar tener ninguna resistencia estructural específica, ya que no está en contacto directo con la onda de choque distinta que a través del chorro. Como se ha tratado anteriormente, la superficie objetivo puede fabricarse a partir de, o al menos incluir, un combustible para la fusión nuclear o unos reactantes para una reacción química.

5 La separación de la superficie objetivo del medio no gaseoso, es decir, por la barrera, también permite la independencia de la composición del medio no gaseoso a partir de la composición del medio gaseoso, por ejemplo, debido a que el medio no gaseoso no necesita ser de una composición que permita que el medio gaseoso esté nucleado dentro del mismo, sino también debido a que pueden proporcionarse fácilmente diferentes suministros para estos dos materiales a cada lado de la barrera. Esta independencia de los materiales gaseosos y no gaseosos es específicamente ventajosa en las aplicaciones químicas de la invención, por ejemplo, la sonoquímica y la química exótica, donde la composición de los materiales puede elegirse para que sea adecuada a la reacción específica a investigar.

15 Con la independencia de la barrera y la superficie objetivo, como resultado de su separación, la forma de estas dos estructuras, así como el orificio de la barrera, pueden adaptarse individualmente también. Ventajosamente, la superficie objetivo comprende una depresión. Esta puede diseñarse para recibir el impacto del chorro transversal de tal manera que al menos parte del medio gaseoso queda atrapado entre el chorro impactante y la depresión superficial, por ejemplo, una burbuja de gas queda atrapada y comprimida contra la superficie interna de la depresión por el chorro. En función de la aplicación para la que se emplea el aparato, por ejemplo, la fusión nuclear o una reacción química, la superficie objetivo podría conformarse para recoger los productos de cualquier reacción que se genere en la superficie. Por ejemplo, la superficie objetivo podría estar dispuesta en un ángulo con respecto a la horizontal de tal manera que los productos de la reacción fluyan hacia abajo de la superficie a un recipiente colector.

25 La conformación de la superficie en la depresión opuesta donde incide la onda de choque puede ser plana de tal manera que el chorro hace contacto con la superficie en un punto. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones, la depresión superficial está dispuesta de tal manera que la región de contacto inicial es una curva que forma un bucle cerrado, por ejemplo, un anillo. Esto aumenta la facilidad de atrapar un volumen del medio gaseoso entre la punta del chorro y el borde de la depresión. Para conseguir esto, una sección de la superficie objetivo tiene una curvatura mayor que la de la punta del chorro y esta parte de la superficie se coloca de tal manera que el chorro impacta en la misma. Tras impactar, se genera una onda de choque toroidal cuyo borde interior se propaga hacia la base de la depresión y hacia la parte atrapada del gas. Combinando esto con el efecto de "pistón" del gas que detiene el movimiento del chorro impactante, se produce un calentamiento extremadamente fuerte del gas atrapado. Por ejemplo, para una resistencia dada de onda de choque, las temperaturas máximas pueden aumentarse en más de un orden de magnitud mediante estas disposiciones en comparación con un volumen del gas en contacto con una superficie plana.

40 La depresión podría tener un número de conformaciones. En un conjunto de realizaciones, se ahúsa en sección transversal lejos de la boca. La depresión podría parecerse a un plato - por ejemplo, estar continuamente curvada. Sin embargo, no es necesario que la superficie esté curvada de manera continua. En un conjunto de realizaciones, la superficie se parece más a una grieta que a una conformación de plato. Esto podría definirse indicando que la profundidad es mayor que la anchura o por la presencia de una región de curvatura en la punta de la grieta mayor que la curvatura (o curvatura máxima) de la parte de la burbuja atrapada en la misma. En un conjunto de realizaciones, la superficie comprende una pluralidad de partes discretas, por ejemplo, con una discontinuidad de gradiente entre las mismas. Las partes podrían ser ellas mismas elipses parciales, parábolas, etc., pero igualmente podrían ser rectas. Un conjunto específico de realizaciones de superficies fabricadas de partes discretas podría describirse como un polinomio por piezas.

50 La superficie de destino no necesita estar limitada a tener una sola depresión (por ejemplo, para explotar el fenómeno de inyección descrito anteriormente) y por lo tanto, en un conjunto de realizaciones, la superficie objetivo comprende una pluralidad de depresiones.

55 En un conjunto específico de realizaciones, el chorro transversal está dispuesto para golpear un área de la superficie que se ha preparado con una rugosidad específica, un conformidad microscópica o macroscópica de tal manera que muchas pequeñas partes del medio gaseoso están atrapadas entre la punta del chorro y la superficie objetivo, es decir, las muchas pequeñas depresiones son pequeñas en comparación con el tamaño de la punta del chorro transversal.

60 En otro conjunto de realizaciones se proporcionan unas depresiones discretas plurales. Cada depresión individual puede conformarse para estimular el enfoque de energía haciendo que el chorro transversal creado en la barrera atrape uno o más volúmenes de gas. Es decir, la superficie puede prepararse con más de un lugar donde el chorro transversal interactuará con una sección conformada de la superficie en la que un volumen del medio gaseoso puede estar atrapado, proporcionando de este modo escalabilidad. Una ventaja de emplear una pluralidad de depresiones es que puede aprovecharse una mayor proporción de la energía del chorro transversal. Además, debido

a la separación de la barrera de la superficie objetivo, no es necesario hacer cambios en la naturaleza del medio gaseoso o en cómo se suministra ya que éste se extenderá a través de la pluralidad de depresiones.

Se apreciará que las depresiones discretas plurales son adecuadas específicamente para un conjunto de realizaciones en las que se proporciona más de un orificio en la barrera. Preferentemente, cada depresión corresponde a un orificio en la barrera, es decir, de tal manera que cada chorro transversal creado impacta en su depresión correspondiente sobre la superficie objetivo. Esto permite que se aproveche una mayor proporción de la onda de choque inicial incidente sobre la barrera. Toda la pluralidad de orificios podría tener la misma conformación, lo que simplifica la fabricación de la barrera, o podrían ser conformaciones diferentes, por ejemplo, en función de su posición sobre la barrera. Esto podría ser útil en las realizaciones en las que la conformación de la barrera está optimizada para controlar la formación del chorro transversal, por ejemplo, la conformación del orificio puede depender de la conformación local de la barrera. Además, los orificios podrían estar dispuestos, por la conformación de la barrera y/o la conformación de los orificios, de tal manera que múltiples chorros transversales se dirijan a una sola posición sobre la superficie objetivo, por ejemplo, donde se localiza una depresión, con el fin de intensificar la compresión de la burbuja atrapada en ese punto. Como tal, se apreciará que esto también puede aplicarse al conjunto de realizaciones en las que solo se proporciona una única depresión sobre la superficie objetivo.

La pluralidad de depresiones en la superficie objetivo podría formarse de varias maneras. Por ejemplo, una superficie sólida podría taladrarse o de otro modo mecanizarse para producir depresiones o irregularidades. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones, las depresiones se crean por la textura superficial de la superficie. Por ejemplo, la superficie puede perforarse con un material abrasivo, grabarse o tratarse de otro modo para dar un grado deseado de rugosidad de superficie que proporciona, a nivel de microscópico, un gran número de irregularidades o depresiones.

La superficie objetivo podría construirse a partir de un sólido, como implicado en muchas de las realizaciones descritas anteriormente, pero podría igualmente bien ser un líquido. En el caso de un sólido, cualquiera de los materiales propuestos en el documento US 7445319 podría ser adecuado. En el caso de un líquido, la conformación de superficie necesaria (si se requiere, por ejemplo, en el conjunto de realizaciones que comprende una depresión) podría conseguirse de varias maneras. Por ejemplo, la superficie de un volumen de líquido podría excitarse con una vibración adecuada (por ejemplo, usando un ultrasonido u otro método) para generar una onda que tenga la conformación deseada. Como alternativa, la conformación deseada podría conseguirse a través del ángulo de contacto entre un líquido y una superficie sólida con propiedades de humectación adecuadamente adaptadas. Por supuesto, este último ejemplo muestra que la superficie podría comprender una combinación de sólido y líquido. Cuando la superficie objetivo comprende un líquido, será en general más densa que el medio no gaseoso.

La conformación de la barrera puede también estar conformada para controlar la formación del chorro transversal. Más específicamente, diseñando la barrera explícitamente para recibir el chorro de alta velocidad formado por la interacción de la onda de choque incidente con el medio gaseoso, cuando la onda de choque incidente interactúa con la superficie del medio gaseoso, forma un choque transmitido y una rarefacción reflejada. Si el contacto es la conformación correcta, es decir, curvándose lejos de la onda de choque incidente, entonces esta rarefacción actuará para enfocar el flujo a un punto. Esto da lugar a continuación a la formación del chorro transversal de alta velocidad que puede, puramente como un ejemplo, alcanzar más de 2000 ms^{-1} para una onda de choque de 1 GPa. Cuando este chorro golpea la superficie objetivo, se genera una onda de choque fuerte dentro de la fuerza del impacto de una manera análoga a la situación de impacto de gota de alta velocidad descrita en el documento US 7445319. La barrera podría comprender una conformación general para enfocar la onda de choque hacia el orificio o, en el conjunto de realizaciones en las que se proporcionan una pluralidad de orificios en la barrera, la barrera podría conformarse localmente en la proximidad de cada orificio para controlar la formación de cada chorro transversal creado.

