

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 679**

51 Int. Cl.:

G21B 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.05.2011 PCT/GB2011/050889**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2016 WO2011138622**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2011 E 11721572 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2567382**

54 Título: **Concentración de energía localizada**

30 Prioridad:

07.05.2010 GB 201007655

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

10.02.2017

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 2 600 679 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 refiere en particular, aunque no exclusivamente, a la generación de energías localizadas lo suficientemente altas para provocar una fusión nuclear.
- 10 El desarrollo de la energía de fusión ha sido un área de enorme inversión de tiempo y dinero durante muchos años. Esta inversión se ha centrado en gran parte en desarrollar un reactor de fusión a gran escala, a un alto coste. Sin embargo, existen otras teorías que predicen mecanismos muchos más simples y baratos para la creación de fusión. Es de interés en este punto el concepto genérico de "fusión por confinamiento inercial", que usa fuerzas mecánicas (tal como ondas de choque) para concentrar y enfocar energía en áreas muy pequeñas.
- 15 Gran parte de la confianza en el potencial de métodos alternativos de fusión por confinamiento inercial viene de las observaciones de un fenómeno llamado sonoluminiscencia. Esto sucede cuando un líquido que contiene burbujas del tamaño apropiado se acciona con una frecuencia de ultrasonidos particular. La onda de presión provoca que las burbujas se expandan y a continuación se contraigan muy violentamente; un proceso denominado normalmente como cavitación inercial. El rápido colapso de la burbuja conduce a compresión no equilibrada que provoca que los contenidos se calienten hasta tal extremo que emiten 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)]. Se han realizado varios esfuerzos para intensificar este proceso y un grupo ha reivindicado la observación de 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 no han sido aún validados o replicados, a pesar del 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 luminiscencia de una burbuja que se contrae, sin embargo, es el más documentado. También se ha observado luminiscencia de una burbuja contraída mediante una intensa 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 a este segundo mecanismo, es decir la contracción de una burbuja usando una onda de choque, al que se refiere esta invención. En el documento US 7445319 se ha propuesto disparar gotas de agua esféricas moviéndose a gran velocidad (~1 km/s) contra un objetivo rígido para generar una onda de choque intensa. Esta onda de choque puede usarse para contraer burbujas que se han nucleado y posteriormente se han expandido dentro de la gota pequeña. Es dentro de la burbuja contraída donde la patente anteriormente mencionada espera que tenga lugar la fusión. El mecanismo de generación de ondas de choque mediante impacto de gotas pequeñas a alta velocidad en una superficie se ha estudiado experimental y numéricamente antes y está bien documentado (incluyendo el trabajo de uno de los inventores de la presente patente, [Haller, K. K., Ventikos, Y., Poulikakos, D. y Monkewitz, P., Journal of Applied Physics, 92(5), 2821-2828 septiembre (2002)].) La presente invención difiere del documento US 7445319, aunque los mecanismos físicos fundamentales son similares, porque no utiliza un impacto de gota pequeña a alta velocidad.
- 40 La presente invención tiene por objeto proporcionar alternativas a las técnicas anteriormente mencionadas y puede también tener otras aplicaciones. Cuando se mira desde un primer aspecto la invención proporciona un método de producción de una concentración localizada de energía según la reivindicación 1.
- 45 La invención también se extiende a un aparato para producir una concentración localizada de energía según la reivindicación 15.
- 50 Es conocido por expertos en la materia que en general una interacción entre una onda de choque en un medio no gaseoso y una burbuja de gas en ese medio puede generar un chorro transversal a alta velocidad del medio no gaseoso que se mueve a través de la burbuja, impactando en la pared de burbuja de sotavento. Este es uno de los mecanismos que da lugar al problema bien conocido de daño por cavitación de superficies cuando las ondas de choque se generan en la presencia de micro burbujas formadas en la superficie. De acuerdo con la presente invención sin embargo, los inventores han apreciado que este fenómeno que sucede de forma natural puede adaptarse adecuadamente y aprovecharse para producir concentración muy alta de energía localizada que puede usarse, por ejemplo para crear fusión nuclear como se explica más adelante.
- 55 El fenómeno de un chorro que se forma durante la contracción de burbuja se controla para fomentar la formación de este chorro transversal y la mejora de su velocidad y la depresión de superficie se diseña para recibir el impacto de chorro transversal mientras atrapa un pequeño volumen de la bolsa de gas original entre el chorro de impacto y la misma. Esto conduce a varios mecanismos físicos que provocan enfoque de energía muy sustancial en este volumen de gas atrapado.
- 60 Más particularmente al diseñar la depresión en la superficie explícitamente para recibir el chorro a alta velocidad formado por la interacción de la onda de choque incidente con la bolsa de gas, entonces como el choque incidente interactúa con la superficie de la bolsa de gas, forma un choque transmitido y una rarefacción reflejada. Si el contacto tiene la forma correcta, es decir, curvada alejándose de la onda de choque incidente, entonces esta
- 65

rarefracción actuará para enfocar el flujo a un punto. Esto entonces resulta en la formación del chorro transversal a alta velocidad que puede, simplemente como un ejemplo, alcanzar más de 2000 ms^{-1} para una onda de choque de 1 GPa. Cuando este chorro golpea la superficie de la depresión se genera una intensa onda de choque dentro mediante la fuerza del impacto de una manera análoga a la situación de impacto de una gota pequeña a alta velocidad descrita en el documento US 7445319.

La forma de la superficie en la depresión opuesta a donde se incide la onda de choque podría ser plana de tal forma que el chorro contacta con la superficie en un punto. En un conjunto preferido de realizaciones sin embargo la depresión de superficie y bolsa de gas se disponen de tal forma que la región de contacto inicial es una curva que forma un bucle cerrado - por ejemplo un anillo. Esto hace posible atrapar una porción de la bolsa de gas entre la punta del chorro y el borde de la depresión. Para lograr 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 forma 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 porción atrapado de gas. Combinando esto con el efecto 'pistón' del gas que detiene el movimiento del chorro de impacto produce un calentamiento extremadamente intenso del gas atrapado. Por ejemplo, para una intensidad de onda de choque dada las temperaturas máximas pueden aumentarse en más de un orden de magnitud mediante estas disposiciones en comparación con una burbuja unida a una superficie plana.

