

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 304**

51 Int. Cl.:

G21B 1/05 (2006.01)

G21B 3/00 (2006.01)

H05H 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2014 PCT/US2014/044681**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14210519**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2014 E 14817517 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 3014627**

54 Título: **Métodos, dispositivos y sistemas para reacciones de fusión**

30 Prioridad:

27.06.2013 US 201361840428 P
01.07.2013 US 201361841834 P
04.07.2013 US 201361843015 P
08.01.2014 US 201461925122 P
08.01.2014 US 201461925131 P
08.01.2014 US 201461925142 P
08.01.2014 US 201461925148 P
08.01.2014 US 201461925114 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2019

73 Titular/es:

NONLINEAR ION DYNAMICS, LLC (100.0%)
13704 Saticoy Street
Panorama City, CA 91402, US

72 Inventor/es:

WONG, ALFRED;
RINZLER, CHARLES y
WOODBURY, DAVID, A.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 733 304 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

Métodos, dispositivos y sistemas para reacciones de fusión

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

5 La presente invención está relacionada con métodos, aparatos, dispositivos y sistemas para crear, controlar, realizar y optimizar actividades de fusión de núcleos. En particular, la presente invención está relacionada con, entre otras cosas, actividades de fusión para producción de energía, propulsión, formación de material y generación de partículas y haces energéticos dirigidos. La presente invención además está relacionada con tales actividades que cubren un espectro de reacciones desde aneutrónicas, reacciones de fusión que esencialmente no producen neutrones, a neutrónicas, reacciones de fusión que producen números sustanciales de neutrones.

10 Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, al término fusión se le debe dar su posible significado más amplio, e incluye interacciones y reacciones entre dos o más núcleos por las que se forman uno o más núcleos nuevos o diferentes, así como reacciones posteriormente inducidas o derivadas y generación de energía asociada con las mismas.

15 Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, a los términos formación, formación de material, y términos similares se les debe dar su posible significado más amplio, e incluirían transmutación, y la modificación o creación de un núcleo o núcleos, tales como, por ejemplo, nucleídos, e isótopos que tienen valor en aplicaciones médicas, obtención de imágenes, pruebas y otras útiles.

20 Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, el término elemento de luz significa un elemento o ion con masa atómica de 62 o menos.

25 Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, el término confinamiento físico, contención física y términos similares significa el uso de una estructura física que confina pasivamente la reacción de fusión a diferencia del uso de energía dirigida, incluidas ondas de choque o campos electromagnéticos para confinar la reacción de fusión, o interacción, deben incluir confinamiento por energía dirigida tales como campos EM, tales como precedentes de láseres como ejemplo.

30 Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, el término plasma fuertemente ionizado significa un plasma por el que la ratio de iones a neutrales es al menos aproximadamente 1:1. Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, el término plasma débilmente ionizado significa un plasma por el que la ratio de iones a neutrales es menos de aproximadamente 1:100. Los términos plasma, material ionizado y términos similares incluyen todos grados y ratios de ionización.

Como se emplea en esta memoria, a menos que se declare expresamente de otro modo, el término neutrales significa átomos, moléculas o agrupaciones sin carga neta.

Exposición del estado de la técnica

35 Durante 60 años las comunidades científica y tecnológica se han esforzado por lograr fusión controlada y económicamente viable. La creencia comúnmente mantenida en la técnica es que quedan otros 25-50 años de investigación antes de que la fusión sea una opción viable para generación de energía "As the old joke has it, fusion is the power of the future and always will be" ("Next ITERation?", 3 de sept., 2011, *The Economist*). Además, hasta la presente invención se creía que existía un paradigma en que lograr la fusión de reactantes no era obtenible sin temperaturas increíblemente altas para incluso los reactantes más probables e incluso temperaturas más altas para otros reactantes. Como consecuencia, se creía además que no había razón para construir o investigar la composición de un reactor de fusión nuclear con confinamiento de reactante a temperatura más baja.

40 Antes de las presentes invenciones, se creía que la técnica en reacciones de fusión controlada enseñaba que se requerían temperaturas de más de 150.000.000 grados centígrados para lograr equilibrio energético bruto favorable en un reactor de fusión controlada. El equilibrio energético bruto, Q , se define como:

$$45 \quad Q = \frac{E_{fusion}}{E_{in}}$$

50 donde E_{fusion} es la energía liberada total por reacciones de fusión y E_{in} es la energía usada para crear las reacciones. La Joint European Torus, JET, reivindica haber logrado $Q \approx 0,7$ y la US National Ignition Facility ha reivindicado recientemente haber logrado un $Q > 1$ (ignorando las pérdidas de energía muy sustanciales de sus láseres). La condición de $Q = 1$, se le hace referencia como "punto de equilibrio", indica que la cantidad de energía liberada por reacciones de fusión es igual a la cantidad de energía aportada. En la práctica, un reactor usado para producir electricidad debe exhibir un valor Q significativamente mayor que 1 para ser comercialmente viable, dado que únicamente una parte de la energía de fusión se puede convertir a una forma útil. El pensamiento convencional

sostiene que únicamente son necesarios plasmas fuertemente ionizados para lograr $Q > 1$. Estas condiciones limitan las densidades de partículas y los tiempos de confinamiento de energía que se pueden lograr en un reactor de fusión. Así, la técnica ha mirado al criterio de Lawson como el punto de referencia para reacciones de fusión controlada - un punto de referencia, se cree, que nadie ha logrado aún cuando se consideran aportes energéticos. La persecución en la técnica del criterio de Lawson, o sustancialmente paradigmas similares, ha llevado a dispositivos de fusión y sistemas que son grandes, complejos, difíciles de gestionar, caros y económicamente inviables.

Una formulación común del criterio de Lawson es de la siguiente manera:

$$N\tau_{E^*} > \frac{3(1 - \eta_{in}\eta_{out})H}{\eta_{in}\eta_{out} \frac{\langle\sigma v\rangle_{ab}(H)Q_{ab}}{4(1+\delta_{ab})} - (1 - \eta_{in}\eta_{out})A_{br}\sqrt{H}}$$

Aquí no se tratarán todos los parámetros que entran en el criterio de Lawson. Pero en esencia, el criterio requiere que el producto de la densidad de partículas (N) y el tiempo de confinamiento de energía (τ_{E^*}) sean mayores que un número dependiente de, entre otros parámetros, la temperatura de reacción (H) y la reactividad $\langle\sigma v\rangle_{ab}$, que es el promedio del producto de la sección transversal de reacción y la velocidad relativa de los reactantes. En la práctica, este paradigma estándar en la industria sugiere que se requieren temperaturas de más de 150.000.000 grados centígrados para lograr equilibrio energético positivo usando una reacción de fusión D-T. Para fusión de protón - boro, como ejemplo, el criterio sugiere que el producto de densidad y tiempo de confinamiento debe ser incluso sustancialmente más alto.

Un aspecto del criterio de Lawson se basa en la premisa de que se debe añadir continuamente energía térmica al plasma para sustituir energía perdida para mantener la temperatura de plasma y para mantenerlo total o sumamente ionizado. En particular, una fuente importante de pérdida de energía en sistemas de fusión convencionales es la radiación debida a radiación de frenado de electrones y movimiento de ciclotrón conforme los electrones móviles interactúan con iones en el plasma caliente. El criterio de Lawson no se formuló para métodos de fusión que esencialmente eliminan consideraciones de pérdida de radiación electrónica al evitar el uso de plasmas calientes, fuertemente ionizados con electrones sumamente móviles.

Como la creencia convencional sostiene que se requieren altas temperaturas y plasma fuertemente ionizado, en la técnica se creía además que era imposible la contención física barata de la reacción. Por consiguiente, métodos perseguidos en la técnica se dirigen a esquemas complejos y caros para contener la reacción, tales como los usados en sistemas de confinamiento magnético (p. ej., la ITER tokamak) y en sistemas de confinamiento inercial (p. ej., láser NIF).

De hecho, al menos una fuente en la técnica anterior reconoce expresamente la creída imposibilidad de contener una reacción de fusión con una estructura física: "El método más simple y más obvio con el que proporcionar confinamiento de un plasma es mediante contacto directo con paredes de material, pero es imposible por dos razones fundamentales: la pared enfriaría el plasma y la mayoría de materiales de pared se derretiría. Recordamos que el plasma de fusión aquí requiere una temperatura de $\sim 10^8$ K mientras que los metales generalmente se derriten a una temperatura por debajo de 5000 K". ("Principios de energía de fusión", A. A. Harms et. al.)

Cabe puntualizar que los esquemas de fusión actuales usan combustibles D-T que producir materiales radiactivos. Se requieren robots para hacer funcionar dichos sistemas.

La presente invención rompe el paradigma de la técnica anterior, entre otras cosas, al aumentar la densidad de reactante, eliminando esencialmente pérdidas electrónicas por radiación, y combinaciones de estos, al evitar el uso de un plasma fuertemente ionizado, modificar la barrera de Coulomb y así aumentar la sección transversal de reacción, extendiendo la región de interacción de los reactantes de fusión desde un punto a un área superficial grande, y usar confinamiento físico para contener la reacción de fusión. Tales planteamientos ponen fuera de lugar el criterio de Lawson

La importancia y el valor de lograr fusión controlada económicamente viable se ha reconocido y buscado desde hace tiempo en la técnica. La fusión controlada puede tener aplicaciones en producción energética, propulsión, creación de material, formación de material, la producción de isótopos útiles, generación de haces energéticos y partículas dirigidos, y muchos otros campos y aplicaciones clave. En el área de producción energética, se ha concebido que la fusión controlada proporciona una solución a desafíos globales energéticos y medioambientales, incluido suministro, distribución, coste y efectos adversos por usar hidrocarburos u otras fuentes alternativas de carburante. Por consiguiente, ha existido una necesidad duradera y sin cumplir de una reacción de fusión controlada, y la energía limpia y otros beneficios y usos beneficiosos que se asocian con este tipo de reacción. Los presentes métodos, dispositivos y sistemas para realizar reacciones de fusión resuelven estos y otros problemas, deficiencias, y equivocaciones asociadas con intentos anteriores para crear un sistema viable de fusión controlada. Además, la presente invención evita los riesgos asociados con generación de energía de fisión convencional. Además, realizaciones aneutrónicas disponibles de fusión controlada evitan las potenciales cuestiones asociadas con la gestión de neutrones producidos en otras reacciones de fusión. Así, la presente invención, entre otras cosas, resuelve estas necesidades al proporcionar los artículos de fabricación, dispositivos y procesos enseñados, descritos y reivindicados en esta memoria.

El documento US 2011/188623 A1 describe un reactor de fusión controlada con una cámara de rotación no mecánica.

Compendio

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un sistema para la reacción de fusión controlada de materiales según la reivindicación 1.

5 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para lograr fusión nuclear controlada según la reivindicación 15.

10 Se describe un dispositivo que usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y los materiales creados por esas reacciones. Estos dispositivos hacen rotar materiales a cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar cerca de la región exterior de este material rotatorio, generalmente más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se está moviendo más rápido en km/s. La recuperación o la utilización de los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía se pueden utilizar entonces más fácilmente, porque estos productos están de manera similar cerca del lado exterior de este material rotatorio.

15 También se describe un dispositivo que usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y los materiales creados por esas reacciones. Estos dispositivos hacen rotar materiales a cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar en una región retirada del centro axial de la masa rotatoria, preferiblemente donde el material se mueve más rápido. La recuperación o la utilización de los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía se pueden utilizar entonces más fácilmente, porque estos productos están de manera similar cerca del lado exterior de este material rotatorio.

20 También se describe un método que usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y los materiales creados por esas reacciones. Estos métodos hacen rotar materiales en cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar en una región retirada del centro axial de la masa rotatoria, preferiblemente donde el material se mueve más rápido. La recuperación o la utilización de los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía se pueden utilizar entonces más fácilmente, porque estos productos están de manera similar cerca del lado exterior de este material rotatorio.

25 También se describe un método que usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y los materiales creados por esas reacciones. Este método hace rotar materiales en cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar cerca del lado exterior de este material rotatorio, generalmente más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se está moviendo más rápido en km/s. La recuperación o la utilización de los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía se pueden utilizar entonces más fácilmente, porque estos productos están de manera similar cerca del lado exterior de este material rotatorio.

30 También se describe un dispositivo de fusión que utiliza un material ionizado que gira a tasas de velocidad muy altas. Este dispositivo establece condiciones donde el material rotatorio es forzado adentro de un segundo material, que está estacionario, o a todos efectos prácticos moviéndose tan lentamente o en un sentido opuesto que está efectivamente estacionario con respecto al material rotatorio, en donde estos dos materiales se juntan en una reacción de fusión, por lo que se produce una o más de partículas de alta energía, radiación, o nuevos elementos (o materiales).

35 También se describe un método de fusión que usa material ionizado que gira a tasas de velocidad muy altas. Este método fuerza al material rotatorio adentro de un segundo material, que está estacionario, o a todos efectos prácticos moviéndose tan lentamente o que está moviéndose en sentido opuesto que es efectivamente estacionario con respecto al material rotatorio, y junta estos dos materiales en una reacción de fusión, por lo que se produce una o más de partículas de alta energía, radiación, o nuevos elementos (o materiales). Además, el material ionizado puede ser introducido al dispositivo como preionizado.

40 También se describe un dispositivo que no requiere dispositivos internos mecánicos de rotación que crea y usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y materiales creados por esas reacciones. Estos dispositivos hacen rotar materiales a cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), sin el uso de componentes de dispositivo mecánico o dispositivo rotatorio, creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar cerca de una región generalmente más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se mueve más rápido en km/s. Los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía, pueden ser entonces recuperados o utilizados más fácilmente porque estos productos están de manera similar cerca de la región exterior de este material rotatorio.

5 También se describe un dispositivo que no requiere dispositivos internos mecánicos de rotación que crea y usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y materiales creados por esas reacciones. Estos dispositivos hacen rotar materiales a muchos miles y potencialmente millones de revoluciones por segundo (RPS), sin el uso de componentes de dispositivo mecánico o dispositivo rotatorio, creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión, usando reactores con dimensiones pequeñas. La reacción de fusión tiene lugar cerca de una región generalmente más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se mueve más rápido en km/s. Los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía, pueden ser entonces recuperados o utilizados más fácilmente porque estos productos están de manera similar cerca de la región exterior de este material rotatorio.

10 También se describe un método que usa rotación no mecánica a alta velocidad de un material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y los materiales creados por esas reacciones. Este método mediante medios no mecánicos hace rotar materiales en cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión. La reacción de fusión tiene lugar cerca del lado exterior de este material rotatorio, en general más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se está moviendo más rápido en km/s. La recuperación o la utilización de los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía se pueden utilizar entonces más fácilmente, porque estos productos están de manera similar cerca del lado exterior de este material rotatorio.

20 También se describe un método que no requiere dispositivos internos de rotación mecánica que crea y usa rotación a alta velocidad del material para producir condiciones para realizar reacciones de fusión y utilizar la energía y materiales creados por esas reacciones. Estos métodos hacen rotar materiales en cientos de miles o millones de revoluciones por segundo (RPS), sin el uso de componentes de dispositivo mecánico o dispositivo rotatorio, creando fuerzas, efectos y condiciones que facilitan la reacción de fusión, usando reactores con dimensiones pequeñas. La reacción de fusión tiene lugar cerca de una región generalmente más alejada del centro de rotación y más hacia donde el material se mueve más rápido en km/s. Los productos de fusión, que incluyen materiales creados, materiales modificados y energía, pueden ser entonces recuperados o utilizados más fácilmente porque estos productos están de manera similar cerca de la región exterior de este material rotatorio.

30 También se describe un dispositivo de fusión que utiliza un material ionizado que gira a tasas de velocidad muy altas. Este dispositivo no requiere componentes rotatorios mecánicos. Este dispositivo establece condiciones donde el material rotatorio es forzado adentro de un segundo material, que está estacionario, o a todos efectos prácticos moviéndose tan lentamente o en un sentido opuesto que está efectivamente estacionario con respecto al material rotatorio, en donde estos dos materiales se juntan en una reacción de fusión, por lo que se producen partículas de alta energía.

35 También se describe un método de fusión que usa material ionizado que gira a tasas de velocidad muy altas sin necesidad de componentes mecánicamente rotatorios. Este método fuerza al material rotatorio adentro de un segundo material, que está estacionario, o a todos efectos prácticos moviéndose tan lentamente o que está moviéndose en sentido opuesto que es efectivamente estacionario con respecto al material rotatorio, y junta estos dos materiales en una reacción de fusión, por lo que se producen partículas de alta energía.

40 En los dispositivos descritos anteriormente también puede haber presente uno o más de los siguientes: las partículas de alta energía pueden ser partículas alfa; también se puede producir energía; al menos también se puede producir de aproximadamente 1 nW (nanovatios) a aproximadamente 1 mW (milivatios) de energía; al menos también se puede producir aproximadamente 10 W de energía; también se puede producir aproximadamente 10 kW (kilovatios) de energía; también se puede producir aproximadamente 1 MW (megavatio) de energía; también se puede producir aproximadamente 100 MW de energía; también se puede producir aproximadamente 1 GW (gigavatio); las partículas de alta energía se pueden usar para crear electricidad; al menos se puede producir aproximadamente 1 mW de electricidad; al menos se puede producir aproximadamente 10 W de electricidad; al menos se puede producir aproximadamente 1 MW de electricidad; al menos se puede producir aproximadamente 100 MW de electricidad; al menos se puede producir aproximadamente 1 GW de electricidad; se puede producir energía que luego se usa para crear electricidad; las partículas de alta energía producidas son partículas alfa y energía; y, las partículas de alta energía tienen una energía de al menos aproximadamente 2 MeV; y las partículas de alta energía tienen una energía de al menos aproximadamente 1 MeV.

55 También se describe un dispositivo y un método de reacción de fusión que tienen, uno o más de lo siguiente: el dispositivo o el método se pueden configurar y operar para lograr un equilibrio energético predeterminado de la reacción de fusión; configurar y operar para lograr una tasa predeterminada de la reacción de fusión; configurar y operar para lograr una densidad de reactante predeterminada; configurar y operar para lograr una sección transversal predeterminada de reacción de fusión; configurar y operar para facilitar confinamiento expansivo de la reacción de fusión, por lo que la reacción de fusión es forzada a las áreas exteriores de la cámara de fusión en lugar de las áreas interiores de esa cámara; y configurar y operar para lograr probabilidad aumentada de reacción a través de más tiempo de confinamiento.

60 También se describe un dispositivo y un método de reacción de fusión que tiene uno o más de lo siguiente: el dispositivo o el método se pueden configurar y operar para permitir confinamiento expansivo para crear reacciones de

fusión de funcionamiento sostenido y dispositivos de reacción de fusión desde una microescala, p. ej., menos de pocos milímetros de tamaño, a pocos metros, a escala comercial de generación de energía; el escalado de tamaño de reactor de fusión geoméricamente para determinar tasa de reacción; y el escalado de tamaño de reactor de fusión geoméricamente para determinar equilibrio energético.

- 5 También se describe una configuración de reactor de fusión para permitir reacciones de fusión nuclear para uso en una aplicación; el reactor incorpora un primer reactante y un segundo reactante; el primer reactante tiene una primera densidad; el segundo reactante tiene una segunda densidad; unos medios para confinamiento expansivo; y unos medios para modificar la sección transversal de reacción, el reactor puede producir productos predeterminados.

- 10 También se describe una configuración de reactor de fusión para permitir reacciones de fusión nuclear para uso en una aplicación, el reactor incorpora un primer reactante y un segundo reactante; el primer reactante tiene una primera densidad del orden de aproximadamente 10^{13} partículas/cm³ al orden de aproximadamente 10^{23} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{24} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{25} partículas/cm³; el segundo reactante tiene una segunda densidad de aproximadamente 10^{13} partículas/cm³ al orden de aproximadamente 10^{23} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{24} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{25} partículas/cm³; una fuente predeterminada de potencial adicionalmente y más allá del potencial Coulomb; en donde estos potenciales interactúan y/o se combinan con la barrera de potencial Coulomb.

- 20 También se describe una configuración de sistema que incorpora un reactor con un primer reactante y un segundo reactante; el primer reactante tiene una primera densidad de aproximadamente 10^{13} partículas/cm³ al orden de aproximadamente 10^{23} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{24} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{25} partículas/cm³; el segundo reactante que tiene una segunda densidad de aproximadamente 10^{13} partículas/cm³ al orden de aproximadamente 10^{23} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{24} partículas/cm³, mayor de aproximadamente 10^{25} partículas/cm³; unos medios para confinamiento expansivo; y unos medios para modificar la sección transversal de reacción, el reactor puede producir productos predeterminados. El sistema tiene un sistema de conversión de energía; un componente para proporcionar potencia al reactor; un componente para controlar el reactor.

- 25 También se describe una configuración de sistema que incorpora un material rotatorio a altas tasas, en donde esta rotación da como resultado un cambio de presión en el sistema. Este cambio de presión puede inducir un vacío o flujo de material.

En las reivindicaciones, los dibujos y la memoria descriptiva de esta solicitud todavía se proporcionan realizaciones adicionales de la presente invención.

30 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 muestra un diagrama esquemático de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

La figura 2 muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

- 35 Las figuras 2A-2E muestran vistas instantáneas en sección transversal en perspectiva de la realización de la figura 2 tomadas a lo largo de la línea A-A durante fases de su funcionamiento.

La figura 3 muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

- 40 La figura 4A muestra una realización de un aparato de control y un circuito de descarga que es parte de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

La figura 4B muestra otra realización de un sistema de control y un circuito de descarga según la presente invención.

Las figuras 5A-5C muestran la curva de energía potencial de un sistema de dos partículas en el que un primer núcleo se está aproximando a un segundo núcleo, según una realización de la presente invención.

- 45 La figura 6 es una imagen fija capturada por una videocámara de alta velocidad del interior de la cámara de la realización del dispositivo, según la presente invención, que muestra la presencia de helio en la cámara de fusión.

La figura 7 es una imagen fija de las superficies interiores de los componentes de dispositivo según la presente invención, que muestra la presencia de micrograbado químico, que demuestra la creación de partículas de alta energía.

- 50 Las figuras 8A-8F son una serie de fotografías de un detector de lámina en un periodo de tiempo de 8,25 milisegundos que muestra el detector antes de ningún impacto detectable (figura 8A) a través de diversos impactos durante la reacción de fusión (figuras 8B a 8D) a través de destrucción (figura 8E) y que se ha ido completamente de su marco (figura 8F)

La figura 9A es una vista en sección transversal axial de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención, que tiene un electrodo exterior y un electrodo interior concéntrico, con campos magnéticos axiales localizados generados dentro del espacio anular entre los dos electrodos.

La figura 9B es una vista en sección transversal lateral de la realización del dispositivo de la figura 9A.

- 5 La figura 10 es una vista en sección transversal axial de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención, donde se acelera material azimutalmente por medio de usar electrodos para generar campos eléctricos localizados dentro del espacio anular en el que está rotando el material.

La figura 11 muestra una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención donde el segundo material de trabajo consiste en múltiples materiales en forma sólida.

- 10 La figura 12 muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención, donde electrodo interior, electrodo exterior, cámara de presión controlada e imán son en forma de toros, a diferencia de cilindros.

- 15 La figura 13 es una vista de línea imaginaria en perspectiva de una realización de una parte de un electrodo exterior y una placa de boro, donde se añade una espira de calentamiento a la sección del electrodo exterior directamente enfrente de la placa de boro.

La figura 14 muestra una vista esquemática de una realización de la superficie interior del electrodo exterior, donde nanotubos de carbono se adhieren al electrodo exterior.

La figura 15 es una vista esquemática en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada, que utiliza presión fotónica como conjunto de inducción de rotación.

- 20 La figura 16 es una vista esquemática en perspectiva de una realización de un dispositivo que incorpora unos medios para mejorar una reducción del potencial Coulomb a través de emisión de electrones.

La figura 17 es una gráfica que ilustra una realización de una condición de resonancia dependiente del potencial Coulomb modificado.

- 25 La figura 18 es una gráfica que ilustra una realización de una sección transversal de reacción con un pico de resonancia.

La figura 19 es una vista esquemática en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada de microrreactor, donde el conjunto inductor de rotación es electromagnético y funciona basándose en resonancia.

La figura 20 es una vista esquemática en sección transversal de una realización de un dispositivo de fusión controlada que incluye un láser, que se puede usar para aumentar efectos de apantallamiento electrónico.

- 30 La figura 21 es una vista esquemática en sección transversal de una realización de un dispositivo de fusión controlada en el que dos alambres recubiertos de boro que contienen compuestos discurren axialmente a través del dispositivo de fusión controlada.

La figura 22 una vista esquemática de una realización de un dispositivo de fusión controlada y un conjunto de utilización de energía, según la presente invención.

- 35 La figura 23 una vista esquemática de una realización un dispositivo de fusión controlada y un conjunto de conversión energética directa según la presente invención.

La figura 24A es un esquema de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

La figura 24B es un esquema del dispositivo de fusión de la figura 24A con un tercer material de trabajo añadido, según la presente invención.

- 40 La figura 25 es una vista en perspectiva de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

La figura 25A es una vista en sección transversal del dispositivo de la figura 25.

La figura 25B es una vista en perspectiva en despiece ordenado del dispositivo de la figura 25.

La figura 26 es una vista en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

- 45 La figura 26A es una vista en despiece ordenado de la realización de la figura 26.

La figura 27 es una gráfica del trazado de tensión y corriente durante el funcionamiento de un dispositivo de fusión controlada según la presente invención.

Las figuras 27A a 27F son representaciones esquemáticas de fotografías de He y productos de fusión, según las presentes invenciones.

La figura 28 es una representación esquemática de una fotografía de He y productos de fusión, según la presente invención.

- 5 La figura 29 es una representación esquemática de una fotografía de He y productos de fusión, según la presente invención.

Las figuras 30 y 31 son representaciones de espectro de emisión, según la presente invención.

Descripción de las realizaciones preferidas

10 En general, la presente invención está relacionada con métodos, aparatos, dispositivos y sistemas para crear, medir, controlar, realizar y optimizar actividades de fusión de núcleos. En particular, la presente invención está relacionada con, entre otras cosas, actividades de fusión para producción de energía, propulsión, formación de material y generación de partículas y haces energéticos dirigidos. La presente invención además está relacionada con tales actividades que cubren un espectro de reacciones desde aneutrónicas, reacciones de fusión que esencialmente no producen neutrones, a neutrónicas, reacciones de fusión que producir cantidades sustanciales de neutrones.

15 Generalmente, los presentes métodos, aparatos y sistemas utilizan la rotación a alta velocidad de partículas para permitir reacciones de fusión controlada en ambientes controlados, y preferiblemente sin necesidad de campos magnéticos o de contención de alta energía. Realizaciones adicionales crean o modifican el cuanto y otros efectos para permitir o mejorar la reacción de fusión.

20 En general, los dispositivos de fusión controlada utilizan partículas rotatorias a una alta tasa de velocidad. Esto se puede hacer de varias maneras. Por ejemplo, en una cámara cilíndrica se puede crear un campo magnético axial, y se puede inducir una corriente de plasma radial al aplicar una tensión a través de una varilla de descarga central y un electrodo concéntrico. El campo eléctrico y el campo magnético perpendiculares crean una fuerza de Lorentz a lo largo del eje perpendicular a ambos campos eléctrico y magnético, en este caso en la dirección azimutal. El campo eléctrico y el campo magnético pueden estar además en un ángulo que difiere de la perpendicular, de manera que componentes perpendiculares, en menor o mayor medida, están presentes en suficiente fortaleza para crear una fuerza de Lorentz azimutal suficientemente fuerte. Esta fuerza azimutal actúa sobre iones, que a su vez se acoplan con neutrales de manera que se hace que las partículas en el espacio anular entre la varilla de descarga central y el electrodo exterior se muevan a alta velocidad rotacional. La falta de piezas mecánicas móviles significa que hay poca limitación a la velocidad a la que puede ocurrir la rotación, proporcionando así tasas de rotación de más de 100 000 RPS.

30 Cambiando a la figura 1, se proporciona un diagrama esquemático de una realización de un dispositivo de fusión de la presente invención. El dispositivo de fusión controlada 100 tiene un primer material de trabajo 101 y un segundo material de trabajo 110 asociado con él. El dispositivo de fusión controlada 100 tiene una cámara de rotación 103 que tiene pared de cámara de rotación 105 y una cavidad 108, y un área de presión controlada 104. Funcionalmente asociado con la cámara de rotación 103 hay un conjunto inductor de rotación 102 y un dispositivo de creación de plasma 106. Los dispositivos 102 y 106 pueden ser iguales, pueden ser diferentes y pueden asociarse funcionalmente en combinaciones y variaciones de estos. Dentro de la cavidad 108 hay una superficie de fusión 109.

35 El primer material de trabajo 101 es cualquier material o combinación de sustancias que se puedan formar hasta un plasma, y más preferiblemente un plasma débilmente ionizado. Por ejemplo, el primer material de trabajo puede ser hidrógeno, deuterio, tritio, helio, argón, neón, xenón, nitrógeno, oxígeno, en general materiales gaseosos, sólidos vaporizados u otros sólidos, o líquidos. Puede ser una combinación de un material de fondo ionizable y un material que esté pensado para verse implicado directamente en la reacción de fusión. El material de fondo ionizable también se puede implicar en la reacción de fusión. Por ejemplo, gas argón (como material de fondo) se puede combinar con boro vaporizado. En una realización, el primer material podría ser hidrógeno.

40 El segundo material de trabajo 110 puede ser el mismo que el primer material de trabajo 101, se puede combinar con el primer material de trabajo, o puede ser diferente. En general, el segundo material de trabajo y el primer material de trabajo se deben seleccionar para permitir una reacción de fusión predeterminada y optimizada. Así, por ejemplo, la combinación de estos materiales puede buscar, entre otras cosas, crear una reacción de fusión aneutrónica, permitir alta densidad de partículas, dar como resultado alta salida de energía, permitir buena emisión de electrones, permitir el uso de materiales que tengan momentos magnéticos positivos o negativos, y combinaciones y variaciones de estos y otros factores. Preferiblemente, el material se debe seleccionar para permitir una reacción de fusión aneutrónica. Preferiblemente, el segundo material de trabajo es un sólido. En una realización, el segundo material podría ser boro o un compuesto de boro tal como nitruro de boro o hexaboruro de lantano.

45 Preferiblemente, los materiales primero y segundo para algunas realizaciones del dispositivo de fusión controlada pueden ser: hidrógeno-1 y boro-11, hidrógeno-1 y litio-6, hidrógeno-1 y litio-7, deuterio y helio-3, deuterio y litio-6, helio-3 y litio-6, helio-3 y helio-3, hidrógeno-1 y nitrógeno-15, deuterio y deuterio, deuterio y tritio, o tritio y tritio. Puede ser ventajoso usar compuestos moleculares que sean buenos emisores de electrones, por ejemplo nitruro de boro o hexaboruro de lantano. El primer o segundo material de trabajo también pueden ser una matriz o compuesto de

5 diferentes materiales, cada uno de los cuales puede proporcionar una ventaja para la reacción de fusión, p. ej., uno es un buen emisor de electrones y uno es el compuesto que contiene el reactante de fusión. Una consideración adicional para determina los materiales de trabajo primero y segundo es evitar el coste potencialmente añadido y las dificultades de manejar materiales que pueden ser potencialmente peligrosos, auto-pirrolizadores, o tener otras preocupaciones de alto riesgo para la salud, seguridad o coste.

El conjunto inductor de rotación 102 o dispositivo para proporcionar rotación al plasma, y preferiblemente plasma débilmente ionizado, puede incluir imanes superconductores, imanes permanentes, electroimanes, fuentes de radiofrecuencia, fuentes de microondas, fuentes de campo eléctrico, electrodos, láseres, pistolas de iones, y combinaciones y variaciones de estos y otros tipos de dispositivos.

10 El dispositivo de creación de plasma 106 puede incluir fuentes de radiofrecuencia, fuentes de microondas, láseres, fuentes de campo eléctrico, electrodos, distancia disruptiva, y pistolas de iones, y combinaciones y variaciones de estos y otros tipos de dispositivos.

