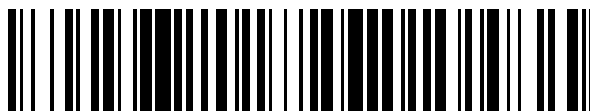


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 139**

51 Int. Cl.:

C12M 1/00 (2006.01)

F24J 2/06 (2006.01)

F24J 2/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2011 E 11788441 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2015 EP 2643448**

54 Título: **Fotobiorreactor solar con dilución controlada del flujo en volumen**

30 Prioridad:

25.11.2010 FR 1059761

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

26.06.2015

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (33.3%)
3, rue Michel Ange**

75016 Paris, FR;

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE CHIMIE DE
CLERMONT-FERRAND (33.3%) y
UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL CLERMONT II
(33.3%)**

72 Inventor/es:

CORNET, JEAN-FRANÇOIS;

GOETZ, VINCENT;

PLANTARD, GAËL;

GARCIA, ROGER;

LAFON, PASCAL y

JOYARD, FRÉDÉRIC

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 539 139 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

Fotobiorreactor solar con dilución controlada del flujo en volumen.

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al campo general de los fotorreactores. Más particularmente, la invención se refiere al campo de los fotobiorreactores y de los módulos de captación y de distribución de la luz solar para fotobiorreactores utilizados para la producción de microorganismos fotosintéticos.

10

Antecedente tecnológico

Hoy en día se utilizan dos técnicas para la producción de microorganismos fotosintéticos: las técnicas a cielo abierto (por ejemplo: piscinas abiertas) y las técnicas en reactor cerrado.

15

Las técnicas en reactor cerrado tienen la ventaja de permitir:

- el mantenimiento del cultivo de microorganismos fotosintéticos estériles, evitando así por lo menos las contaminaciones;
- el control estricto de las aportaciones de agua y de nutrientes;
- el control de la transferencia de dióxido de carbono y conjuntamente del pH, aumentando así la productividad de la superficie;
- el cultivo tiene concentraciones en biomasa elevadas, aumentando también así la productividad, pero también optimizando la compacidad, teniendo esto como resultado la disminución de los costes energéticos asociados a la circulación de los fluidos y al control térmico del reactor.

20

25

30

Las técnicas en reactor cerrado son generalmente realizadas por unos fotobiorreactores de captación directa de la luz del sol a través de una pared transparente.

35

Sin embargo, esta situación en la que se sufre la densidad de flujo solar directa incidente, conduce a funcionar con una eficacia termodinámica de conversión de la fotosíntesis muy baja. Estas técnicas necesitan por lo tanto una disponibilidad de superficie importante.

40

Se sabe también que utilizar unos fotobiorreactores para los cuales la luz del sol es capturada en primer lugar y después llevada al interior de los fotobiorreactores para ser distribuida a una baja densidad de flujo puede aumentar significativamente la eficacia termodinámica de la fotosíntesis, como en el documento WO 2007/134141. Esto aumenta aún más la productividad en superficie de los fotobiorreactores. La captación se puede realizar de diversas maneras y permite formar un haz que concentra la luz del sol. Este haz se reenvía después hacia una guía de luz para llevar el flujo luminoso dentro de la cámara de reacción del fotobiorreactor y ser distribuido.

45

Sin embargo, en tal fotobiorreactor, la guía o difusor no permite difundir de manera homogénea la luz en el interior del fotobiorreactor, disminuyendo así la eficacia del fotobiorreactor. Asimismo, la guía o difusor puede sufrir deterioros debidos a una subida en temperatura en su interior demasiado importante, haciéndolos a veces fundirse. Finalmente, la presencia de numerosas estructuras que difunden la luz dentro de la cámara de reacción puede ser el origen de los problemas de adhesión celular o bien de una mala mezcla que conlleva una pérdida de eficacia.

50

Presentación

Uno de los objetivos de la invención es paliar por lo menos un inconveniente de la técnica anterior.