La depresión podría tomar un número de formas. En un conjunto de realizaciones se estrecha en sección transversal alejándose de la abertura. La depresión podría parecerse a un plato - por ejemplo que es continuamente curvado. Sin embargo, la superficie no necesita ser continuamente curvada. En un conjunto de realizaciones la superficie se parece más a una grieta que a una forma de plato. Esto podría definirse declarando que la profundidad es mayor que la anchura o mediante la presencia de una región de curvatura en la punta de la grieta mayor que la curvatura (o curvatura máxima) de la porción de la bolsa de gas recibida en la misma. En un conjunto de reivindicaciones la superficie comprende una pluralidad de porciones discretas, por ejemplo con una discontinuidad gradiente entre ellas. Las propias porciones podrían ser elipses parciales, parábolas y así sucesivamente, pero igualmente podrían ser rectas. Un conjunto particular de realizaciones de superficies hechas de porciones discretas podría describirse como polinomial por tramos.

Como anteriormente, la burbuja podría ser pequeña en comparación con las dimensiones de la grieta de tal forma que se une solo a un lado o podría ser de tamaño similar con el fin de cerrarla. No es esencial que haya solo una depresión que reciba parcialmente la bolsa de gas; una bolsa de gas podría extenderse a través de, y ser recibida parcialmente por, una pluralidad de depresiones.

En un conjunto particular de realizaciones el chorro de alta velocidad se dispone para golpear un área superficial que ha sido preparada con una particular rugosidad o forma microscópica de tal forma que muchas pequeñas porciones de la bolsa de gas quedan 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.

Como anteriormente, la superficie puede tomar muchas formas y configuraciones para proporcionar regiones adecuadas para unir la bolsa de gas a la superficie y la configuración de la superficie determinará cómo interactúa la onda de choque con la misma y la forma de la superficie relativa con la colocación y forma de la burbuja determinará cómo interactúa la onda de choque con la bolsa de gas, que lo podrá hacer antes, simultáneamente o después de que interactúe con la superficie. Esto a su vez afecta a las dinámicas de la contracción y por lo tanto puede aumentar las temperaturas y densidades alcanzables a través de la compresión del gas por la onda de choque. En algunas realizaciones, las temperaturas máximas pueden aumentarse en más de un orden de magnitud, cuando se compara con un choque similar que interactúa con una burbuja aislada.

En un conjunto preferido de realizaciones, la superficie es cóncava lo que tiene el efecto de enfocar la energía e intensificar la formación inicial de la onda de choque. En algunos ejemplos no limitantes, la superficie podría tener una forma elipsoide o parabólica. La superficie no necesita ser continuamente curvada. Por ejemplo, en un conjunto de reivindicaciones la superficie cóncava comprende una pluralidad de porciones discretas, por ejemplo con una discontinuidad gradiente entre ellas. Las propias porciones podrían ser elipses parciales, parábolas y así sucesivamente, pero igualmente podrían ser rectas. Un conjunto particular de realizaciones de superficies hechas de porciones discretas podría describirse como polinomial por tramos. La bolsa de gas podría unirse a cualquier parte de la superficie pero se une preferentemente al punto inferior o central.

Las dimensiones de la bolsa de gas podría ser pequeña en comparación con la anchura o profundidad de la superficie cóncava - por ejemplo con el fin de unirse solo a un lado de la concavidad o podría ser de un tamaño similar - por ejemplo con el fin de unirse a la superficie en una corona alrededor de la base de la depresión.

La concavidad podría parecerse a un cuenco - por ejemplo que es continuamente curvado. En un conjunto de realizaciones sin embargo la superficie se parece más a una grieta que a una forma de cuenco. Esto podría definirse declarando que la profundidad es mayor que la anchura o mediante la presencia de una región de curvatura en la punta de la grieta mayor que la curvatura (o curvatura máxima) de la burbuja. Como anteriormente, la bolsa de gas

podría ser pequeña en comparación con las dimensiones de la grieta de tal forma que se une solo a un lado o podría ser de tamaño similar con el fin de cerrarla.

En un conjunto de reivindicaciones la forma de la superficie se configura para desencadenar una transición desde reflexión regular a Mach de la onda de choque incidente, por lo tanto, alterando la forma de la onda de choque que a continuación alcanza la bolsa de gas. En otro conjunto de realizaciones la forma se controla de tal forma que las reflexiones se superponen e interactúan entre sí, de nuevo actuando para cambiar la forma de la onda de choque o sistema de interacción de ondas de choque cuando contacta la bolsa de gas. Al controlar con cuidado estos factores puede obtenerse una intensificación de las temperaturas máximas sobre el caso donde la superficie es plana.

En un conjunto particular de realizaciones la superficie puede tener una pluralidad de porciones cóncavas. Adicional o alternativamente la o cada porción cóncava puede tener una pluralidad de bolsas de gas unidas a la misma.

La superficie comprende una depresión conformada con el fin de recibir parcialmente la bolsa de gas, de este modo aprovechando el fenómeno de chorro y alejado de la depresión la superficie podría conformarse para concentrar la intensidad de la onda de choque que es incidente sobre la bolsa de gas. Esto podría permitir que las propiedades del chorro - por ejemplo su velocidad - se controlen para maximizar la concentración de energía. Tales combinaciones podrían ser beneficiosas al proporcionar el comportamiento deseado de la onda de choque dentro de la depresión de otras maneras.

La burbuja se une a la superficie y esto podría ser sobre una única banda de contacto o, mediante un diseño apropiado de la textura de la superficie, en una pluralidad de regiones/puntos de contacto discretos.