Así como la conformación de la superficie objetivo y/o la conformación de la barrera se eligen para optimizar la formación del chorro transversal y la compresión de la burbuja atrapada, la conformación del orificio en la barrera también puede elegirse para ayudar a la formación del chorro transversal. El orificio podría comprender una de varias formas diferentes, por ejemplo, circular, a través de la barrera con una sección transversal constante. Sin embargo, la sección transversal podría acampanarse o ahusarse a través de la barrera en la dirección del medio gaseoso con el fin de controlar la formación del chorro transversal y enfocarlo o dirigirlo sobre la superficie objetivo, por ejemplo, hacia una depresión. A este respecto, la región de la superficie de destino sobre la que se pretende hacer impactar el chorro transversal, por ejemplo, la depresión, no necesita estar colocada directamente opuesta al orificio desde el que se origina el chorro transversal, la conformación de la barrera y/o el orificio podría disponerse para controlar esto.

La conformación de cada orificio también puede usarse para controlar la conformación del límite entre los medios gaseoso y no gaseoso en el orificio. La conformación del límite también puede controlarse por las presiones relativas del medio gaseoso con el medio no gaseoso. Como se apreciará, esto es específicamente sencillo de controlar con la disposición de la presente invención debido a la separación entre la barrera y la superficie objetivo. En un conjunto de realizaciones, el aparato comprende unos medios para controlar la presión del medio gaseoso. Estos medios o medios alternativos, por ejemplo, un suministro de gas en comunicación fluida con el medio gaseoso, también puede

usarse para reponer el medio gaseoso después de que se haya aplicado una onda de choque al medio no gaseoso. Este conjunto de realizaciones tiene la ventaja de un gran control sobre el contenido y el tamaño del medio gaseoso generado, así como permitir que se reponga el medio gaseoso rápidamente, es decir, comparado con la nucleación de una burbuja en el medio no gaseoso, permitiendo que se apliquen las ondas de choque a una alta tasa de repetición, proporcionando otra ventaja resultante de la separación de la barrera de la superficie objetivo.

La conformación del límite entre los medios no gaseoso y gaseoso podría ser plana. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones, aludidas anteriormente, el límite no es plano, es decir, es curvo. Preferentemente, el medio gaseoso sobresale en el medio no gaseoso a través del orificio, es decir, el límite es convexo. Se ha descubierto que esta conformación convexa es específicamente ventajosa para formar el chorro transversal como el ventilador de rarefacción, que se forma cuando incide la onda de choque sobre el límite, que actúa para enfocar el flujo del medio no gaseoso a un punto, formando de este modo un chorro estrecho en el que se aprovecha la energía desde la superficie del límite. Esto se considera novedoso e inventivo por derecho propio y por lo tanto, cuando se ve desde otro aspecto, la invención proporciona un método para producir una concentración localizada de energía que comprende crear una onda de choque que se propaga a través de un medio no gaseoso con el fin de que incida sobre un límite convexo entre el medio no gaseoso y un medio gaseoso formado por al menos un orificio en una barrera que separa el medio no gaseoso de un medio gaseoso, formando de este modo un chorro transversal en el otro lado del orificio que incide sobre una superficie objetivo que está separada de la barrera en el medio gaseoso.

La invención también se extiende a un aparato para producir una concentración localizada de energía, que comprende:

- un medio gaseoso;
- un medio no gaseoso separado del medio gaseoso por una barrera que comprende al menos un orificio en la misma que forma un límite que es convexo en el medio no gaseoso;
- una superficie objetivo que está separada de la barrera en el medio gaseoso; y
- medios para crear al menos una onda de choque que se propaga a través de dicho medio no gaseoso con el fin de que incida sobre el límite formado por dicho orificio, formando de este modo un chorro transversal en el otro lado del orificio.

En un conjunto de realizaciones, la onda de choque inicial aplicada al medio no gaseoso podría estar dispuesta para ajustarse a la conformación del límite entre los medios no gaseoso y gaseoso que podría aumentar la intensidad del chorro transversal creado.

En un conjunto de realizaciones, la microestructura o las características de humectación de la barrera y/o del borde del orificio pueden optimizarse para controlar la conformación del límite. Por ejemplo, la barrera y/o el orificio podrían comprender unas superficies o recubrimientos hidrofóbicos y/o hidrófilos (o materiales con afinidades y repulsiones a tipos de fluidos distintos del agua). Proporcionar una microestructura específica o características de humectación de la barrera y/o del orificio, en combinación con los medios para reponer el medio gaseoso, puede ayudar de nuevo a la formación rápida del medio gaseoso en el límite para permitir una alta tasa de repetición para las ondas de choque. Por ejemplo, el perímetro del orificio podría comprender un material hidrofóbico, fuera del cual hay un material hidrófilo para controlar el límite de posición de los medios gaseosos y no gaseosos, así como el ángulo de contacto del límite con la barrera.

En conjunto adicional de realizaciones, la tensión superficial del medio no gaseoso puede usarse para controlar la conformación del límite. En otro conjunto de realizaciones se aplica una onda de presión estacionaria, por ejemplo, una onda de ultrasonido estacionaria, al medio no gaseoso para controlar la conformación del límite. Esta técnica también puede usarse para estimular la reformación del medio gaseoso en el límite después de una onda de choque, permitiendo de nuevo una alta tasa de repetición para las ondas de choque.

Sin embargo, se ha previsto una técnica adicional por los inventores para controlar la conformación del límite y para permitir una alta tasa de repetición de las ondas de choque. En un conjunto de realizaciones, el aparato comprende una membrana que define el límite entre los medios gaseoso y no gaseoso, por ejemplo, una membrana prefabricada, que define la conformación del límite. El uso de una membrana fina de esta manera permite un desacoplamiento de los materiales no gaseoso y gaseoso, permitiendo que se realice cualquier elección de combinación de composiciones. Esto también permite controlar la conformación del límite con una precisión no disponible para otros métodos. La membrana podría estar formada a partir de cualquier material adecuado, por ejemplo vidrio, por ejemplo, plástico, por ejemplo, caucho.

Tener una membrana prefabricada permite que un medio no gaseoso, por ejemplo, un líquido, se use más fácilmente cuando se atrapa el medio gaseoso en su lado de la barrera y por lo tanto no puede flotar lejos a través del orificio o perturbarse de otro modo. En un conjunto específico de realizaciones, la membrana es frangible y está dispuesta para romperse tras el impacto de la onda de choque de tal manera que no tiene influencia sobre la dinámica resultante. En un conjunto de realizaciones, la membrana prefabricada incluye una línea o región de debilidad, de tal manera que tras el impacto de la onda de choque se rompe a lo largo de la línea o en la región de debilidad. La línea o región de debilidad puede estar dispuesta de tal manera que la posición de la brecha influya en

los patrones de flujo subsiguientes, por ejemplo, esto podría ayudar a controlar la formación y la dinámica del chorro transversal. En otro conjunto de realizaciones, la membrana está diseñada para deformarse con el límite de colapso.

5 En el conjunto de realizaciones en las que una pluralidad de orificios se proporcionan en la barrera, una membrana separada podría proporcionarse para cubrir cada uno de los orificios. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones, la membrana está dispuesta para cubrir dos o más de los orificios de la barrera. Esto es más fácil de disponer, específicamente cuando se desea aplicar una alta tasa de repetición para múltiples ondas de choque al medio no gaseoso. Por ejemplo, podría deslizarse una nueva membrana en el aparato antes de cada aplicación de la onda de choque, similar a la disposición para la superficie objetivo como se ha tratado anteriormente. De hecho, la superficie objetivo y la membrana podrían deslizarse a su lugar de manera simultánea, por ejemplo, pre-fabricadas con el medio gaseoso entre las mismas.

15 En un conjunto de realizaciones, el aparato comprende una pluralidad de barreras, comprendiendo cada barrera al menos un orificio en la misma y separando un medio gaseoso de un medio no gaseoso. De esta manera, la energía de la onda de choque inicial puede intensificarse con cada incidencia sucesiva sobre una barrera y un medio no gaseoso, aprovechando de este modo una mayor cantidad de la energía de la onda de choque inicial sobre la superficie objetivo. Cada volumen de medio no gaseoso y medio gaseoso a cualquiera de los lados de las barreras no necesita comprender la misma composición. Por ejemplo, en un conjunto de realizaciones con dos barreras, la onda de choque podría aplicarse a un primer medio no gaseoso para incidir sobre un límite con el primer medio gaseoso en un orificio en la primera barrera y, a continuación incidir posteriormente sobre un segundo medio no gaseoso, y a continuación un segundo límite con un segundo medio gaseoso en un orificio en la segunda barrera antes de incidir sobre la superficie objetivo.