55

En particular, la invención tiene por objetivo permitir una mejor eficacia de la captación directa del sol proponiendo un módulo de captación y de distribución de la luz del sol para un fotorreactor que comprende una cámara de reacción, comprendiendo el módulo:

- un concentrador dispuesto fuera de la cámara de reacción para concentrar la luz solar en un haz concentrado;
- un difusor para ser colocado en la cámara de reacción para introducir el haz concentrado en el interior de la cámara de reacción y difundir el haz concentrado en el interior de la cámara de reacción;

60

65

caracterizado por que el módulo comprende además un homogeneizador dispuesto entre el concentrador y el difusor, fuera de la cámara de reacción, para homogeneizar el haz concentrado antes de que el haz concentrado entre en el difusor.

Este módulo tiene como ventaja permitir la falta de homogeneización del haz concentrado por el concentrador sobre el difusor. En efecto, se ha descubierto que la homogeneidad de la difusión de la luz en el interior del fotorreactor se debía en parte a la falta de homogeneidad de la iluminación del difusor por el haz concentrado. En efecto, un haz concentrado tiene un perfil de densidad de flujo de forma gaussiana. Así, el centro del difusor recibe demasiada luz mientras que su periferia no recibe la suficiente. El centro del difusor puede entonces calentarse de manera excesiva y fundirse.

Otras características opcionales y no limitativas son:

- el módulo comprende además una guía de luz para guiar la luz del concentrador al difusor, estando la guía de luz dispuesta entre el homogeneizador y el difusor fuera de la cámara de reacción;
- el módulo comprende además un filtro cercano al infrarrojo para filtrar la luz del sol, de manera que la luz del sol esté exenta de radiaciones en infrarrojos cercanos;
- el concentrador es un concentrador de lente de Fresnel que comprende una lente de Fresnel que tiene un foco;
- el módulo puede comprender un sensor de espejo compuesto con un foco casi puntual dispuesto entre el concentrador de lente de Fresnel y el homogeneizador, y delante del foco de la lente de Fresnel para redirigir el haz concentrado;
- el concentrador es un concentrador de tipo Cassegrain;
- la guía de luz y el difusor forman un solo y mismo elemento compuesto de fibras ópticas;

poseyendo cada fibra óptica una parte de difusión, formando las partes de difusión de las fibras ópticas el difusor; y

poseyendo cada fibra óptica una parte de guiado, formando las partes de guiado de las fibras ópticas reunidas en un cable trenzado la guía de luz.

La invención propone también un panel de captación y de distribución de la luz del sol que comprende por lo menos dos módulos tales como se han descrito anteriormente, que comprende un concentrador de lente de Fresnel.

La invención propone también un fotorreactor, en particular fotobiorreactor que comprende una cámara de reacción, caracterizado por que comprende además un módulo o un panel tales como se han descrito anteriormente.

Una ventaja con tal fotorreactor está relacionada con la utilización del módulo de guiado de luz. Las ventajas del módulo son por lo tanto aportadas a tal fotorreactor. Además, gracias a la posibilidad de agrupar los módulos en panel, el fotorreactor puede tener unas dimensiones diversas y el número de módulos utilizados simplemente se adaptan.

Otras características opcionales y no limitativas de este fotorreactor son:

- las partes de difusión de las fibras ópticas del módulo o del panel están dispuestas tensadas y paralelas entre sí en el interior de la cámara de reacción según un enmallado triangular;
- el fotorreactor comprende además por lo menos tres rejillas dispuestas paralelamente la una encima de la otra, estando cada una formada por un marco y por cables tensados en el interior del marco paralelamente los unos de los otros según una dirección, formando la dirección de los cables de una rejilla con la dirección de los cables de una rejilla por encima un ángulo de $\pm 60^\circ$ con el fin de mantener las partes de difusión de las fibras ópticas según una malla triangular; y
- el fotorreactor comprende además un reactor de tipo airlift con bucle de recirculación externo y un retorno central para mezclar eficazmente el contenido de la cámara de reacción.