15 En algunas realizaciones, el conjunto inductor de rotación 102 y el dispositivo de creación de plasma 106 se pueden combinar. Por ejemplo, un imán superconductor que crea un campo magnético entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 2 Teslas o mayor, y un set de electrodos con una diferencia de tensión entre aproximadamente 2 kV (kilovoltios) y 3 kV o mayor creará un plasma y provocará que dicho plasma rote; otro ejemplo es plasma creado por ondas electromagnéticas a las frecuencias resonantes de iones y electrones en un campo magnético, y que las mismas ondas electromagnéticas y campo magnético le hacen rotar.

20 La cámara de rotación 103 forma o define la cavidad 108 que contiene el plasma, y preferiblemente el plasma débilmente ionizado. Asociado con la cavidad está el dispositivo inductor de rotación 102 y el dispositivo de creación de plasma 106. De esta manera, estos dispositivos 102, 106, crean un plasma y provocan que el plasma rote dentro de la cámara a altas revoluciones, p. ej., al menos aproximadamente 1.000 revoluciones por segundo (RPS), al menos aproximadamente 5.000 RPS, al menos aproximadamente 50.000 RPS, al menos aproximadamente 100.000 RPS, al menos aproximadamente 300.000 RPS, o mayor, y de aproximadamente 100.000 a aproximadamente 300.000 RPS.

25 La cámara de rotación 103 se puede hacer de metales, cerámica, plásticos, compuestos, y combinaciones y variaciones de estos y otros tipos de materiales. La cámara de rotación puede proporcionar un área de presión controlada 104 o puede estar autocontenida o ser parte del área de presión controlada 104. La cámara de rotación proporciona un ambiente controlado y preferiblemente superficies que, entre otras cosas, dirigen o contienen la rotación del plasma. La cámara de rotación también puede incluir o ser un electrodo.

30 La cámara de rotación 103 tiene una pared 105 o estructuras que proporcionan barreras físicas al plasma rotatorio, así como, en algunas realizaciones, una barrera física para contener o controlar la atmósfera y las presiones. La pared de cámara de rotación 105 puede definir, en conjunto o en parte, una cavidad 108. La cavidad 108 forma un volumen o define una región, donde el plasma rota y también puede tener lugar la reacción de fusión.

35 En el dispositivo 100 se proporciona una superficie de fusión 109. Al tratar con distancias y áreas nucleares donde tiene lugar la reacción de fusión, términos relativos o comunes de distancia pueden no aplicarse completamente. Así, como se emplea en esta memoria, cuando se permite que la reacción de fusión ocurra en, cerca, o adyacente a una superficie o región, estos términos se tienen que usar en su posible sentido más amplio, e incluiría que la reacción tenga lugar en esa región general, o sea limitada o contenida de otro modo físicamente por esa superficie. En el dispositivo 100, preferiblemente la reacción de fusión tiene lugar en conjunto o en parte adyacente a la superficie de fusión 109. La superficie de fusión puede formar en conjunto o en parte la cámara de rotación 103, el área de presión controlada 104, la cavidad 108, y combinaciones y variaciones de estos. La superficie de fusión 109 también puede ser contenida dentro de alguna o todas estas estructuras, sin embargo siempre que la superficie de fusión esté ubicada dentro del área de presión controlada 104. La superficie de fusión puede ser sólida, una pantalla, nanopartículas, un gel, una matriz, recubrimientos y chapados generalmente, micro- y nanosuperficies estructuradas, y por ejemplo se puede formar de cobre, acero inoxidable, plata, chapados de metal, cerámica, compuestos, plásticos, metales, metaloides, compuestos orgánicos, óxidos, vidrio, materiales poliméricos, aleaciones, grafito, y combinaciones y variaciones de estos y otros materiales. Además, la superficie de fusión 109 puede incluir o ser el segundo material de trabajo.

50 Cambiando a la figura 2, se muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada 200. El dispositivo de fusión controlada 200 tiene un imán superconductor 201 que proporciona un campo magnético de aproximadamente 0,5 a 2 Teslas. Dentro del imán 201, y así dentro del campo magnético creado por el imán, hay un electrodo exterior 204 y un electrodo interior 202. El electrodo interior tiene aislamiento 203. Ubicada en la superficie interior 208 del electrodo exterior 204 hay una primera placa de boro 205 y una segunda placa de boro 206. Una línea de entrada de gas de trabajo 207 se ubica dentro del electrodo exterior 204 y dentro del imán 201.

55 El electrodo exterior 204 es en forma de tubo que tiene un diámetro interior de 16 centímetros (cm). El electrodo exterior 204 se hace de cobre. Una sección expuesta o no aislada 209 del electrodo interior 202 se ubica axialmente a través de las placas de boro 205 y 206. Aunque no se muestra en la figura, los electrodos interior y exterior están

5 contenidos dentro de un ambiente de presión controlada. El electrodo interior y la sección no aislada 209 tienen un diámetro de 4 cm. Así los electrodos interior y exterior se asocian eléctricamente con una fuente de alimentación y un circuito mostrados en la figura 4A, y así se proporciona una tensión a través de los dos electrodos. Preferiblemente, en esta realización las placas de boro se hacen de nitruro de boro o hexaboruro de lantano ambos son excelentes emisores de electrones.

10 Se debe entender que esta realización se puede configurar de manera que los componentes y sus posiciones respectivas se pueden modificar o cambiar. Por ejemplo, se pueden usar múltiples electrodos interiores, se pueden usar diferentes configuraciones para el electrodo exterior, se pueden usar más o menos placas de boro, se puede usar un anillo de boro continuo, o se pueden usar otras configuraciones del boro, se puede cambiar la ubicación y la posición de la línea de entrada de gas de trabajo 207 y se pueden usar múltiples líneas de entrada de gas de trabajo 207.

15 La distancia entre la superficie interior del electrodo exterior 204 y la sección exterior expuesta del electrodo interior 209 es de aproximadamente 6 cm. Es en esta región donde se hace fluir una corriente eléctrica a través del gas de trabajo para crear un plasma, y preferiblemente un plasma débilmente ionizado. La concentración y el tipo del gas de trabajo, la presión del gas de trabajo, la distancia entre los electrodos y otros factores se evalúan para determinar la tensión y la corriente usadas para crear el plasma. Además, la tensión y la corriente usadas para impartir la fuerza de Lorentz para crear la rotación del plasma se basan en el campo magnético y otros factores. Así, en esta realización, la distancia entre los electrodos puede ser menos de un centímetro, puede ser menos de 2 cm, puede ser de aproximadamente 2 cm a aproximadamente 50 cm, puede ser de aproximadamente 5 cm a aproximadamente 20 cm, y puede ser mayor de un metro. Al determinar esta distancia, se debe dar consideración al efecto perjudicial que una mayor distancia tiene sobre los requisitos de potencia eléctrica para formar el plasma y para crear suficiente fuerzas de Lorentz para inducir suficiente rotación para permitir que tener lugar la fusión. Al usar distancias más pequeñas, también se debe dar consideración a evitar la creación de efectos de capa límite, que pueden afectar negativamente a la capacidad de las fuerzas de Lorentz para impartir suficiente rotación para que aparezca fusión. El campo magnético puede ser de aproximadamente 0,5 Tesla a aproximadamente 20 Teslas, de aproximadamente 2 Teslas a aproximadamente 5 Teslas, y puede ser mayor o menor dependiendo de la corriente de plasma de manera que se imparte suficiente rotación. El gas hidrógeno está preferiblemente a aproximadamente 3 torr, pero puede estar de aproximadamente 0,5 torr a aproximadamente 12 torr, de aproximadamente 1 torr a aproximadamente 7 torr, y preferiblemente 2 torr o mayor. Además, y más preferiblemente, la presión del hidrógeno debe ser tan grande como sea posible sin afectar negativamente o inhibir la creación de plasma. La longitud axial de los electrodos, y más particularmente la longitud axial de la sección no aislada del electrodo interior, puede ser menos de un centímetro, y puede ser sustancialmente más larga que un centímetro, siempre que la tensión a través de los electrodos sea suficientemente alta como para inducir una cantidad de rotación suficiente en la región donde se pretende que tenga lugar fusión. Además, esta realización se puede usar con otros primeros materiales de trabajo y otros segundos materiales de trabajo.

35 Generalmente, el dispositivo de la realización de la figura 2 puede funcionar al proporcionar el campo magnético de entre aproximadamente 0,5 Tesla y aproximadamente 2 Teslas; purgar el dispositivo de toda atmósfera; y después de purgar, rellenar el dispositivo con hidrógeno a aproximadamente 3 torr. Aplicar una tensión de aproximadamente 1,4 kV a través de un reóstato limitador de corriente al electrodo interior crea una corriente de plasma de aproximadamente 10 a 50 A, que imparte, debido a la fuerza de Lorentz creada por el campo magnético y la corriente, una rotación de aproximadamente 1.000 RPS. Preferiblemente, esta rotación inicial en dispositivos de la realización del tipo de la figura 2, mejora la capacidad de lograr velocidades rotacionales suficientes para provocar fusión. Tras establecer la rotación inicial, un impulso de aproximadamente 400 V a 1 kV entre los electrodos exterior e interior crea una corriente de plasma de aproximadamente 2 a 5 kA, e imparte una rotación de al menos aproximadamente 100.000 RPS. La rotación del plasma se mantiene durante aproximadamente 10 milisegundos. Durante esta rotación del plasma, se crean partículas alfa por una reacción de fusión entre un protón y un núcleo de boro-11. Se cree que la energía cinética media de los protones es de aproximadamente 500 eV (electronvoltios). Se cree que la energía acumulada impartida a las tres partículas alfa producidas por cada reacción de fusión es de aproximadamente 8,68 MeV.

50 Además de una operación de único impulso, la realización de la figura 2 puede funcionar con uno, dos o más impulsos espaciados. Los impulsos espaciados en serie pueden ser escalonados o solapados. Además, se puede aplicar una tensión CW (onda continua) durante periodos de mayor duración que los impulsos. Estos planteamientos pueden así proporcionar periodos sustancialmente más largos de actividad de fusión que los 10 milisegundos observados, donde puede tener lugar la creación de partículas alfa y producción energética asociada.

55 También, pueden tener lugar reacciones nucleares secundarias entre partículas alfa energéticas y otros materiales, añadiendo energía adicional al sistema. Por ejemplo, partículas alfa producidas por una reacción primaria entre hidrógeno-1 y boro-11 pueden reaccionar con carbono en la pared del dispositivo de fusión controlada, creando oxígeno y liberando energía adicional. Así, el propio producto de fusión se puede convertir en un material de trabajo, p. ej., un tercer material de trabajo.

60 Cambiando a las figuras 2A a 2E, se muestran vistas en sección transversal en perspectiva de la realización de la figura 2 tomada a lo largo de la línea A-A. Como se describe posteriormente, estas figuras ilustran los diversos campos

eléctricos, campos magnéticos, y parámetros de funcionamiento de la realización de la figura 2, dando como resultado la creación de la reacción de fusión y productos de fusión, p. ej., partículas alfa y generación de energía relacionada.

5 Cambiando a la figura 2A, las líneas de campo magnético se muestran mediante flechas (B). Estas líneas de campo magnético, creadas por el imán 201, se muestran pasando a través del espacio anular 222 entre los electrodos interior 202 y exterior 204. Gas hidrógeno rellena este espacio anular 222. Como se muestra en esta figura, como no se ha aplicado la tensión entre los electrodos 202 y 204, no ha tenido lugar rotación. También se muestra una fuente de alimentación 220, y líneas de enfriamiento de agua 221a, 221b.

10 Cambiando a la figura 2B, el campo eléctrico se crea y se ilustra mediante los símbolos más en el electrodo interior 202 y las flechas (E) que se extienden radialmente hacia fuera desde el electrodo interior 202 al electrodo exterior 204. De esta figura se puede ver que las líneas de campo eléctrico (E) son normales a las líneas de campo magnético (B). Preferiblemente, la tensión se aplica inicialmente en un nivel más bajo para crear ionización débil y rotación inicial lenta.

15 Cambiando a la figura 2C, se muestra la creación del plasma débilmente ionizado, que inicialmente ocurre en la aplicación de la tensión CW de potencia baja. Así, el campo eléctrico tiene ionizado algo de hidrógeno para crear un plasma débilmente ionizado (p. ej., 1 ion por aproximadamente cada 100.000 neutrales). La presencia de estos iones permite que fluya corriente, ilustrada mediante las líneas semejantes a relámpagos (I) que se extienden radialmente hacia fuera. La debilidad del plasma permite que permanezca estable.

20 Continuando con la figura 2D, el impulso de alta potencia se ha aplicado en los electrodos, creando una fuerza de Lorentz azimutal, mostrada mediante flechas (F), que actúa sobre los iones en el plasma débilmente ionizado. El flujo de la corriente de plasma en ambas figuras 2C y 2D se ilustra mediante líneas semejantes a relámpagos (I) que se extienden radialmente hacia fuera. La dirección de la fuerza de Lorentz (F) sobre los iones del plasma débilmente ionizado es perpendicular al campo magnético (B) y al campo eléctrico (E) (como se muestra mediante las flechas tangenciales en la figura 2D), e induce una rotación en la dirección de fuerzas (F) y las flechas circulares (R) mostradas en la figura 2E.

25 Así, la rotación de los iones en el plasma débilmente ionizado provoca que los neutrales (p. ej., el hidrógeno no ionizado) roten. Se cree que esta rotación es provocada por colisiones entre los iones y los neutrales. Así la realización de la figura 2 permite la aceleración de un número sustancial de partículas neutras por únicamente muy pocos iones a un nivel de energía suficiente para la reacción de fusión.

30 Por ejemplo, si se usa hidrógeno la ratio de iones a neutrales puede ser de aproximadamente 1:1.000 a aproximadamente 1:120.000, de aproximadamente 1:50.000 a aproximadamente 1:100.000, de aproximadamente 1:100.000 a aproximadamente 1:180.000, 1 a al menos aproximadamente 1, 1 a al menos aproximadamente 10, 1 a al menos aproximadamente 100, 1 a al menos aproximadamente 1.000, 1 a al menos aproximadamente 10.000, 1 a al menos aproximadamente 50.000, 1 a al menos aproximadamente 80.000, 1 a al menos aproximadamente 100.000, 1 a al menos aproximadamente 180.000.

35 Así, cambiando a la figura 2E, se ilustra de manera conceptual la reacción de fusión que tiene lugar a lo largo de una superficie de fusión 208 que en esta realización es la superficie interior 208 del electrodo exterior 204. Actualmente se cree que en la realización de la figura 2, la vasta mayoría de las reacciones de fusión tienen lugar adyacentes a la superficie de fusión. La reacción de fusión se ilustra mediante los gráficos estrellados alrededor de las partículas de boro que se cree que han migrado desde las placas de boro 205 y 206.

40 La figura 4A representa una realización de un aparato de control y un circuito de descarga que es parte de un dispositivo de fusión controlada, tal como el representado en la figura 2. Un bloque de control de sistema 401 permite a un operario gestionar y controlar uno o más elementos interconectados funcionalmente con el dispositivo de fusión controlada. El bloque de control de sistema 401 puede incluir un ordenador. Como alternativa, puede incluir conmutadores manuales o cualesquiera otros tipos de interfaces de control conocidas en la técnica. Trayectorias de comunicación, p. ej., transmisión y recepción de señales de control y datos y similares son como se muestra mediante líneas de trazos en la figura. El aparato de control incluye un circuito de descarga 407 de onda continua (CW) y un circuito de descarga pulsado 406. El circuito de descarga de CW 407 se compone de un suministro de energía de CC 402 configurado para entregar una tensión entre 1,4 y 2,0 kV, aunque también son posibles otras tensiones. (la trayectoria de comunicación de datos y control se muestra mediante línea discontinua 402a). El suministro de energía de CC 402 tiene un banco de fusibles 421 y un Variac 408 asociado con él. El suministro de energía de CC 402 se conecta funcionalmente a electrodos en el dispositivo de fusión controlada a través de una impedancia de aproximadamente 5 ohmios a fin de aplicar tensión continua en la carga de plasma 403. Como se ha tratado anteriormente con referencia a la figura 2, la tensión de CW puede preionizar el plasma e iniciar la rotación del plasma. En funcionamiento, el circuito de descarga de CW 407 proporciona una corriente de aproximadamente 10 a 50 amperios a través del plasma. El circuito de descarga de CW 407 también tiene sondas de alta tensión 413a, 413b conectadas a, p. ej., en comunicación de datos con, un osciloscopio, un dispositivo de resistencia 1 % 412 de 0,1 ohmio, un dispositivo de resistencia 411 de 5 ohmios, un fusible 410 de 30 amperios, y un diodo de aislamiento 409 de 36 A 3 kV. Un diodo de protección por sobretensión 420 une el circuito de descarga de CW 407 y el circuito de descarga pulsado 406.

El circuito de descarga pulsado 406 se compone de un banco de condensadores 404 que se carga entre 1,5 y 4 kV. En algunas realizaciones, el banco de condensadores 404 tiene una capacitancia de 3,6 mF, aunque se pueden usar otros valores de capacitancia. Cuando el bloque de control de sistema cierra el conmutador de impulsión de compuerta 405 (p. ej., por medio de la trayectoria de control y datos 405a), el banco de condensadores 404 se descarga a través del plasma, creando una corriente (mostrada con la flecha 421) entre 3 kA y 50 kA durante aproximadamente 10 a 15 milisegundos. Este impulso de corriente 421 induce rotación rápida del plasma, hasta aproximadamente 100.000 RPS, que induce fusión. También son posibles otras variaciones de un aparato de control y un circuito de descarga y también se encontrarían dentro del alcance y el espíritu de la presente invención. El circuito de descarga pulsado 406 también tiene una fuente de tensión 418, de 1,5kV a 4 kV, un dispositivo de resistencia 417 de 100 ohmios, un dispositivo hertz 416 de 16 micrómetros, un dispositivo de resistencia 415 de 0,3 ohmios, y un monitor de corriente 414 que tiene una saturación de 10 As (en comunicación de control y datos por medio de la trayectoria 414a). El sistema también tiene una trayectoria de comunicaciones de control y datos 420 que se asocia con la válvula de entrada de gas (dosis) (no se muestra), y una videocámara rápida 419 que tiene trayectoria de comunicaciones y de datos 419a.

Conforme se aplica la tensión y el grado de ionización aumenta, la corriente fluye más fácilmente, dando como resultado así una caída percibida en la tensión requerida. Así, como resultado, se puede emplear la secuenciación o el uso de diversas fuentes de tensión, se puede usar una fuente de CW de baja tensión para crear rotación de arranque inicial, se puede usar alta tensión para formar el requisito de grado de ionización y rotación a alta velocidad (p. ej., aproximadamente al menos 100.000 RPS), y luego se puede usar una tensión menor para mantener el grado de ionización y la velocidad de rotación para realizar reacciones de fusión en periodo de tiempo prolongado. Para mejorar la eficiencia global del sistema, se prefiere que para cada tipo de tensión necesaria, se use la fuente de tensión más eficiente. Así, la secuenciación de los aportes de potencia de manera que conforme la conductividad aumenta dentro de la región de fusión, se reduce el aporte de tensión para rastrear tales aumentos. Esto a su vez baja el aporte de potencia requerido, aumentando de ese modo la ganancia global de este dispositivo de fusión.

Cambiando a la figura 3, se muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada 300. El dispositivo de fusión controlada 300 tiene un imán superconductor 307. Dentro del imán 307, y así dentro del campo magnético creado por el imán, hay una cámara de presión controlada 306, un electrodo exterior 304 y un electrodo interior 302. El electrodo interior tiene aislamiento 303. Ubicado en la superficie interior 312 del electrodo exterior 304 hay un miembro 305a, que tiene el segundo material de trabajo, y un segundo miembro 305b, que tiene un segundo material de trabajo. Una línea de entrada de gas de trabajo 301 se ubica dentro del electrodo interior 304 y dentro del imán 307.

El electrodo exterior 304 es en forma de tubo que tiene un diámetro interior de 16 centímetros (cm) y se hace de cobre. La pared 313 del electrodo exterior 304 es de aproximadamente 2 cm de grosor. El electrodo interior 302 se hace de cobre, y tiene una superficie exterior expandida y no aislada 311. La distancia entre la superficie exterior 311 del electrodo interior 302 y la superficie interior 312 del electrodo exterior 304 se muestra mediante doble flecha 310, y es de aproximadamente 3,5 cm. Los miembros 305a, 305b se ubican axialmente cruzando desde la superficie exterior 311 del electrodo interior 302.

Una cámara de fusión 308 se posiciona al menos parcialmente dentro del campo magnético del imán 307. Una superficie de fusión 309 se asocia con la cámara de presión controlada 306.

Los electrodos interior y exterior se asocian eléctricamente con una fuente de alimentación y un circuito, por ejemplo del tipo mostrado en la figura 4B (que se describe con detalle adicional más adelante en la memoria descriptiva), y así se proporciona una tensión entre los dos electrodos 304, 302. Preferiblemente, en esta realización el primer material de trabajo es un gas de trabajo, y en particular hidrógeno, y el segundo material de trabajo es nitruro de boro o hexaboruro de lantano.

En la región entre la superficie exterior 311 del electrodo 302 y la superficie interior 312, se hace fluir la corriente eléctrica a través del primer material de trabajo para crear preferiblemente un plasma débilmente ionizado. En funcionamiento, la reacción de fusión tiene lugar en la cavidad de fusión 308, y preferiblemente adyacente a la superficie de fusión 309.

Se debe entender que esta realización se puede configurar de manera que los componentes y sus posiciones respectivas se pueden modificar o cambiar. Por ejemplo, se pueden usar múltiples electrodos interiores, se pueden usar diferentes configuraciones para el electrodo exterior, se pueden usar más o menos miembros de segundo material, y se puede usar un anillo continuo. También se puede variar la ubicación y la posición de la línea de entrada de gas de trabajo, la cámara de fusión, la superficie de fusión y otros componentes.

La figura 4B representa otra realización de un circuito de descarga y control de sistema que se pueden usar conjuntamente con el sistema descrito con referencia a la figura 3. El circuito de descarga y control de sistema incluye un circuito de descarga de CW 457 y un circuito de descarga pulsado 456. El circuito de descarga de CW 457 incluye un suministro de energía de CC 452 configurado para suministrar 1,44 kV a través de una impedancia entre 6 y 18 ohmios a través del plasma 453. Sin embargo, se pueden usar otros niveles de tensión y valores de impedancia. El suministro de energía de CC 452 se configura para suministrar del orden de 10 amperios a través del plasma a fin de preionizar el plasma e iniciar la rotación. El suministro de energía de CC 452 tiene un banco de fusibles 471 y un

transformador 458. El circuito de descarga de CW 457 también tiene sondas de alta tensión 463 en comunicación (por medio de trayectoria 463a) con un osciloscopio (no se muestra), un dispositivo de resistencia 461 de 6-18 ohmios, un fusible 460 de 30 amperios, un diodo de aislamiento 459 (p. ej., 36 A, 3 kV).

5 El circuito de descarga pulsado 456 incluye un banco de condensadores 454 con una capacitancia de 5,6 mF, aunque también son posibles otros valores de capacitancia. El banco de condensadores se carga a aproximadamente 3 kV, de la fuente de tensión de alimentación 468 (3 kV, 5A). Cuando el bloque de control de sistema 451 cierra el conmutador de control de impulsos 455, se aplica un impulso de corriente de 3 a 30 kA (flecha 480) al plasma, induciendo rotación rápida, que da origen a acontecimientos de fusión. El circuito de descarga pulsado 456 también
10 tiene un dispositivo de resistencia 467 de 100 ohmios, un relé 474, y un monitor de corriente de saturación 485 de 10 As, y la trayectoria 485a.

El sistema de control y el circuito de descarga de la realización de figura 4B, tiene un controlador 451 (que puede ser uno o más controladores, PLC, ordenadores, combinaciones procesador-memoria, y variaciones y combinaciones de estos). El controlador 451 está en comunicación por medio de una red de comunicación y datos que tiene diversas trayectorias de comunicación, ilustradas como líneas de trazos. Así, la trayectoria 469a coloca una videocámara rápida
15 469 en comunicación con el controlador 451, la trayectoria 452a se asocia con el suministro de energía de CC, la trayectoria 470 se asocia con la válvula de dosis de gas, la trayectoria 472 se asocia con un termopar, la trayectoria 473 se asocia con otro equipamiento de monitorización, p. ej., osciloscopios adicionales, la trayectoria 491a se asocia con un monocromador de fibra óptica 491, la trayectoria 468a se asocia con el suministro de tensión 468, y la trayectoria 455a se asocia con el control de impulsos 455.

20 Generalmente, se entiende que el término "aproximadamente" engloba una varianza o intervalo de $\pm 10\%$, el error experimental o instrumental asociado con obtener el valor declarado, y preferiblemente el más grande de estos.

Realizaciones de las presentes invenciones pueden utilizar efectos de cuanto, electrostáticos, mecánicos, u otros que incluyen, entre otras cosas, grandes campos E, altas densidades de electrones, fuerzas ponderomotrices, modificación o cambio de la barrera de Coulomb, modificación o cambio de la sección transversal de reacción, efectos de
25 apantallamiento electrónico o de carga espacial, el uso de neutrales, acoplamiento ion-neutro, interacción de momento magnético nuclear, polarización de spin, interacción magnética dipolo-dipolo, materiales de alta densidad de partículas, fuerzas de compresión asociadas con fuerzas centrífugas o fuerzas ponderomotrices, transiciones de fase del hidrógeno, mecanismos de realimentación positiva, y modificación y variaciones de estos y otros efectos. Todas las referencias en esta memoria descriptiva a modificar, cambiar, bajar, reducir o eliminar la barrera incluyen medios por
30 los que la barrera de Coulomb se compensa o su efecto se reduce mediante la presencia de uno u otros rasgos más (p. ej., altas densidades de electrones) aunque la propia barrera de Coulomb (independiente de tales rasgos) permanece sin cambiar.

Cabe señalar que no hay requisito para proporcionar o abordar la teoría subyacente a los métodos, dispositivos y sistemas de fusión novedosos e innovadores que son el asunto de las presentes invenciones. No obstante, estas teorías se proporcionan para hacer avanzar aún más la técnica en esta área importante. Las teorías presentadas en esta memoria descriptiva, a menos que se declare expresamente de otro modo, no limitan, restringen o estrechan de
35 ninguna manera el alcance de protección permitido por las invenciones reivindicadas. Muchas de estas teorías pueden no ser requeridas o practicadas para utilizar las presentes invenciones. Además se entiende que las presentes invenciones pueden llevar a nuevas teorías y hasta ahora desconocidas para explicar los métodos, dispositivos y sistema de fusión de las presentes invenciones, y tales teorías desarrolladas más tarde no servirán para disminuir o
40 limitar el alcance de protección permitido por las invenciones reivindicadas.

Modificación o cambio de la barrera de Coulomb

A fin de fundirse, dos núcleos deben entrar en contacto; sin embargo, los núcleos son muy pequeños (del orden de 10^{-15} m), y como están cargados positivamente, se repelen electrostáticamente entre sí. Cambiando a la figura 5A a
45 5C se muestran ejemplos de una explicación de los efectos de una realización de las presentes invenciones, a través del uso ilustrativo de una curva de energía potencial de un sistema de dos partículas. La curva de energía potencial de un sistema de dos partículas 501 en el que un primer núcleo 502 se aproxima a un segundo núcleo se ilustra en la figura 5A. En el eje horizontal 506, x es la distancia entre los dos núcleos. La energía del sistema se muestra en el eje-y 505. El potencial de sistema 501 está cerca de cero cuando el primer núcleo se ubica lejos del segundo núcleo,
50 y aumenta conforme el primer núcleo se aproxima al segundo núcleo. El potencial de sistema 501 es la suma del potencial Coulomb repulsivo (positivo) y la fuerte potencial de fuerza nuclear atractivo (negativo). Una vez los dos núcleos están muy cerca, a distancia x_n (donde x_n es aproximadamente igual a la suma de los radios de los dos núcleos de fusión), el potencial de sistema 501 se vuelve negativo debido al efecto de la fuerte fuerza nuclear. Así, el término "barrera de Coulomb" se usa para describir la dificultad de llevar los dos núcleos hasta el contacto, ya sea a
55 través o por encima de la curva de potencial mostrada en la figura 5A.

La figura 5A etiqueta la energía cinética del sistema de dos núcleos, " ϵ ", expresada mediante:

$$\epsilon = \frac{1}{2} m_r v^2$$

donde $v = v_1 - v_2$, v_1 y v_2 son las velocidades de los dos núcleos, y m_r es la masa reducida del sistema, dada por:

$$m_r = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

donde m_1 y m_2 son las masas de los dos núcleos. La mecánica clásica mantiene que, cuando los núcleos se aproximan entre sí, ϵ debe ser mayor que la altura de la barrera de Coulomb para que los núcleos entren en contacto. Sin embargo, la mecánica cuántica permite "tunelización" a través de una barrera de potencial, x_T , haciendo posibles así reacciones de fusión cuando ϵ está por debajo de este umbral. Sin embargo, la magnitud de la barrera todavía presenta un impedimento a la tunelización, x_T de manera que reacciones con barreras de Coulomb más grandes (p. ej., más altas, más anchas, o ambos) generalmente es menos probable que ocurran que los de barreras más pequeñas. Así, en mecánica clásica las energías en el área 503 no deben superar la barrera de Coulomb.

- 5
- 10 Realizaciones de la presente invención pueden bajar o reducir la barrera de Coulomb al crear, modificar, o utilizar efectos que tienen potenciales negativos (atractivos). Un potencial negativo de este tipo se ilustra en la figura 5B. En esta figura, se muestra un potencial negativo 507, y el efecto aditivo del potencial negativo 507 y el potencial de sistema inicial 501 crea un nuevo potencial de sistema resultante 504. Este nuevo potencial de sistema resultante 507 tiene una distancia x_1 donde el potencial empieza como negativo, tiene una barrera de Coulomb sustancialmente menor, y la distancia x_T para tunelización se reduce y está más cerca de la distancia donde la atracción domina a x_n .

Así, por ejemplo, realizaciones de la presente invención pueden bajar o reducir la barrera de Coulomb mediante el uso de efectos tales como: efectos centrífugos; carga espacial o efectos de apantallamiento electrónico; el uso de neutrales; acoplamiento ion-neutro; o interacción de momento magnético nuclear, polarización de spin, o efectos de interacción dipolo-dipolo; y combinaciones y variaciones de estos y otros efectos. La figura 5C ilustra el potencial de sistema resultante 504 que surge de combinar el potencial de sistema inicial 503 con un potencial centrífugo 508, un potencial de apantallamiento electrónico 509, y un potencial de interacción de momento magnético nuclear 510. Cada uno de estos solos y en combinación reduce la barrera de Coulomb, (haciéndola menor, menos gruesa, y ambos) lo que hace más fácil que los núcleos sean tunelizados a través o vencer la barrera de potencial, aumentando así la probabilidad de que tenga lugar la reacción de fusión.

25 **Potencial centrífugo**

Quando un material rota dentro de un espacio confinado, las paredes de confinamiento proporcionan una fuerza contraria (fuerza centrípeta) a la fuerza creada por los materiales rotatorios (fuerza centrífuga). Estas fuerzas contrarias comprimen los materiales rotatorios contra otros materiales en el área adyacente a las paredes de confinamiento. Esta compresión da origen a un potencial centrífugo negativo. Un potencial centrífugo crea eficazmente una fuerza atractiva hacia la pared de combinación, y esta fuerza se hace más fuerte conforme los materiales se aproximan a la pared de combinación. Realizaciones de la presente invención pueden generar un fuerte potencial centrífugo al inducir rotación rápida de partículas dentro de un espacio confinado, provocando que las partículas se aceleren hacia la pared exterior de la estructura de confinamiento. En una realización de las presentes invenciones, la rotación del plasma produce una aceleración centrífuga de 10^9 g, aunque este valor se puede hacer más alto o más bajo al cambiar parámetros de sistema (por ejemplo, al cambiar el radio de curvatura del dispositivo, o al cambiar la velocidad azimutal de los reactantes). Esta aceleración centrífuga es análoga a la gravedad, pero la fuerza efectiva se dirige radialmente hacia fuera, a diferencia de radialmente hacia dentro en el caso de la gravedad. Así, en el emplazamiento localizado de reacción de fusión, es decir, entre un núcleo y otro, puede haber presentes fuerzas equivalentes a presiones de cientos de millones, e incluso billones de psi. Una ventaja del uso de aceleración centrífuga es que el material se comprime adyacente a una superficie, en lugar de comprimirse hacia un punto. Se cree que esto proporciona una región más grande donde los reactantes están en contacto directo y puede tener lugar fusión, aumentando la probabilidad y la tasa de fusión. Así, además se proporcionan de inmediato y fácilmente medios accesibles para extraer la energía creada desde la reacción de fusión para uso. El efecto del potencial centrífugo 506 se ilustra en la figura 5C.