25 En las realizaciones en las que la orientación general de las barreras es horizontal, las capas intermedias de medio gaseoso podrían simplemente flotar por encima de las capas respectivas de medio no gaseoso. Sin embargo, en un conjunto de realizaciones, el aparato comprende una membrana que separa el límite entre los medios no gaseoso y gaseoso alejándose del límite, lo que es específicamente ventajoso en las realizaciones en las que la orientación general de las barreras está alejada de la horizontal, para retener la colocación respectiva de los medios no gaseoso y gaseoso. Esto puede ser adicional o en lugar de una membrana a través de los orificios en las barreras.

30 Los orificios en las barreras adyacentes podrían estar directamente alineados entre sí con el fin de dirigir el chorro transversal creado en una barrera sobre el medio no gaseoso en el orificio correspondiente en la siguiente barrera. Como alternativa, los orificios podrían estar dispuestos de tal manera que múltiples chorros transversales se dirijan desde una barrera hacia el medio no gaseoso en un único orificio en la siguiente barrera, o viceversa, es decir, un único chorro a múltiples orificios. Esta alternativa anterior puede verse como específicamente ventajosa ya que los múltiples chorros convergentes intensifican la onda de choque incidente sobre la siguiente capa no gaseosa. Por lo tanto, si se disponen capas sucesivas de material no gaseoso y gaseoso de esta manera, puede aprovecharse y enfocarse una gran cantidad de energía de la onda de choque inicial sobre el material gaseoso final que está atrapado y comprimido contra la superficie objetivo. También se apreciará que cualquiera de estas disposiciones puede combinarse con cualquier número de las realizaciones tratadas anteriormente, por ejemplo, con respecto a la forma de los orificios, la conformación de la barrera, etc., con el fin de controlar la formación de los chorros transversales y de las ondas de choque resultantes. En particular, las barreras podrían estar conformadas para enfocar las ondas de choque iniciales y/o resultantes en los uno o más orificios y/o en la superficie objetivo, por ejemplo, para ajustarse a la conformación del límite entre los medios gaseoso y no gaseoso en los uno o más orificios en la barrera posterior.

50 Por supuesto, como ya se ha aludido, algunas realizaciones pueden comprender una pluralidad de volúmenes del medio gaseoso. Sin embargo, además o en lugar de que estos múltiples volúmenes estén cada uno en contacto con una barrera respectiva, los inventores han previsto una disposición adicional en la que la onda de choque inicial puede enfocarse sobre la superficie objetivo final. En un conjunto de realizaciones, el aparato comprende una o más bolsas de fluido dentro del medio no gaseoso que están colocadas en relación con los uno o más orificios en la barrera de tal manera que la incidencia de la onda de choque en la primera bolsa de fluido concentra la intensidad de la onda de choque posteriormente a la incidencia sobre el medio gaseoso. Preferentemente, el fluido comprende un gas, por ejemplo, de la misma composición que el medio gaseoso.

55 Se apreciará que las una o más bolsas de líquido dentro del medio no gaseoso (y cualquier capa del mismo), como con las múltiples capas de los medios no gaseoso y gaseoso, actúa para potenciar una mayor proporción de la onda de choque inicial que es incidente sobre un único orificio en la barrera. La incidencia de la onda de choque en la bolsa de fluido hace que un chorro transversal a formarse acelere a través del volumen de la bolsa e impacte en el lado de sotavento de la bolsa. Este impacto resulta en una onda de choque en movimiento hacia el exterior que pueden ser más de diez veces la presión de la onda de choque incidente. La bolsa de fluido se coloca en relación con los uno o más orificios en la barrera de tal manera que esta onda de choque más intensa a continuación interactúa con el medio gaseoso con una presión mayor que si la onda de choque inicial hubiera incidido sobre la misma. Al igual que con los múltiples orificios en la barrera para las múltiples capas, pueden colocarse múltiples bolsas de fluido en el medio no gaseoso para generar chorros transversales que impacten posteriormente en el medio gaseoso en uno o más orificios en la barrera.

Tan bien como crear una conformación específica para una o más de la superficie objetivo, la barrera, el orificio en la barrera, y el límite, en un conjunto de realizaciones las características de micro-estructura o humectantes de una o más de la superficie objetivo, la barrera y el orificio pueden optimizarse para controlar la velocidad de la onda de choque cerca de la superficie objetivo, por ejemplo, para aumentar la velocidad cerca de la superficie objetivo, cambiando de este modo la conformación de la onda de choque y por lo tanto la naturaleza de la interacción entre la onda de choque y la burbuja atrapada. Como se ha tratado anteriormente, un límite conformado de manera apropiada entre los medios no gaseoso y gaseoso puede usarse en este conjunto de realizaciones para que coincida con la conformación de la onda de choque con la conformación del límite, permitiendo de este modo que se controle la dinámica de la formación del chorro transversal con el fin de maximizar la temperatura y la densidad conseguida en la compresión de la burbuja atrapada.

La invención descrita en el presente documento proporciona alternativas a la técnica descrita en el documento US 7445319, que puede aportar sus propios beneficios. Los presentes inventores han reconocido que existen retos significativos en la nucleación de una burbuja en una gota disparada a gran velocidad contra un objetivo, como se sugiere en el documento US 7445319. El sincronismo tendrá que ser muy preciso para que la burbuja esté en un momento favorable de su ciclo de expansión-contracción cuando el choque golpee. El método por el que se crean gotas de alta velocidad como se requiere en el documento US 7445319 y se detalla en el documento US 780918 también es complejo y costoso. Por el contrario tal complejidad y gastos asociados pueden evitarse de acuerdo con al menos unas realizaciones preferidas de la presente invención. Por lo tanto, los diversos aspectos de la presente invención proporcionan técnicas mucho más simples para comprimir una burbuja atrapada por un chorro de un medio no gaseoso, en la medida que una onda de choque necesita simplemente crearse dentro del medio no gaseoso. Además, el modelado teórico e informático de ambas técnicas realizadas por los presentes inventores sugiere que el método de acuerdo con la presente invención puede dar intensidades de presión y temperatura que son de un orden de magnitud mayor que el método detallado en el documento US 7445319.

El marco de trabajo más estático que pueden emplearse de acuerdo con la invención para comprimir una burbuja de gas usando una onda de choque permite un control mucho mayor (en comparación con una burbuja libre) sobre la forma en la onda de choque que golpea el medio gaseoso e interactúa con la burbuja atrapada.

La onda de choque inicial podría crearse de varias maneras diferentes mediante un número de diferentes dispositivos en función de la presión necesaria. Por ejemplo, un dispositivo de litotricia de onda de choque podría usarse para generar ondas de choque más bajas de intensidad o podría usarse un generador de onda plana explosivo para proporcionar ondas de choque de alta intensidad. Como alternativa, podría usarse una pistola de gas para golpear un proyectil en un diafragma o pistón en contacto con el medio no gaseoso para crear la onda de choque. En las realizaciones preferidas, un dispositivo explosivo de este tipo puede crear una presión de onda de choque de entre 0,1 GPa y 50 GPa, y en otra realización preferida, podría usarse un dispositivo de litotricia para generar presiones de la onda de choque de 100 MPa a 1 GPa. Si una onda de choque se va a aplicar repetidamente al medio no gaseoso, la tasa de repetición puede ser mayor que 0,1 Hz, por ejemplo, mayor que 1 Hz, por ejemplo, mayor que 10 Hz, por ejemplo, mayor que 100 Hz, por ejemplo, mayor que 1 kHz, por ejemplo, 20 kHz.

La expresión "medio gaseoso" y "gas" tal como se usa en el presente documento debería entenderse genéricamente y por lo tanto no como limitada a los gases atómicos o moleculares puros, sino también para incluir vapores, suspensiones o micro-suspensiones de líquidos o sólidos en un gas o cualquier mezcla de los mismos. El "medio no gaseoso" debería entenderse genéricamente y por lo tanto podría incluir líquidos, líquidos no newtonianos, geles semi-sólidos, materiales que son ostensiblemente sólidos hasta que el paso de la onda de choque cambia sus propiedades, suspensiones o micro-suspensiones y coloides. Los ejemplos incluyen pero no se limitan a agua, aceites, disolventes tales como acetona, hidrogeles y organogeles. Debería entenderse que el medio no gaseoso tendrá una densidad mayor que el medio gaseoso.

El medio no gaseoso podría ser cualquier sustancia adecuada para crear una onda de choque en, tal como un líquido o un gel semi-sólido. El medio gaseoso puede proporcionarse como se ha descrito anteriormente entre la barrera y la superficie objetivo. El uso de un gel o un líquido viscoso tiene la ventaja de que es más fácil de controlar la conformación detallada del límite entre los medios gaseoso y no gaseoso en el orificio en la barrera, en comparación con un líquido de viscosidad más baja en el que la flotabilidad del medio no gaseoso puede superar la viscosidad del líquido. Además, los medios no gaseoso y/o gaseoso podrían comprender aditivos, por ejemplo agentes tensoactivos para controlar la tensión superficial, y por lo tanto la conformación, del límite entre los medios gaseoso y no gaseoso.