Además de crear una forma particular para la superficie objetivo, en un conjunto de reivindicaciones la microestructura o características de humectación de la superficie pueden optimizarse para controlar la velocidad de la onda de choque cerca de la superficie, por ejemplo para aumentar la velocidad cerca de la superficie, de este modo cambiar la forma de la onda de choque y por lo tanto la naturaleza de la interacción entre la onda de choque y la bolsa de gas. Como se ha tratado anteriormente, puede usarse una bolsa de gas con la forma apropiada en este conjunto de reivindicaciones para que coincida la forma de la onda de choque con la forma de la bolsa de gas, de este modo permitiendo que se controlen las dinámicas de la contracción de la bolsa de gas para maximizar la temperatura y densidad alcanzadas en compresión.

La superficie a la que la bolsa de gas se une no se limita a tener una única depresión (por ejemplo para aprovechar el fenómeno de chorro descrito anteriormente) y por lo tanto en un conjunto de reivindicaciones, la superficie objetivo comprende una pluralidad de depresiones. Cada depresión individual puede conformarse para estimular el enfoque de energía provocando que la onda de choque converja en una o más burbujas. Es decir, la superficie puede prepararse con más de un sitio donde interactuará la onda de choque con una sección conformada de superficie que contiene o bien una bolsa de gas unida o una cercana, por lo tanto, proporcionando escalabilidad infinita. Una ventaja de emplear una pluralidad de depresiones es que puede aprovecharse una mayor porción de la onda de choque. Por ejemplo, una gran bolsa de gas podría extenderse a través de una pluralidad de depresiones o volúmenes de gas individuales más pequeños podrían ubicarse dentro de cada depresión individual. Para el primer caso, dependiendo del número de tales depresiones, el tamaño de una depresión individual será significativamente más pequeña que el tamaño de la bolsa de gas. Para un volumen mayor de medio capaz de acomodar un gran número de depresiones, esto señala hacia la simplicidad de fabricación de un aparato de fusión de producción de energía.

Tales pluralidades de depresiones podrían formarse de muchas maneras. Por ejemplo, una superficie sólida podría taladrarse o mecanizarse de otro modo para producir depresiones u hoyos. En un conjunto de reivindicaciones, sin embargo, las depresiones se crean mediante la textura de superficie de la superficie. Por ejemplo, la superficie podría quebrarse con un material abrasivo, grabarse al agua fuerte o tratarse de otro modo para dar un grado deseado de rugosidad de superficie que proporciona, a nivel microscópico, un gran número de hoyos o depresiones.

La superficie podría construirse de un sólido, como se implica en muchas de las realizaciones esbozadas anteriormente, pero podría ser igualmente 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 forma de superficie requerida podría lograrse de muchas maneras. Por ejemplo, la superficie de un volumen de líquido podría excitarse con una vibración adecuada (por ejemplo, usando ultrasonido u otro método) para generar una onda que tenga la forma deseada. Alternativamente la forma deseada podría lograrse a través del ángulo de contacto entre un líquido y una superficie sólida con propiedades humectantes apropiadamente coincidentes. Por supuesto, este último ejemplo muestra que la superficie podría comprender una combinación de sólido y líquido. Donde la superficie objetivo comprende un líquido generalmente será más denso que el medio no gaseoso.

Por supuesto, como ya se ha aludido, algunas realizaciones pueden comprender una pluralidad de bolsas de gas dentro del medio. Estas bolsas de gas podrían todas unirse a la superficie o algunas podrían posicionarse cerca de la superficie objetivo.

Los aspectos de la invención descritos en el presente documento proporcionan alternativas a las técnicas descritas en el documento US 7445319 que pueden conllevar sus propios beneficios. Los presentes inventores han reconocido que existen retos significativos en la nucleación de una burbuja en una gota pequeña disparada a alta velocidad contra un objetivo, como se sugiere en el documento US 7445319. La sincronización tendrá que ser muy precisa para que la burbuja esté en un momento favorable de su ciclo de expansión-contracción cuando el choque golpee. El método por el cual se crean las gotas pequeñas a alta velocidad como se requiere por el documento US 7445319 y se detalla en el documento US 7380918 es también complejo y caro. En cambio tal complejidad y gasto asociado puede evitarse de acuerdo con al menos las realizaciones preferidas de la presente invención. Por lo tanto, la invención proporciona técnicas mucho más simples para comprimir un volumen de gas atrapado en una bolsa de gas ya que una onda de choque simplemente necesita crearse dentro del medio en el que se forma la bolsa de gas. Más aún, la modelización teórica e informática de ambas técnicas llevada a cabo por los presentes inventores sugiere que el método de acuerdo con la presente invención puede proporcionar intensidades de presión y temperatura que son un orden de magnitud mayor que el método detallado en el documento US 7445319.

El marco más estático que puede emplearse de acuerdo con la invención para comprimir una bolsa de gas que usa una onda de choque permite un control mucho mayor (comparado con una burbuja libre) sobre cómo golpea la onda de choque e interactúa con la bolsa.

La onda de choque inicial podría crearse de muchas maneras diferentes por muchos diferentes dispositivos dependiendo de la presión requerida. Por ejemplo, podría usarse un dispositivo de litotripsia con onda de choque para generar ondas de choque de más baja intensidad o podría usarse un generador de ondas planas explosivas para proporcionar ondas de choque de alta intensidad. En realizaciones preferidas un dispositivo explosivo tal puede crear una presión de onda de choque de entre 0,1 GPa y 50 GPa y en otra realización preferida un dispositivo de litotripsia podría usarse para generar presiones de onda de choque de 100 MPa a 1 GPa.

El término "gas" como se usa en el presente documento debe entenderse de forma genérica y por lo tanto no como limitante a gases moleculares o atómicos puros, sino también para incluir vapores, suspensiones y micro suspensiones de líquidos y sólidos en un gas o una mezcla de estos. El "medio no gaseoso" debe entenderse genéricamente y por lo tanto podría incluir líquidos, líquidos no Newtonianos, geles semisólidos, materiales que en apariencia son sólidos hasta que el paso de la onda de choque cambia sus propiedades, suspensiones o micro suspensiones o coloides. Ejemplos incluyen pero sin limitación agua, aceites, disolventes tales como acetona, hidrogeles y geles orgánicos. Debería entenderse que el líquido tendrá una densidad mayor que el gas en la bolsa.