Apantallamiento electrónico

- 45 Una ventaja de usar plasma débilmente ionizado es que los reactantes comprenden en gran medida átomos neutros. Los electrones interpuestos entre los núcleos apantallan la fuerza de Coulomb repulsiva entre los núcleos cargados positivamente. Este fenómeno afecta a la repulsión de Coulomb y puede reducir la barrera de Coulomb. Adicionalmente, usar reactantes que son emisores de electrones sumamente eficientes introduce una nube de electrones, una carga espacial negativa, entre los reactantes cargados positivamente, lo que además mejora este efecto de apantallamiento. En una realización de la presente invención, el segundo material de trabajo se selecciona para comprender hexaboruro de lantano, que tiene una de las emisividades electrónicas más altas de cualquier compuesto conocido. Se cree que electrones emitidos por el material de trabajo de hexaboruro de lantano permanecen en las inmediaciones del boro, y proporcionan un efecto de apantallamiento electrónico que reduce la barrera de Coulomb y mejora la tasa de reacción de fusión. En otra realización el segundo material de trabajo comprende nitruro de boro, que también es un emisor de electrones eficiente, y tiene un efecto similar. El efecto del potencial de apantallamiento electrónico 507 se ilustra en la figura 5C. En una realización adicional, en el sistema hay presente un material con una geometría o perfil de superficie que crea campos eléctricos no uniformes. Así, a modo de ejemplo,
- 50
- 55

puede ser deseable una superficie de hexaboruro de lantano con un perfil dendrítico para generar apantallamiento electrónico localizado para fusión.

Interacciones de momento magnético nuclear

5 Muchos núcleos tienen un "spin" intrínseco, una forma de momento angular, que se asocia con su propio pequeño campo magnético. Las líneas de campo magnético se forman como si un extremo del núcleo fuera un polo norte magnético, y el otro extremo fuera un polo sur magnético, llevando a que al núcleo se le hace referencia como "dipolo magnético", y la fortaleza y orientación de la dipolo descrito por el "momento magnético nuclear".

10 Momentos magnéticos nucleares juegan un papel en la tunelización cuántica. Específicamente, cuando los momentos magnéticos de dos núcleos están paralelos, se crea una fuerza atractiva entre los dos núcleos. Como resultado, la barrera de potencial total entre dos núcleos con momentos magnéticos paralelos se reduce, y es más probable que ocurra un acontecimiento de tunelización. Lo inverso es verdadero cuando dos núcleos tienen momentos magnéticos antiparalelos, la barrera de potencial se aumenta, y es menos probable que ocurra tunelización.

15 Cuando el momento magnético de un tipo particular de núcleo es positivo, el núcleo tiende a alinear su momento magnético en la dirección de un campo magnético aplicado. Por el contrario, cuando el momento es negativo, el núcleo tiende a alinearse antiparalelo a un campo aplicado. La mayoría de núcleos, incluidos la mayoría de núcleos que son de interés como reactantes de fusión potencial, tienen momentos magnéticos positivos (p , D , T , ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, y ${}^{11}\text{B}$ todos tienen momentos positivos; ${}^3\text{He}$, y ${}^{15}\text{N}$ tienen momentos negativos). En una realización de un dispositivo de fusión controlada se puede proporcionar un campo magnético que alinea los momentos magnéticos en aproximadamente la misma dirección en cada punto dentro del dispositivo donde hay presente un campo magnético. Esto da como resultado una reducción de la barrera de energía potencial total entre núcleos cuando los materiales de trabajo primero y segundo tienen momentos magnéticos nucleares que son ambos positivos o ambos negativos. Se cree que esto lleva a un aumento de tasa de tunelización y una mayor aparición de reacciones de fusión. El efecto del potencial de interacción de momento magnético nuclear 508 se ilustra en la figura 5C. A este efecto también se le puede hacer referencia como polarización de spin o interacción magnética dipolo-dipolo. Adicionalmente, el giro de un núcleo alrededor de una línea de campo magnético también contribuye a determinar el momento angular total del núcleo. Por lo que cuando el movimiento ciclotrónico del núcleo produce momento angular adicional en la misma dirección que la polarización del momento magnético nuclear, la barrera de Coulomb se reduce aún más.

Modificación o cambio de la sección transversal de reacción

30 La probabilidad de una reacción de fusión entre una pareja de núcleos se expresa mediante la sección transversal de reacción, " σ ". La sección transversal se mide típicamente en experimentos como función de ϵ al bombardear un objetivo estacionario de núcleos con un haz de núcleos. La sección transversal se define normalmente de manera que:

$$\sigma = \frac{B}{I}$$

35 donde B es el número de reacciones por unidad de tiempo por objetivo de núcleo, e I es el número de partículas incidentes por unidad de tiempo por unidad de objetivo de área. Cuando se define la sección transversal y se mide de esta manera, cada reacción de fusión tendrá cierta sección transversal específica a un ϵ particular para un sistema dado.

La tasa de reacción de fusión por unidad de volumen en un reactor particular se describe normalmente mediante:

$$R = \frac{n_1 n_2}{1 + \delta_{12}} \langle \sigma v \rangle$$

40 Aquí $\delta_{12} = 1$ si el primer núcleo y el segundo núcleo son del mismo tipo de núcleos (p. ej., se está fundiendo deuterio con deuterio) y $\delta_{12} = 0$ en otros casos, y $\langle \sigma v \rangle$ es la "reactividad promediada" del sistema, definida como:

$$\langle \sigma v \rangle = \int_0^\infty \sigma(v) v f(v) dv$$

donde $f(v)$ es la función de distribución de las velocidades relativas, normalizadas de tal manera que

$$\int_0^\infty f(v) dv = 1.$$

45 Cuando el segundo núcleo está en reposo, $\langle \sigma v \rangle = \sigma v$; sin embargo, la definición anterior considera situaciones en las que el segundo núcleo se mueve, y cada pareja de núcleos que interactúan puede tener una velocidad relativa diferente v .

La tasa de liberación de energía de fusión se da entonces por:

$$\frac{dW}{dt} = RE$$

donde W es la energía de fusión total por unidad de volumen liberado y E es la energía liberada por una única reacción ($E = 8,68 \text{ MeV}$ en caso de fusión de $p^{-11}B$).

- 5 La probabilidad de que los dos núcleos entren en contacto a través de un acontecimiento de tunelización cuántica se describe mediante la transparencia de barrera de tunelización, " T ", de manera que un valor más alto de T corresponde a mayor probabilidad de tunelización. Como la tunelización es el mecanismo primario por el que ocurre fusión, la sección transversal es proporcional to T ($\sigma \propto T$). T se aproxima por:

$$T \approx e^{-\sqrt{\frac{\epsilon_G}{\epsilon}}}$$

- 10 donde e es el número de Euler, y ϵ_G es la energía modificada de la barrera de Coulomb. Cuando los dos núcleos están a una distancia $x \geq x_T$, ϵ_G se describe por:

$$\epsilon_G \propto \int_{x_n}^{x_T} q_1 \phi(x) dx$$

Aquí, q_1 es la carga del primer núcleo, $\phi(x)$ es el potencial expresado como función de x , y x_T es el punto de giro clásico en el que $\phi(x_T) = \epsilon$.

- 15 Como resultado de estas relaciones, un valor más alto de ϕ (p. ej., barrera de Coulomb más grande) tenderá a traducirse en ϵ_G más alto, que a su vez tenderá a llevar a menor T , menor σ , menor R , y, cuando $E > 0$, menor $\frac{dW}{dt}$ para cualquier sistema específico. Así, sistemas en los que ϕ es alto tenderán a experimentar menos acontecimientos de fusión y menores tasas de liberación de energía de fusión, y sistemas en los que ϕ es bajo tenderán a experimentar más acontecimientos de fusión y mayores tasas de liberación de energía de fusión. Como se ha tratado anteriormente, reducir la barrera de Coulomb es equivalente a reducir ϕ , y realizaciones de la presente invención pueden emplear estas técnicas para aumentar generalmente la sección transversal, σ ; esto también aumenta la tasa de reacción de fusión.

Alta densidad de partículas

- 25 Una realización de la presente invención hace uso de la fuerza electromagnética, que requiere la presencia de partículas cargadas. Sin embargo, en lugar de crear un plasma fuertemente ionizado, se crea un plasma débilmente ionizado, y entonces confía en los iones para impulsar neutrales a través del principio de acoplamiento ion-neutro. Este planteamiento no hace surgir inestabilidades de plasma, y por tanto la densidad de partículas (n_1 y n_2) puede ser muchos órdenes de magnitud más alta que con un plasma fuertemente ionizado. En una realización de la presente invención, la densidad de partículas es al menos $10^{17}/\text{cm}^3$ por todo el volumen del dispositivo. Además, la compresión
- 30 inducida por el potencial centrífugo lleva a un aumento de la densidad de partículas en la región en la que se espera se concentren acontecimientos de fusión, que lleva a densidades de aproximadamente $10^{18}/\text{cm}^3$ en la región del dispositivo donde se concentran reacciones de fusión.

- Adicionalmente, una realización de la presente invención usa compuestos de boro en forma sólida, que tienen una densidad de partículas del orden de $10^{23}/\text{cm}^3$. Así, en la región donde se piensa que se concentran las reacciones de fusión, la presente invención logra densidades de partículas en un contenedor físico muchos órdenes de magnitud mayores que otros métodos conocidos en la técnica (por ejemplo, se cree que los reactores tokamak no han logrado densidades de partículas sostenidas mayores de aproximadamente $10^{14}/\text{cm}^3$).

- Una ventaja de la presente invención es que suprime eficazmente pérdidas por radiación debidas a radiación de frenado de electrones. Los reactores de fusión convencionales, tales como tokamaks, emplean plasma sumamente ionizado caliente. Las interacciones electrón-ion, como resultado de la radiación de frenado y la radiación de ciclotrón, son una fuente significativa de pérdida de energía y es una de las razones por las que tales sistemas no han podido satisfacer el criterio de Lawson. Sin embargo, el plasma de alta densidad, ligeramente ionizado, y más frío empleado en realizaciones de la presente invención suprime la movilidad electrónica y reduce enormemente las pérdidas radiativas.

- 45 Transición de fase del hidrógeno a altas presiones

Los átomos de hidrógeno a compresión a alta presión pueden volverse metales líquidos o sólidos, dependiendo de las fuerzas de compresión y sus estados de rotación. En estados ya sea líquido o sólido, la densidad es muchos órdenes de magnitud más alta que en el estado gaseoso. La tasa de reacción total será correspondientemente más alta según el producto de las densidades de partículas de los dos reactantes.

Adicionalmente, el hidrógeno metálico se vuelve sumamente conductivo o incluso un superconductor con resistencia cero. Esto aumenta la conductividad global del sistema entero, bajando la pérdida resistiva y el aporte de energía requerido. Así, la eficiencia global de este tipo de sistema es mayor, haciendo que sea más fácil obtener un factor Q grande y la correspondiente ganancia de energía.

- 5 Así, actualmente se teoriza que conforme se obtienen velocidades rotacionales más altas de los neutrales, tales como, por ejemplo, neutrales de hidrógeno, estos neutrales se convertirán o se comportarán de una manera semejante a un líquido, sólido o superconductor. Esta forma del material de trabajo toma parte en la reacción de fusión, y actualmente se cree que se ubica principalmente en los alcances exteriores de la cámara de reacción de fusión o la zona más cerca de la pared. La presencia de esta forma de material de trabajo puede mejorar enormemente la eficiencia global del sistema.

Realimentación positiva

- 15 La presente invención puede generar partículas durante el funcionamiento. En algunos casos estas partículas pueden proporcionar beneficios a la función del dispositivo. En realizaciones que utilizan partículas ionizadas, la creación de radiación de ionización puede mejorar fusión adicional al aumentar, modificar, mantener o mejorar la ionización o movimiento rotacional de un material de trabajo o plasma. Así, a modo de ejemplo, un aparato que usa un plasma débilmente ionizado y un mecanismo de rotación en donde el primer material de trabajo es hidrógeno, y el segundo material de trabajo es boro, puede generar partículas alfa. Estas partículas pueden ionizar hidrógeno adicional, y pueden impartirles energía rotacional. Así, este efecto sinérgico de productos de fusión que crean iones adicionales puede tener el efecto de aumentar la energía rotacional sin necesidad de energía adicional de una fuente externa.
- 20 Además, para impedir que este rasgo lleve a una reacción fuera de control, se monitoriza constantemente la temperatura de sistema y la alimentación de hidrógeno, y por consiguiente se puede ajustar la alimentación de hidrógeno para modificar el número de neutrales presentes, y así controlar la tasa de reacción.

- 25 Diagnóstico que monitoriza oscilaciones en la corriente y las tensiones, que puede ser in situ, y puede ser de micro- o nanoescalas, se puede colocar dentro del dispositivo de fusión controlada, puede comunicarse inalámbricamente al centro de control de datos a través de canales wifi. Esta disposición permite la monitorización y gestión directas de condiciones dentro de la zona de reacción de fusión. Esto dará como resultado un diseño eficiente del sistema de fusión. Se pueden utilizar sistemas y técnicas adicionales de diagnóstico y monitorización, tales como temperatura, espectroscopia, diagnóstico láser, monitorización de temperatura, detectores de partículas, vídeo, y otros conocidos en la técnica para establecer un sistema de control y monitorización para un reactor de fusión y un sistema de generación de energía.

EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos se proporcionan para ilustrar diversas realizaciones de métodos, dispositivos y sistemas de fusión controlada de la presente invención. Estos ejemplos son para fines ilustrativos, y no se deben ver como que limitan el alcance de la presente invención.

35 Ejemplo 1

- Se puso en funcionamiento un dispositivo de fusión controlada del tipo general mostrado en la realización de la figura 3, para proporcionar una reacción de fusión controlada que produjo partículas alfa de alta energía y helio. El primer material de trabajo en el dispositivo es hidrógeno. El segundo material de trabajo en el dispositivo es boro que se introdujo en el dispositivo a través de dianas de nitruro de boro, p. ej., placas, en las paredes interiores del electrodo exterior, y una diana de hexaboruro de lantano, p. ej., disco, que se insertó en la cámara de reacción por medio de una varilla. El imán proporciona un campo magnético de 0,5 Tesla a los componentes internos del dispositivo de fusión controlada. Se purga la cámara de presión controlada. Tras purgar, la cámara de presión controlada y la cavidad de fusión se rellenan con gas hidrógeno a aproximadamente 3 torr y a temperatura ambiente. Se aplica una tensión de aproximadamente 1,4 kV a través de un reóstato limitador de corriente al electrodo interior, creando una corriente de plasma de aproximadamente 25 A, que imparte, debido a la fuerza de Lorentz creada por el campo magnético y la corriente, una rotación inicial o preliminar que se cree que es de aproximadamente 800 a 2,000 RPS. Los electrodos y el aparato se diseñan de manera que el campo eléctrico producido sea sustancialmente en una parte deseada del aparato, y minimice el arco a las superficies no deseadas. Tras establecer la rotación inicial, un impulso de aproximadamente 400 V a 1 kV entre los electrodos exterior e interior crea una corriente de plasma de hasta aproximadamente 43 kA, que crea un plasma débilmente ionizado que tiene un ratio de iones a neutrales que se cree que es de aproximadamente 1:100.000; y que imparte una rotación al plasma débilmente ionizado (iones y neutrales) de al menos aproximadamente 100.000 RPS. La rotación del plasma débilmente ionizado se mantiene durante aproximadamente 10 milisegundos.

- 55 Durante esta rotación del plasma débilmente ionizado, se crean partículas alfa por una reacción de fusión entre un protón y un núcleo de boro-11. Adicionalmente, durante esta reacción apareció helio cuando no había nada presente antes de comenzar la rotación. Se cree que la energía cinética media de estos protones es de aproximadamente 500 eV (electronvoltios). Se cree que la energía acumulada impartida a las tres partículas alfa producidas por cada reacción de fusión es de aproximadamente 8,68 MeV.

La presencia de helio en la cámara de fusión se mostró en parte por una imagen fija capturada por una videocámara de alta velocidad del interior de la cámara de la realización del dispositivo. En la cámara se colocó una diana de boro y en la cámara se introdujo un suministro de gas hidrógeno. La imagen fija se obtuvo al aplicar un filtro óptico centrado a 587,5 nanómetros, que es una longitud de onda en el fuerte espectro de emisión de helio cuando es excitada por partículas de alta energía. La imagen capturada se proporciona en la figura 6. Esta imagen se capturó en $t = 10,74$ ms tras iniciar un impulso de alta tensión en la varilla de descarga, p. ej., electrodo interior, en la cámara, estimulando de ese modo la interacción hidrógeno-boro en la cámara.

La presencia de helio en la cámara como se muestra con la figura 6 demuestra que el gas hidrógeno crea un plasma de iones y neutrales, que se le hace rotar dentro de la cámara cilíndrica mediante los campos eléctrico y magnético en niveles de aceleración suficiente como para provocar fusión entre partículas en el plasma y la diana de boro en la cámara, según la ecuación $H + {}^{11}B \rightarrow 3 {}^4He^{++} + 8,7 \text{ MeV}$. Así, la figura 6 muestra neutrales de helio creados como resultado de interacciones hidrógeno-boro.

La creación de partículas alfa de alta energía también se mostró por la presencia de micro-grabado químico en las superficies interiores de los componentes de dispositivo, que por ejemplo se muestra en la fotografía de la figura 7. Además, la creación de partículas alfa de alta energía se evidenció por los impactos observados y la destrucción final de un detector de lámina 801 ubicado cerca de la cámara de fusión 802. El detector de lámina 801 se compone de dos hojas de lámina de aluminio, el primero tiene un grosor de 1,2 μm , y el segundo tiene un grosor de 0,8 μm . La energía requerida para penetrar o deformar significativamente estas láminas con una única partícula es al menos aproximadamente 2 MeV. Las figuras 8A a 8F son una serie de fotografías del detector de lámina 801 en un periodo de tiempo de 8,25 milisegundos que muestra el detector antes de ningún impacto detectable (figura 8A) a través de diversos impactos durante la reacción de fusión (figuras 8B a 8D) a través de destrucción (figura 8E) y que se ha ido completamente de su marco (figura 8F). La dirección de pedazos rotos de la lámina de aluminio es hacia abajo y hacia el hidrógeno rotatorio, coherente con la rotación de los átomos de hidrógeno en la región de generación central.

Ejemplo 1(a)

El método y el dispositivo del Ejemplo 1 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 73 MW (250 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 25 MW de electricidad.

Ejemplo 1(b)

Diez dispositivos del tipo del Ejemplo 1 se ponen a funcionar juntos para proporcionar en combinación al menos aproximadamente 730 MW (2.500 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 250 MW de electricidad. Menos o más de estos dispositivos se puede combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectaran, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.

Ejemplo 1(c)

El método y el dispositivo del Ejemplo 1 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 2,93 GW (10.000 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 1.000 MW de electricidad.

Ejemplo 1(d)

El método y el dispositivo del Ejemplo 1 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 1,4 MW (5 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 500 kW de electricidad. Uno o más de los dispositivos del Ejemplo 1 se pueden combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectaran, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.

Ejemplo 1(e)

El método y el dispositivo del Ejemplo 1 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 2,93 e-2 MW (0,1 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos

aproximadamente 10 kW de electricidad. Uno o más de los dispositivos del Ejemplo 1 se pueden combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectaran, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.

Ejemplo 2

- 5 El funcionamiento del dispositivo a lo largo de las líneas del Ejemplo 1 se repitió 400 veces. Cada vez se observó la evidencia de la creación de helio y partículas alfa de alta energía.

Ejemplo 3

Una realización de un dispositivo de fusión controlada generalmente del tipo de la realización mostrado en la figura 3, tiene un imán de tierra rara.

10 Ejemplo 3(a)

Una realización de un dispositivo de fusión controlada es del tipo general de la realización mostrada en la figura 3, tiene un electroimán.

Ejemplo 4

- 15 Una realización de un dispositivo de fusión controlada se muestra en la figura 9A y 9B, la figura 9A es una vista en sección transversal axial y la figura 9B es una vista en sección transversal transversa. Esta realización tiene un electrodo exterior 901 y un electrodo interior concéntrico 903, con campos magnéticos axiales localizados 904 generados dentro del espacio anular entre los dos electrodos 901, 903. Los campos magnéticos son generados por bobinas que llevan corriente 902 colocadas axialmente adyacentes a cada lado de la región 905 en la que se va a incitar rotación, y funciona de manera que el campo magnético generado por cada pareja de espiras 902 se orienta en la misma dirección axial (p. ej., flecha B). Así, en esta realización, los campos magnéticos generados por las parejas de bobinas se extienden paralelos al eje central en la región de interés entre los dos electrodos, induciendo rotación del plasma. Esta realización puede tener ventajas para aplicaciones a gran escala, tales como unidades de generación de energía eléctrica a gran escala.
- 20

Ejemplo 4(a)

- 25 El método y el dispositivo del Ejemplo 4 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos 73 MW (250 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 25 MW de electricidad.

30 Ejemplo 4(b)

- Diez dispositivos del tipo del Ejemplo 4 se ponen a funcionar juntos para proporcionar en combinación al menos aproximadamente 730 MW (2.500 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 250 MW de electricidad. Menos o más de estos dispositivos se puede combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectaran, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.
- 35

Ejemplo 4(c)

- 40 El método y el dispositivo del Ejemplo 4 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 2,93 GW (10.000 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 1.000 MW de electricidad.

Ejemplo 4(d)

- 45 El método y el dispositivo del Ejemplo 4 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos aproximadamente 1,4 MW (5 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 500 kW de electricidad. Uno o más de los dispositivos del Ejemplo 4 se pueden combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectaran, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.
- 50

Ejemplo 4(e)

El método y el dispositivo del Ejemplo 4 se ponen a funcionar en un campo magnético y tensión suficientes como para proporcionar al menos 2,93 e-2 MW (0,1 MMBtu/hora) de energía térmica. Esta energía térmica es convertida por aparatos conocidos por los expertos en las técnicas de generación de potencia y eléctrica, tales como intercambiadores de calor, turbinas de vapor de agua, y generadores eléctricos, para proporcionar al menos aproximadamente 10 kW de electricidad. Uno o más de los dispositivos del Ejemplo 4 se pueden combinar para proporcionar mayor energía térmica, para proporcionar unidades de respaldo si se desconectarán, dicho conjunto se puede asociar con dispositivos de conversión de calor conocidos por los expertos en la técnica.

Ejemplo 5

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, como se muestra en la figura 10, se acelera material azimutalmente por medio de usar electrodos p. ej., 1001 para generar campos eléctricos localizados, p. ej., 1002 dentro del espacio anular 1003 en el que el material está rotando. Los campos eléctricos se oscilan para acelerar el material en la dirección pretendida (muy parecido a como es propulsado el tren Maglev tren al hacer oscilar campos magnéticos en la vía). Sobre el soporte 1005 se montan electrodos interiores (superficie interior del espacio anular 1003) y sobre el soporte 1004 hay electrodos exteriores (superficie exterior del espacio anular 1003). En el material rotatorio hay algunos iones presentes, porque los átomos neutros no experimentan fuerza directa como resultado de los campos eléctricos, pero un número de iones relativamente pequeño son suficientes para impulsar neutrales mediante el principio de acoplamiento ion-neutro. Este sistema no requiere un campo magnético estático axial.

Ejemplo 6

Se puso en funcionamiento un dispositivo de fusión controlada del tipo general mostrado en la realización de la figura 3, para proporcionar una reacción de fusión controlada que produjo partículas alfa de alta energía y helio. El primer material de trabajo en el dispositivo es hidrógeno. El segundo material de trabajo en el dispositivo es litio. El imán proporciona un campo magnético de 0,5 Tesla a los componentes internos del dispositivo de fusión controlada. Se purga la cámara de presión controlada. Tras purgar, la cámara de presión controlada y la cavidad de fusión se rellenan con gas hidrógeno a aproximadamente 3 torr y a temperatura ambiente. Se aplica una tensión de aproximadamente 1,4 kV a través de un reóstato limitador de corriente al electrodo interior, creando una corriente de plasma de aproximadamente 25 A, que imparte, debido a la fuerza de Lorentz creada por el campo magnético y la corriente, una rotación inicial o preliminar que se cree que es de aproximadamente 800 a 2,000 RPS. Tras establecer la rotación inicial, un impulso de aproximadamente 400 V a 1 kV entre los electrodos exterior e interior crea una corriente de plasma de hasta aproximadamente 43 kA, que crea un plasma débilmente ionizado que tiene un ratio de iones a neutrales que se cree que es de aproximadamente 1:100.000; y que imparte una rotación al plasma débilmente ionizado (iones y neutrales) de al menos aproximadamente 100.000 RPS. La rotación del plasma débilmente ionizado se mantiene durante aproximadamente 10 milisegundos, en donde tienen lugar reacciones de fusión.

Ejemplo 7

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el segundo material de trabajo consiste en múltiples materiales en forma sólida, como se muestra en la figura 11. Un material, boro elemental 1101, se dispone en una estructura compuesta con un segundo material, óxido de bario 1102. Se selecciona boro elemental para proporcionar una fuente de boro necesario para la reacción de hidrógeno-1 y boro-11 (el primer material de trabajo es hidrógeno). Es deseable que el segundo material de trabajo sea un emisor de electrones eficiente a fin de crear un fuerte efecto de apantallamiento electrónico, que baja la barrera de Coulomb y aumenta la tasa de fusión. El boro elemental es un emisor de electrones menos eficiente; el óxido de bario es un emisor de electrones eficiente. De esta manera, el compuesto tiene un efecto sinérgico de combinar los beneficios o aumentar los beneficios de cada material. Al construir el segundo material de trabajo para que incluya tanto un reactante de fusión como un emisor de electrones eficiente, se crea un fuerte efecto de apantallamiento electrónico. Aún más, además de una estructura estratificada como se muestra en la figura 11, se contempla que se puedan usar otras disposiciones de materiales diferentes para obtener este beneficio sinérgico, incluidas por ejemplo microestructuras, nanopartículas, matrices y mezclas.

Ejemplo 8

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, un dispositivo de resonancia de ciclotrón iónico que utiliza la fuerza ponderomotriz para amplificar el potencial de momento magnético nuclear se asocia con el dispositivo de fusión controlada. El dispositivo de resonancia de ciclotrón iónico incluye una fuente de microondas que produce radiación electromagnética a una frecuencia de 2,45 gigahertcios (GHz). El campo magnético presente en el dispositivo de fusión controlada se sintoniza de manera que, en el punto donde se introduce la fuente de microondas, la frecuencia de ciclotrón de un electrón coincide con la frecuencia de la fuente de microondas. Esto excita los electrones en el dispositivo de fusión controlada, aumentando su radio de giro alrededor de las líneas de campo magnético.

Una segunda frecuencia se estratifica encima de la señal de microondas de 2,45 GHz para crear modulación de amplitud, modulación de fase, o ambas. Esto provoca que los electrones excitados se exciten más y menos en la segunda frecuencia. La segunda frecuencia se selecciona de manera que coincida con la frecuencia de ciclotrón iónico

de los iones de hidrógeno-1 presentes en el primer material de trabajo en la región del dispositivo de fusión controlada donde se está induciendo rotación. La frecuencia de ciclotrón es dada por:

$$f_c = \frac{qB}{2\pi m}$$

5 donde q es el valor absoluto de la carga de la partícula o el ion, B es la intensidad de campo magnético, y m es la masa de la partícula o el ion. Como q es igual para un electrón y un ion de hidrógeno-1 pero m es varios órdenes de magnitud mayor para un ion de hidrógeno-1, en un valor dado de B el hidrógeno-1 tiene una frecuencia de ciclotrón que es varios órdenes de magnitud menor que la frecuencia de ciclotrón de un electrón. En la realización, la frecuencia de ciclotrón de los iones de hidrógeno-1 está en la región del dispositivo de fusión controlada donde se está induciendo rotación se cree que es de aproximadamente 7,6 megahertzios (MHz). Los electrones se usan para transferir esta
10 segunda frecuencia al hidrógeno-1, provocando que se exciten, y aumentando su radio de giro alrededor de las líneas de campo magnético. Como resultado, se aumenta el momento angular total del hidrógeno-1. Las direcciones de giro de los iones de hidrógeno-1 y los átomos tienden a alinearse, y así se amplifica el potencial de momento magnético nuclear.

Ejemplo 9

15 En la figura 12, se muestra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada 1200. La realización es similar a la realización representada en la figura 2, con la notable excepción de que el electrodo interior 1202, el electrodo exterior 1203, la cámara de presión controlada 1205, y el imán 1206 son en forma de toros, a diferencia de cilindros. Estos toros pueden ser abiertos o cerrados. Una línea de entrada de gas de trabajo 1201 se inserta a través del imán 1206 y la cámara de presión controlada 1205, y al espacio anular entre el
20 electrodo interior 1202 y el electrodo exterior 1203. Dentro del campo magnético del imán 1206 se posiciona una cámara de fusión 1207. Una superficie de fusión 1208 se asocia con la cámara de presión controlada 1205.

Ejemplo 10

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada se usa para formación de material. La formación se consigue por transmutación, por lo que hidrógeno-1 y litio-6 experimentan una reacción de
25 fusión para crear helio-3 y helio-4. El helio-3 es un isótopo sumamente valioso usado para detección de neutrones, obtención de imágenes médicas y criogenia. En la realización, el hidrógeno es el primer material de trabajo, y fluoruro de litio, por lo que el litio es enriquecido en litio-6, es decir, contiene una proporción más alta de litio-6 que la abundancia natural, es el segundo material de trabajo. Se pone a funcionar el dispositivo de fusión controlada, y posteriormente de la cámara de presión controlada se retira gas. El gas contiene helio-3, y se puede separar posteriormente para
30 obtener helio-3 de alta pureza adecuada para el uso.

Ejemplo 11

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es similar a la realización representada en la figura 2. Una diferencia es que se hace una modificación para mejorar la emisión de electrones por las placas de boro, que se explica más adelante, fortalecimiento así el efecto de apantallamiento electrónico. Una vista
35 ampliada de una parte del electrodo exterior 1301 y una placa de boro 1302 se muestra en la figura 13. En la realización, se añade una espira de calentamiento 1303 a la sección del electrodo exterior 1301 directamente enfrente de la placa de boro 1302. La placa de boro 1302 se compone de hexaboruro de lantano, que es un excelente emisor de electrones cuando se calienta.

La espira de calentamiento 1303 es activada inmediatamente antes y durante de incitar la rotación en el dispositivo de fusión controlada, provocando transferencia de calor a través del electrodo exterior 1301 a la placa de boro 1302. El calentamiento de la placa de boro 1302 induce la emisión de electrones, y provoca que la nube de electrones resultante sea más densa que lo que sería de otro modo sin el uso de la espira de calentamiento 1303. Esto a su vez aumenta el efecto de apantallamiento electrónico, que reduce la barrera de Coulomb y aumenta la tasa de fusión.

Ejemplo 12

45 En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es similar a la realización representada en la figura 2. Una diferencia es que se hace una modificación para mejorar el efecto de apantallamiento electrónico, que se explica más adelante. Una vista microscópica de la superficie interior 208 del electrodo exterior 1401 se muestra en la figura 14. Nanotubos de carbono 1402, que son emisores de electrones eficientes, se adhieren al electrodo exterior 1401.