En un conjunto preferido de realizaciones, los métodos descritos en el presente documento se emplean para generar reacciones de fusión nuclear. El combustible para la reacción podría proporcionarse por el medio gaseoso, el medio no gaseoso, o el combustible podría proporcionarse por la propia superficie objetivo. Cualquiera de los combustibles mencionados en el documento US 7445319 es adecuado para su uso en la presente invención.

Las reacciones de fusión que pueden obtenerse de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención podrían usarse para la producción de energía neta (el objetivo de investigación a largo plazo en este campo), pero los inventores han apreciado que, incluso si la eficiencia de la fusión está por debajo de la necesaria para la producción de energía

neta, la fusión fiable que puede obtenerse de acuerdo con realizaciones de la invención es ventajosa, por ejemplo, en la producción de tritio que puede usarse como combustible en otros proyectos de fusión y es muy caro de producir usando actualmente las tecnologías existentes actualmente, por ejemplo, usando un reactor de fisión nuclear. La fusión también puede ser beneficiosa en proporcionar una fuente de neutrones rápida y segura que sea más barata y más compacta que las alternativas convencionales. Los expertos en la materia apreciarán que esto tiene muchas aplicaciones posibles, por ejemplo, la exploración de contenedores de envío, por nombrar una.

Por otra parte, no es esencial de acuerdo con la invención producir la fusión en absoluto. Por ejemplo, en algunas realizaciones, las técnicas y aparatos de la presente invención pueden emplearse ventajosamente como la sonoquímica o el reactor de química exótica que puede usarse para acceder a condiciones extremas e inusuales, o simplemente para producir específicamente un calentamiento sustancial que se localiza en su concentración.

A continuación, se describirán ciertas realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una realización de acuerdo con la invención;

las figuras 2a - 2c muestran tres etapas sucesivas de una interacción de una onda de choque con el medio gaseoso mostrado en la figura 1;

la figura 3 muestra una variante de la realización de la figura 1 que comprende una membrana;

la figura 4 muestra una variante de la realización de la figura 1 que comprende unas zonas hidrófilas e hidrófobas;

la figura 5 muestra una variante de la realización de la figura 1 que comprende unas burbujas focalizadas;

la figura 6 muestra una variante de la realización de la figura 1 que comprende dos capas; y

la figura 7 muestra una variante de la realización de la figura 6, que comprende dos orificios en la capa superior.

La figura 1 muestra esquemáticamente una disposición de acuerdo con la invención. Una barrera sólida 2, por ejemplo, fabricada de acero de alta resistencia o una aleación de titanio, se coloca entre un medio no gaseoso 4 en la forma de un hidrogel, por ejemplo, una mezcla de agua y gelatina, y un medio gaseoso 6, por ejemplo, un combustible en forma de vapor adecuado para tomar parte en una reacción de fusión nuclear. Un orificio 8 está formado en la barrera 2, permitiendo que se forme de este modo un límite 10 en la superficie de contacto entre el medio no gaseoso 4 y el medio gaseoso 6. El límite 10 entre el medio no gaseoso 4 y el medio gaseoso 6 está definido en el hidrogel como una superficie semiesférica que sobresale en el medio no gaseoso 4. Una superficie objetivo sólida 12, fabricada de cualquier material adecuado, por ejemplo, conteniendo combustible o reactivos nucleares, se coloca separada de y paralela a la barrera 2 en el otro lado del medio no gaseoso. Se apreciará que no hay restricción en el material de la superficie objetivo que necesita soportar una onda de choque, proporcionándose una amplia gama de posibles materiales. La superficie objetivo 12 comprende una depresión 14 cóncava en forma de V, en oposición al orificio 8 en la barrera 2 que se llena con el medio gaseoso 6. La depresión 14 puede mecanizarse o formarse como resultado de una grieta en la superficie objetivo 12. El tamaño del aparato no es esencial, pero una dimensión típica de este diagrama podría estar entre 0,1 y 1×10^{-5} m.

A continuación, se describirá el funcionamiento de esta realización, haciendo referencia específica a las tres etapas sucesivas que se muestran en las figuras 2a - 2c de una onda de choque 16 que interactúa con el medio gaseoso 6. Inicialmente, se crea una onda de choque 16 a partir de una explosión, por ejemplo, con una presión de 5 GPa, dentro del medio no gaseoso 4. Esto se representa en la figura 1 como una línea 16 que se propaga en la dirección de la flecha hacia la barrera 2.

En primer lugar, la onda de choque 16 golpea con la parte superior del límite 10, como se muestra en la figura 2a, haciendo que una parte de la onda de choque 16 se refleje como resultado del gran cambio en la densidad del medio no gaseoso 4 al medio gaseoso 6. Esta parte reflejada forma un ventilador de rarefacción que se propaga fuera del medio gaseoso 6 y por lo tanto, crea una región de baja presión entre la parte reflejada de la onda de choque y el medio gaseoso 6 en el límite 10.

El medio no gaseoso 4 fluye en esta región de baja presión como un chorro transversal 13 que atraviesa el medio gaseoso 6, como se muestra en la figura 2b. La separación de la barrera 2 de la superficie objetivo 12 permite que el chorro 13 acelere a través del medio gaseoso 6 hasta impactar en la depresión 14 en la superficie objetivo 12, atrapando un volumen 15 del medio gaseoso 6 entre la punta del chorro 13 y la depresión que se ahúsa 14 en la superficie objetivo 12, como se muestra en la figura 2c. La compresión del combustible gaseoso en el interior del volumen atrapado provoca un calentamiento local intenso que puede ser suficiente para generar una reacción de fusión nuclear.

La figura 3 muestra una variante de la realización mostrada en la figura 1, en la que el medio no gaseoso 104 se separa del medio gaseoso 106 mediante una membrana pre-fabricada 110 que está colocada sobre el orificio 108 en la barrera 102. La membrana pre-fabricada 110 es frangible, es decir, está diseñada para romperse por el impacto de la onda de choque 116. Una vez que la membrana pre-fabricada 110 se ha roto por el impacto de la onda de choque 116, el chorro transversal resultante continúa propagándose en el medio gaseoso 106, atrapando un pequeño volumen del medio gaseoso contra la superficie objetivo 112 en la depresión 114, de la misma manera que

para la realización anterior. La membrana pre-fabricada 110 también permite que el medio no gaseoso 104 se fabrique a partir de un líquido que evita que el medio gaseoso 106 flote hacia arriba a través del orificio 108 y escape.

5 La figura 4 muestra otra variante de la realización mostrada en la figura 1, en la que el perímetro del orificio 208 en la barrera 202 está recubierto de un material hidrófobo 218 y en el exterior de esta barrera 202 está recubierto de un material hidrófilo 220. La combinación y la colocación relativa del material hidrófobo 218 y del material hidrófilo 220 permiten que el límite 210 entre el medio no gaseoso 204 y el material gaseoso 206 se localice con precisión y con capacidad de repetición, por ejemplo, cuando se reponga el medio gaseoso 206 después de la aplicación de una
10 onda de choque 216. Los recubrimientos del material hidrófobo 218 y del material hidrófilo 220 también ayudan a conformar el límite 210, es decir, para que esté de pie en su forma hemi-esférica.

La figura 5 muestra una variante adicional de la realización mostrada en la figura 1, en la que dos bolsas de gas 322 están colocadas dentro del medio no gaseoso 304, separadas simétricamente por encima y al lado del orificio 308
15 en la barrera 302. En funcionamiento, en primer lugar la onda de choque 316 incide sobre la superficie superior de las dos bolsas de gas 322 y, en una forma similar a la onda de choque que interactúa con el medio gaseoso 306 en el orificio 308 como se ha descrito haciendo referencia a las realizaciones anteriores, se forma un chorro transversal del medio no gaseoso 304 que viaja a través del volumen de cada una de las bolsas de gas 322 de tal manera que impacta sobre la superficie de sotavento de cada una de las bolsas de gas 322. Estos impactos crean una onda de
20 choque resultante, que es más intensa que la onda de choque inicial 316 aplicada al medio no gaseoso 304, y que posteriormente incide sobre el medio gaseoso 306 en el orificio 308 en la barrera 302. Esta onda de choque resultante interactúa con el medio gaseoso 306, por lo que posteriormente atrapa un volumen del medio gaseoso 306 contra la superficie objetivo 312 en la depresión 314, como se ha descrito anteriormente para las realizaciones anteriores.