El medio no gaseoso podría ser cualquier sustancia adecuada en la que crear una onda de choque, tales como un líquido o un gel semisólido. La bolsa de gas puede entonces proporcionarse mediante una burbuja suspendida dentro del líquido o medio de gel en la ubicación adecuada unida a la superficie objetivo. Usar un gel o líquido viscoso tiene la ventaja de que es más fácil controlar la ubicación de la burbuja dentro del medio, en comparación con un líquido de más baja densidad en el que la flotabilidad de la burbuja puede superar la viscosidad del líquido. La burbuja se une a la superficie objetivo, la naturaleza de la superficie objetivo, por ejemplo el material, o cualquier muesca o depresión en la misma, podría ayudar a adherir la burbuja a la superficie objetivo. Usar un gel o líquido viscoso también tiene la ventaja de que será más fácil controlar la forma detallada de la burbuja.

Debido a la naturaleza más estática de la preparación del dispositivo cuando se compara con el documento US 7445319, puede ejercerse mucho más control sobre la forma de la burbuja. La burbuja puede ser esférica en forma aparte de donde se trunca por su unión a la superficie objetivo, por ejemplo podría ser semiesférica. En algunas realizaciones la burbuja junta la superficie objetivo normal con la misma mientras que en otras se requiere un ángulo diferente. En un conjunto superior de estas realizaciones la propia burbuja no es de naturaleza esférica sino que toma una forma diferente que incluye pero sin limitación elipsoides, cardiodes, variaciones de forma esférica, cardiode o elipsoide en la que la superficie tiene perturbaciones que podrían describirse, por ejemplo, mediante una serie de Fourier y burbujas con otras formas distintas tales como conos o trapezoides. Será evidente que, por ejemplo, una burbuja cónica será difícil de lograr en un medio líquido verdadero pero que en el caso de un medio de gel este conjunto de realizaciones se convierten en posibles y podría ser ventajoso.

La propia bolsa de gas debe formarse de alguna manera. En un conjunto particular de realizaciones puede nuclearse usando un sistema similar al descrito en el documento US 7445319, donde se usa un láser en conjunción con nano-partículas en el líquido para nuclear una burbuja. En un conjunto diferente de realizaciones una burbuja podría nuclearse usando una emulsión inestable de diferentes líquidos. En otro conjunto la burbuja se nuclea utilizando una onda de presión dirigida apropiadamente diseñada para inducir cavitación en el líquido. Como la bolsa de gas se une a la pared, un volumen de gas controlado específicamente podría bombearse a través de un paso en la superficie objetivo para expandir una burbuja en la superficie. Este conjunto de realizaciones tiene la ventaja de gran control sobre los contenidos y tamaño de la bolsa de gas generada. En el conjunto de realizaciones donde el medio líquido es un gel la bolsa de gas puede pre-manufacturarse mediante perforación o de otra manera recortando o moldeando la forma correcta del bloque de gel a usarse.

En otro conjunto de realizaciones la bolsa de gas se forma con el uso de una membrana pre-manufacturada que define el límite entre la bolsa de gas y el medio y por lo tanto también define la forma de la bolsa de gas. El uso de

una membrana delgada permite de esta manera un desacoplamiento de los materiales de líquido y de gas, permitiendo hacer cualquier elección de combinación de composiciones. También permite que se controle la forma de la bolsa de gas con una precisión no disponible en otros métodos. La membrana podría formarse de cualquier material adecuado, por ejemplo vidrio por ejemplo plástico por ejemplo goma. Tener una membrana prefabricada permite que se use un medio líquido más fácilmente a medida que el volumen de gas queda atrapado contra la superficie objetivo y por lo tanto no puede irse flotando o perturbarse de otra manera. En un conjunto particular de realizaciones la membrana es frangible y se dispone para romperse tras el impacto de la onda de choque de tal forma que no tiene influencia en las dinámicas resultantes. En un conjunto de realizaciones la membrana prefabricada incluye una línea o región debilitada, de modo que tras el impacto de la onda de choque se rompe a lo largo de la línea o en la región debilitada. La línea o región debilitada puede disponerse de modo que la posición de la ruptura tenga una influencia en los subsiguientes patrones de flujo, por ejemplo, esto podría ayudar a controlar la formación y dinámicas del chorro transversal. En otro conjunto de realizaciones la membrana se diseña para deformarse con la cavidad que se contrae.

En un conjunto preferido de realizaciones, los métodos descritos en este documento se emplean para generar reacciones de fusión nuclear. El combustible para la reacción podría proporcionarse mediante el gas en la bolsa, el medio o el combustible podría proporcionarse mediante la propia superficie objetivo. Cualquiera de los combustibles mencionados en el documento US 7445319 es adecuado para su uso en la presente invención.

El dispositivo en la presente invención no es tan restrictivo, en cuanto a tamaño, como el documento US 7445319 donde el tamaño de la gota pequeña restringe el tamaño máximo de la burbuja. Puede ser ventajoso tener un aparato mayor cuando se calienta un volumen de gas mayor. El volumen de gas en cada bolsa puede elegirse dependiendo de las circunstancias pero en un conjunto de realizaciones preferidas está entre entre 5×10^{-11} y 5×10^{-3} litros.

Las reacciones de fusión que pueden obtenerse de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención podrían usarse para la producción de energía (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 requerida para la producción de energía neta, la fusión fiable que se puede obtener 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 tecnologías existentes en la actualidad. La fusión también puede ser beneficiosa dando una fuente de neutrones rápida y segura que tiene muchas aplicaciones que serán evidentes para expertos en la materia.

Además, producir fusión no es en absoluto esencial de acuerdo con la invención. Por ejemplo, en algunas realizaciones las técnicas y aparatos de la presente invención pueden emplearse ventajosamente como un reactor sonquímico que puede usarse para acceder a condiciones extremas e inusuales.

Ciertas realizaciones de la invención se describen a continuación, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- las Figuras 1a y 1b muestran dos variantes de una superficie objetivo de acuerdo con un aspecto de la invención;
- las Figuras 2a y 2b muestran dos fases sucesivas de una interacción de una onda de choque con una bolsa de gas de acuerdo con otro aspecto de la invención;
- la Figura 3 muestra una realización adicional de la invención; y
- la Figura 4 muestra una variante de la realización de la Figura 2a.