50 Durante el funcionamiento del dispositivo, la presencia de energía térmica, radiación electromagnética, partículas de alta energía, o campos eléctricos inducen la emisión de electrones por la nanotubos de carbono 1402. Como la superficie interior 208 del electrodo exterior 1401 es la superficie de fusión, la emisión de electrones se localiza en el área donde se anticipa que se va a concentrar fusión. Esto es ideal para crear o mejorar el efecto de apantallamiento electrónico, que a su vez baja la barrera de Coulomb y aumenta la tasa de fusión.

Ejemplo 13

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es similar a la realización representada en la figura 3. En esta realización el primer material de trabajo es gas helio-3 (en lugar de gas hidrógeno en la realización preferida de la figura 3), y el segundo material de trabajo se compone de óxido de deuterio, un líquido comúnmente llamado "agua pesada". Las placas de boro 305a y 305b no son necesarias, y el agua pesada se ubica a lo largo de la superficie interior 312 del electrodo exterior 304.

Durante el funcionamiento del dispositivo, la rotación provoca que el agua pesada forme un anillo a través de toda la superficie interior 312 del electrodo exterior 304. Reacciones de fusión entre el helio-3 en el primer material de trabajo y el deuterio en el segundo material de trabajo dan como resultado liberación de energía, que posteriormente se puede capturar y usar para generación de electricidad, calentamiento, u otras finalidades útiles.

Ejemplo 14

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, un método para reducir el potencial Coulomb, y aumentar la sección transversal de una reacción de fusión incluye la introducción, modificación, mejora o control de un potencial eléctrico negativo; que incluye medios para generar y controlar electrones presentes en el volumen de trabajo de un sistema de fusión controlada. Un dispositivo de fusión controlada que utiliza este método y efectos se proporciona en el diagrama esquemático de la figura 16. En este dispositivo, el dispositivo de fusión controlada 1600 tiene un primer material de trabajo 1602 y un segundo material de trabajo 1604 asociado con él. El dispositivo de fusión controlada 1600 tiene una cámara 1601 que tiene una pared 1606 y una cavidad 1605. Asociado con la cámara 1601 hay un material emisor de electrones 1603. Adicionalmente asociada con el dispositivo hay una fuente de energía 1607 para inducir emisión de electrones desde el material 1603. El material emisor de electrones 1603 puede incluir nitruro de boro, hexaboruro de lantano, u otros emisores de electrones eficientes. El material emisor 1603 puede ser un compuesto, matriz, recubrimiento, material voluminoso, o de otra construcción. La fuente de energía 1607 puede incluir, pero no se limita a esto, fotones, iones, partículas aceleradas, campos eléctricos, campos magnéticos, calor, radiación, calentamiento resistivo, etc. Así, a modo de ejemplo, una fuente de partículas aceleradas se puede asociar con el dispositivo de fusión controlada 1600 en donde las partículas son dirigidas en parte, o totalmente, hacia el emisor de electrones 1603. Además, a modo de ejemplo adicional, con el dispositivo de fusión controlada 1600 se puede asociar una fuente de fotones, en donde los fotones son dirigidos en parte, o totalmente, hacia el emisor de electrones 1603.

Ejemplo 15

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, pueden no requerirse iones. Así, en esta realización el dispositivo de fusión controlada es preferiblemente libre de iones, aunque sus beneficios todavía se pueden obtener con la presencia de algunos iones. Así, un dispositivo de fusión controlada que utilizar presión fotónica como el conjunto inductor de rotación se muestra en la figura 15. El dispositivo de fusión controlada 1500 tiene un primer material de trabajo 1503 y un segundo material de trabajo 1502 asociado con él. El dispositivo de fusión controlada 1500 tiene una cámara de rotación 1501 que tiene una pared de cámara de rotación 1505 y una cavidad 1506. Asociada con la cámara de rotación 1501 hay una fuente de fotones 1504.

En este ejemplo, fotones desde la fuente 1504 impactan sobre el primer material de trabajo 1503. La interacción de los fotones con el material imparte una fuerza al material de trabajo 1503. Esta fuerza puede ser dirigida substancialmente en una dirección predeterminada. Esta "presión fotónica" se puede usar para acelerar el primer material de trabajo 1503 substancialmente azimutalmente para inducir rotación de la clase deseable para fusión controlada. La fuente de fotones 1504 puede ser una única fuente, una multitud de fuentes, o una energía múltiplemente-dirigida desde una única fuente. Por ejemplo, se puede proporcionar una distribución de fuentes para inducir rotación al colocar las fuentes a lo largo del radio del dispositivo 1501 con fotones dirigidos tangencialmente a un camino predefinido de material de trabajo.

La rotación inducida por presión fotónica creará una presión expansiva a la pared de dispositivo 1505 y entre el primer material de trabajo 1503 y el segundo material de trabajo 1502, que también puede ser el mismo material. Esta presión puede inducir o asistir en la creación de un acontecimiento de fusión.

Adicionalmente, los fotones en el sistema pueden proporcionar una emisión de carga espacial del material de trabajo 1502, o un emisor de electrones asociado con el dispositivo de fusión 1500.

Además, se contemplan otras realizaciones en las que se induce rotación para fusión controlada sin dependencia o sin sustancial dependencia de la presencia de iones.

Ejemplo 16

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el potencial Coulomb puede permitir tunelización cuántica a través de la barrera. Esta probabilidad de tunelización se entiende típicamente que es función de la energía relativa de los núcleos, donde cuanto más alta es la energía más alta es la probabilidad de tunelización. Sin embargo, potenciales de Coulomb de una cierta "forma" pueden permitir mejor tunelización a energías relativamente menores

por una condición descrita como resonancia. La figura 17 representa la condición de resonancia. 1701 es la función de onda de núcleos entrantes, 1702 es el potencial de Coulomb del sistema, 1703 es la función de onda degradada o una onda evanescente de 1701, y 1704 es la porción de la función de onda presente pasada la barrera de Coulomb.

5 Como la forma de la barrera de Coulomb 1702 y la energía de 1701 cambia la forma de 1703, la parte degradada de la función de onda, la forma de 1704 es influenciada por la barrera de Coulomb y por la energía del sistema. A ciertas energías para una barrera de Coulomb y un potencial nuclear específicos, la función de onda puede experimentar una condición resonante de manera que su "forma" permite transmisión óptima a través de la barrera de Coulomb 1702. Esta condición puede ocurrir a menos energía que lo que de otro modo se requeriría para lograr una probabilidad dada de tunelización.

10 Esta condición de resonancia modifica la sección transversal de la reacción como se representa en la figura 18. 1801 es la sección transversal de la reacción como función de energía sin la condición de resonancia. 1802 es un pico resonante que se puede ver que aumenta la sección transversal de la reacción en ciertas energías en el marco de referencia de centro-de-masa. Así, por ejemplo, los métodos y dispositivos mencionados anteriormente se pueden usar para controlar el potencial Coulomb así como la energía del sistema de reacción para lograr, controlar, modificar o inducir una condición resonante de tunelización.

Ejemplo 17

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, se puede utilizar una variedad de geometrías y orientaciones. A modo de ejemplo, la figura 19 representa un microrreactor 1900 que funciona con los principios descritos en esta memoria. En esta realización el conjunto inductor de rotación es electromagnético y funciona basándose en una resonancia. Este dispositivo incluye una cámara de reacción 1901, una pared de cámara 1902, un primer material de trabajo 1903, un segundo material de trabajo 1904, y una cavidad 1905. La geometría de esta cavidad y cámara es importante para esta realización, y actualmente se describirá, a modo de ejemplo, por una dimensión característica L 1906.

25 La radiación electromagnética tiene una longitud de onda asociada con ella. Se puede configurar una fuente de radiación electromagnética 1907 por la que la longitud de onda y la dimensión característica 1906 se seleccionan para tener una relación específica. El resultado de estos criterios de selección puede ser una onda resonante presente en la cavidad 1904. Específicamente, esta onda puede rotar azimutalmente de manera que, cuando interactúa con partículas cargadas presentes como parte o además de un material de trabajo, uno o más materiales de trabajo son acelerados sustancialmente azimutalmente.

30 Esta realización permite dimensiones de reactor de variación significativa, incluidos, pero sin limitación a estos, reactores más pequeños que previamente se concibieron en la técnica en la escala de centímetros de longitud característica.

En algunas realizaciones la fuente de radiación electromagnética puede ser un generador de microondas. En algunas realizaciones, puede haber una pluralidad de fuentes. En algunas realizaciones dentro de una cavidad dada se pueden establecer múltiples frecuencias resonantes. Además, se conciben realizaciones donde la frecuencia resonante se ajusta durante el funcionamiento, o se afina, para inducir condiciones óptimas de fusión.

Ejemplo 18

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es similar a la realización representada en la figura 3. Así, como se ilustra en la figura 20 se añade un láser 2001 y se conecta a una fibra óptica 2002 que discurre a través del aislamiento 2003 que rodea el electrodo interior 2004. La fibra óptica 2002 se termina en un punto 2005 cerca de una placa 2006a. El extremo de la fibra 2002 se orienta de manera que la luz procedente de ella es dirigida hacia la placa 2006a. La placa 2006a incluye un compuesto fotoemisor.

45 Cuando se enciende el láser 2001, la luz incidente en la placa 2006a provoca que emita electrones, y provoca que la nube de electrones resultante sea más densa que lo que sería de otro modo sin el uso del láser 2001. Esto a su vez aumenta el efecto de apantallamiento electrónico, que reduce la barrera de Coulomb y aumenta la tasa de fusión.

El dispositivo tiene una segunda placa 2006b con un material de combustión, una entrada de dosis de gas 2010 un electrodo exterior 2007, y un envase de control de presión 2008, y un imán 2009. También se puede usar una segunda fibra y un lanzador de haz para dirigir el haz de láser a la placa 2006b.

Ejemplo 19

50 En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es similar a la realización representada en la figura 3. Así, como se ilustra en la figura 21, preferiblemente se retiran las placas de boro 305a y 305b, y se sustituyen por dos alambres 2101 y 2102 que discurren axialmente a través del dispositivo de fusión controlada al espacio anular entre el electrodo interior 2103 y el electrodo exterior 2104, con recubrimientos de boro 2105 y 2106 que cubren los alambres 2101 y 2102 en la sección axial del dispositivo de fusión controlada donde el electrodo interior no está aislada 2107. Como los recubrimientos de boro 2105 y 2106 se ubican a alguna distancia

radialmente hacia dentro desde la superficie interior 2108 del electrodo exterior 2104, las reacciones de fusión tenderán a concentrarse en una región ubicada más radialmente hacia dentro que en la realización representada en la figura 3. Esto puede ser ventajoso, porque la energía de las partículas puede ser mayor en las inmediaciones de los recubrimientos de boro 2105 y 2106 que a lo largo de la superficie interior 2108 del electrodo exterior 2104, donde el crecimiento de una capa límite puede amortiguar velocidades de partícula. Energías más altas de partícula tenderán a corresponder a tasas de tunelización más alta, que lleva a elevadas tasas de fusión. La realización tiene un alojamiento de presión controlada 2112, y un imán 2113.

Ejemplo 20

Cambiando a la figura 22, se proporciona un esquema de un dispositivo de fusión controlada y un conjunto de utilización de energía. Esta configuración 2200 tiene un dispositivo de fusión 2200 que tiene un suministro de energía CC-CA 2205, una línea de entrada de gas 2204, un cable de alimentación 2206, una varilla de descarga 2202, que tiene una cubierta de aislamiento 2203. La varilla de descarga 2202 se extiende adentro del dispositivo de fusión más allá de la cubierta de aislamiento 2203 y al área de rotación de gas 2220. Dentro del área de rotación de gas 2220 están las dianas de boro 2217, 2219, y una diana de boro 2218, asociadas mecánicamente con un brazo de control 2210. El dispositivo de fusión tiene un electrodo exterior 2201 y un imán 2216. En esta realización el conjunto de utilización de energía 2260 se ubica dentro de la estructura de control de presión de dispositivo de fusión, y justo exterior del electrodo exterior 2201, y directamente adyacente al área de rotación de gas 2220. El dispositivo de fusión también tiene una cámara 2209, una bomba de vacío 2207 y una válvula 2208. Con esta realización también se proporciona un conjunto de muestreo y análisis. Este conjunto tiene una válvula 2211, una cámara de análisis 2212, una bomba 2213, una válvula 2214 y un RGA (*residual gas analyzer*, analizador de gas residual) 2215. La cámara de análisis puede tener una presión de 10⁻⁵ torr.

En esta realización, el conjunto de utilización de energía puede ser un intercambiador de calor que utiliza un fluido de trabajo tal como agua, agua a alta presión, sodio líquido, vapor de agua, u otros medios de intercambio de calor conocidos en la técnica. El intercambiador de calor pueden ser canales posicionados sobre la superficie interior del electrodo exterior, dentro de las paredes del electrodo exterior, o a lo largo de la superficie exterior del electrodo exterior, que incluye por ejemplo camisas, espiras, mecanismos de contracorriente. Adicionalmente, el fluido de trabajo puede ser un fluido cargado, o tener una carga asociada con él, que facilita la utilización de los campos magnético y eléctrico presentes dentro del dispositivo para proporcionar fuerzas motrices al fluido de trabajo para mejorar las eficiencias de intercambio de calor.

Además, esta realización, así como las realizaciones de los otros ejemplos y las figuras presentados en esta memoria descriptiva generalmente, y preferiblemente, puede tener un circuito de control que puede, en conjunto o en parte, ponerse en funcionamiento por un sistema de controladores y ordenadores, y que también puede tener acceso remoto. Así, por ejemplo, el sistema de control puede ser una red de control distribuido, una red de control, u otros tipos de sistemas de control conocidos por los expertos en la técnica para controlar grandes plantas e instalaciones, y aparatos individuales, así como combinaciones y variaciones de estos. Además, este sistema de control en una realización más preferida puede ser integrado o asociado de otro modo con un sistema de datos de empresa, tales como, por ejemplo, SAP. El sistema de control puede controlar cualquiera y todos los parámetros de la reacción de fusión, los procesos de recolección o utilización de energía calórica, y conversión a energía eléctrica u otra forma útil. Preferiblemente, el sistema de control mantiene un equilibrio predeterminado y preseleccionado entre generación de calor y extracción de calor. Así, por ejemplo, para mantener este equilibrio predeterminado y preseleccionado, el sistema de control puede modular los impulsos eléctricos, p. ej., alargando o acortando el periodo de tiempo entre cada impulso, cambiando la tensión aplicada para crear el plasma, cambiando el campo magnético, por ejemplo, con un imán ajustable conjuntamente con un imán superconductor, y cambiando la densidad de los reactantes.

Esta realización también puede tener tipos similares de aparatos de intercambio de calor asociados con el electrodo interior. Además se debe entender que estos diversos sistemas de intercambio y captura de calor se pueden utilizar con otras realizaciones de los dispositivos de fusión controlada, además de las que usan descarga eléctrica para crear un plasma.

Ejemplo 21

Cambiando a la figura 23, se proporciona un esquema de un dispositivo de fusión controlada y un conjunto de conversión de energía directa. Esta configuración 2300 tiene un dispositivo de fusión 2300 que tiene un suministro de energía CC-CA 2305, una línea de entrada de gas 2304, un cable de alimentación 2306, una varilla de descarga 2302, que tiene una cubierta de aislamiento 2303. La varilla de descarga 2302 se extiende adentro del dispositivo de fusión más allá de la cubierta de aislamiento 2303 y al área de rotación de gas 2320. Dentro del área de rotación de gas 2320 están las dianas de boro 2317, 2319, y una diana de boro 2318, asociadas mecánicamente con un brazo de control 2310. El dispositivo de fusión tiene un electrodo exterior 2301 y un imán 2316. En esta realización el conjunto de utilización de energía, p. ej., un conjunto de conversión energética directa 2350, se ubica dentro de la estructura de control de presión de dispositivo de fusión, y justo exterior del electrodo exterior 2301, y lejos (abajo corriente de) el área de rotación de gas 2320. El dispositivo de fusión también tiene una cámara 2309, una bomba de vacío 2307 y una válvula 2308. Con esta realización también se proporciona un conjunto de muestreo y análisis. Este conjunto tiene

una válvula 2311, una cámara de análisis 2312, una bomba 2313, una válvula 2314 y un RGA (*residual gas analyzer*, analizador de gas residual) 2315. La cámara de análisis puede tener una presión de 10⁻⁵ torr.

5 En esta realización, el conjunto de conversión energética directa puede incluir un material metálico u otro electromotor: en forma de placa, varilla, cilindro, componentes en sección de un cilindro, y similares; espiras eléctricamente
 10 conductivas que se posicionan adyacentes al camino probable de partículas cargadas de alta energía creadas por la reacción de fusión, de modo que se puede inducir directamente una corriente conforme se recogen las partículas cargadas. Además, aunque no se muestra en la figura, tales dispositivos también se pueden ubicar en el extremo axial de la cámara o región de reacción de fusión. Por ejemplo, en realizaciones que utilizan la reacción de fusión que crea partículas alfa, las partículas alfa pierden energía al ionizar materiales en el conjunto de conversión energética directa,
 15 produciendo electrones libres que llevan corriente eléctrica. En otras realizaciones, se pueden dirigir partículas cargadas a un haz mediante el uso de campos eléctricos o magnéticos, o una combinación de ambos, produciendo una corriente continua.

20 En otra realización de un dispositivo de fusión controlada, un conjunto de conversión energética directa incluye una distribución de uniones PN de semiconductor. Las uniones PN crean una capa de agotamiento que crea regiones que tienen un gradiente de campo eléctrico. Partículas cargadas, tales como alfas creadas en una reacción de fusión, o radiación electromagnética, o ambas, interactúan con el material semiconductor, produciendo parejas electrón-orificio en las inmediaciones del gradiente de campo eléctrico. Conforme los electrones e iones se aceleran hacia los cantos de la capa de agotamiento, se crea una corriente.

25 En otra realización de un dispositivo de fusión controlada, un conjunto de conversión energética directa incluye un conjunto para utilizar partículas de alta energía cargadas para generar una corriente eléctrica. Por ejemplo, usando las partículas alfa generadas por medio de la reacción hidrógeno-boro tratada anteriormente, las partículas alfa pueden ser dirigidas desde la región de reacción de fusión a una región que tiene una primera placa y una segunda placa separadas por un material fácilmente ionizable. Así, de esta manera, conforme las partículas alfa dirigidas pasan a través de este material fácilmente ionizable, se crean electrones e iones positivos. Los electrones migran a la primera placa, los iones positivos migran a la segunda placa, creando un potencial que entonces da como resultado el flujo de una corriente cuando las placas se conectan eléctricamente. Por ejemplo, la primera placa se puede hacer de un material de función de trabajo baja tal como magnesio, y la segunda placa se puede hacer de un material de función de trabajo alta tal como oro, y el material fácilmente ionizable puede ser gas argón. Además, el material ionizable puede ser en forma de gel, simplificando así la necesidad de contener el material de ionización en la región de conversión de energía directa. Adicionalmente, la primera placa, la segunda placa y el material fácilmente ionizable se pueden combinar en una estructura semiconductor sólida multicapa que puede sobrevivir a los impactos alfa y generar un potencial entre capas dentro de esa estructura multicapa. En una realización adicional, el dispositivo de fusión controlada puede tener su eje en una posición vertical o esencialmente vertical con la abertura que tiene las alfas que salen de la misma, apuntando hacia abajo hacia un contenedor que tiene un gel o un líquido que sirve como material ionizable. De esta manera, se puede conseguir contención del material fácilmente ionizable sin necesidad de ninguna membrana u otro miembro que permita la transmisión de partícula alfa mientras se tiene el material fácilmente ionizable adyacente o en el área de contención a baja presión del dispositivo de fusión controlada.

Ejemplo 22

30 La figura 24A muestra un dispositivo de fusión controlada 2400 que comprende una fuente de radiación 2401, un primer material de trabajo 2404, una diana de radiación 2403, un segundo material de trabajo 2402, y una cavidad 2405. La radiación 2401 impacta sobre la diana de radiación 2403 generando el primer material de trabajo 2404. La radiación puede ser un láser, haz de iones, fuente de radiación pulsada, y más. La diana de radiación puede ser una lámina metálica, un polímero, y más. El primer material de trabajo puede ser protones, iones, u otros reactantes y materiales deseables. Se hace que el primer material de trabajo se mueva en la dirección del segundo material de trabajo 2402. La energía del primer material de trabajo puede ser mayor de 1 eV, mayor de 100 eV, mayor de 1 keV, mayor de 100 keV, mayor de 1 MeV, o mayor de 10 MeV.

35 La figura 24B muestra el dispositivo de fusión controlada de la figura 24A, al que se añade un tercer material de trabajo. El dispositivo de fusión controlada 2400 tiene una fuente de radiación 2401, un primer material de trabajo 2404, una diana de radiación 2403, un segundo material de trabajo 2402, una cavidad 2405, y un tercer material de trabajo 2406. La radiación 2401 impacta sobre la diana de radiación 2403 generando un primer material de trabajo 2404. La radiación puede ser un láser, haz de iones, fuente de radiación pulsada, y más. La diana de radiación puede ser una lámina metálica, un polímero, y más. El primer material de trabajo puede ser protones, iones, u otros reactantes y materiales deseables. Se hace que el primer material de trabajo se mueva en la dirección del tercer material de trabajo 2406. El movimiento del primer material de trabajo se acopla al tercer material de trabajo que se le hace moverse en la dirección del segundo material de trabajo 2402. La energía del primer material de trabajo puede ser mayor de 1 eV, mayor de 100 eV, mayor de 1 keV, mayor de 100 keV, mayor de 1 MeV, o mayor de 10 MeV.

Ejemplo 23

En una realización de un dispositivo de fusión controlada, el dispositivo de fusión controlada es del tipo general representado en la figura 3. Así, una pluralidad de estructuras de boro posicionadas en los alambres puede formar una carcasa de boro o carcasa de compuestos de boro entre el electrodo interior y el electrodo exterior.

Ejemplo 24

5 Realizaciones de los presentes dispositivos de fusión controlada pueden relativamente compactas y pequeñas. Esto permite la colocación de estos dispositivos en muchas aplicaciones donde el tamaño es un problema. También permite utilizar juntos varios de estos dispositivos más pequeños para proporcionar el requisito de cantidad de potencia necesaria. Estos dispositivos esencialmente pueden ser pequeños y compactos, por ejemplo, aproximadamente del tamaño de un frigorífico pequeño, una bolsa de palos de golf, una maleta, unos pocos pies por unos pocos pies, un pie cuadrado o menos, p. ej., el tamaño de un bote de café grande.

10 Así, cambiando a la figura 25 se muestra una vista en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada de mesa 2500. El dispositivo 2500 se monta sobre una mesa 2501 (0,6 m por 0,6 m) (2 pies por 2 pies). El dispositivo 2500 tiene dos sostenes de imán 2503, 2502 en los extremos axiales del dispositivo. Cada sostén de imán sostiene un imán 2509, 2508. Entre el sostén de imán 2503, 2502 hay un conjunto para contener el gas rotatorio, este conjunto tiene dos rebordes de cubierta exterior 2512, 2511 que se conectan a los extremos axiales de un alojamiento 2510. El alojamiento 2510 y los rebordes 2512, 2511 forman la cavidad 2506 donde rotan los gases. La superficie interior 2507 del alojamiento 2510 es la superficie donde principalmente tiene lugar el proceso de fusión. El alojamiento 2510 también sirve como electrodo exterior. El electrodo interior 2504 tiene un cabezal de descarga 2505. Adicionalmente, monturas 2524 y 2517 sostienen el conjunto. Cada montura tiene un brazo inferior 2524a, 2517a, y capuchones superiores 2524b, 2517b, respectivamente. La línea de entrada de gas 2515 tiene una abertura 2515a y salida de gas 2516 tiene una abertura de salida (no se muestra). Se proporcionan líneas de circulación de agua de enfriamiento, entrada 2514, salida 2513 de modo que se puede hacer circular agua alrededor del alojamiento 2510.

La figura 25B es una sección transversal de la realización de la figura 25, y la figura 25C es una vista en despiece ordenado que muestra los componentes de la realización de la figura 25.

25 Ejemplo 24a

El dispositivo del ejemplo 24 recibe carburante de materiales de fusión a proporcionar para fusión aneutrónica, y se usa para alimentar un automóvil eléctrico.

Ejemplo 24b

30 La realización de la figura 25, se hace más grande que el dispositivo de la figura 24, recibe carburante para permitir fusión neutrónica y la generación de neutrones. El dispositivo se usa en un dispositivo médico para permitir un haz de neutrones controlado y pretendido para el tratamiento de condiciones médicas.

Ejemplo 24c

35 La realización de la figura 25, se hace más pequeña, que tiene un diámetro exterior de menos aproximadamente 15,24 cm (6 pulgadas), y recibe carburante para permitir fusión neutrónica y la generación de neutrones. El dispositivo se incorpora en una herramienta de registro y medición (a menudo se le hace referencia como LWD, MWD, y LMWD) de agujero bajante de exploración de petróleo y gas (p. ej., perforación de petróleo). Los neutrones generados desde el dispositivo se usan para finalidad analítica para evaluar la naturaleza de la formación asociada con un pozo de exploración. La baja cantidad (cero en algunas realizaciones) de potencia que se requiere para la generación de neutrones con el dispositivo proporciona sustanciales beneficios especialmente cuando se mide y registra pozos de exploración muy profundos (o largos), p. ej., más de 3.048 m (10.000 pies), al no tenerse que vencer la sustanciales pérdidas de potencia en la transmisión de electricidad por el pozo de exploración.

Ejemplo 25

45 En la realización de este ejemplo se usa una fuente de microondas para ayudar a iniciar la rotación de los gases (gases débilmente ionizados). De esta manera la fuente de microondas requiere menos potencia que el uso de una corriente para que empiece inicialmente la rotación de los gases, y así, el uso del generador de microondas permite un equilibrio energético mejor, p. ej., más eficiente.

50 Así, cambiando a la figura 26 se muestra una vista en perspectiva de una realización de un dispositivo de fusión controlada de mesa 2600. El dispositivo 2600 se monta sobre una mesa 2601 (0,3 m por 0,6 m) (1 pie por 2 pies). El dispositivo 2600 tiene dos sostenes de imán 2603, 2602 en los extremos axiales del dispositivo. Cada sostén de imán sostiene un imán 2609, 2608. Entre el sostén de imán 2603, 2602 hay un conjunto para contener el gas rotatorio, este conjunto tiene dos rebordes de cubierta exterior 2612, 2611. El reborde 2612 se conecta al extremo axial del alojamiento 2610. El conjunto de entrega de microondas con rebordes 2650 se conecta al otro extremo del alojamiento 2610, y el reborde 2611 se conecta al conjunto 2650. La fuente de microondas 2651 se conecta al conjunto 2650. El alojamiento 2510, el conjunto 2652 y los rebordes 2612, 2611 forman la cavidad donde rotan los gases. La superficie interior del alojamiento 2610 es la superficie donde principalmente tiene lugar el proceso de fusión. El alojamiento

55

2610 también sirve como electrodo exterior. El electrodo interior 2604 tiene un cabezal de descarga. Adicionalmente, monturas 2624 y 2617 sostienen el conjunto. Cada montura tiene un brazo inferior 2624a, 2617a, y un capuchones superiores 2624b, 2617b, respectivamente. La línea de entrada de gas 2615 tiene una abertura 2615a y salida de gas 2616 tiene una abertura de salida (no se muestra). Se proporcionan líneas de circulación de agua de enfriamiento, entrada 2614, salida 2613 de modo que se puede hacer circular agua alrededor del alojamiento 2610.

Ejemplo 26

Para realizar interacciones de fusión se usó un dispositivo del tipo general mostrado en la figura 3. La figura 27 muestra la corriente y la tensión que se aplican al dispositivo para hacer rotar los gases. Así, la línea 2702 muestra la tensión a través del electrodo con el tiempo en ms. La línea 2701 muestra la corriente de impulso en amperios con el tiempo. Las dos líneas muestran la relación de tensión de CW y corriente durante el impulso. El punto (A) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27A, el punto (B) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27B, el punto (C) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27C, el punto (D) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27D, el punto (E) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27E, y punto (F) en la gráfica de la figura 27 corresponde a la figura 27F.

Las figuras 27A a 27F son representaciones esquemáticas de fotografías que fueron tomadas dentro de la cavidad de gas rotatorio del dispositivo de fusión. La figura 27A muestra que no está teniendo lugar reacción, el gas débilmente ionizado está girando por la tensión aplicada y el impulso está únicamente empezando a ser aplicado. La figura 27B muestra que se están empezando a formarse productos de fusión, y conforme aumenta el impulso a través de los puntos C y D se aumenta adicionalmente la reacción de productos de fusión. Conforme se detiene el impulso, p. ej., corriente reducida, los puntos E y F, continúa la reacción de fusión y la producción de productos de fusión.

Ejemplo 27

Para realizar interacciones de fusión se usó un dispositivo del tipo general mostrado en la figura 3. La figura 28 es una representación gráfica de emisión de neutrales de He I 2801 observada usando un filtro centrado en 587,5 nm ($\pm 2,5$ nm FWHW), en el tiempo 10,7 ms. muestra la corriente y la tensión que se aplican al dispositivo para hacer rotar los gases.

Ejemplo 28

Para realizar interacciones de fusión se usó un dispositivo del tipo general mostrado en la figura 3. La figura 29 es una representación gráfica de emisión de neutrales de He I observada usando un filtro centrado en 587,5 nm ($\pm 2,5$ nm FWHW), en el tiempo 10,7 ms. Los productos de fusión y los gases débilmente ionizados 2901 se han calculado en $2,52 \times 10^6$ m/s, productos de fusión y gases débilmente ionizados 2902 se han calculado en $1,63 \times 10^6$ m/s, productos de fusión y gases débilmente ionizados 2903 se han calculado en $1,15 \times 10^6$ m/s, y productos de fusión y gases débilmente ionizados 2904 se han calculado en $9,95 \times 10^5$ m/s.

Ejemplo 29

Las figuras 30 y 31 muestran la intensidad de emisiones de He con y sin dianas de boro.

La eficacia y la utilidad de dispositivos de almacenamiento y generación de energía a menudo se tratan desde el punto de vista de energía específica y potencia específica. Es sumamente deseable tener una alta energía específica y una alta potencia específica simultáneas. También puede ser deseable tener una energía específica y una potencia específica predeterminadas.

La energía específica se mide típicamente en J/kg, o J/L (volumétrico) mientras que la potencia específica se mide típicamente en W/kg o W/L. Estos valores indican la producción energética total, y la tasa de producción energética, para un sistema de un tamaño dado.

Valores típicos que se ven para energía específica varían de 10-8 J/kg para supercondensadores a 108 J/kg (106 J/L) para hidrógeno comprimido. Valores típicos de potencia específica varían de 1 W/kg a 104 W/kg. Sin embargo, antes de la presente invención, energías y potencias específicas (o la combinación en las mismas) por encima de ciertos niveles eran insostenibles. Además, mientras, por ejemplo, un motor de cohete puede tener una potencia específica relativamente alta, no se puede escalar con facilidad a tamaños más pequeños o más grandes. Así, aquí se concibe que un dispositivo de fusión controlada puede producir potencias específicas y energías específicas según la siguiente tabla.

Ejemplo	Energía específica (J/kg)	Energía específica (J/L)	Potencia específica (W/kg)	Potencia específica (W/L)
A	10^6	10^3	10^2	10^2

B	10^{14}	10^{15}	10^8	10^6
C	10^8	10^9	10^5	10^3
D	10^{10}	10^7	10^6	10^4

Ejemplo 30

En esta realización el giro del plasma débilmente ionizado en el dispositivo se puede obtener mediante atrapamiento de partículas de onda. En general, en el dispositivo se induce una onda electromagnética circular, cerca y preferiblemente directamente adyacente a la pared interior. Las partículas ionizadas se acoplan a esta onda circular, y se mueven alrededor del dispositivo, embebiendo las partículas neutras con ellas. De esta manera el giro a alta velocidad del plasma débilmente ionizado en el dispositivo se puede conseguir sin necesidad de un campo magnético. Así, usando lo que se ha teorizado que son los principios subyacentes de atrapamiento de partículas de onda no lineal y acoplamiento ion-neutro en un sistema de plasma de tres componentes que consisten en iones positivos, iones negativos, y moléculas neutras (neutrales) se puede obtener el requisito de condiciones para una interacción de fusión de las partículas. Los fenómenos colectivos resultantes son mucho más ricos y más diversos que la suma de sus partes. Típicamente iones inestables se mantienen estables, partículas opuestamente cargadas se mantienen separadas en depresiones de potencial de onda, y se obtiene densidad global muy alto sin limitaciones por carga espacial. Colisiones entre neutrales e iones permiten el control de un medio de alta densidad mediante campos electromagnéticos. Estos fenómenos se aplican tanto a gases como a líquidos.