La figura 6 muestra otra variante más de la realización mostrada en la figura 1, en la que se proporciona una barrera inferior 424 por debajo y en paralelo a la barrera superior 402. Una primera capa de medio no gaseoso 404 se proporciona por encima de la barrera superior 402 con una capa de medio gaseoso 406 por debajo, y una segunda
30 capa de medio no gaseoso 426 se proporciona por encima de la barrera inferior 424 con una capa de medio gaseoso 428 por debajo. En funcionamiento, en primer lugar la onda de choque 416 incide sobre el límite 410 entre la primera capa del medio no gaseoso 404 y la primera capa del medio gaseoso 406 y, de una manera similar a la onda de choque que interactúa con el medio gaseoso 406 en el orificio 408 como se ha descrito haciendo referencia a las realizaciones anteriores, se forma un chorro transversal del medio no gaseoso 404 que viaja a través de la primera capa del medio gaseoso 406 de tal manera que impacta sobre la segunda capa del medio no gaseoso 426. Este impacto crea una onda de choque resultante en la segunda capa de medio no gaseoso 426, que es más
35 intensa que la onda de choque inicial 416 aplicada a la primera capa del medio no gaseoso 404, y que posteriormente incide sobre un límite con la segunda capa del medio gaseoso 428 formado por el orificio 430 en la barrera inferior 424. El chorro transversal resultante pasa a través de la segunda capa del medio gaseoso 428, por lo que posteriormente atrapa un volumen del medio gaseoso 428 contra la superficie objetivo 412 en la depresión 414, como se ha descrito anteriormente para las realizaciones anteriores.

La figura 7 muestra una variante de la realización mostrada en la figura 6, en la que se proporcionan dos orificios 508 en la barrera superior 502 separados simétricamente por encima y al lado del orificio 530 en la barrera inferior 524. El funcionamiento de esta realización es muy similar a la realización mostrada en la figura 6, aparte de que los
45 dos chorros transversales resultantes se crean en la primera capa del medio gaseoso 506 que se combinan y, finalmente, inciden sobre la segunda capa del medio gaseoso 528, aprovechando de este modo una mayor proporción de la energía de la onda de choque inicial 516 que se canaliza en el chorro transversal final que atrapa un volumen del medio gaseoso 528 en la depresión 514 en la superficie objetivo 512.

50 Aunque se han proporcionado unos ejemplos específicos, se apreciará que hay un gran número de parámetros que influyen en los resultados reales obtenidos, por ejemplo, la densidad media del líquido o el gel, la presión y la temperatura ambiente, la composición del medio gaseoso y del medio no gaseoso, el ángulo de impacto y la conformación de la onda de choque, la conformación de superficie objetivo y de micro-estructura de la superficie objetivo, la conformación de barrera, el número de barreras y capas de los medios no gaseoso y gaseoso, y la
55 conformación del límite entre los medios no gaseoso y gaseoso.

En cada una de las realizaciones descritas anteriormente, los diagramas mostrados son una sección transversal vertical a través de un volumen tridimensional del medio gaseoso y de la superficie objetivo y por lo tanto representan realizaciones que son rotacionalmente simétricas. Sin embargo, esto no es esencial para la invención.
60 En particular, la superficie podría comprender unas partes de superficie discretas en la dirección de rotación, ya sea en lugar de, o así como en la sección transversal vertical mostrada. En este último caso, la superficie objetivo sería multi-faceta. Cada faceta podría dar lugar a unas ondas de choque separadas pero convergentes.

En todas las realizaciones descritas, el aparato puede usarse creando una onda de choque en el medio que incide
65 sobre una burbuja que contiene vapor de agua deuterada.

5 En el modelado numérico del experimento, las técnicas descritas en el presente documento dan lugar a una presión máxima de ~ 20 GPa que es suficiente para provocar unas temperaturas en el interior del volumen colapsado del gas por encima de 1×10^6 Kelvin que pueden ser suficientes para una reacción de fusión nuclear de los átomos de deuterio. En algunos ejemplos no limitativos, los neutrones resultantes podrían usarse en otros procesos, o podrían absorberse por un absorbente de neutrones para convertir la energía cinética de los neutrones en energía térmica y por lo tanto la generación de energía termodinámica convencional.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir una concentración localizada de energía que comprende la creación de una onda de choque (16; 116; 216; 316; 416; 516) que se propaga a través de un medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) con el fin de que sea incidente sobre un límite (10; 110; 210; 410) entre el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) y un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506);
- 5 caracterizado por que el límite (10; 110; 210; 410) entre el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) y el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506) está formado por al menos un orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en una barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) que separa el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) de un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506), formando de este modo un chorro transversal (13) en el otro lado del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508), que es incidente sobre una superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) que comprende una depresión (14; 114; 314; 414; 514) que está separada de la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) en el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506).
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) está separada del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) por una distancia menor que 20 veces el diámetro del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508), por ejemplo, menor que 10 veces el diámetro del orificio, por ejemplo, menor que 5 veces el diámetro del orificio, por ejemplo, menor que dos veces el diámetro del orificio.
- 20 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) es reemplazable.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en el que la superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) comprende una pluralidad de depresiones.
- 25 5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la barrera (502) comprende una pluralidad de orificios (508).
- 30 6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) está conformada para controlar la formación del chorro transversal (13).
7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) está conformado para controlar la formación del chorro transversal (13).
- 35 8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) está dispuesto para controlar la conformación del límite (10; 110; 210; 410) entre los medios gaseosos (6; 106; 206; 306; 406; 506) y no gaseosos (4; 104; 204; 304; 404) en el orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508).
- 40 9. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la conformación del límite (10; 110; 210; 410) entre los medios gaseosos (6; 106; 206; 306; 406; 506) y no gaseosos (4; 104; 204; 304; 404) en el orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) se controla por las presiones relativas del medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506) con el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404).
- 45 10. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende una pluralidad de barreras (402, 424; 502, 524), comprendiendo cada barrera al menos un orificio (408, 430; 508, 530) en la misma y separando un medio gaseoso (406, 428; 506, 528) de un medio no gaseoso (404).
- 50 11. Un método para producir una concentración localizada de energía que comprende la creación de una onda de choque (16; 116; 216; 316; 416; 516) que se propaga a través de un medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) con el fin de que sea incidente sobre un límite convexo (10; 110; 210; 410) entre el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) y un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506);
- 55 caracterizado por que el límite convexo (10; 110; 210; 410) entre el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) y el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506) está formado por al menos un orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en una barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) que separa el medio no gaseoso (4; 104; 204; 304; 404) de un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506), formando de este modo un chorro transversal (13) en el otro lado del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) que es incidente sobre una superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) que está separada de la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) en el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506).
- 60 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende conformar la onda de choque (16; 116; 216; 316; 416; 516) aplicada al medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) a la conformación del límite (10; 110; 210; 410) entre los medios no gaseosos (4; 104; 204; 304; 404) y gaseosos (6; 106; 206; 306; 406; 506).

13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende una pluralidad de barreras (402, 424; 502, 524), comprendiendo cada barrera al menos un orificio (408, 430; 508, 530) en la misma y separando un medio gaseoso (406, 428; 506, 528) de un medio no gaseoso (404).

5 14. Un aparato para producir una concentración localizada de energía, que comprende:

un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506);

un medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) separado del medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506) por una barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) que comprende al menos un orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en la misma;

10 una superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) que comprende una depresión (14; 114; 314; 414; 514) que está separada de la barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) en el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506); y

15 medios para crear al menos una onda de choque (16; 116; 216; 316; 416; 516) que se propaga a través de dicho medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) con el fin de que sea incidente sobre un límite (10; 110; 210; 410) formado por dicho orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508), formando de este modo un chorro transversal (13) en el otro lado del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508).

15. Un aparato para producir una concentración localizada de energía, que comprende:

un medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506);

un medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) separado del medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506) por una barrera (2; 102; 202; 302; 402; 502) que comprende al menos un orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508) en la misma que forma un límite (10; 110; 210; 410) que es convexo en el medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514);

20 una superficie objetivo (12; 112; 312; 412; 512) que está separada de la barrera en el medio gaseoso (6; 106; 206; 306; 406; 506); y

25 medios para crear al menos una onda de choque (16; 116; 216; 316; 416; 516) que se propaga a través de dicho medio no gaseoso (4; 104; 314; 414; 514) con el fin de que sea incidente sobre el límite (10; 110; 210; 410) formado por dicho orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508), formando de este modo un chorro transversal (13) en el otro lado del orificio (8; 108; 208; 308; 408; 508).