Presentación de los dibujos

Otras características, objetivos y ventajas aparecerán con la lectura de la descripción detallada siguiente, en referencia a los dibujos dados a título ilustrativo y no limitativo, entre los cuales:

- la figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de fotobiorreactor de la invención;
- la figura 2 es una vista de tres cuartos de un primer modo de realización de un módulo de guiado de luz con un concentrador de lente de Fresnel para un fotobiorreactor;

- la figura 3 es una vista en sección del módulo de la figura 1;
- la figura 4 es una vista de tres cuartos de un panel compuesto de varios módulos de la figura 1;
- la figura 5 es una vista en tres cuartos de un conjunto fotobiorreactor y panel de tipo panel de la figura 4;
- la figura 6 es una vista en tres cuartos de un conjunto fotobiorreactor y módulo de guiado de luz según un segundo modo de realización con un concentrador Cassegrain;
- la figura 7 es una vista parcial en tres cuartos de un modo de realización de un homogeneizador utilizado en los módulos representados en las figuras 1 a 6;
- la figura 8 es una vista de cerca de un agrupamiento de fibras ópticas en un cable trenzado tal como se utiliza con los módulos de las figuras 1 a 6;
- la figura 9 es una vista en tres cuartos de una rejilla para ser colocada en el interior de la cámara de reacción de un fotobiorreactor para una distribución paralela de las fibras ópticas en malla triangular;
- la figura 10 es una vista del interior de la cámara de reacción en la que cinco rejillas de la figura 9 son utilizadas para distribuir las fibras ópticas;
- la figura 11 es una vista en tres cuartos y parcialmente recortada de un sensor utilizado en los módulos de las figuras 1 a 5;
- la figura 12 es una vista en tres cuartos de un ejemplo de seguidor del sol utilizado con los módulos de las figuras 1 a 6;
- la figura 13 es una vista en sección transversal de una cámara de reacción entre dos rejillas y que muestra la distribución de las fibras ópticas según una malla triangular en el interior de la cámara de reacción.

Descripción detallada

Módulo de captación y de distribución de la luz del sol

En referencia a las figuras 1 a 6 y 10, se describe a continuación un módulo 2 de captación y de distribución de la luz solar para un fotobiorreactor.

El módulo 2 tiene como papel captar un flujo luminoso que proviene de la luz del sol y transportarlo al interior de un fotobiorreactor 1 que comprende una cámara 11 de reacción, y distribuir el flujo luminoso captado de la manera más homogénea posible en la cámara 11 de reacción.

La cámara 11 de reacción es un espacio interior del fotobiorreactor 1 en el que están dispuestos los microorganismos en cultivo en una solución. Los microorganismos reciben en ella el flujo luminoso y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

El módulo 2 comprende un concentrador 21 para concentrar el flujo luminoso que proviene de la luz del sol en un haz concentrado 5. El concentrador 21 puede tener varios modos de realización, que se describirán más adelante.

El módulo 2 comprende también un difusor 24 para ser colocado en el interior de la cámara 11 de reacción para difundir el flujo luminoso del haz concentrado 5.

El módulo 2 comprende también una guía de luz 23, para ser colocada en el exterior de la cámara 11 de reacción, para conducir el flujo luminoso del haz concentrado 5 desde el concentrador 21 al difusor 24.

El flujo luminoso del haz concentrado 5 puede ser muy elevado en una zona próxima al centro del haz concentrado 5. En la mayoría de los casos, el flujo luminoso del haz concentrado 5 posee un perfil gaussiano.

Cuando el haz concentrado 5 entra en la guía de luz 23, esta zona de flujo luminoso elevado puede dañar, incluso destruir, la guía de luz 23 y también el difusor 24. En el caso de fibras ópticas 25 que desempeñan el papel de guía de luz 23 y de difusor 24, como se describe a continuación, la zona de flujo luminoso elevado puede fundir las fibras ópticas 25.

Con el fin de evitar el daño de la guía de luz 23 y/o del difusor 24, el módulo 2 comprende también un homogeneizador 22 para homogeneizar el flujo luminoso del haz concentrado 5 sobre la guía de luz 23.

El homogeneizador 22 permite uniformizar el flujo luminoso del haz concentrado 5 aplanando su perfil. Así se evita también el riesgo de sobrecalentamiento en la zona de flujo luminoso elevado del haz concentrado 5.