Las ondas son manifestaciones del movimiento colectivo de partículas y poseen energía y momento. Como las partículas, los paquetes de ondas pueden ser excitados y apuntados en una dirección preferida. El uso de ondas con iones negativos y positivos no ha sido investigado minuciosamente, especialmente en el régimen donde coexisten iones y moléculas neutras en diversas concentraciones.

Una onda eléctrica desplazándose con velocidad de fase alineada con precisión puede acelerar iones positivos, iones negativos y neutrales a altas velocidades. Sobre 1,5 segundos, o 9×10^6 periodos, usando una onda eléctrica de 100 V 6 MHz, los neutrales aceleran a más de 9000 metros por segundo. Es importante observar que, mientras la velocidad de cada uno de los iones negativos y positivos parece tener altos valores negativos en áreas, estas áreas corresponden a las densidades más bajas de estos iones. De manera similar, las áreas con las velocidades positivas más altas de los iones negativos, iones positivos y neutrales se correlacionan con las áreas con las densidades de partículas más altas. Como tal, el momento neto de los iones negativos, iones positivos y neutrales es cada uno en la dirección hacia delante. Estas simulaciones demuestran que, basándose en la teoría aceptada, los neutrales pueden ser acelerados por una onda eléctrica cuando se acoplan con iones, iones negativos y positivos se mantienen separados cuando se acoplan con neutrales, y esos pozos y depresiones de potencial se pueden usar para acelerar grupos alternos de iones negativos y positivos.

Se entiende que los ejemplos anteriores son una muestra del posible espacio. Adicionalmente, se debe entender que la frontera en la que se calcula la energía específica o potencia específica puede variar según el tipo de sistema.

Las diversas realizaciones de conjuntos de utilización de energía y conjuntos de conversión energética directa se pueden usar individual o colectivamente en asociación con diversos dispositivos de fusión controlada. Así, por ejemplo, para aumentar la eficiencia global de conversión energética del dispositivo, y para proteger componentes del dispositivo contra daño térmico, conjuntos de conversión energética directa pueden tener conjuntos de utilización de energía asociados con ellos. De manera similar, conjuntos de utilización de energía pueden tener, preferiblemente en sus superficies, conjuntos de conversión energética directa. De esta manera, y preferiblemente, se pueden utilizar todas las superficies y áreas utilizables donde transferencia de calor o captura de partículas de alta energía en el dispositivo de fusión controlada.

Las diversas realizaciones de dispositivos, métodos y sistemas presenta en esta memoria descriptiva se pueden usar para diversas operaciones, otra producción energética, incluida la formación de materiales. Adicionalmente, estas realizaciones, por ejemplo, se pueden usar con sistemas y operaciones que se pueden desarrollar en el futuro; y con sistemas y operaciones existentes que pueden ser modificadas, en parte, basándose en las enseñanzas de esta memoria descriptiva. Además, las diversas realizaciones presentadas en esta memoria descriptiva se pueden usar entre sí, en conjunto o en parte, y en combinaciones diferentes y diversas. Así, por ejemplo, las configuraciones proporcionadas en las diversas realizaciones de esta memoria descriptiva se pueden usar entre sí; y el alcance de protección permitido por la presente invención no se debe limitar a una realización, configuración o disposición particulares que se presentan en una realización particular, ejemplo, o en una realización en una Figura particular.

La invención está definida por las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para la reacción de fusión controlada de materiales que comprende:
- a. un primer alojamiento (201) que comprende una superficie interior y una superficie exterior, la superficie interior define una cavidad;
 - 5 b. un alojamiento interior (204) ubicado dentro de la cavidad, el alojamiento interior comprende una superficie interior (208), la superficie interior define una cámara de rotación no mecánica (103, 222);
 - c. un primer material (101) que tiene un primer reactante para formar un plasma débilmente ionizado dentro de la cámara de rotación (103, 222);
 - d. un segundo material (110) que tiene un segundo reactante;
 - 10 e. un ionizador (106) asociado funcionalmente con el primer material, por lo que el ionizador puede ionizar un componente del primer material y de ese modo crear el plasma débilmente ionizado;
 - f. un conjunto inductor de rotación (102) asociado funcionalmente con el ionizador, el primer alojamiento, y la cámara de rotación no mecánica, por lo que el conjunto inductor de rotación puede provocar que el plasma débilmente ionizado que consiste principalmente en neutrales rote a alta velocidad en la cámara de rotación no mecánica en la que la rotación de iones se debe a la fuerza de Lorentz y la rotación de neutrales se debe a colisiones ion-neutral, induciendo de ese modo una reacción de fusión entre el primer reactante y el segundo reactante durante la rotación a alta velocidad del plasma débilmente ionizado; y
 - 15 g. un conjunto de conversión energética directa (2350) configurado para extraer energía de partículas cargadas producidas en la reacción de fusión y convertir la energía a corriente eléctrica, caracterizado por que el conjunto de conversión energética directa comprende una distribución de uniones PN de semiconductor posicionadas adyacentes a la cámara de rotación (103, 222) de manera que partículas cargadas producidas en la reacción de fusión impactan sobre las uniones PN, creando parejas electrón-orificio, e induciendo de ese modo una corriente eléctrica.
 - 20
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde la reacción de fusión es aneutrónica.
- 25 3. El sistema de la reivindicación 1, en donde la reacción de fusión es neutrónica.
4. El sistema de la reivindicación 1, en donde el primer material comprende un material seleccionado del grupo que consiste en hidrógeno, deuterio, tritio, helio, argón, neón, xenón, nitrógeno, oxígeno y un sólido vaporizado.
5. El sistema de la reivindicación 1, en donde el segundo material comprende boro.
6. El sistema de la reivindicación 1, en donde el segundo material comprende un material seleccionado del grupo que consiste en nitruro de boro, hexaboruro de lantano y litio.
- 30 7. El sistema de la reivindicación 1, en donde los materiales primero y segundo comprenden materiales seleccionados del grupo que consiste en nitruro de boro, hexaboruro de lantano, hidrógeno, deuterio, tritio, helio, argón, neón, xenón, nitrógeno, oxígeno, sólidos vaporizados, hidrógeno-1, boro-11, litio-6, litio-7, helio-3, litio-6, y nitrógeno-15.
8. El sistema de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en donde el primer material comprende un buen emisor de electrones.
- 35 9. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en donde el conjunto inductor de rotación comprende un imán (201).
10. El sistema de la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 1, en donde el imán comprende un imán superconductor o un imán permanente.
- 40 11. El sistema de la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 1, en donde el imán tiene la capacidad de crear un campo magnético de al menos aproximadamente: i) 0,5 Tesla; o ii) 1 Tesla; o iii) 2 Tesla.
12. El sistema de las reivindicaciones 1-4, en donde el conjunto inductor de rotación comprende un dispositivo seleccionado del grupo que consiste en un imán superconductor, un imán permanente, un electroimán, una fuente de radiofrecuencia, una fuente de microondas, un láser, y una pistola de iones.
- 45 13. El sistema de la reivindicación 1, que comprende un cuarto material para crear una segunda reacción de fusión con un tercer material que se origina de la reacción de fusión entre el primer y el segundo reactante.
14. El sistema de la reivindicación 13, en donde el tercer material comprende un material seleccionado del grupo que consiste en partículas alfa, helio-3, neutrones y rayos gamma; y en donde el cuarto material comprende un material seleccionado del grupo que consiste en carbono, nitrógeno, oxígeno, cromo y neón.

15. Un método para lograr fusión nuclear controlada en un sistema según una de las reivindicaciones anteriores comprende las etapas de:

ionizar ligeramente el primer material de trabajo para crear una pluralidad de iones;

5 inducir rotación rápida del primer material de trabajo dentro de la cámara de rotación mediante acoplamiento ion-neutro;

juntar el primer reactante y el segundo reactante en una región de la cámara de rotación en donde una velocidad del primer material de trabajo es suficientemente alta como para inducir fusión del primer reactante y el segundo reactante; y

10 extraer energía de partículas cargadas producidas en la fusión nuclear controlada y convertir la energía a corriente eléctrica al inducir las partículas cargadas producidas en la fusión nuclear controlada para que impacten sobre una distribución de uniones PN de semiconductor posicionadas adyacentes a la cámara de rotación para crear parejas electrón-orificio, y de ese modo inducir una corriente eléctrica.