30

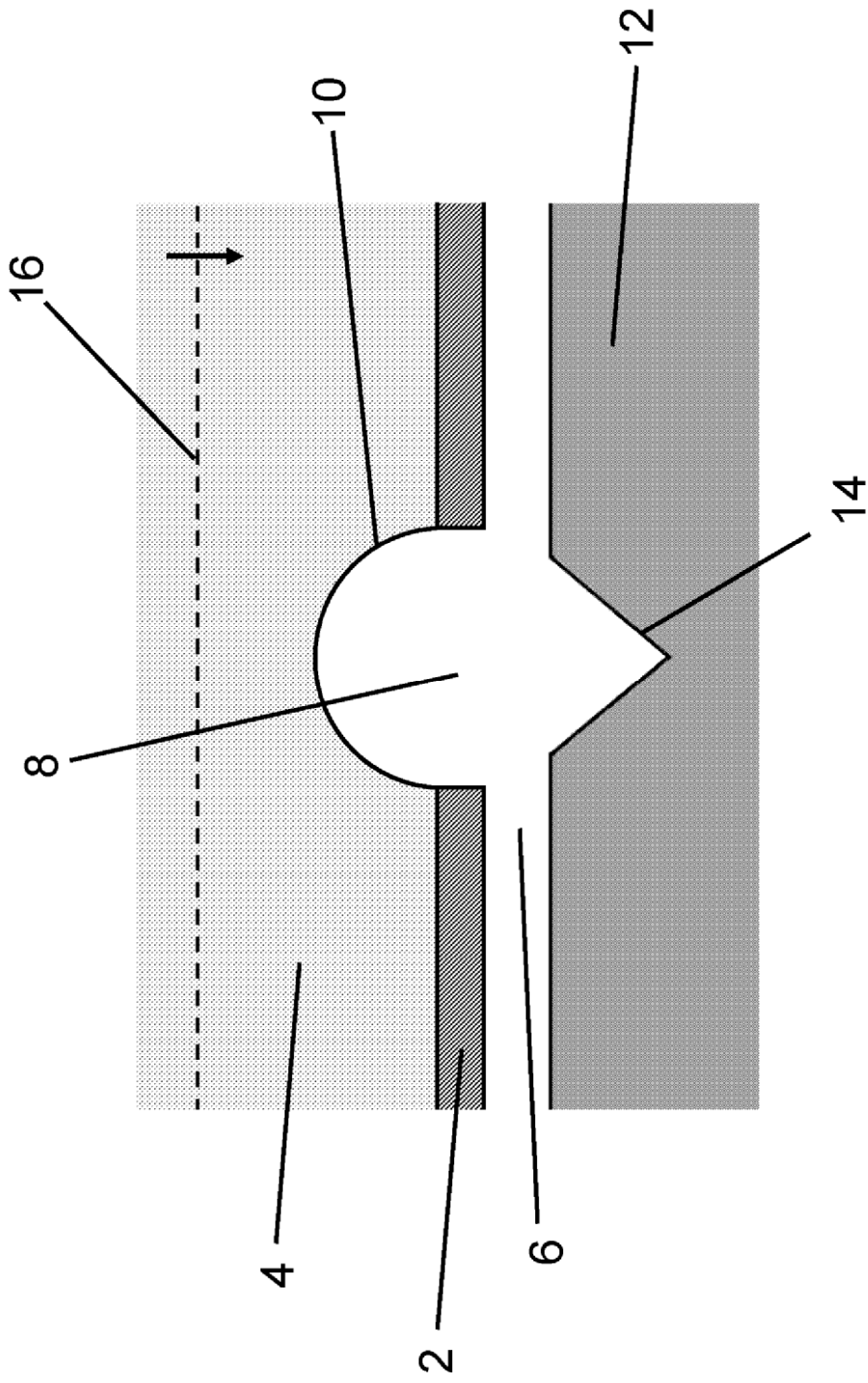
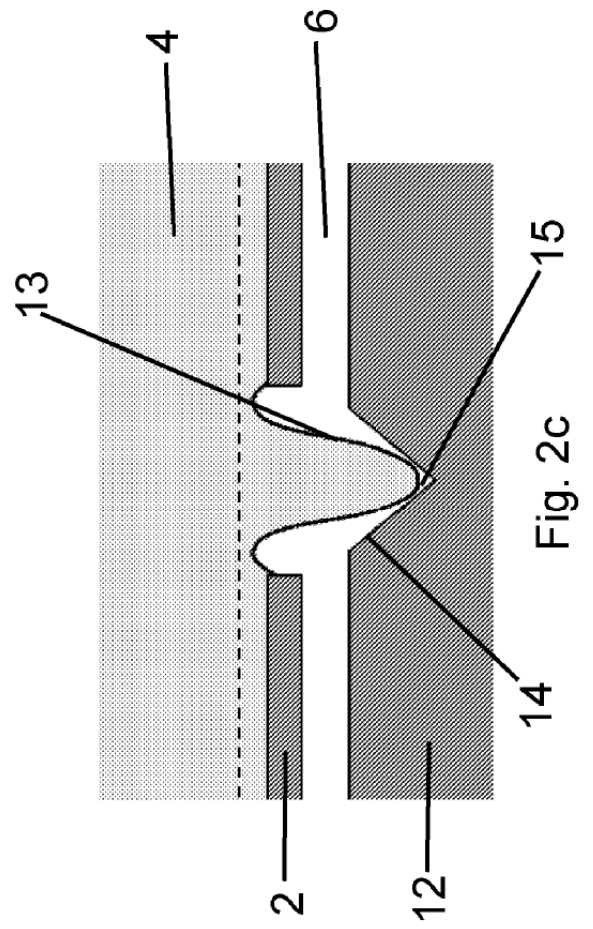
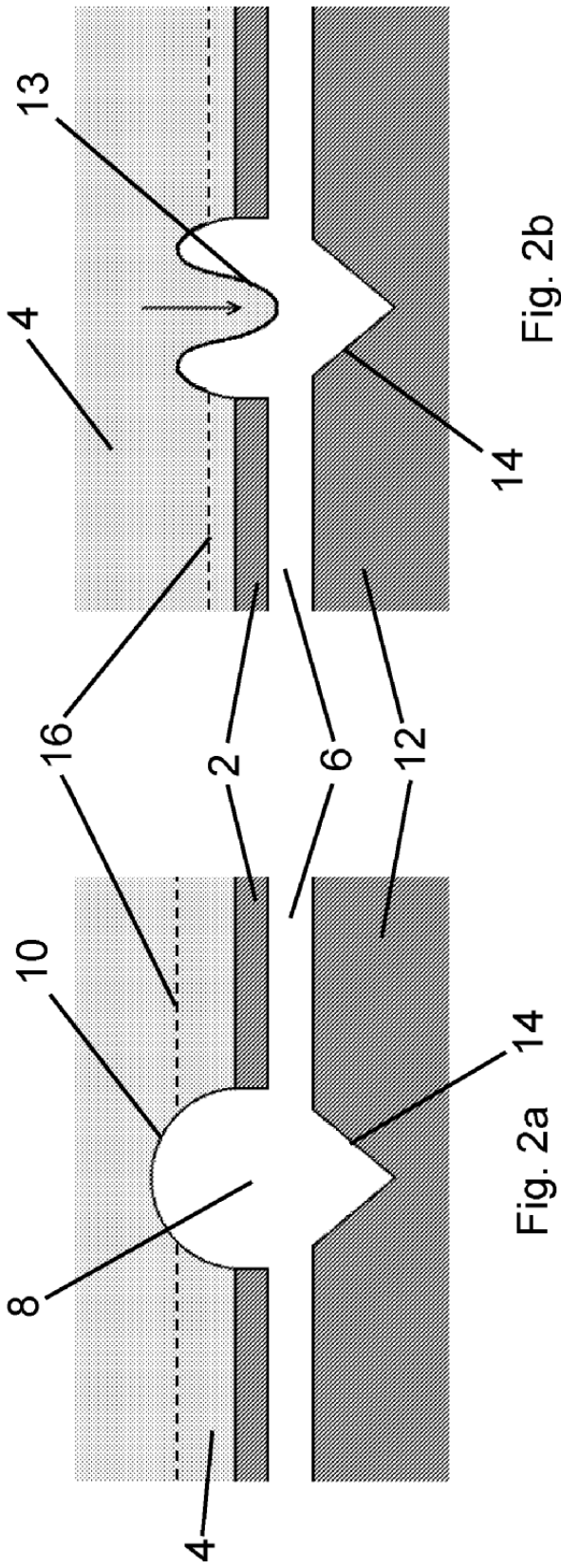