Las Figuras 1a y 1b muestran esquemáticamente disposiciones de acuerdo con dos respectivas realizaciones de un aspecto de la invención. En cada caso una superficie sólida 6, por ejemplo hecha de acero de alta resistencia, se coloca dentro de un medio no gaseoso 8 en la forma de un hidrogel, por ejemplo una mezcla de agua y gelatina. Definido en el medio de hidrogel 8 hay una bolsa de gas 2 llena de combustible vaporoso adecuado para participar en una reacción de fusión nuclear. En ambos casos, la bolsa de gas 2 se une a la superficie objetivo 6 dentro de una depresión cóncava. En el caso de la primera realización en la Figura 1a, la depresión 4 es parabólica y relativamente grande de tal forma que solo un lado de la bolsa de gas 2 se une a la superficie 6. El tamaño del aparato es flexible pero una dimensión típica de este diagrama podría estar entre 0,1 y 1×10^{-5} m.

En el caso de la segunda realización en la Figura 1b, la bolsa de gas 2 se recibe en una depresión 5 que se estrecha en forma de V mucho más pequeña que podría mecanizarse o formarse como el resultado de una grieta de origen natural en la superficie 6.

En operación una onda de choque 10 se crea mediante una explosión, por ejemplo con una presión de 5 GPa, dentro del medio de gel 8. Esto se representa en ambas Figuras 1a y 1b como una línea que se propaga en la dirección de la flecha hacia la bolsa de gas 2. Primero la onda de choque 10 golpea las partes superiores de la superficie objetivo 6, provocando que la onda de choque 10 cambie de forma a medida que avanza hacia la bolsa de gas 2. De esta manera la forma de la onda de choque 10 que avanza a la bolsa de gas 2 puede controlarse explícitamente conformando la superficie 6 por consiguiente. La onda de choque 10 conformada a continuación golpeará la bolsa de gas 2, comprimiéndola contra la superficie objetivo 6 a medida que la onda de choque 10 se

propaga a través de la bolsa de gas 2. Las reflexiones de la onda de choque 10 de la superficie 6 viaja de vuelta a través de la bolsa después de que se haya propagado a través de la bolsa 2, reforzando las que se propagan desde la dirección original y comprimiendo adicionalmente la bolsa de gas. La compresión del combustible gaseoso dentro de la bolsa provoca un calentamiento local intenso que puede ser suficiente para generar una reacción de fusión nuclear.

Las Figuras 2a y 2b muestran, de acuerdo con otro aspecto más de la invención, dos fases sucesivas de una interacción de onda de choque con una bolsa de gas 22 unido a una superficie 26 con el fin de cubrir y llenar una depresión que se estrecha en forma de V. Aunque la depresión que se estrecha 24 tiene una forma similar a la de la Figura 1b, relativa al tamaño de la depresión que se estrecha, el volumen de gas en la bolsa 22 es mucho mayor que en la Figura 1b. Por ejemplo la anchura de la burbuja podría ser del orden de 1 cm.

La Figura 2a muestra la onda de choque 30 que se propaga a través el medio 28 (que podría ser del mismo material que en realizaciones anteriores o podría usarse un material diferente), en la dirección de la flecha, hacia la bolsa de gas 22. La Figura 2b muestra una etapa posterior en la interacción, después de que la onda de choque haya golpeado la bolsa de gas 22. La porción 27 de la onda de choque 30 que ha golpeado el borde de la bolsa de gas 22 se refleja como resultado del gran cambio en densidad desde el medio 28 al gas 22. Esta porción reflejada 27 forma un ventilador de rarefacción que se propaga lejos de la bolsa de gas 22 y por lo tanto crea una región de baja presión entre la porción reflejada 27 y la bolsa de gas 22. El medio 28 fluye dentro de esta región de baja presión como un chorro 29 que a continuación atraviesa la bolsa de gas 22, atrapando una fracción del gas en la misma entre la punta del chorro 29 y la depresión que se estrecha 24 en la superficie 26, provocando de este modo compresión y calentamiento del gas de la manera anteriormente descrita.

La Figura 1b muestra una configuración adicional que es también adecuada como una realización de este aspecto de la invención.

La Figura 3 muestra una realización adicional del aspecto previo de la invención en el que una bolsa de gas 32 se une a una superficie objetivo 36 en una depresión que se estrecha 34. Esta realización es diferente de las descritas anteriormente en que la bolsa de gas 32 se separa del medio 38 mediante una membrana 33 prefabricada. La membrana 33 prefabricada es frangible es decir se diseña para romperse con el impacto de la onda de choque 40. Una vez que la membrana 33 prefabricada se ha roto por el impacto de la onda de choque 40, la onda de choque 40 continúa propagándose en la depresión 34 comprimiendo la bolsa de gas 32 de la misma manera que para las realizaciones previas.

La Figura 4 es una variante de la realización mostrada en la Figura 2a. En esta realización existen múltiples depresiones más pequeñas 42 en el fondo de una gran depresión 44. La bolsa de gas 46 se recibe parcialmente por la gran depresión 44 y las múltiples depresiones más pequeñas 42. En operación de esta realización el chorro formado cuando la onda de choque (no mostrado) choca con la bolsa de gas 46 comprimirá altamente múltiples volúmenes más pequeños del gas atrapándolos en las depresiones pequeñas 42, de manera similar a lo descrito anteriormente con referencia a las Figuras 2a y 2b.

Aunque se han dado ejemplos específicos, se apreciará que existen un gran número de parámetros que influyen los resultados reales logrados, por ejemplo densidad del medio líquido o del gel, presión y temperatura ambiente, composición del gas y del líquido o gel, ángulo de impacto de la onda de choque, forma de la superficie objetivo y microestructura de la superficie objetivo.