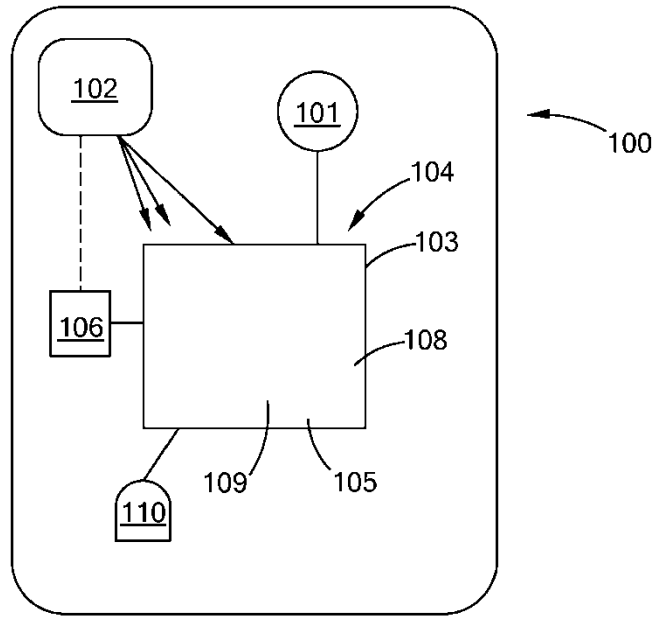


FIG. 1

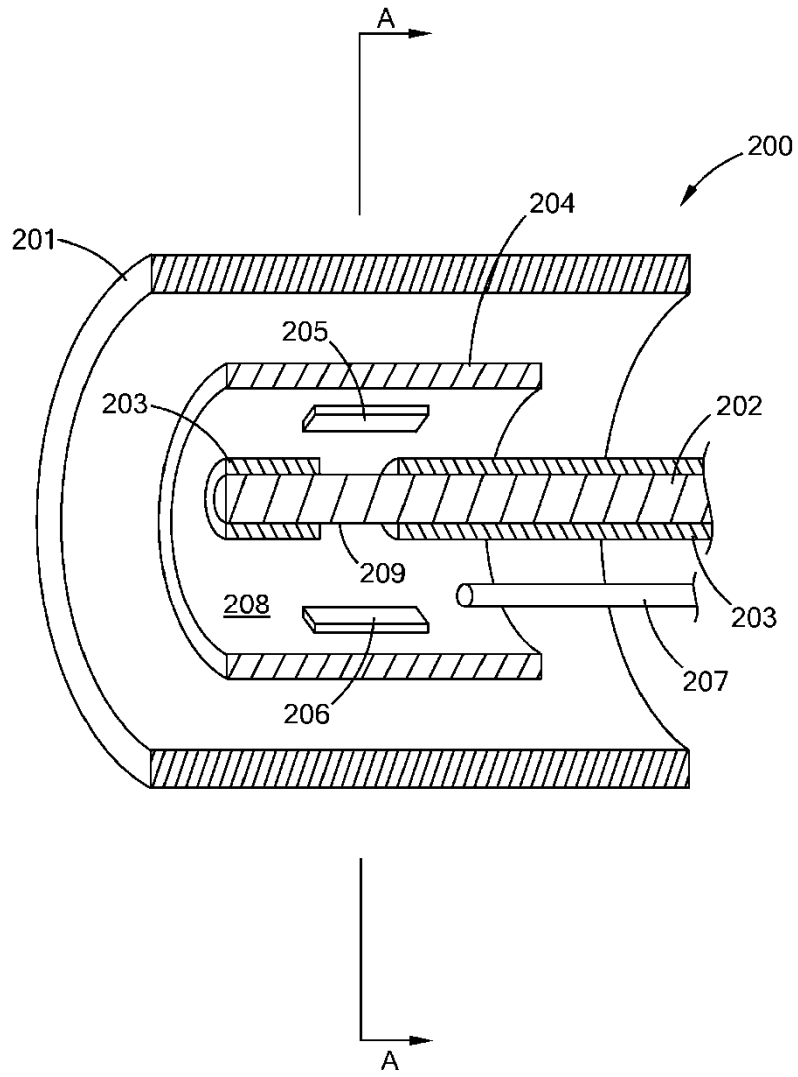


FIG. 2

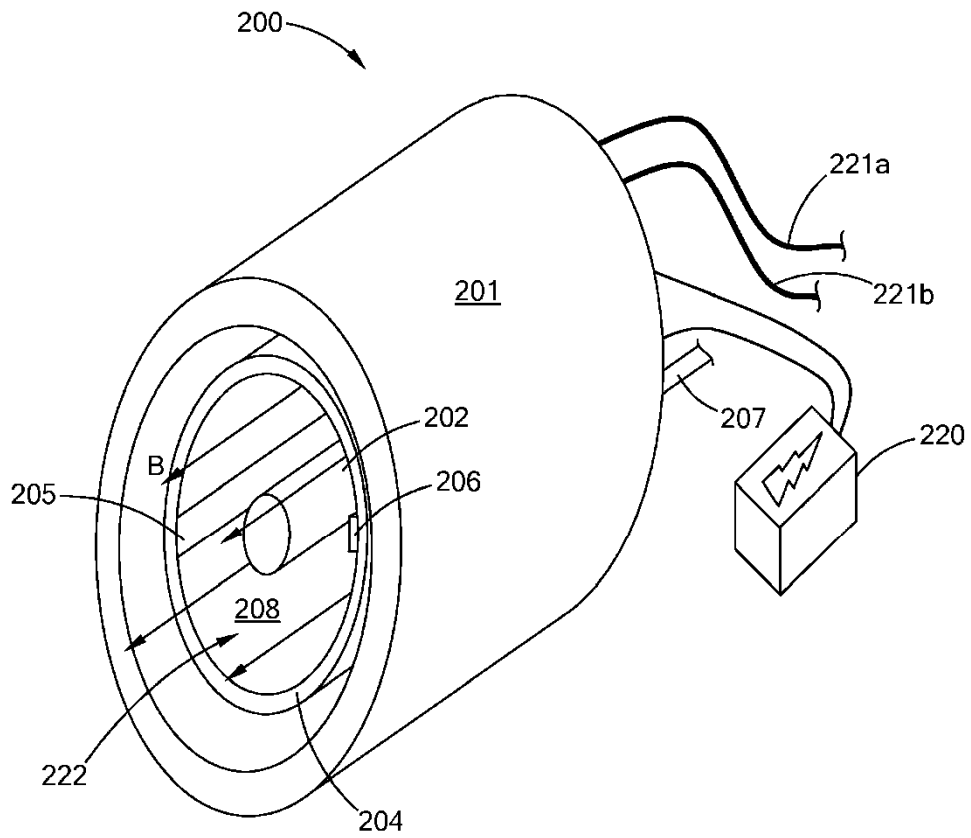


FIG. 2A

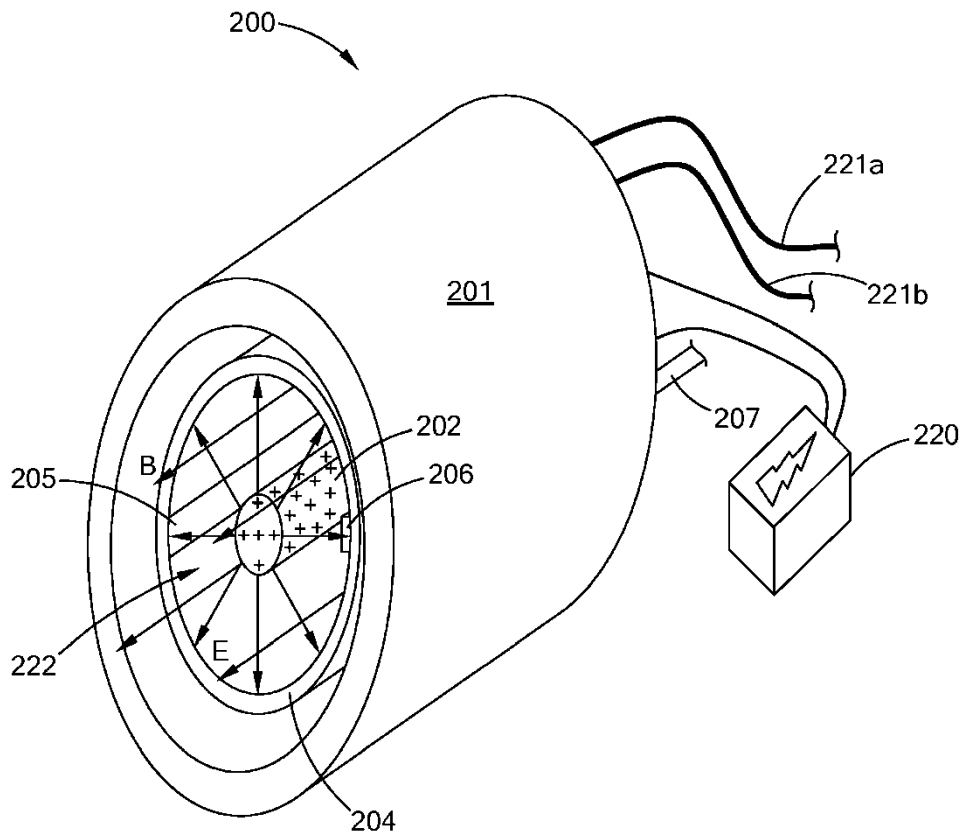


FIG. 2B

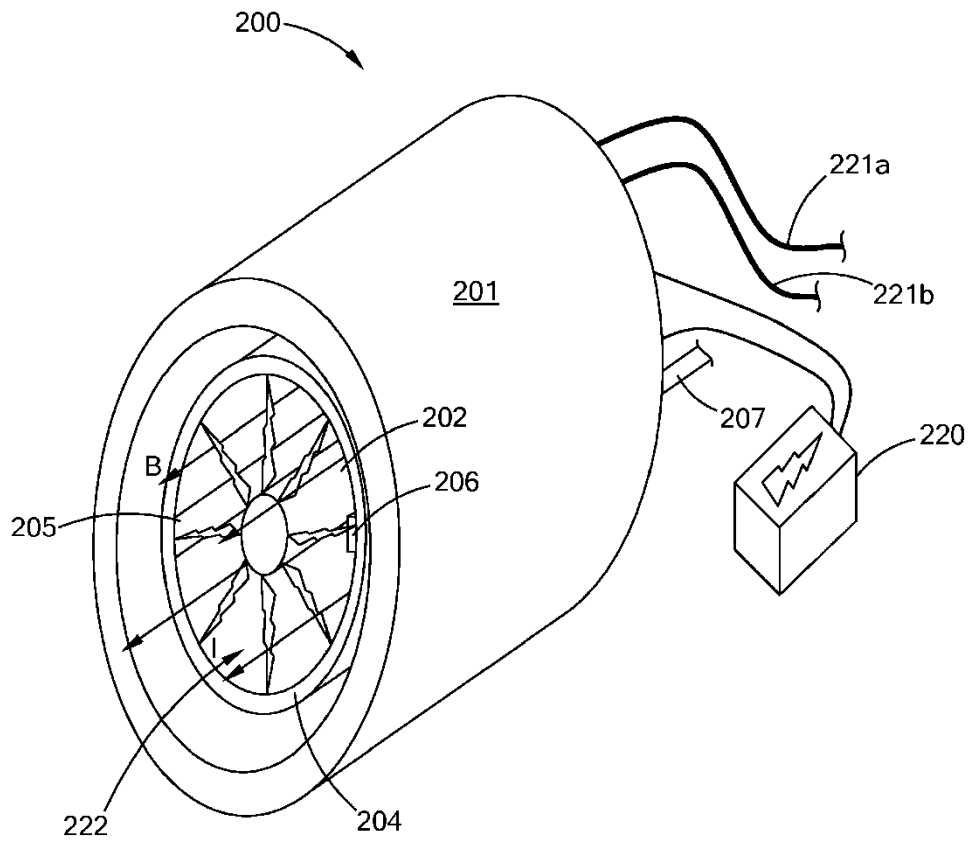


FIG. 2C

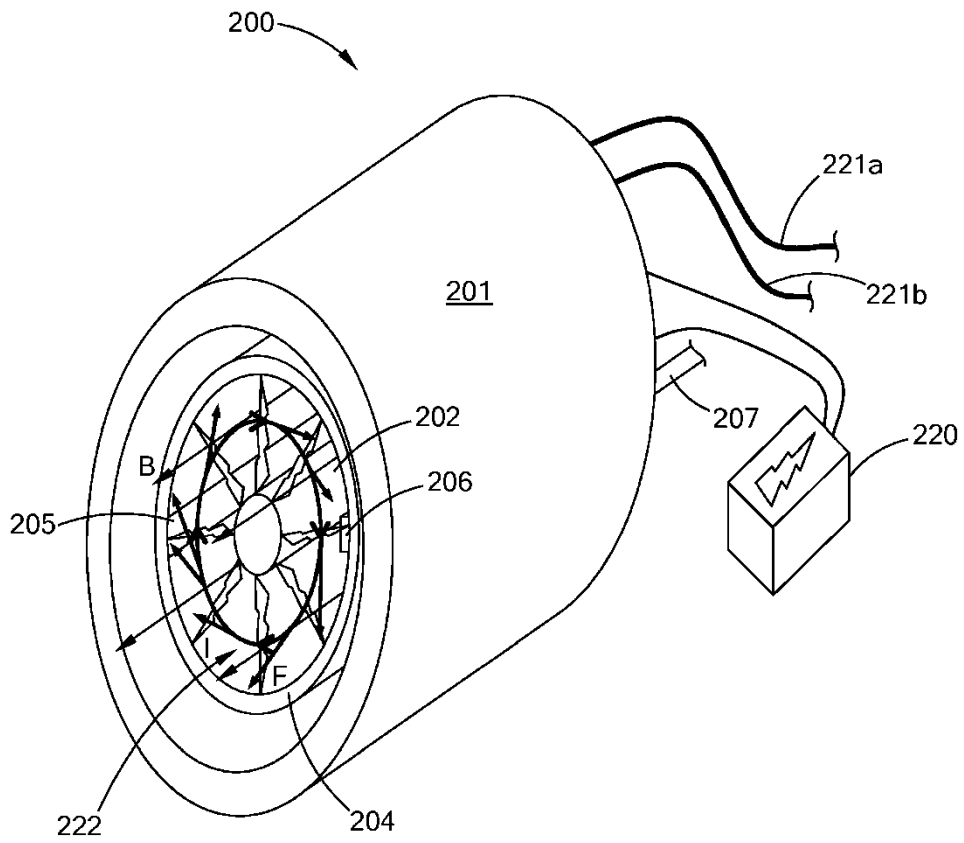


FIG. 2D

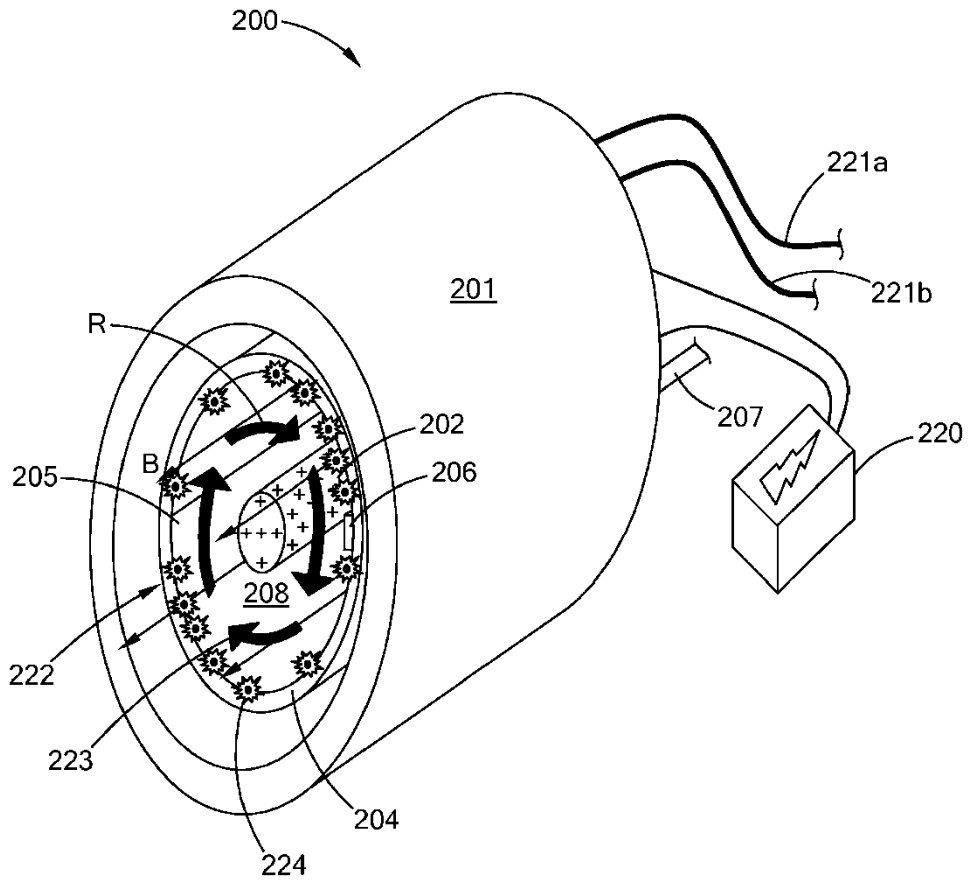


FIG. 2E

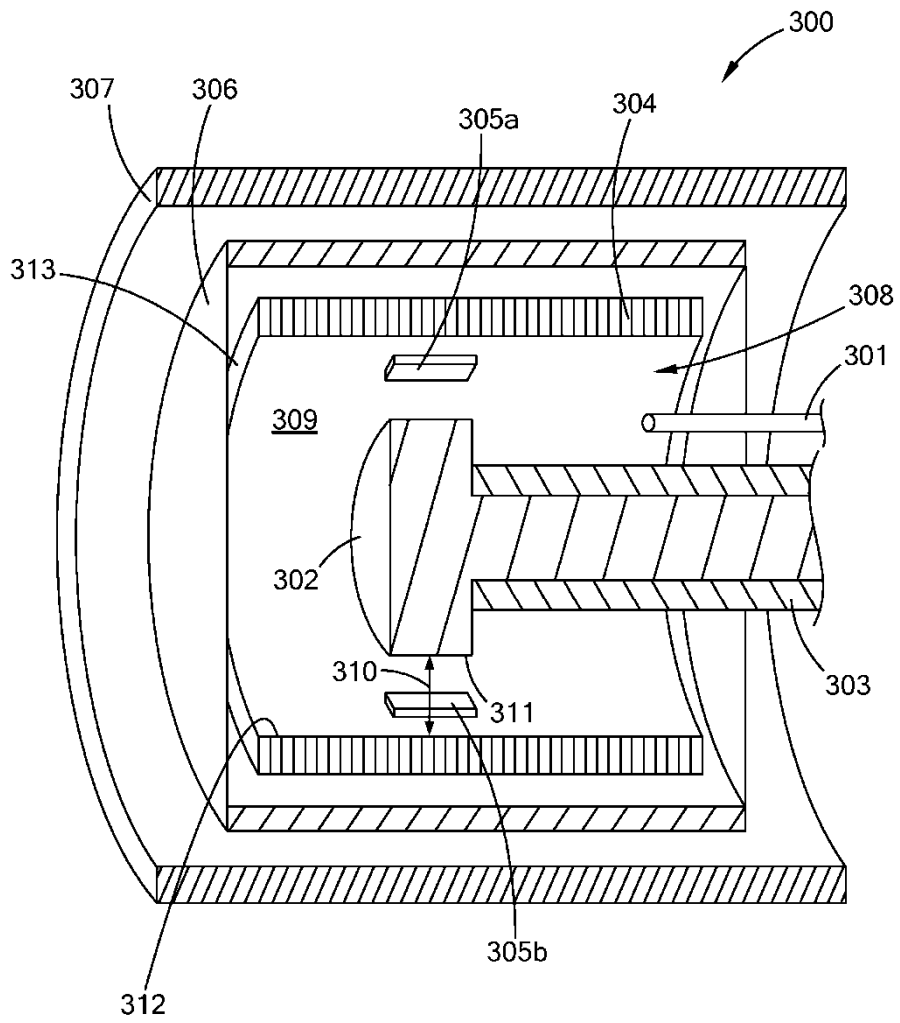


FIG. 3

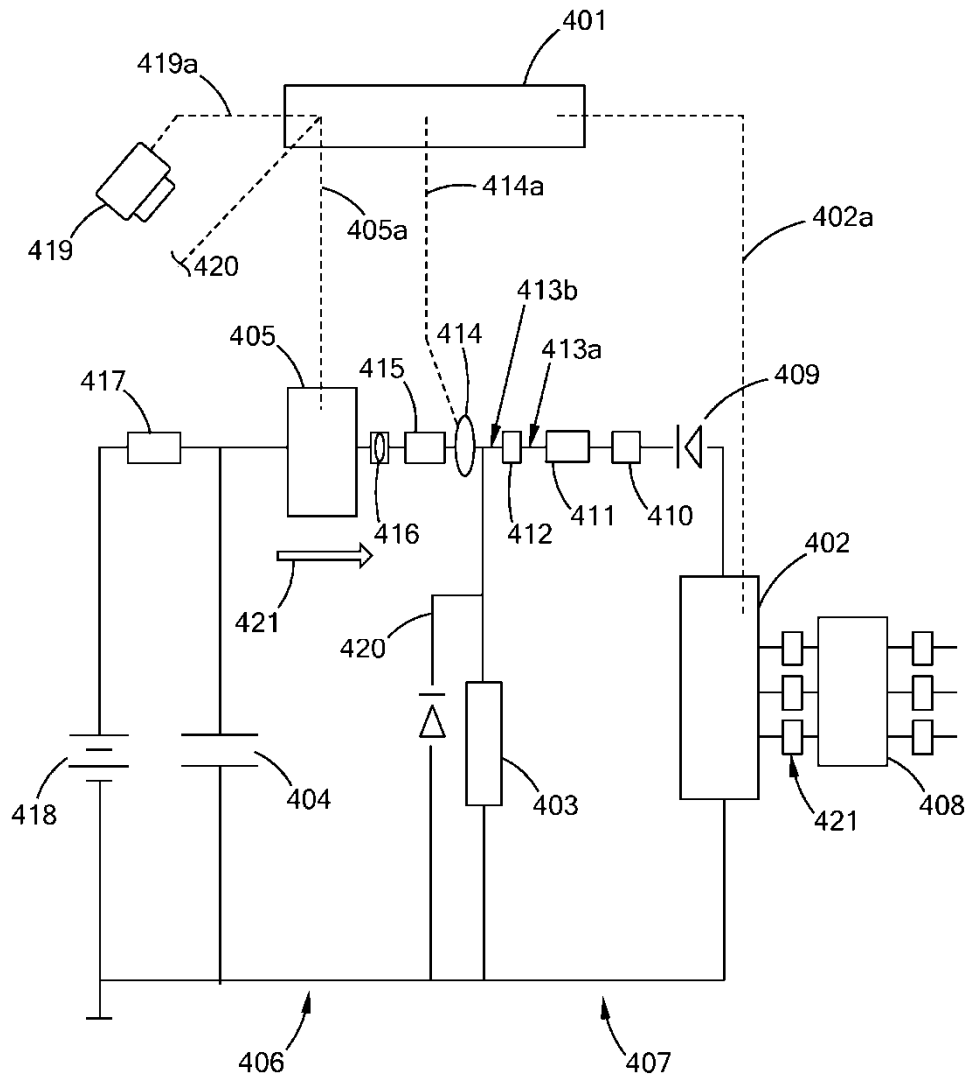


FIG. 4A

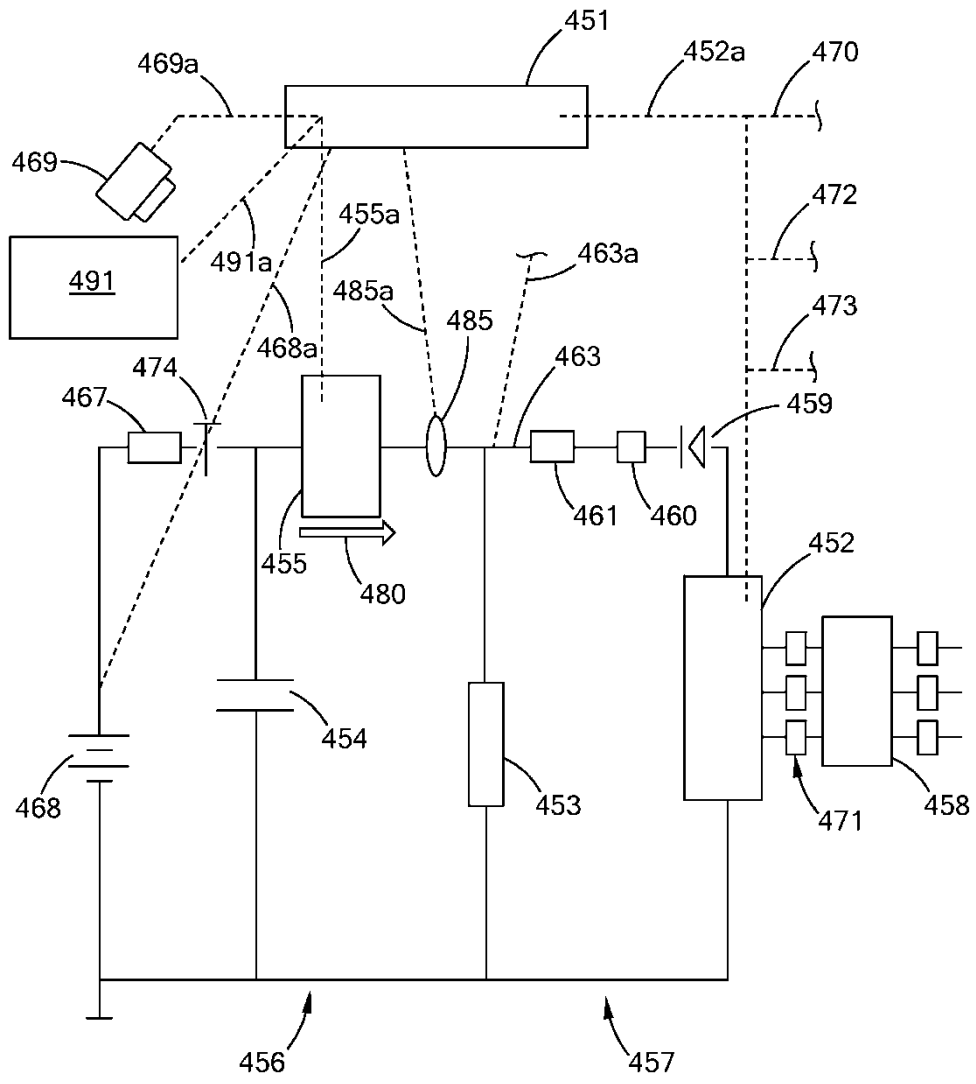


FIG. 4B

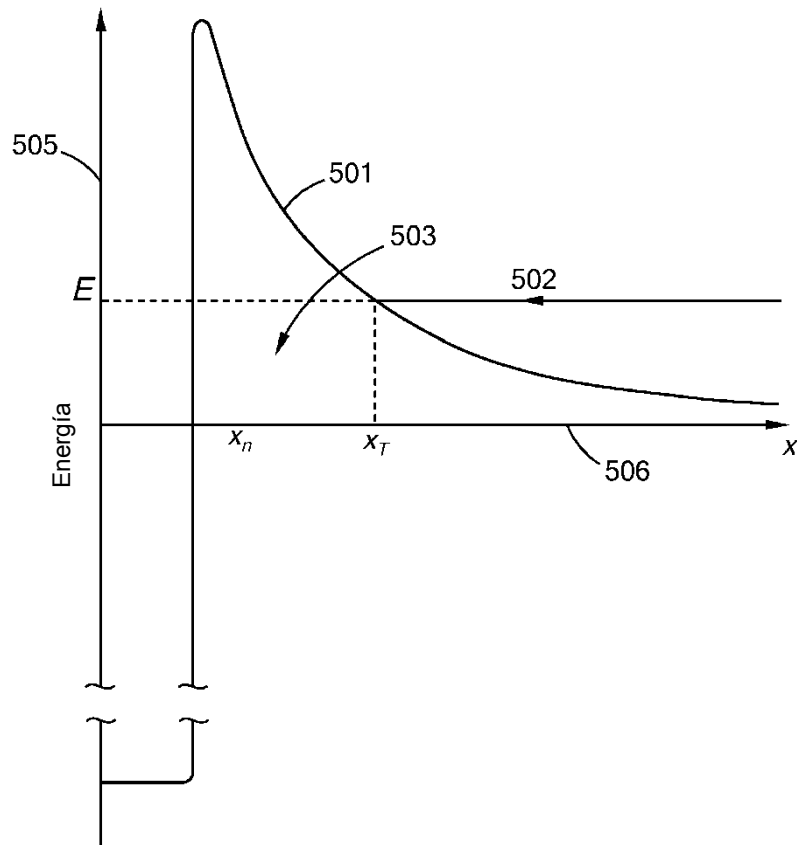


FIG. 5A

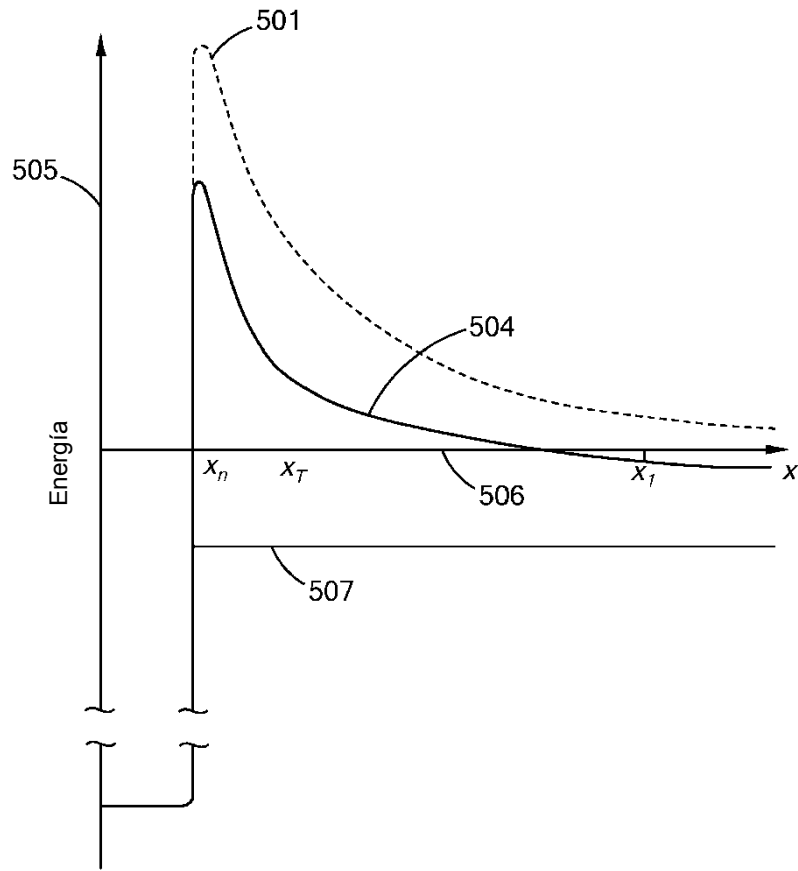


FIG. 5B

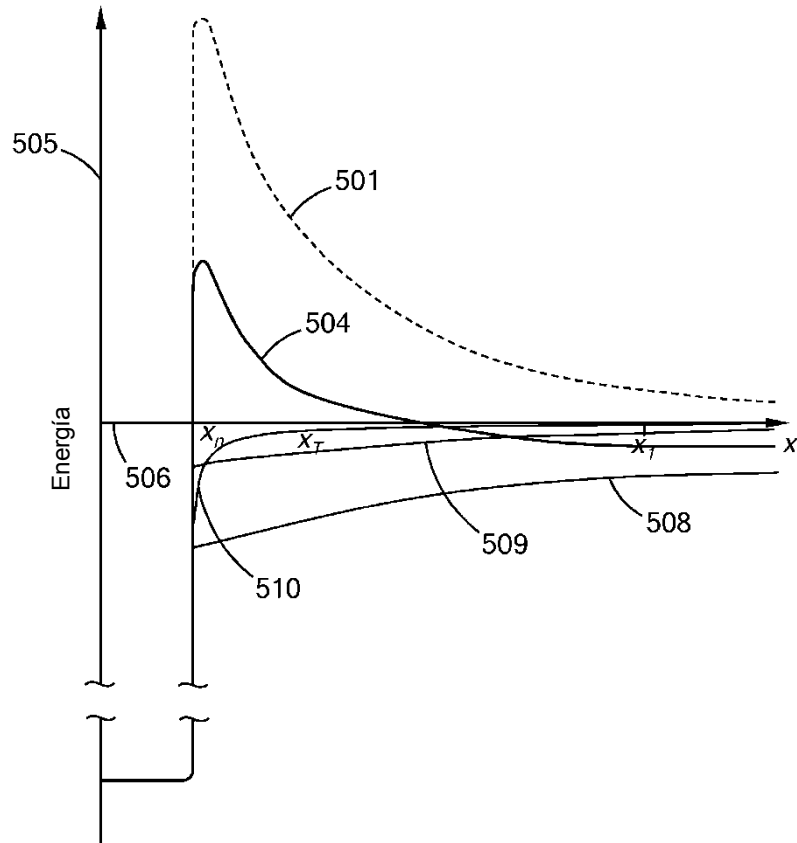


FIG. 5C

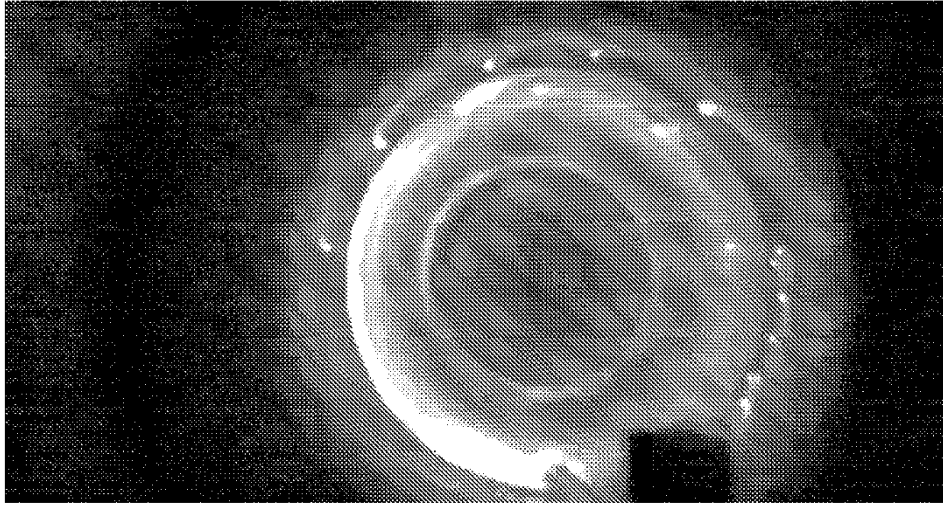


FIG. 6

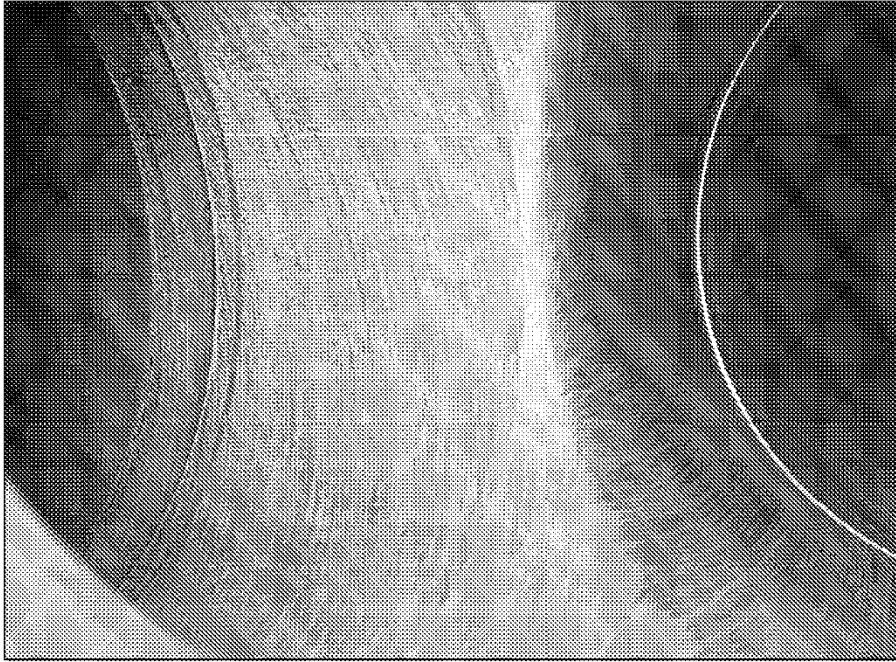


FIG. 7

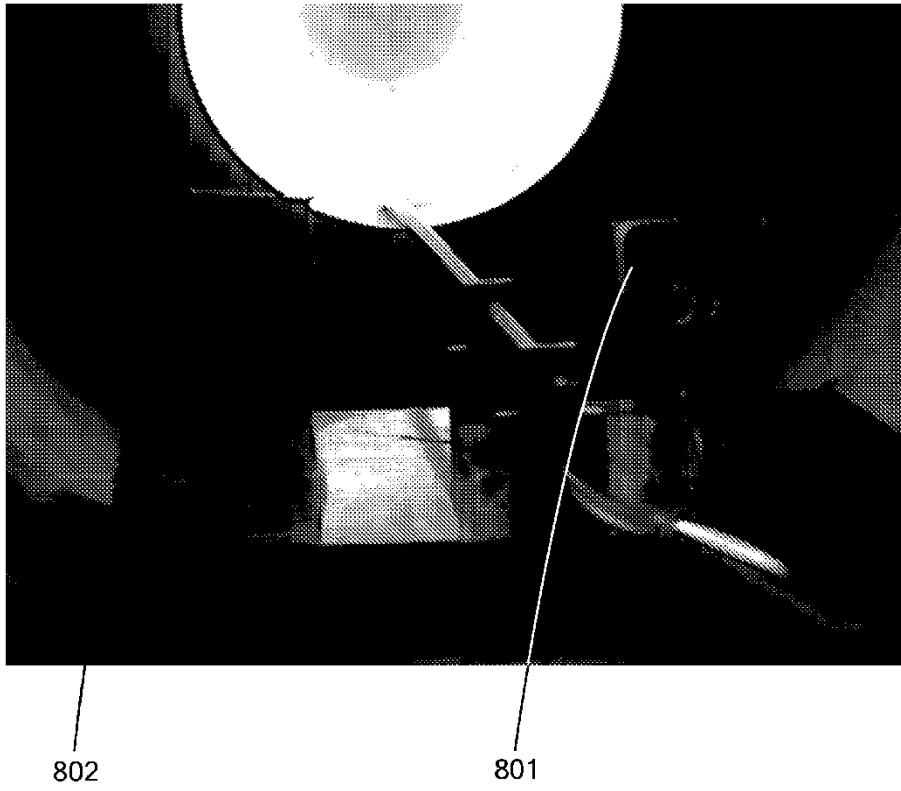


FIG. 8A

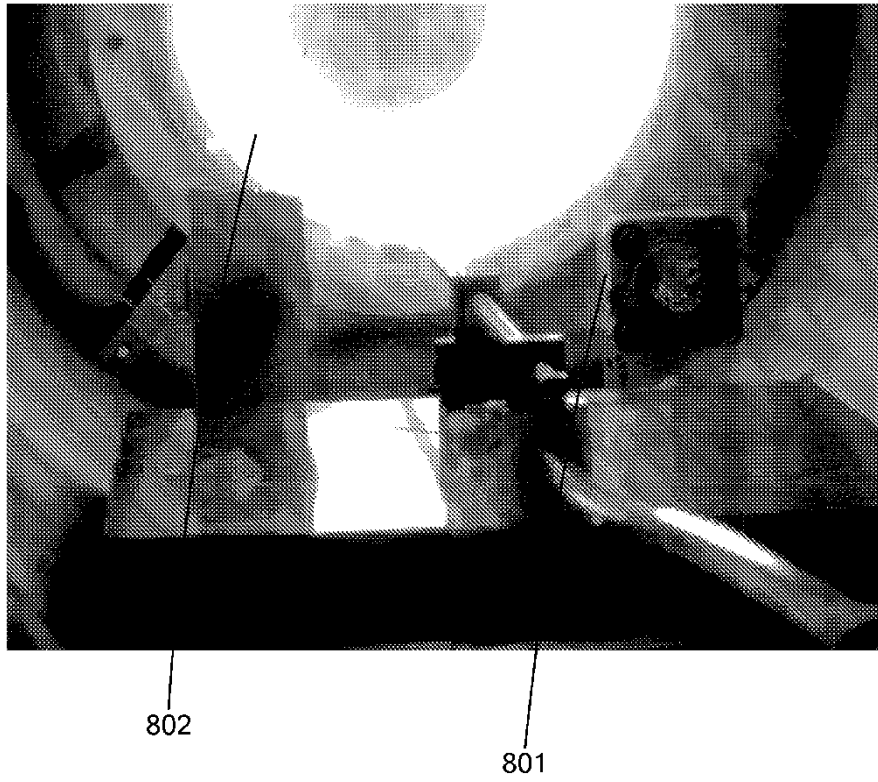


FIG. 8B

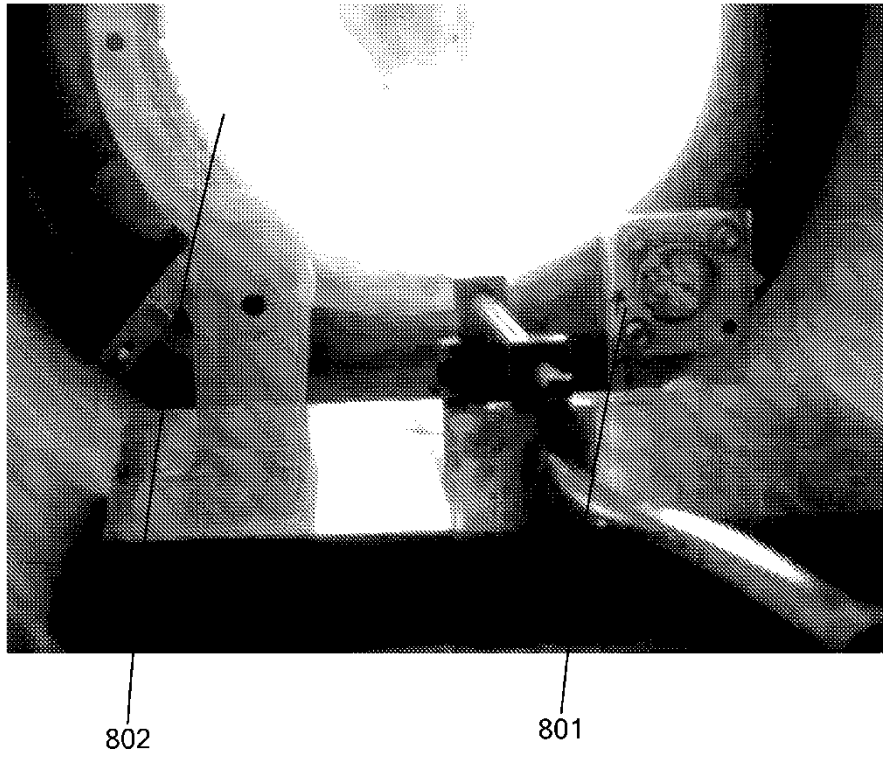


FIG. 8C

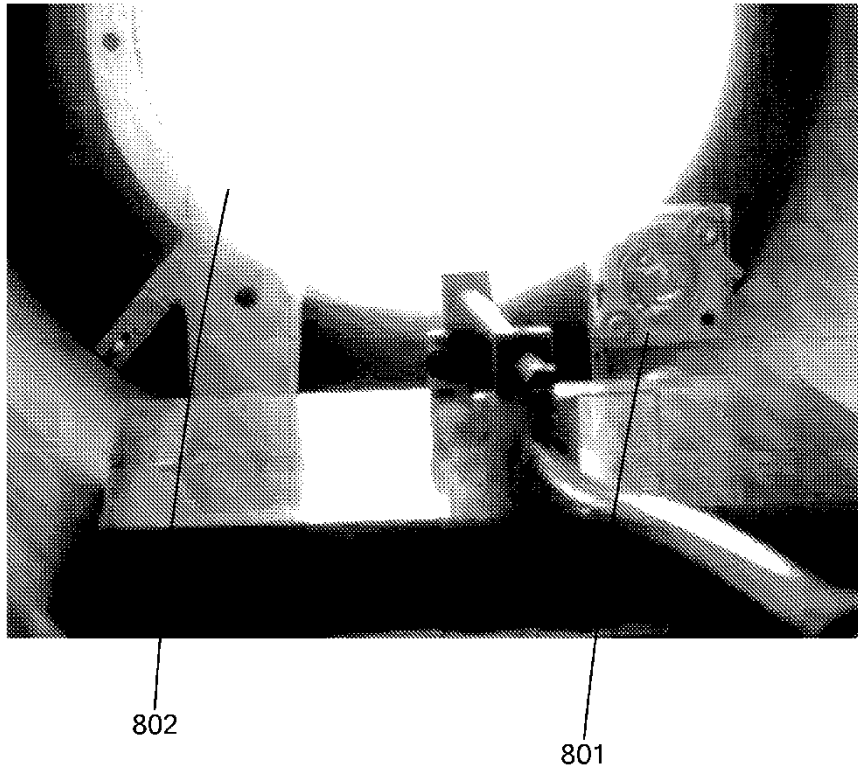
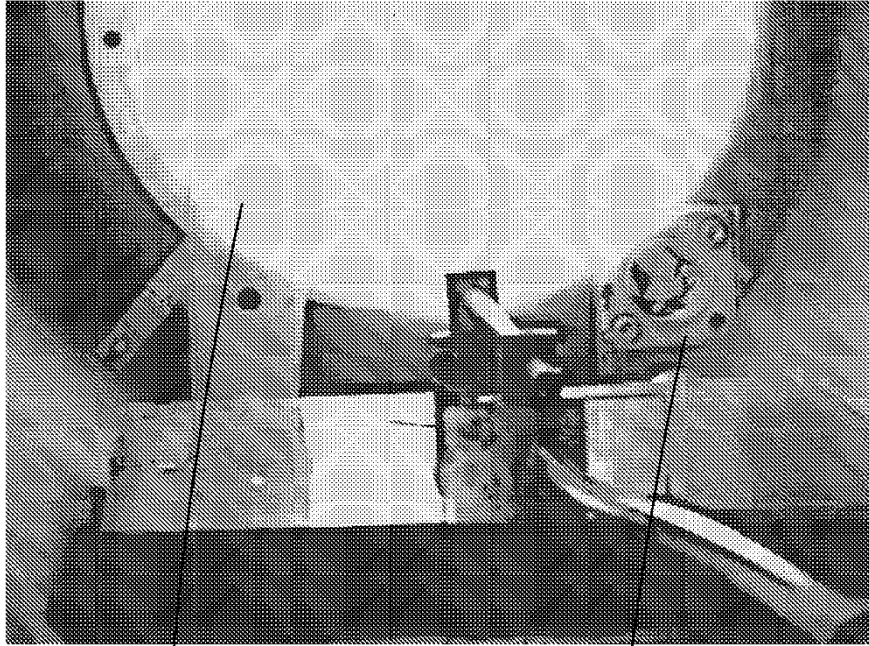