Fig. 1



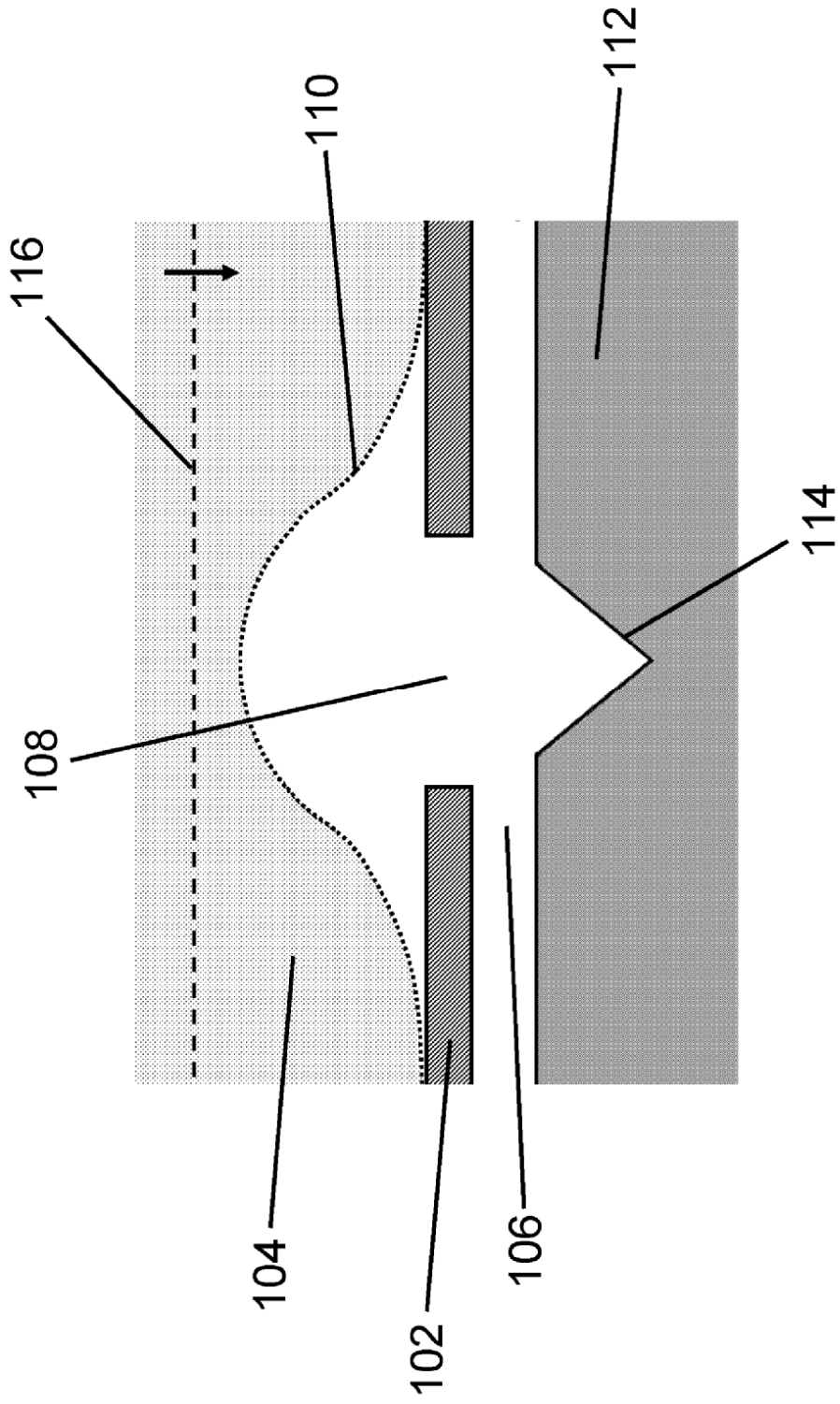


Fig. 3

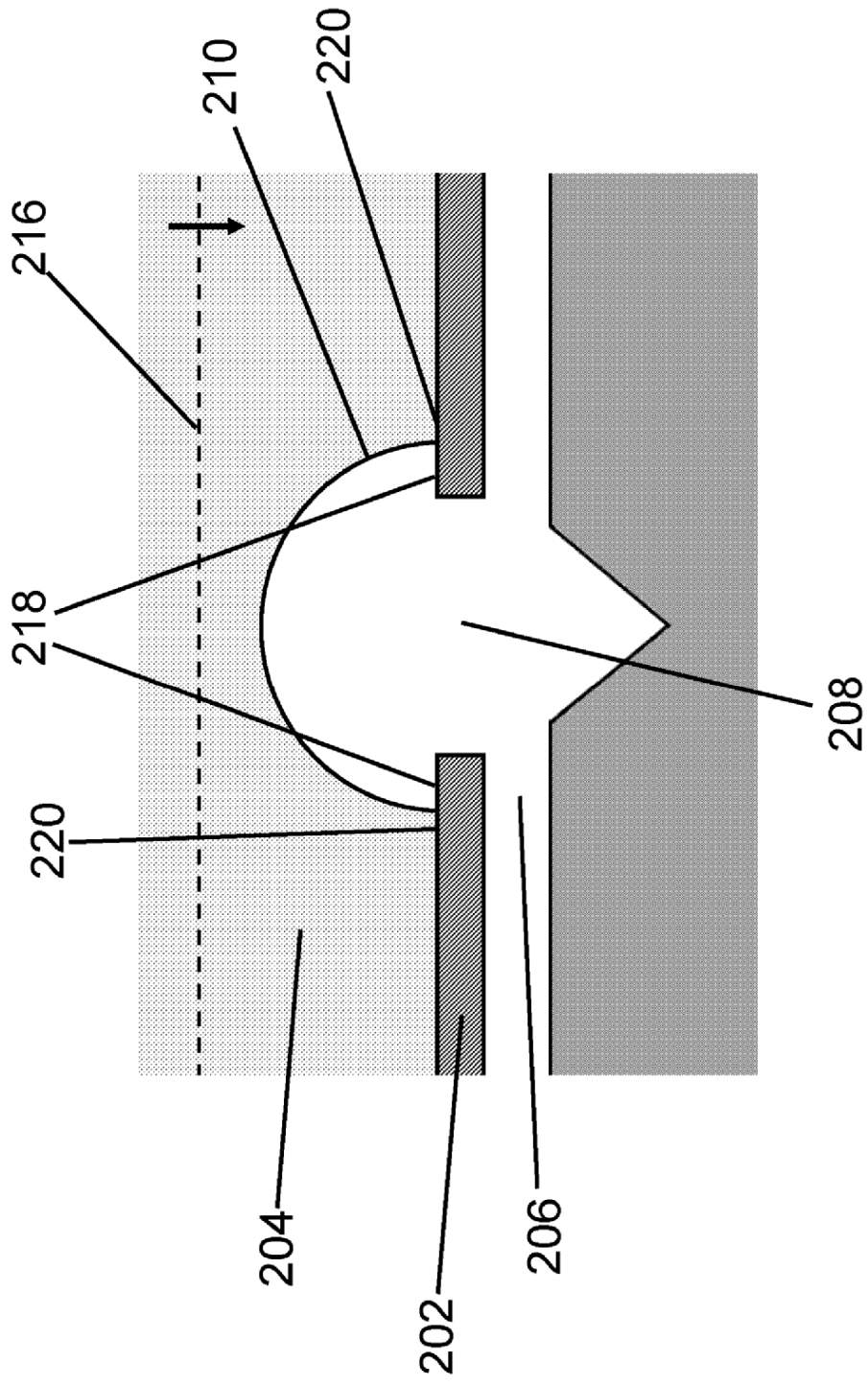


Fig. 4