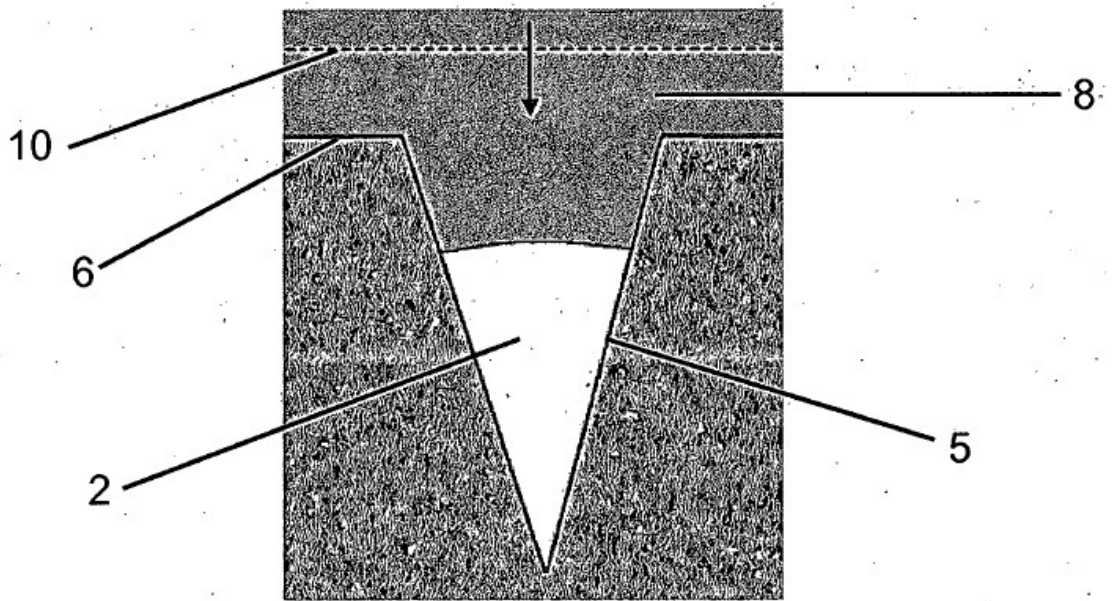
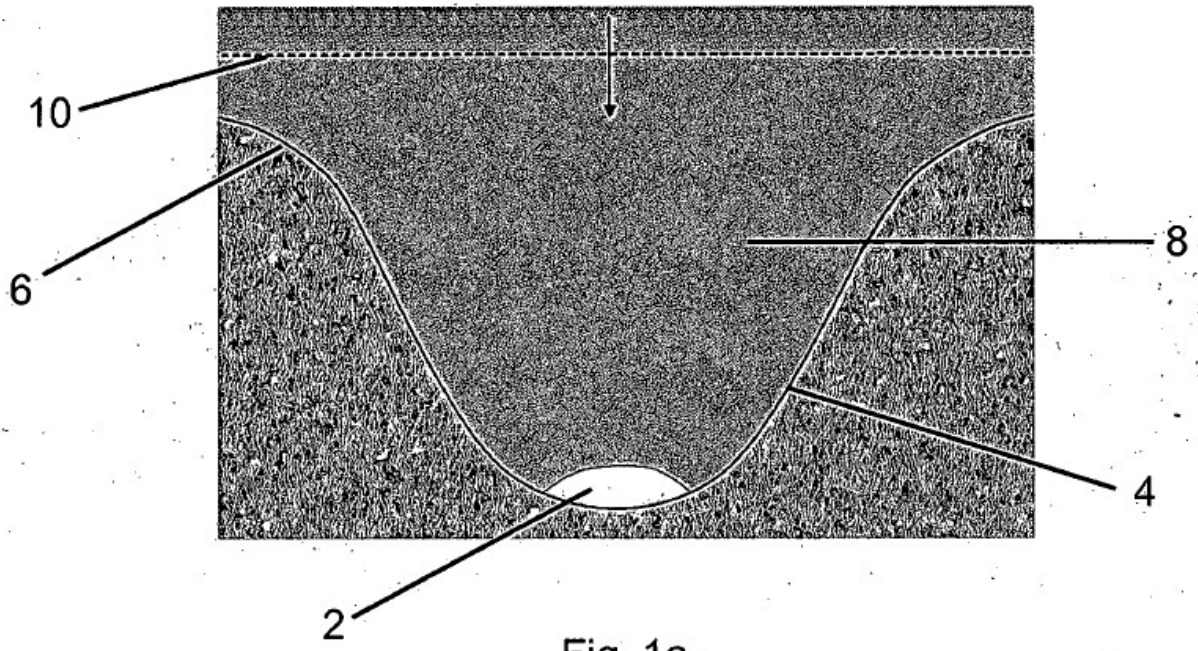
En cada una de las realizaciones descritas anteriormente, los diagramas mostrados son una sección transversal vertical a través de un volumen de gas y superficie objetivo tridimensionales y por lo tanto representan realizaciones que son rotacionalmente simétricas. Sin embargo, esto no es esencial para la invención. En particular la superficie podría comprender porciones de superficie discretas en la dirección rotacional o bien en lugar de o así como en la sección transversal vertical mostrada. En el último caso la superficie objetivo sería multifacética. Cada faceta podría dar lugar a ondas de choque separadas pero convergentes.