FIG. 8D



802

801

FIG. 8E

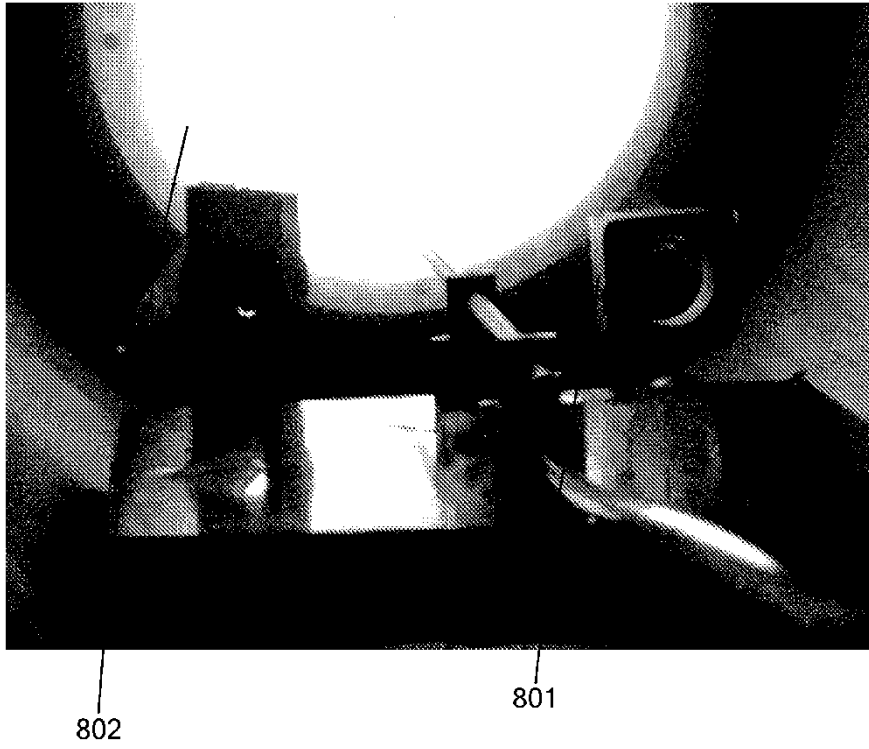


FIG. 8F

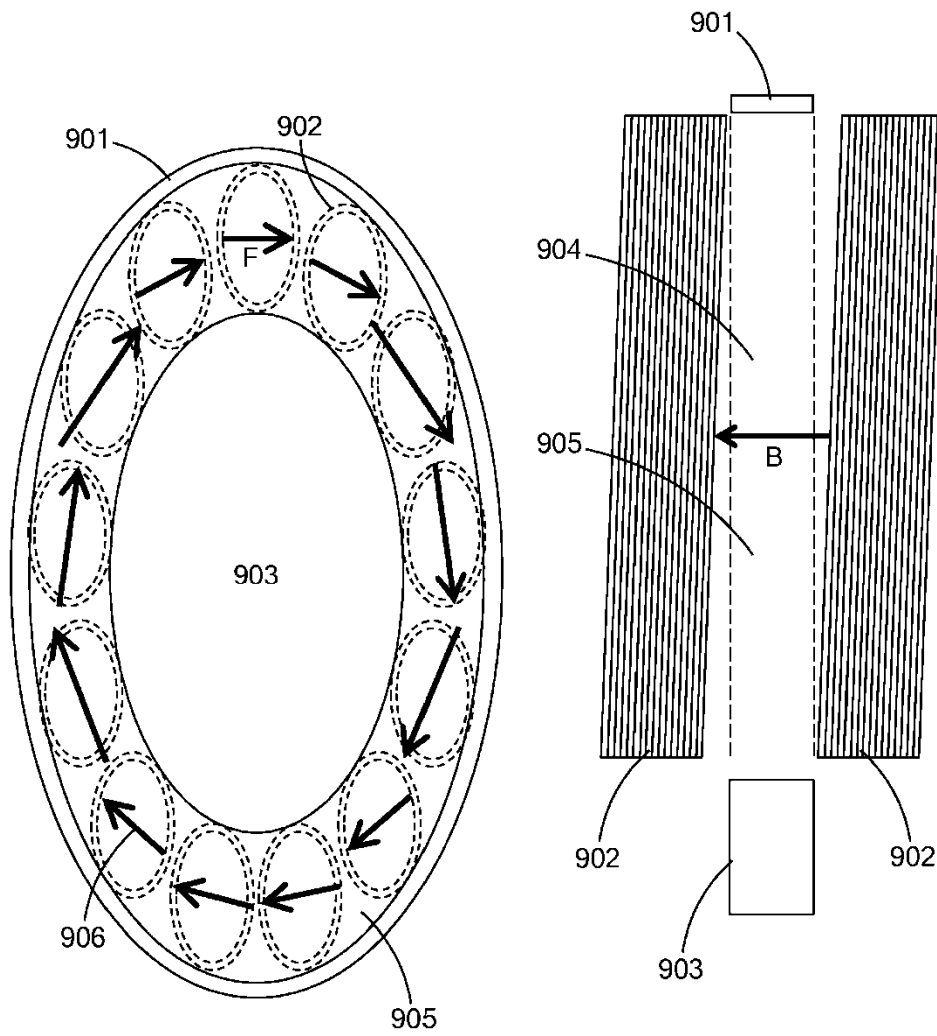


FIG. 9A

FIG. 9B

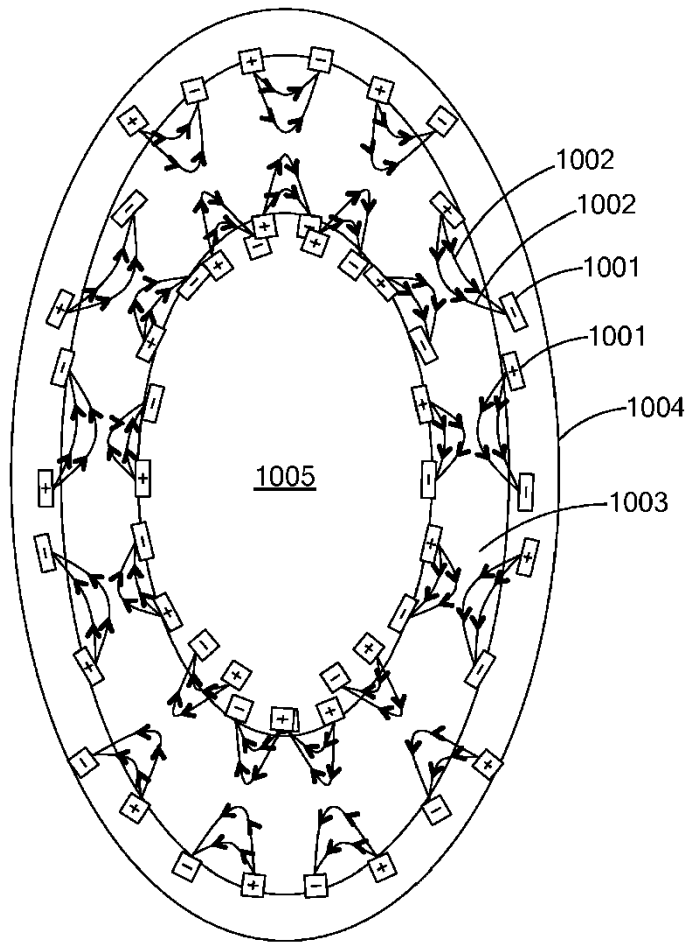


FIG. 10

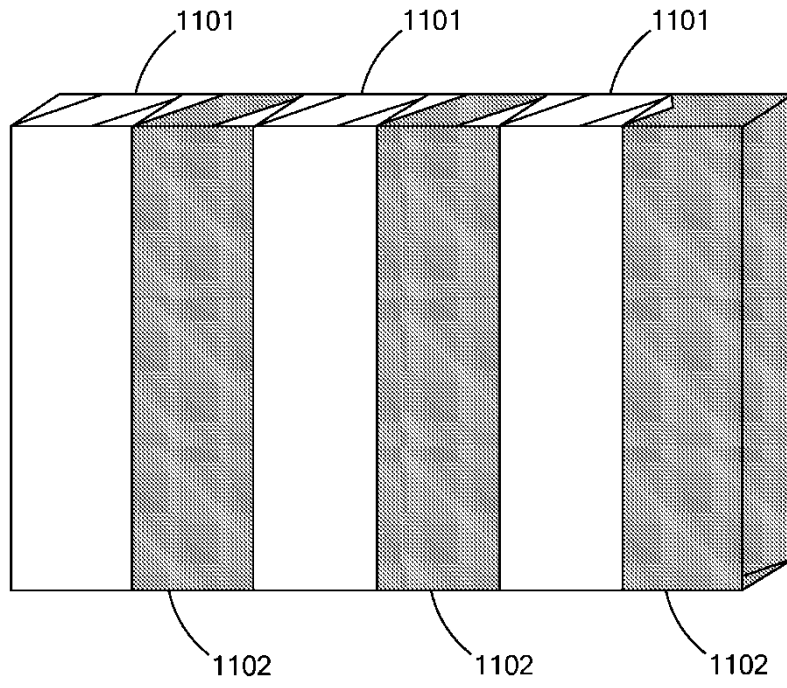


FIG. 11

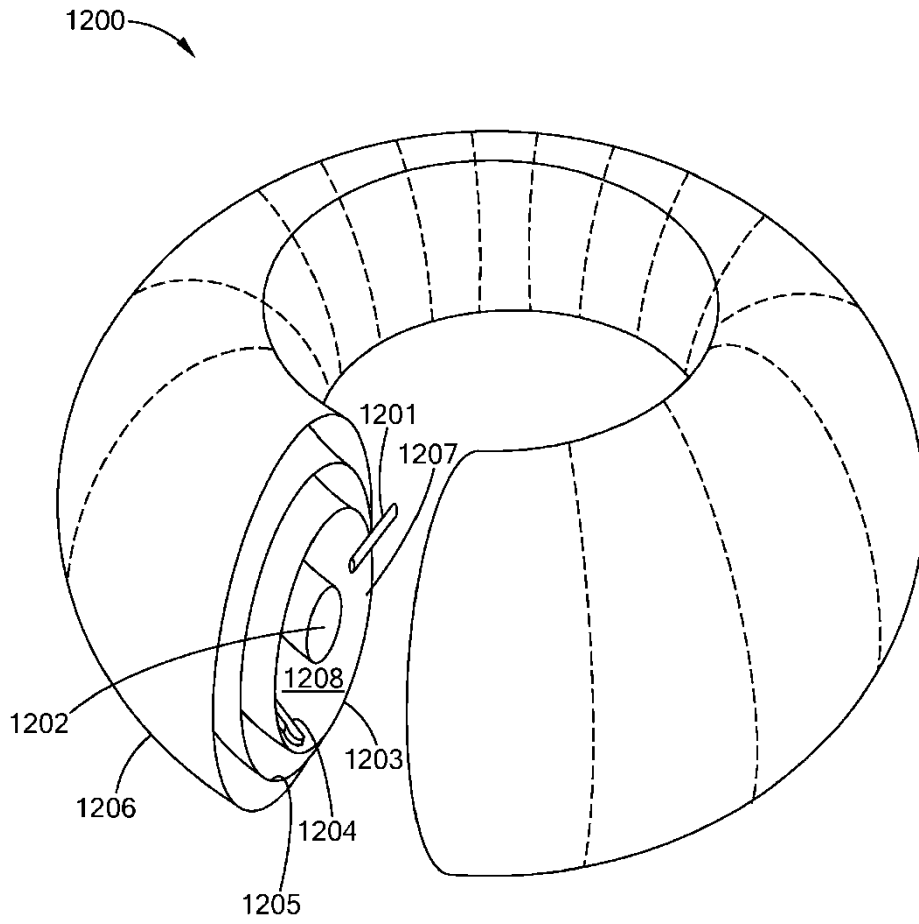


FIG. 12

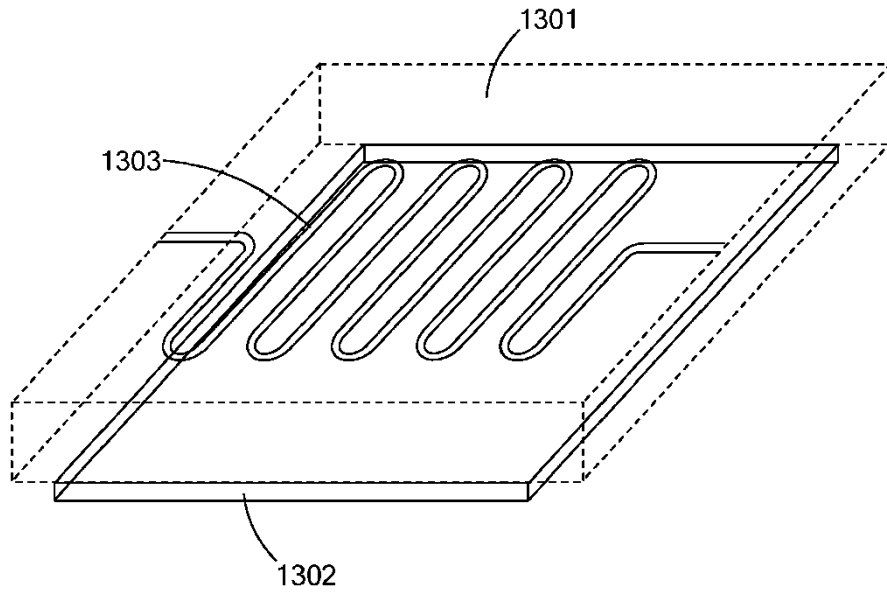


FIG. 13

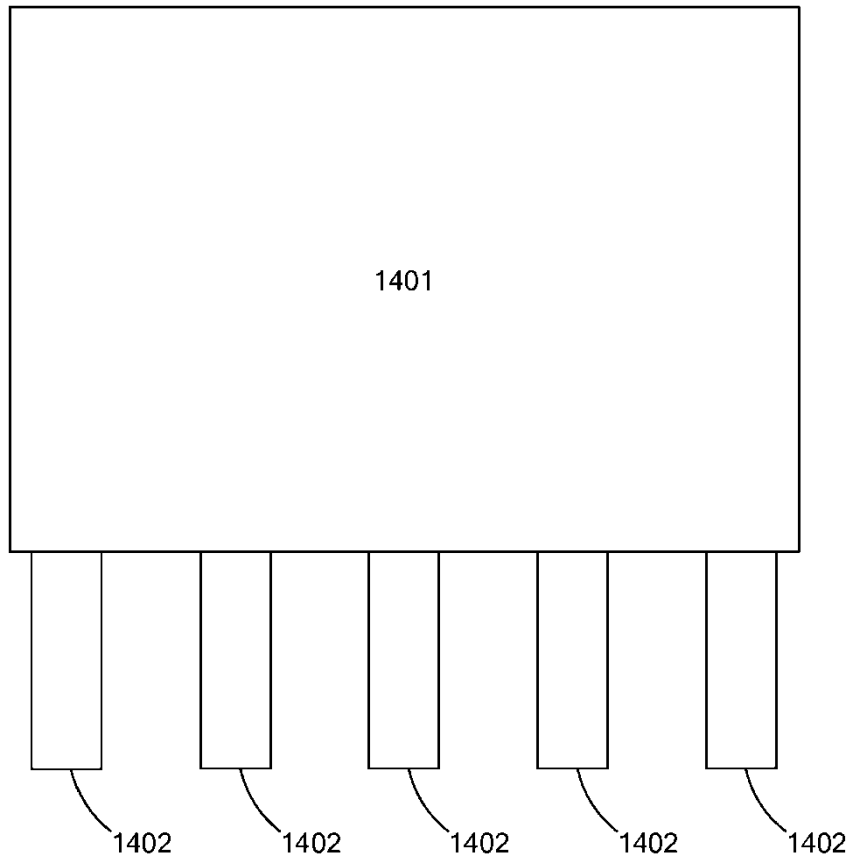


FIG. 14

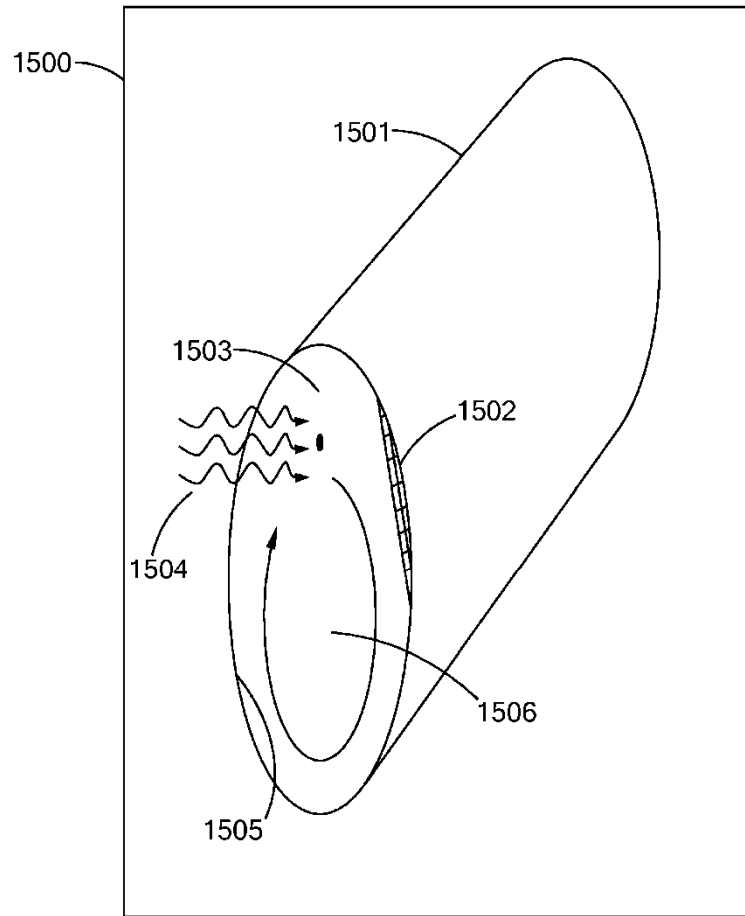


FIG. 15

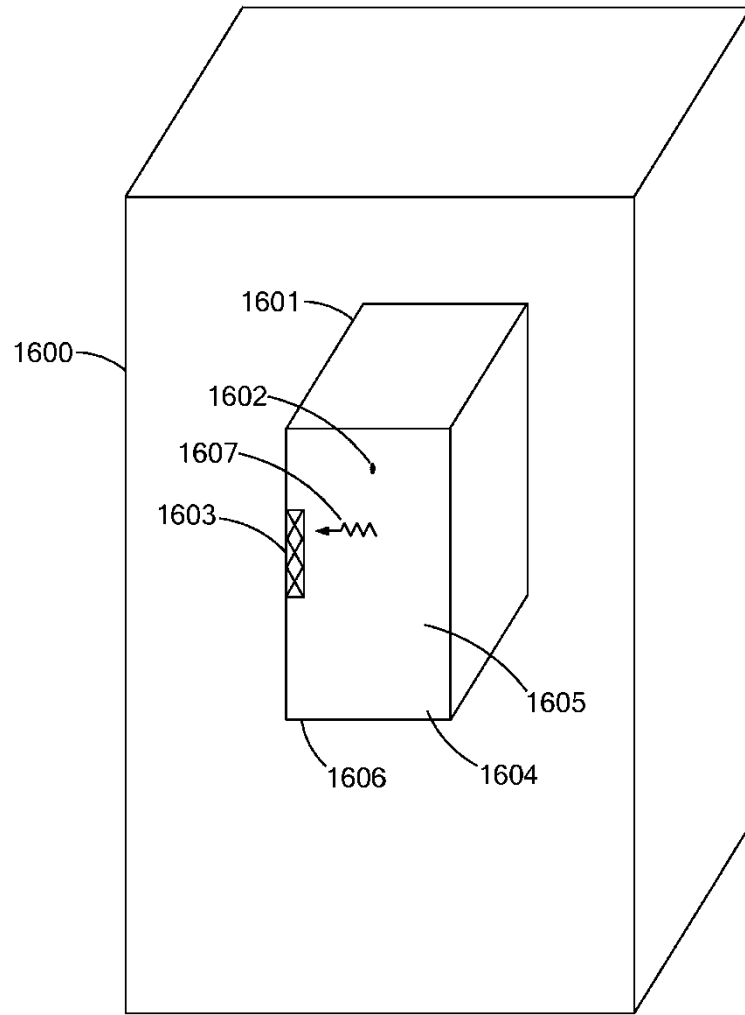


FIG. 16

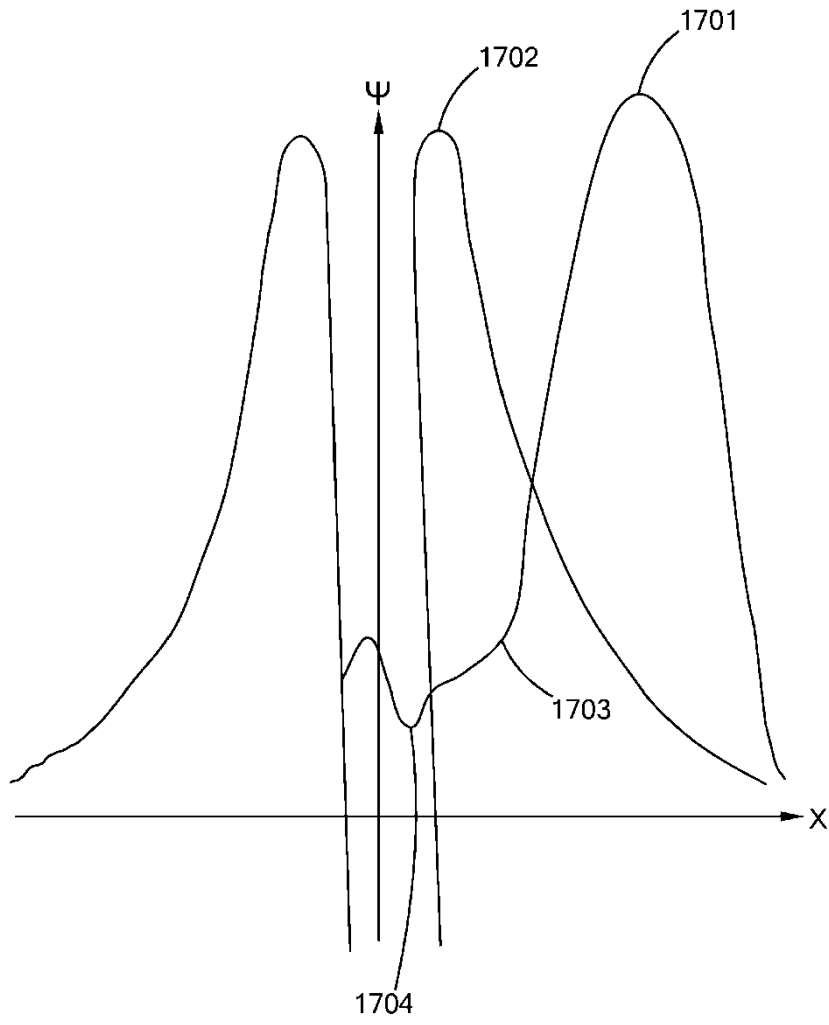


FIG. 17

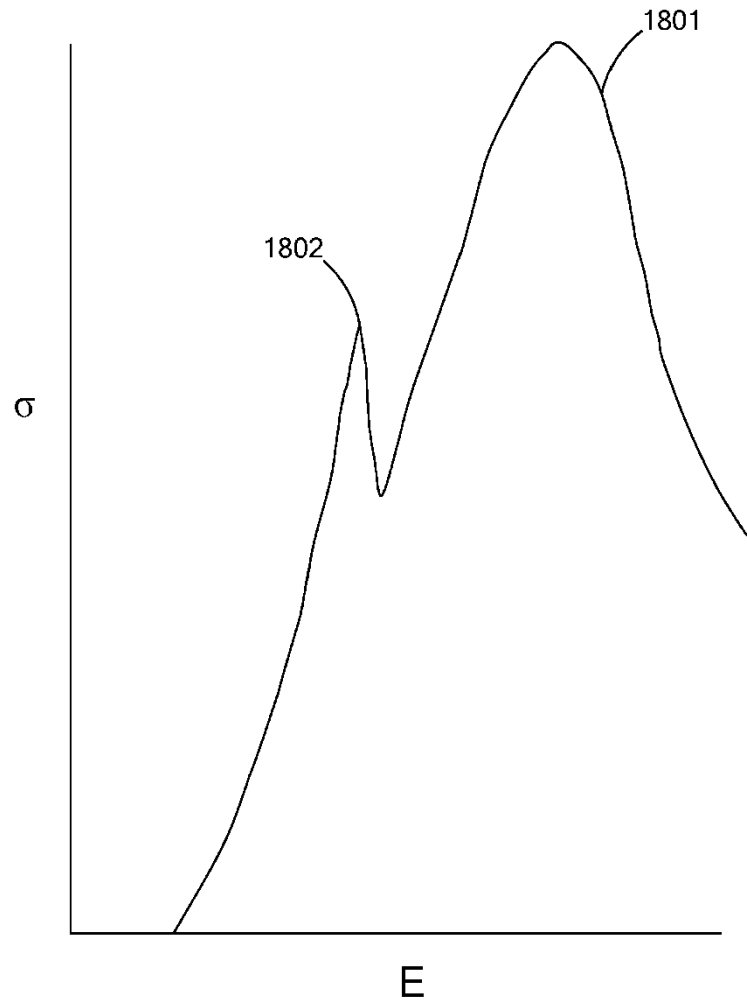


FIG. 18

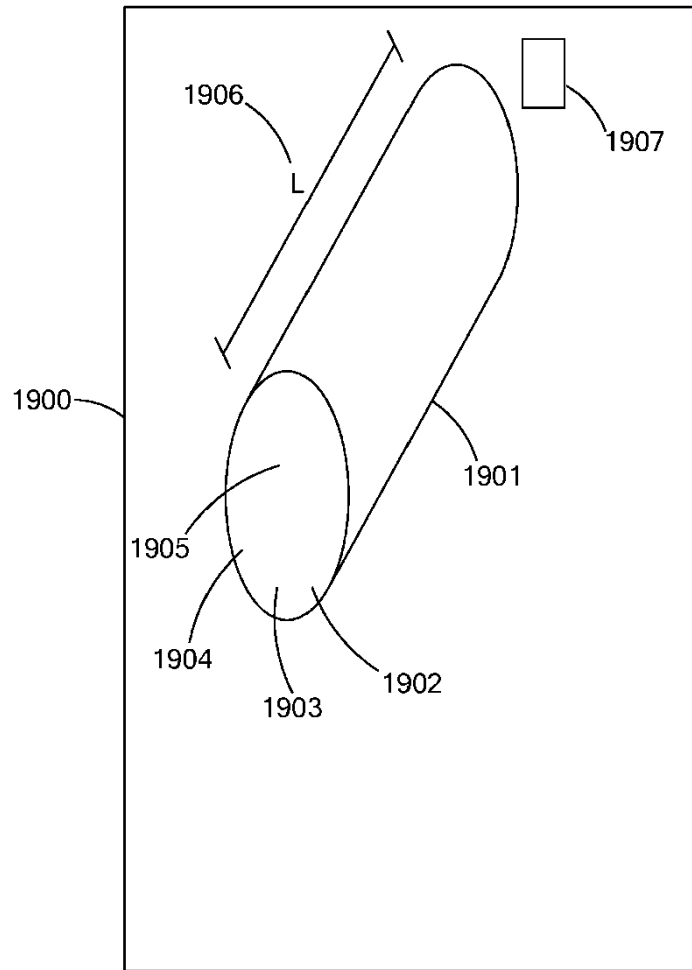


FIG. 19

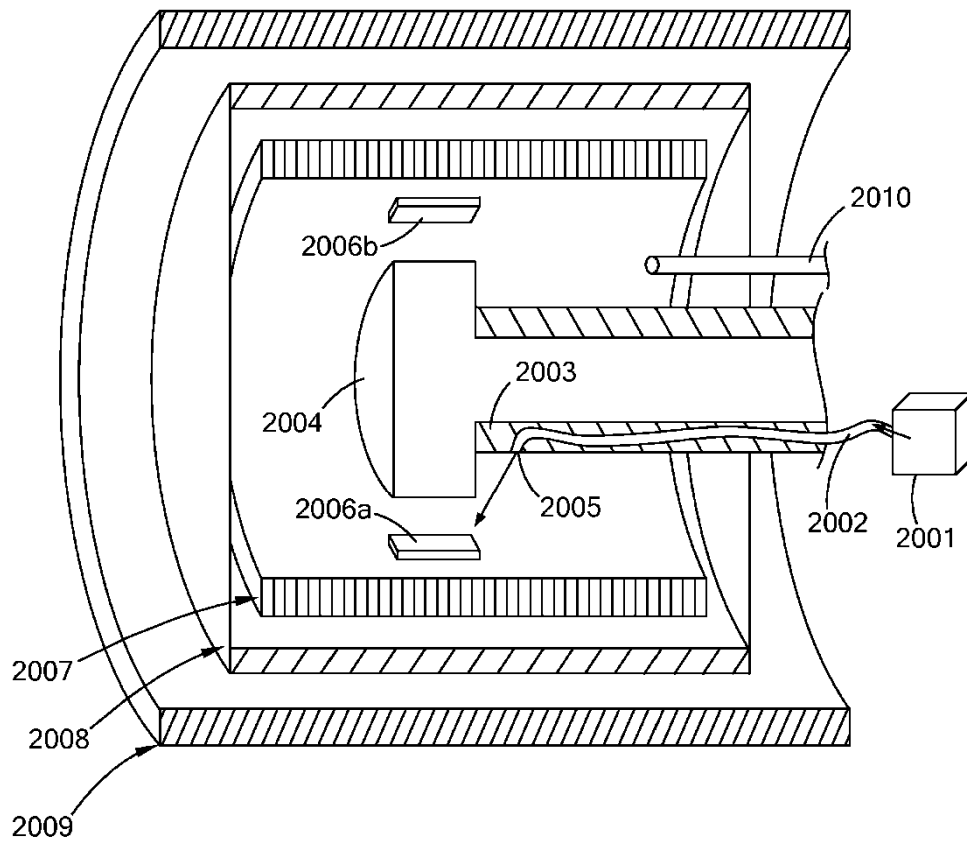


FIG. 20

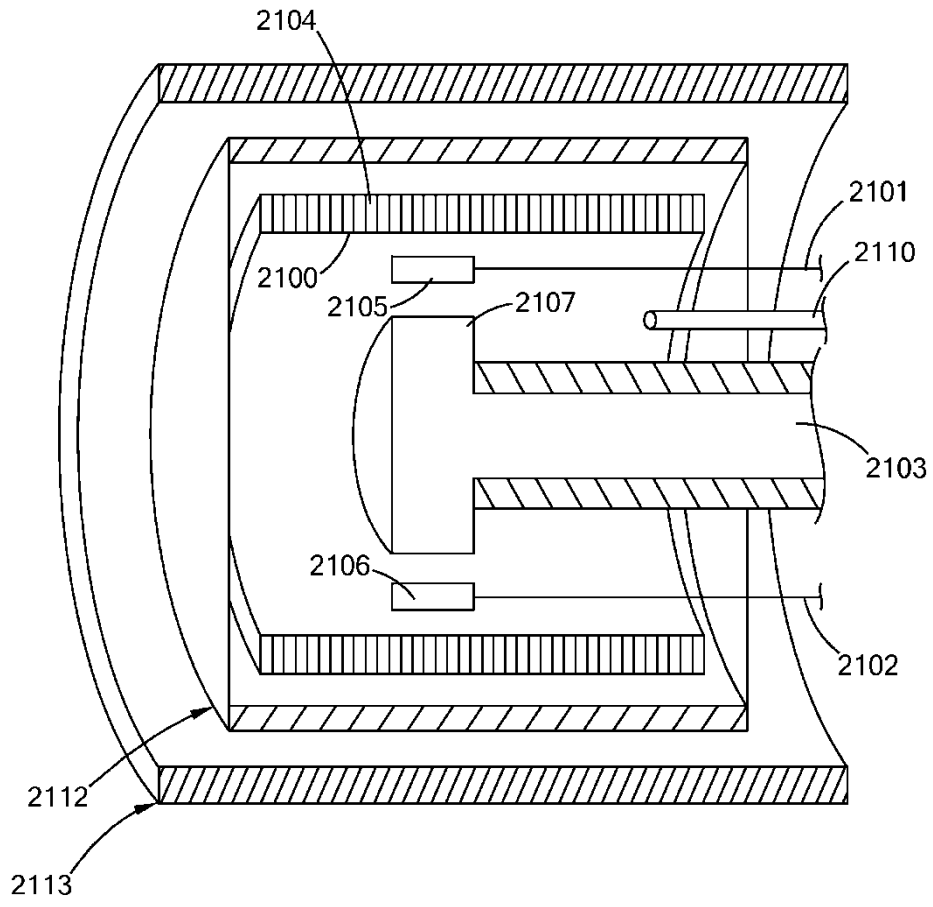


FIG. 21

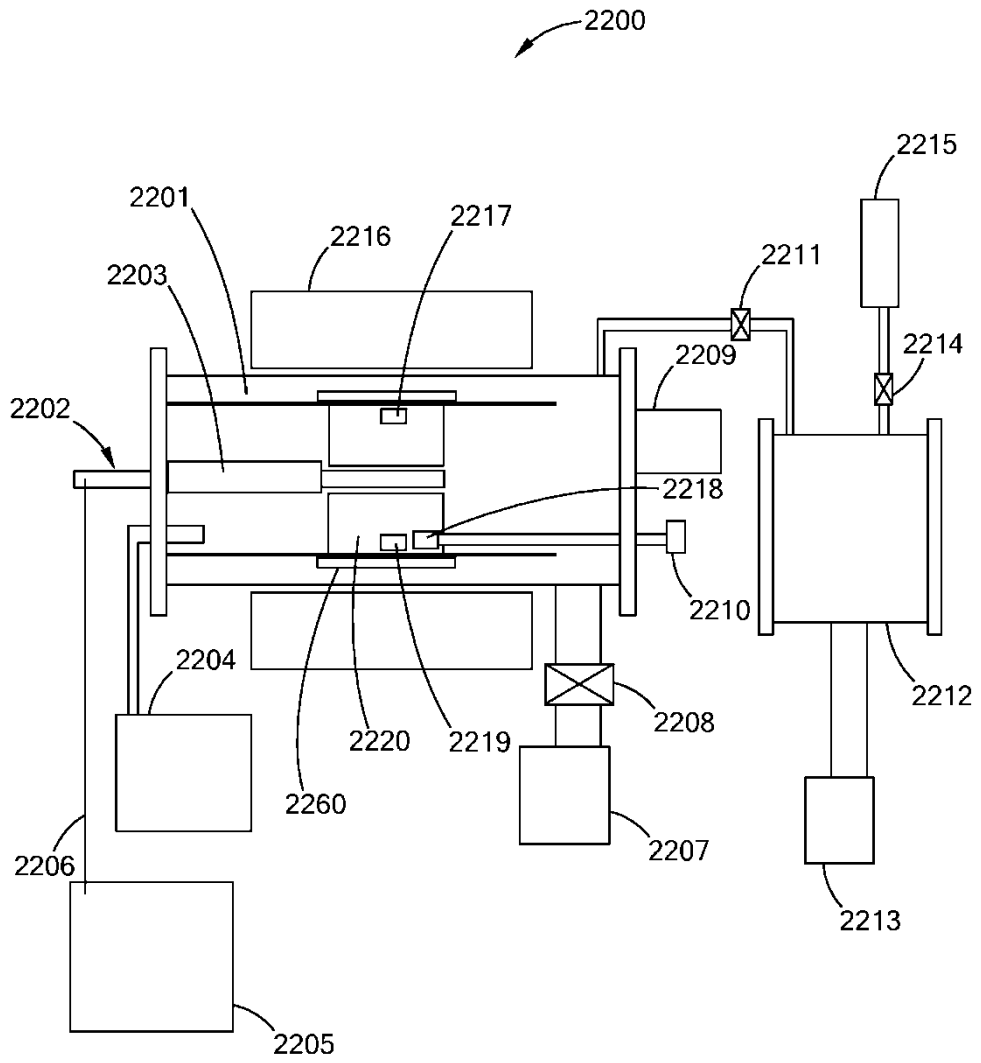


FIG. 22

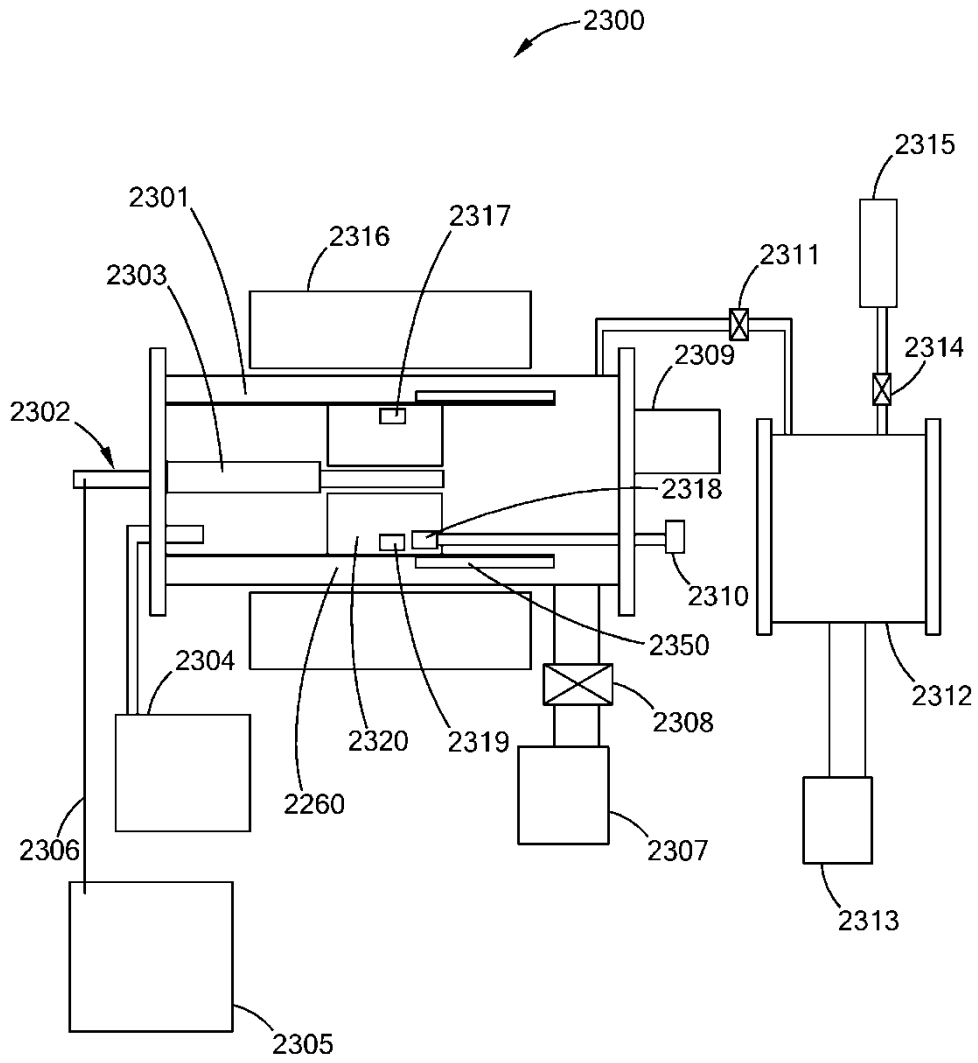


FIG. 23