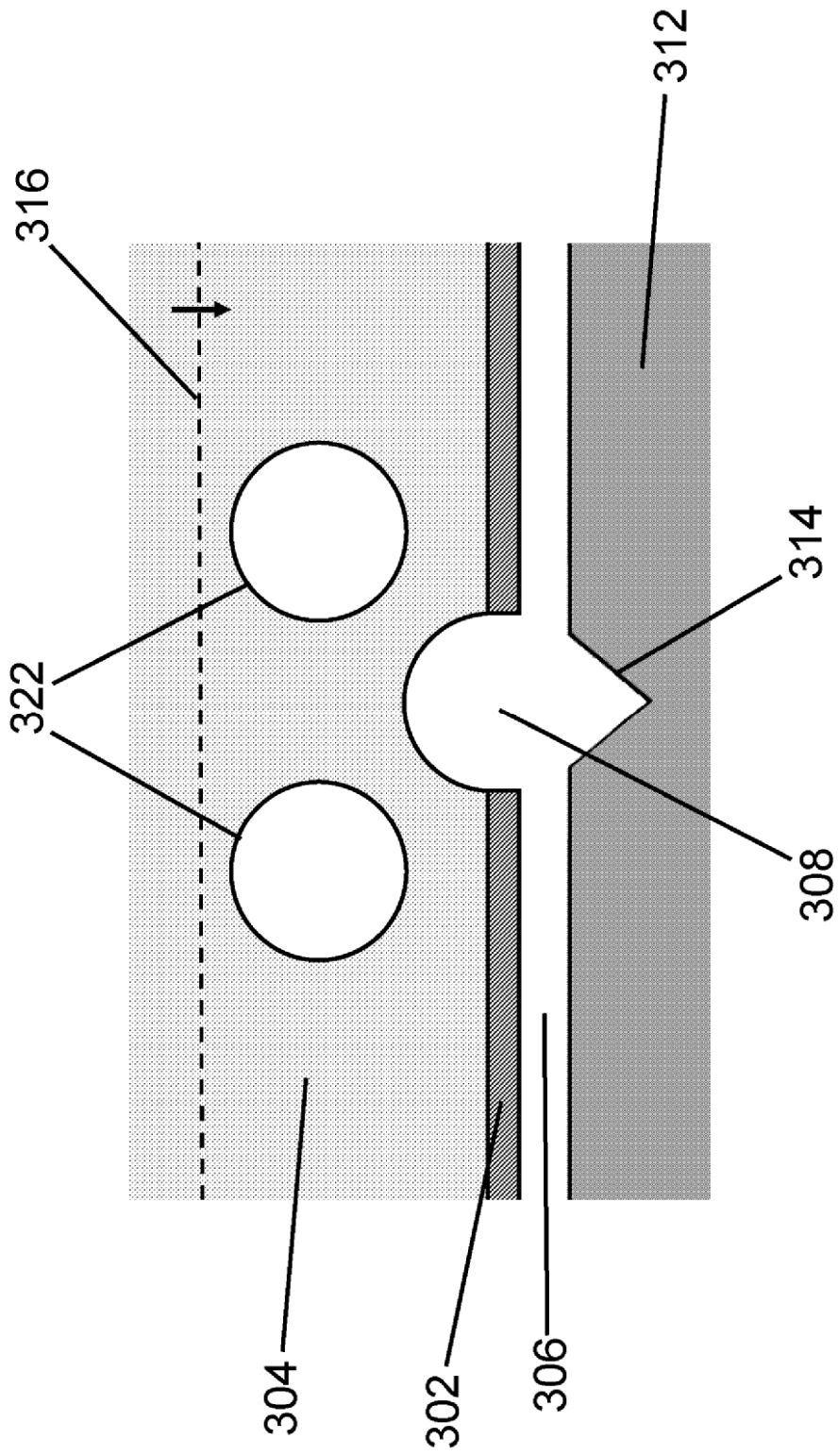


Fig. 5

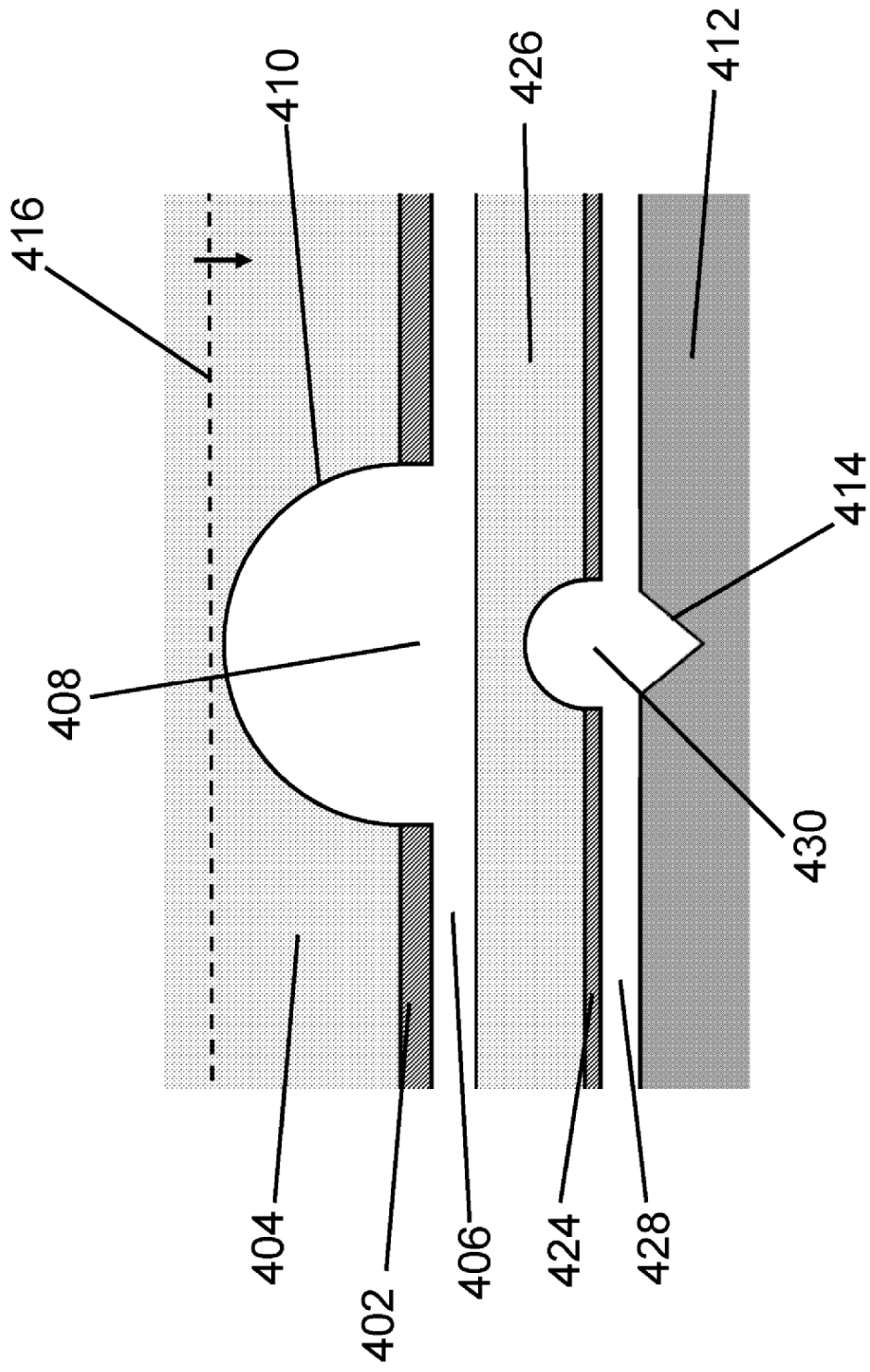


Fig. 6

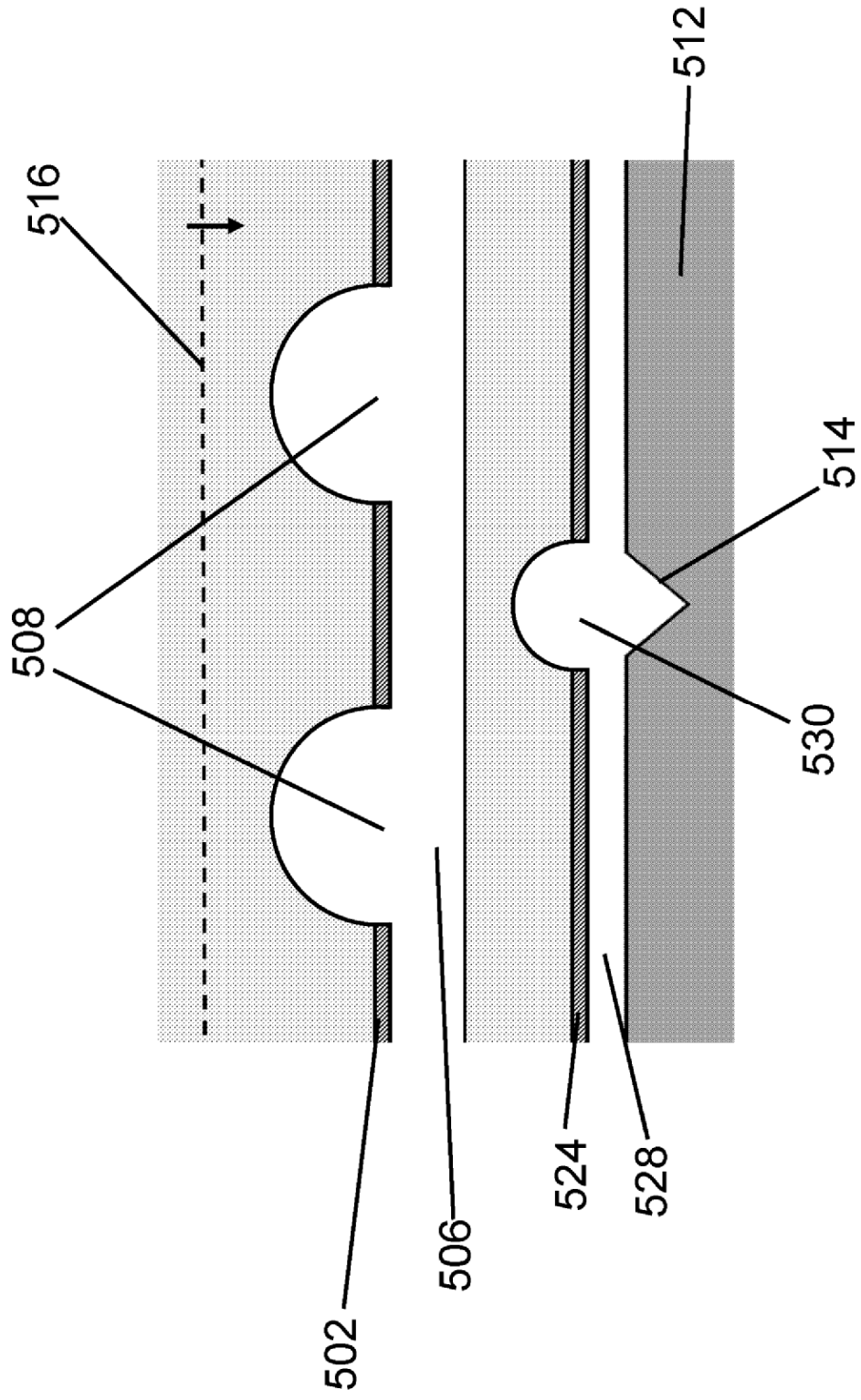


Fig. 7