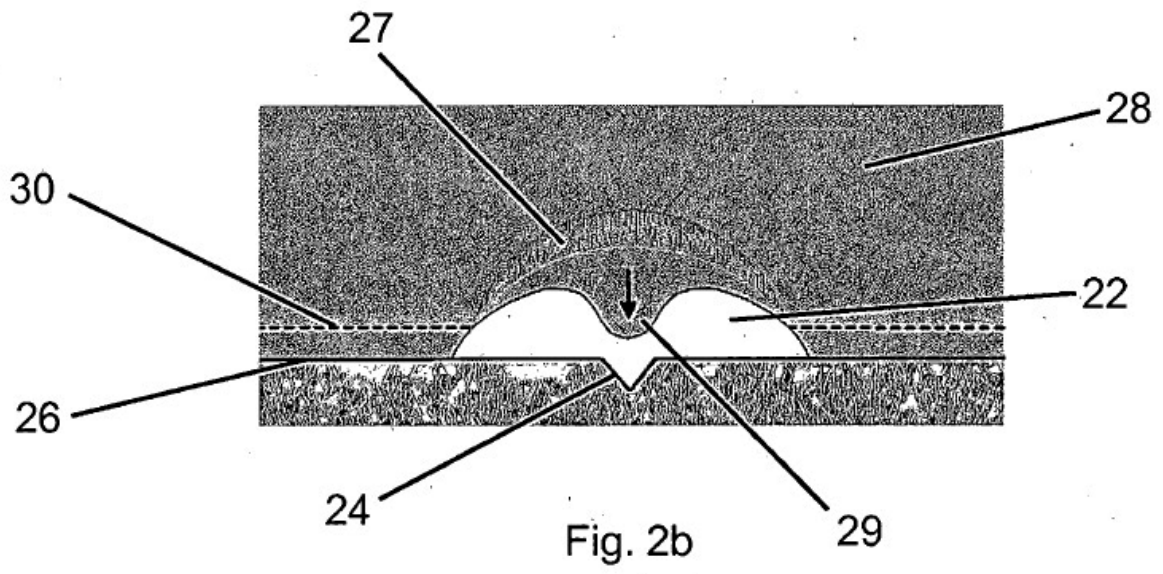
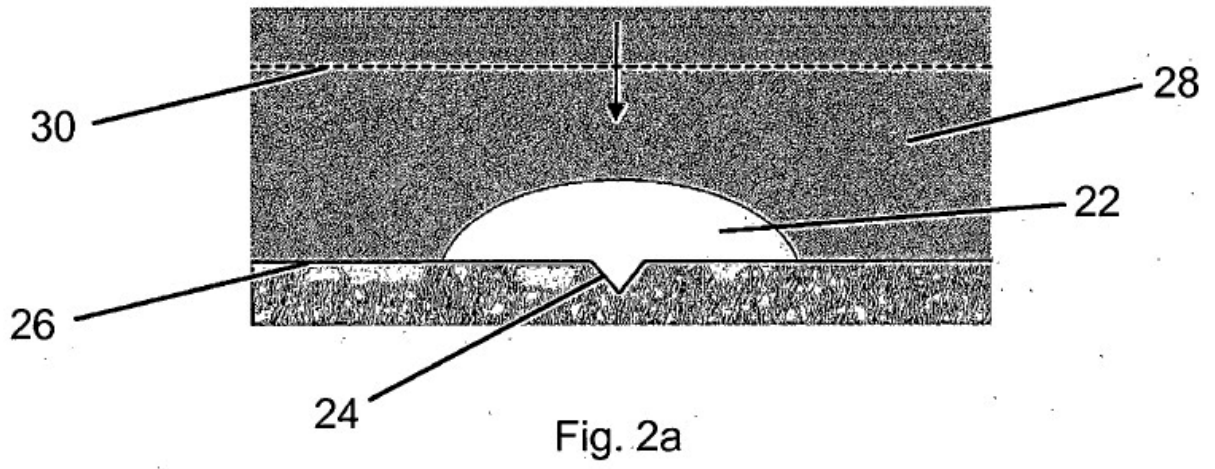
En todas las realizaciones descritas, el aparato puede usarse creando una onda de choque en el medio que es incidente sobre un volumen de gas que contiene vapor de agua de deuterio.

En la modelización numérica del experimento, las técnicas descritas en el presente documento dan lugar a una presión máxima de -20 GPa que es suficiente para provocar temperaturas dentro del volumen de gas contraído en exceso de 999.726,85 °C (1×10^6 Kelvin) que pueden ser suficientes para una reacción de fusión nuclear de los átomos de deuterio. En algunos ejemplos no limitantes los neutrones resultantes podrían usarse en otros procesos, o podrían absorberse mediante un absorbente de neutrones para convertir la energía cinética de los neutrones en energía térmica y por lo tanto generación de energía termodinámica convencional.

REIVINDICACIONES

1. Un método de producción de una concentración localizada de energía que comprende:
 5 crear al menos una onda de choque (10; 30; 40) que se propaga a través de un medio no gaseoso (8; 28; 38) de manera que es incidente sobre una bolsa de gas (2; 22; 32; 46) dentro del medio (8; 28; 38) en el que la bolsa de gas (2; 22; 32; 46) se une a una superficie (6; 26; 36) que comprende una depresión (4; 24; 34; 44) conformada con el fin de recibir parcialmente la bolsa de gas (2; 22; 32; 46), y
 10 controlar la formación de un chorro transversal (29) durante la contracción de la bolsa de gas (2; 22; 32; 46), en el que la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) está diseñada para recibir el impacto de chorro transversal de tal forma que al menos parte del gas en la bolsa (2; 22; 32; 46) queda atrapado entre el chorro de impacto (29) y la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36).
2. Un método según la reivindicación 1, en el que el chorro se dispone para golpear un área superficial que ha sido preparada con una rugosidad (42) predeterminada de tal forma que pequeñas porciones de la bolsa de gas (46) quedan atrapadas entre la punta del chorro y la superficie objetivo.
3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en el que la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) y la bolsa de gas (2; 22; 32; 46) se disponen de tal forma que la región de contacto inicial es una curva que forma un bucle cerrado.
 20
4. Un método según la reivindicación 3, en el que una sección de la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) tiene una curvatura mayor que la de la punta del chorro (29) y en el que la sección de la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) se dispone de tal forma que el chorro impacta en la misma.
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) se estrecha en sección transversal alejándose de la abertura de la depresión de superficie (4; 24; 34; 44).
 25
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la depresión (4) en la superficie (6) tiene una profundidad mayor que su anchura.
 30
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) comprende una pluralidad de porciones discretas.
8. Un método según la reivindicación 7, en el que las porciones discretas son polinomiales por tramos.
 35
9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende usar un dispositivo explosivo para crear la onda de choque (10; 30; 40) con una presión de entre 0,1 GPa y 50 GPa.
10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende usar un dispositivo de litotripsia para crear la onda de choque (10; 30; 40) con una presión de entre 100 MPa y 1 GPa.
 40
11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la bolsa de gas (32) se forma con el uso de una membrana (33) pre-manufacturada que define el límite entre la bolsa de gas (32) y el medio no gaseoso (38).
 45
12. Un método según la reivindicación 11, en el que la membrana (33) es frangible y se dispone para romperse tras el impacto de la onda de choque (40).
13. Un método según la reivindicación 11 o 12, en el que la membrana (33) prefabricada incluye una línea o región debilitada.
 50
14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores empleado para generar reacciones de fusión nuclear.
 55
15. Un aparato para producir una concentración localizada de energía que comprende:
 un medio no gaseoso que tiene en el mismo una bolsa de gas (2; 22; 32; 46), en el que la bolsa de gas se une a una superficie (6; 26; 36) que comprende una depresión (4; 24; 34; 44) conformada con el fin de recibir parcialmente la bolsa de gas (2; 22; 32; 46);
 60 medios para crear al menos una onda de choque (10; 30; 40) que se propaga a través de dicho medio de manera que es incidente sobre dicha bolsa de gas (2; 22; 32; 46); y
 medios para controlar la formación de un chorro transversal (29) durante la contracción de la bolsa de gas (2; 22; 32; 46), en el que la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36) se diseña para recibir el impacto de chorro transversal de tal forma que durante el uso al menos parte del gas en la bolsa (2; 22; 32; 46) queda atrapado entre el chorro de impacto (29) y la depresión (4; 24; 34; 44) en la superficie (6; 26; 36).
 65