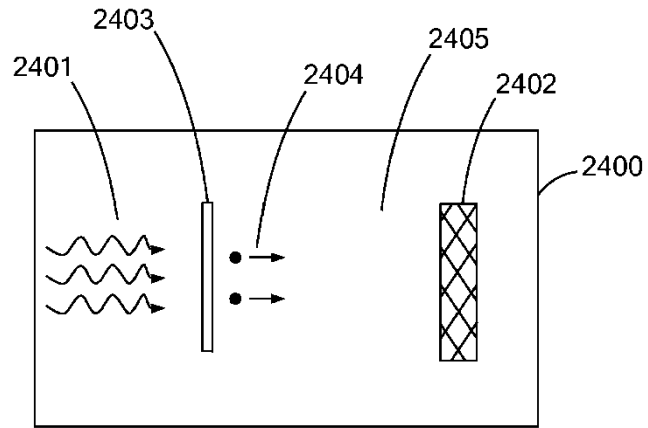


FIG. 24A

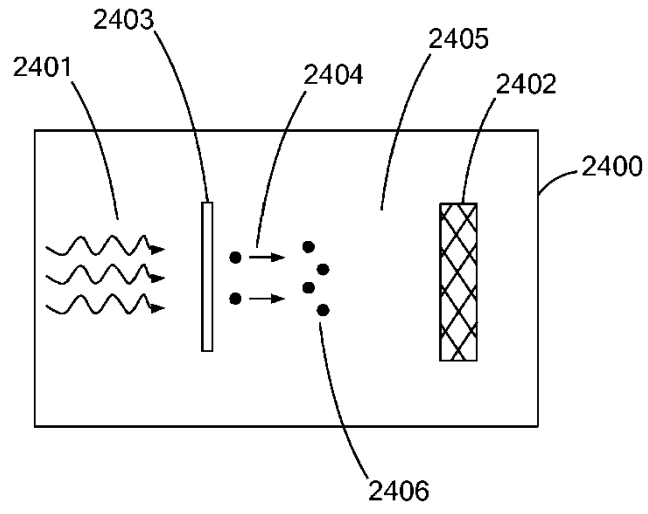


FIG. 24B

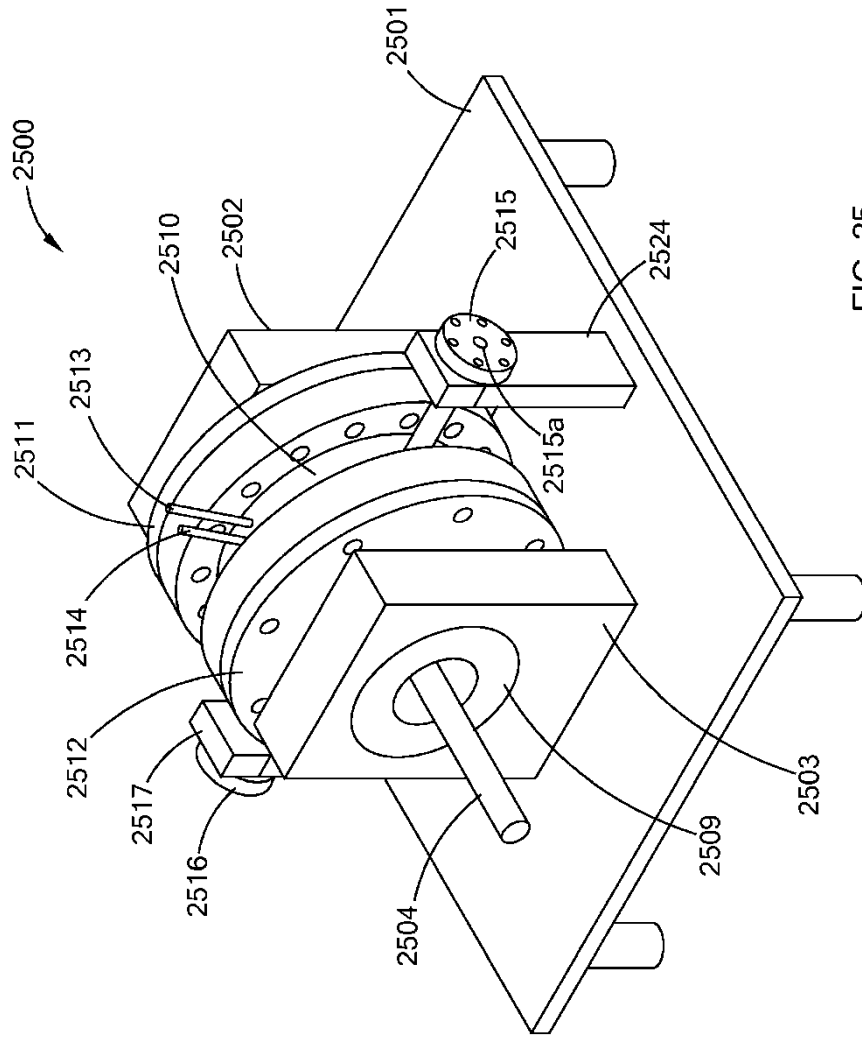


FIG. 25

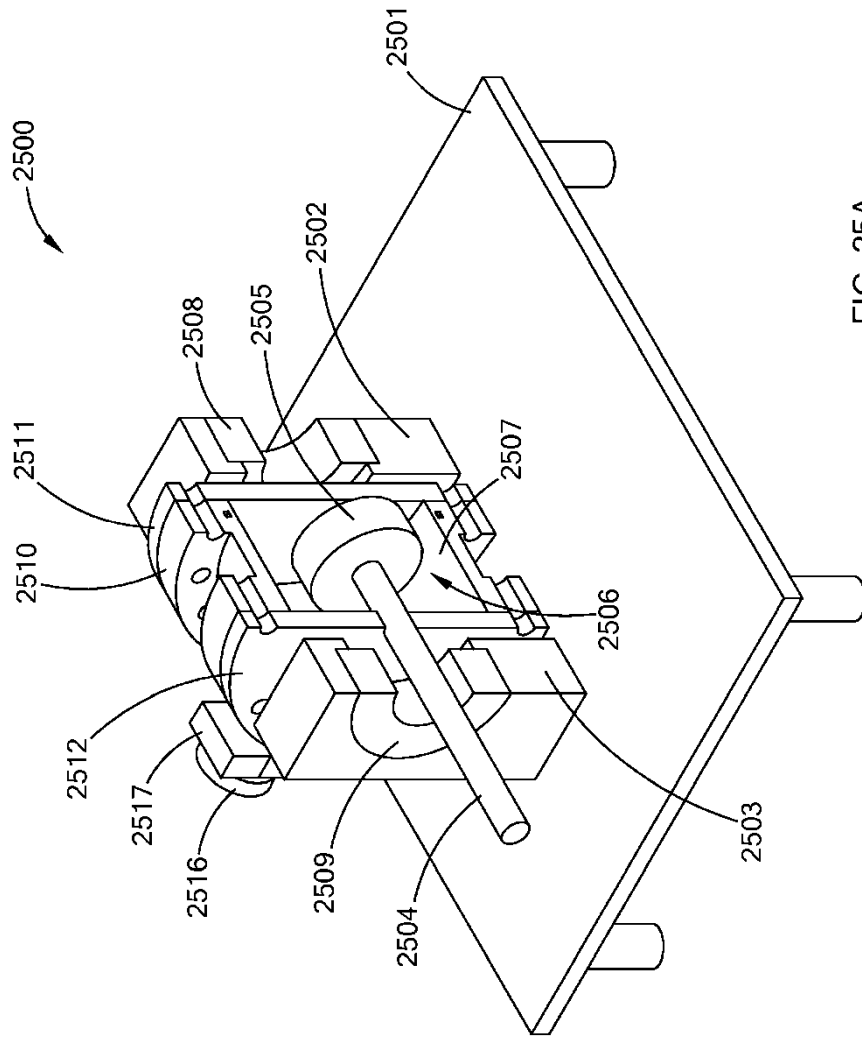


FIG. 25A

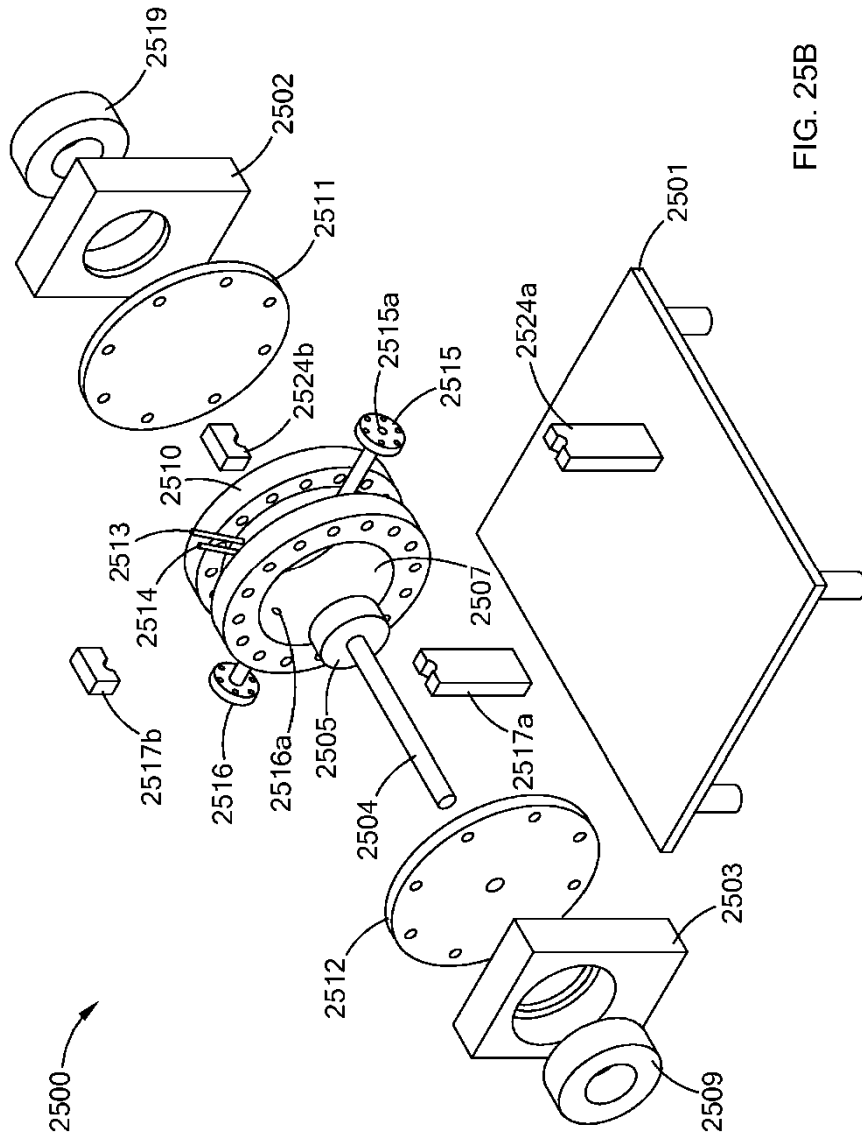


FIG. 25B

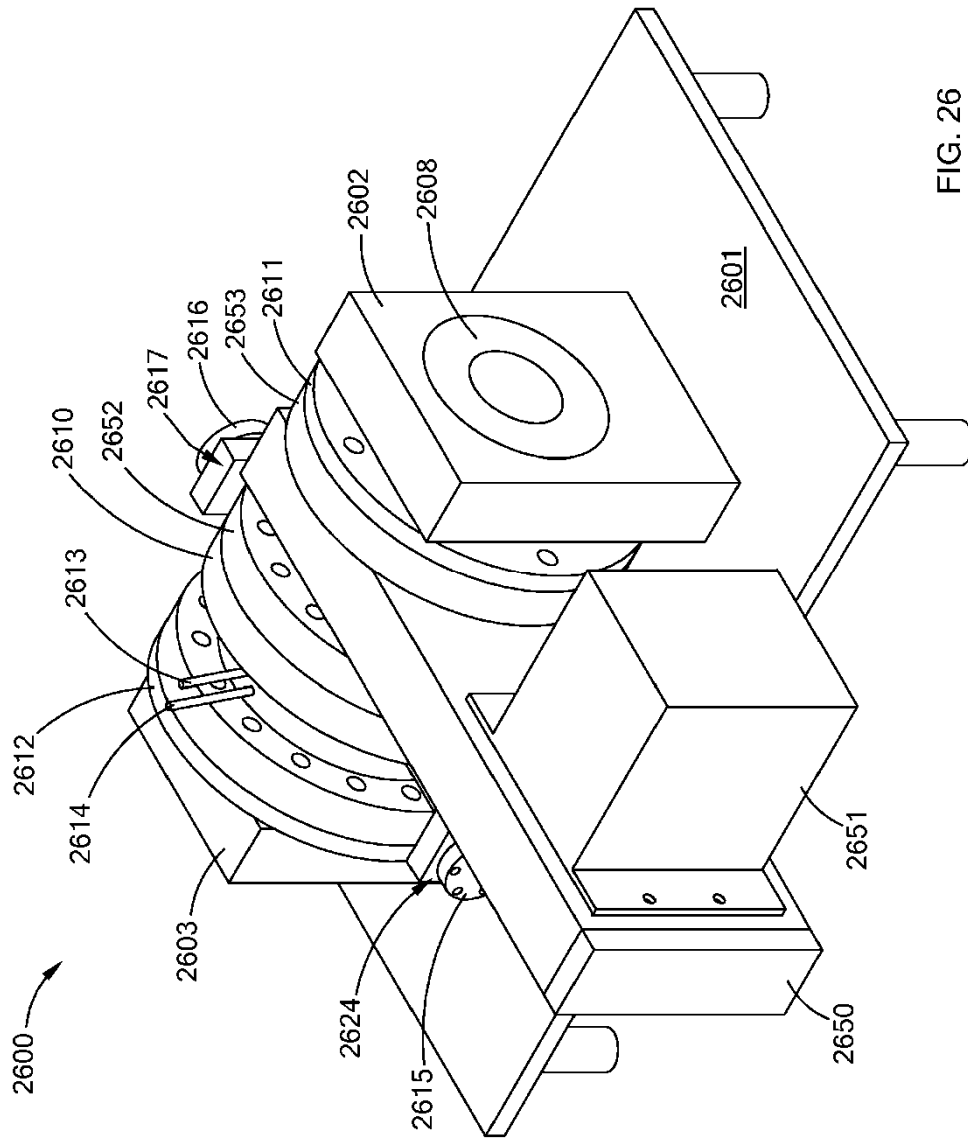


FIG. 26

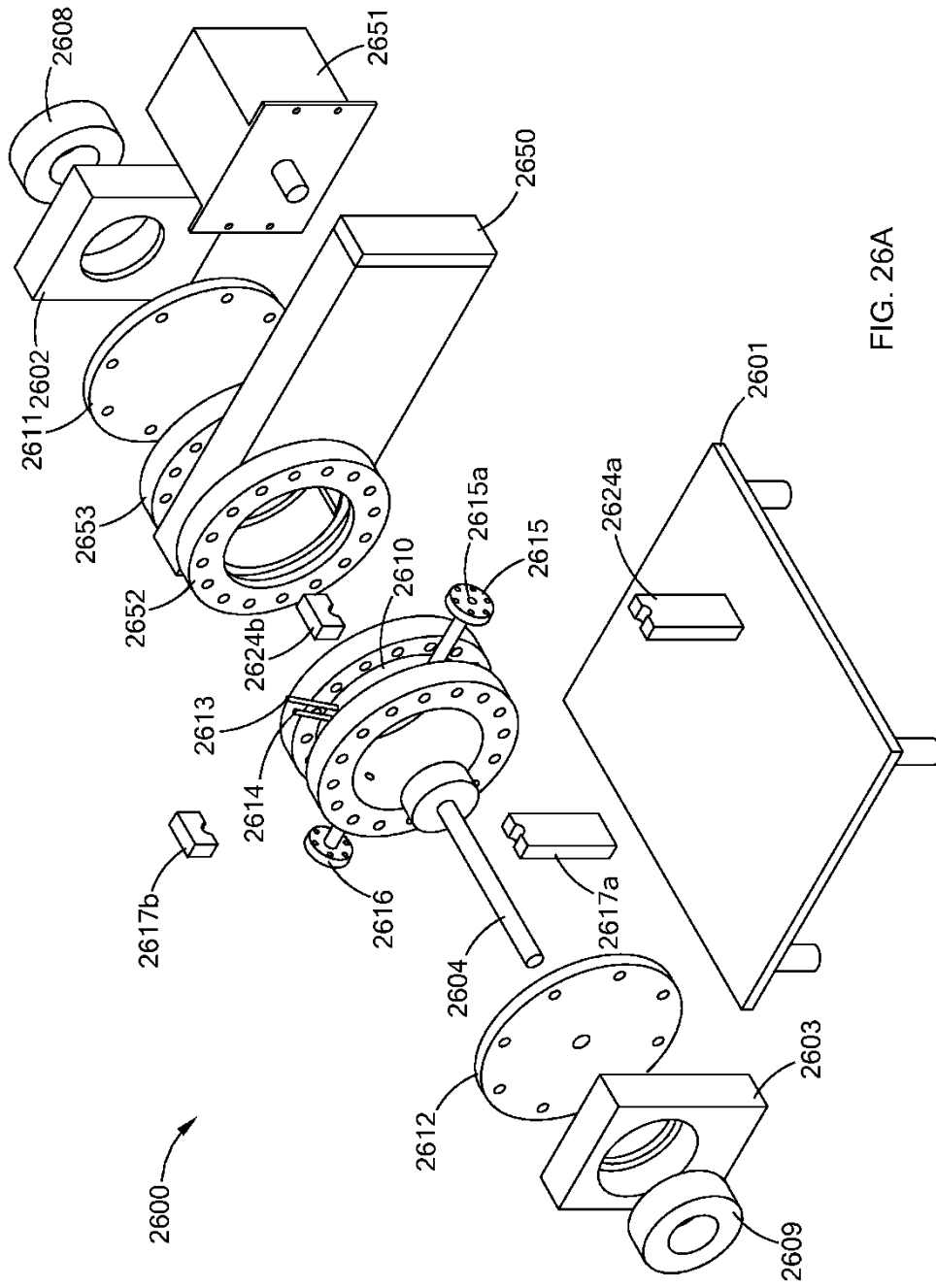


FIG. 26A

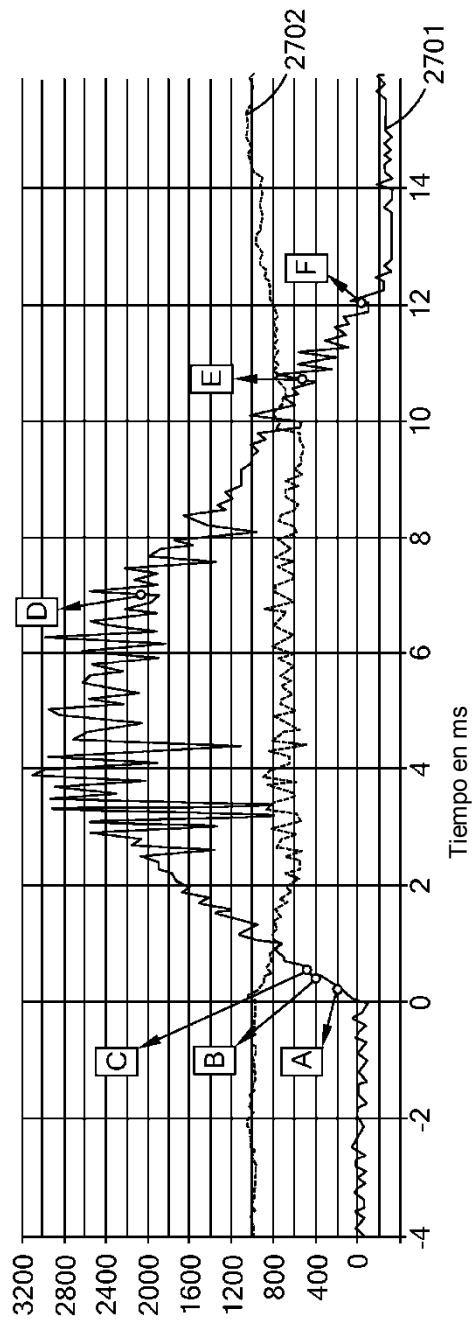


FIG. 27

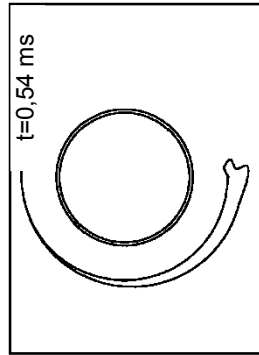


FIG. 27C

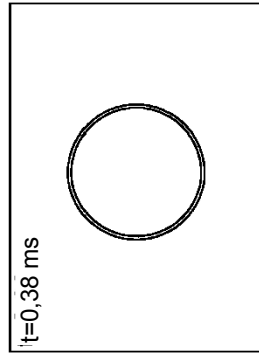


FIG. 27B



FIG. 27A

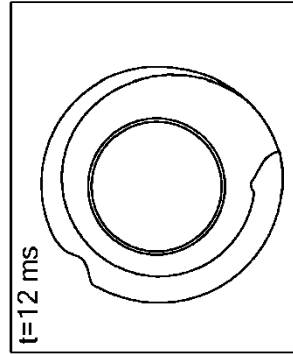


FIG. 27F

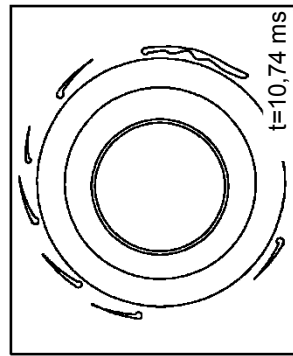


FIG. 27E

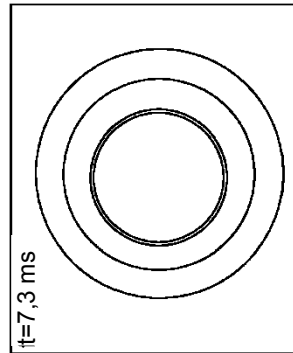


FIG. 27D

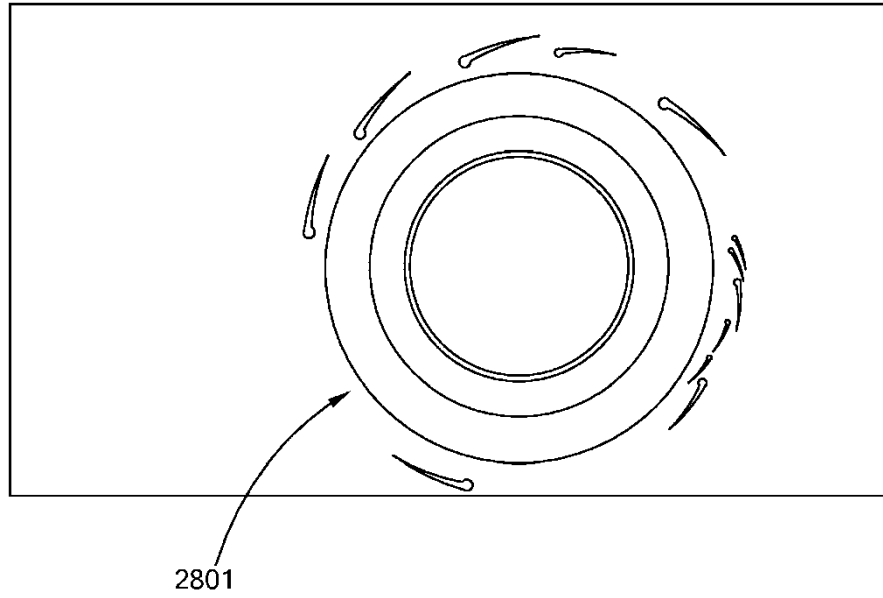


FIG. 28

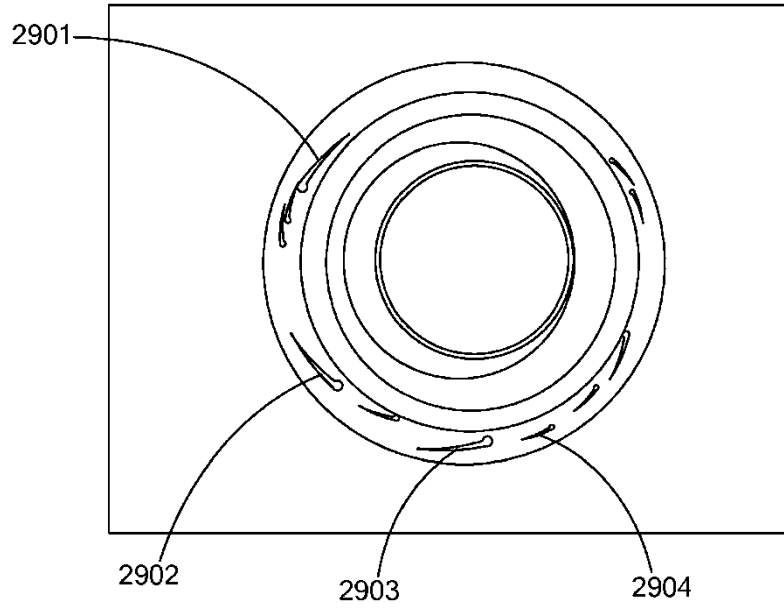


FIG. 29

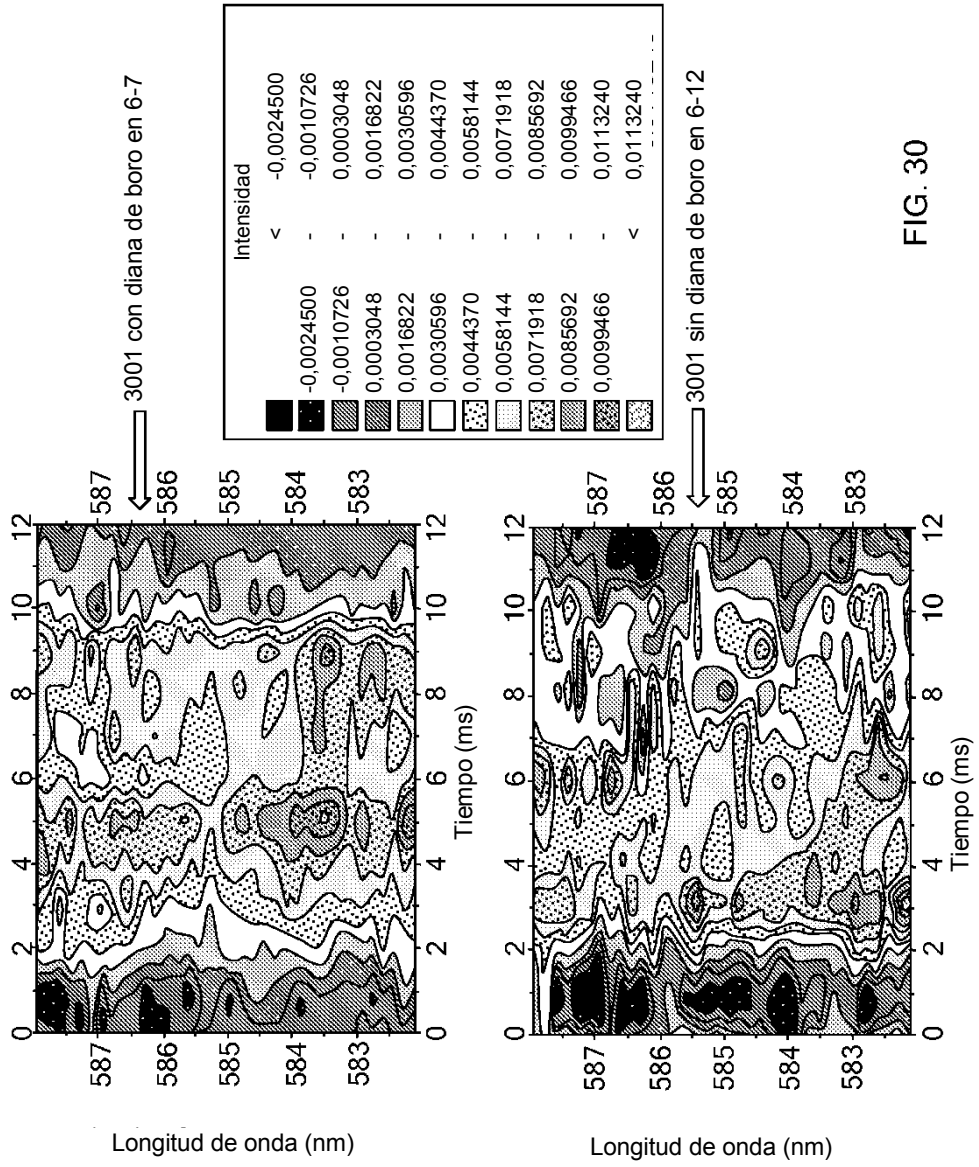


FIG. 30

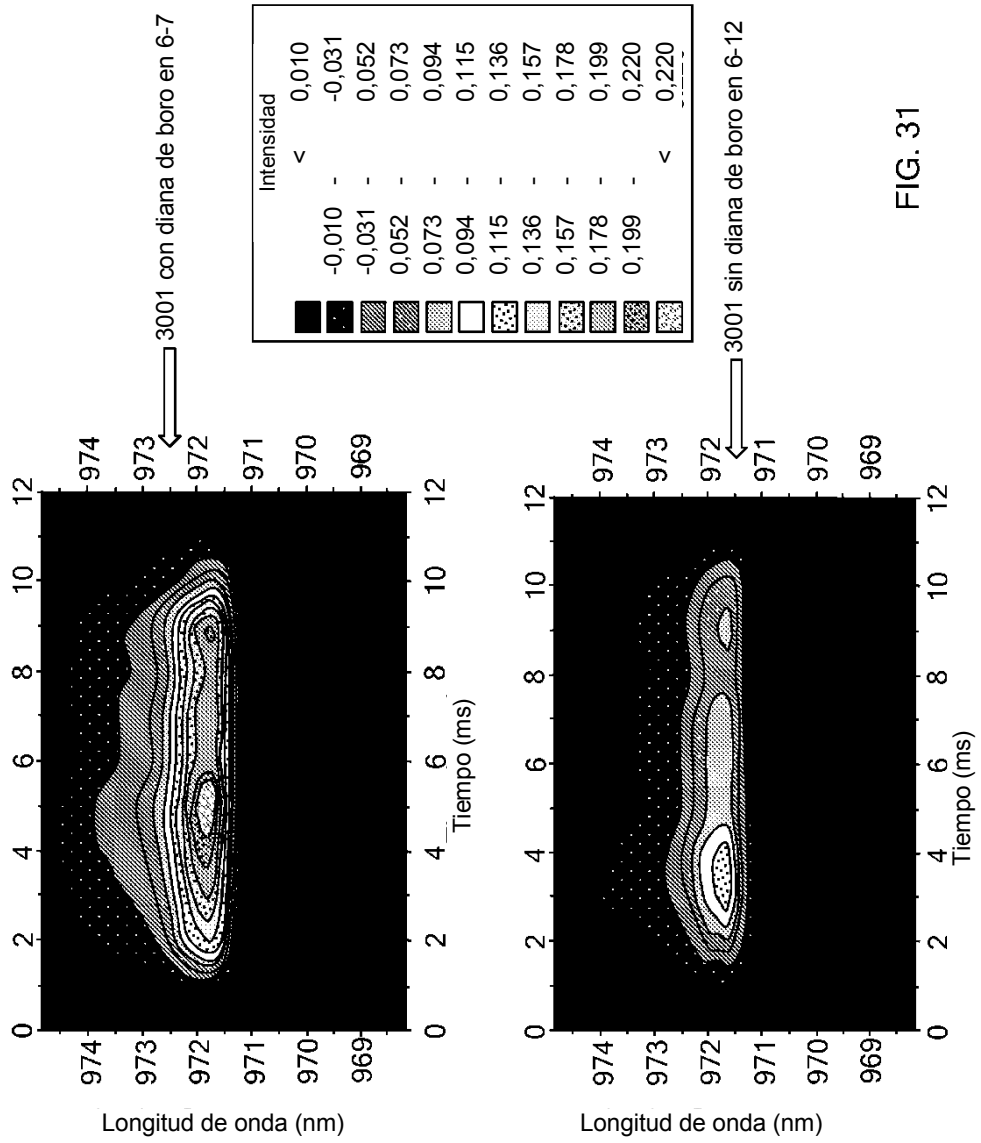


FIG. 31