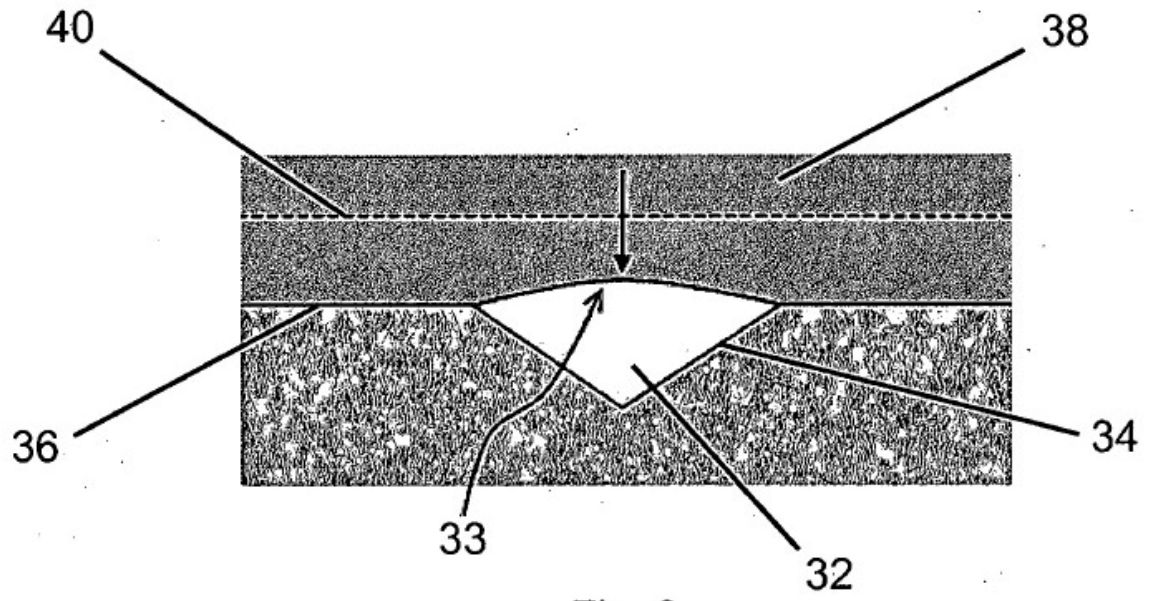


Fig. 3

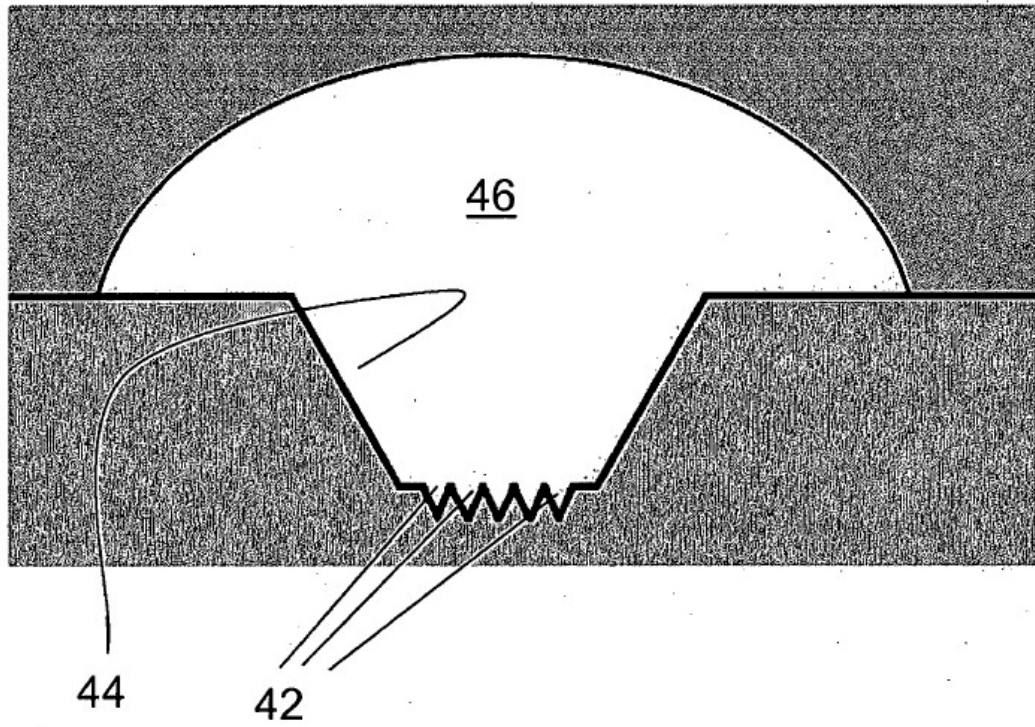


Fig. 4