El homogeneizador 22 se puede realizar en forma de una varilla óptica. La uniformización del perfil de la densidad de flujo de la luz del haz concentrado 5 se obtiene mediante múltiples reflexiones, casi totales, que realizan los rayos del haz concentrado 5 en el interior de la varilla óptica 22 antes de salir. En efecto, los rayos del haz concentrado 5 entran en la varilla óptica 22 con unos ángulos diferentes, y siguen unos caminos ópticos diferentes en el interior de la varilla óptica 23. La longitud y la forma de la varilla óptica 22 pueden variar. Por ejemplo, la varilla óptica 22 es de forma paralelepípedica o piramidal. La varilla óptica 22 puede también ser un cilindro recto de base hexagonal (véase la figura 7).

La varilla óptica 22 se puede realizar de vidrio de calidad óptica, por ejemplo de tipo BK7.

Se describe a continuación un modo particular de realización de la guía de luz 23 y del difusor 24.

En este modo particular de realización, la guía de luz 23 y el difusor 24 están formados por un conjunto de fibras 25 ópticas, por ejemplo de polimetacrilato de metilo (PMMA) que permiten soportar unas temperaturas de calentamiento del difusor que van como máximo hasta 80°C aproximadamente.

Cada fibra 25 posee una parte de guiado 25-23 y una parte de difusión 25-24. El conjunto de las partes de guiado 25-23 de las fibras ópticas 25 forma entonces la guía de luz 23 y el conjunto de las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 forma el difusor 24.

Las fibras ópticas entran en la cámara 11 de reacción por medio de una tapa 13 que asegura la estanqueidad sobre cada fibra óptica 25.

El haz concentrado 5 entra por el extremo libre de la parte de guiado 25-23 de las fibras ópticas 25 y emerge de manera difusa a lo largo de la parte de difusión 25-24. La parte de difusión 25-24 de las fibras ópticas se trata por lo menos parcialmente y de manera ventajosa totalmente para conferirle unas propiedades difusivas.

La parte de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 se puede tratar además rodeando con una envoltura individual de plástico que sirve para permitir la difusión del flujo luminoso en la solución acuosa. Así, se mantiene una capa de aire entre la envoltura individual de plástico y las rugosidades de la parte de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 ocasionadas por el tratamiento láser, lo que permite una difusión del flujo luminoso en los líquidos, cuando el material utilizado para las fibras ópticas 25 no lo permite. La envoltura de material plástico se trata en sus extremos para ser estanca. A nivel de la tapa 13 del fotobiorreactor 1, las envolturas individuales están sobremoldeadas por una resina con el fin de solidarizarlas y sellar la tapa 13.

La parte de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 tiene entonces la propiedad de difundir la luz radialmente sobre toda su longitud desempeñando el papel de difusor 24.

La ventaja de utilizar unas fibras ópticas 25 se encuentra en que pueden ser distribuidas de manera óptima en el interior de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1, como se describe a continuación. Además, la utilización de fundas individuales de plástico más rígido que el material de las fibras ópticas 25 permite un posicionamiento de las partes de difusión 25-24 más fácil en el interior de la cámara 11 de reacción cuando las fibras ópticas 25 son demasiado flexibles.

Las partes de guiado 25-23 de las fibras ópticas 25 pueden ser ensambladas en un cable trenzado 26 (véase la figura 8), estando individualizadas las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 en el interior de la cámara 11 de reacción.

Unas rejillas 2g pueden estar previstas para ser colocadas de manera regular en el interior de la cámara 11 de reacción.

Por ejemplo, cuando el fotobiorreactor 1 es de forma general cilíndrica de sección recta en forma de disco y cuya longitud está posicionada según la vertical, cada rejilla 2g está ventajosamente formada por un marco 2g1 circular y por cables 2g2 paralelos tensados en el interior del marco 2g1, y cuyos extremos están fijados al marco 2g1 circular. El marco 2g1 tiene más o menos las dimensiones de la sección recta de la cámara 11 de reacción también cilíndrica.

El marco 2g1, que aquí arriba es circular, puede tener otra forma que se adapta a los bordes de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor considerados.

Estas rejillas 2g permiten obtener un enmallado triangular de las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25, como se explicará a continuación.

El módulo 2 puede comprender además un filtro 27 cercano al infrarrojo para filtrar las longitudes de onda de

infrarrojo y/o cercano al infrarrojo de la luz solar o del haz concentrado 5.

El filtro 27 permite evitar la entrada de radiación en el campo del infrarrojo cercano (700 nm y más allá) que es innecesaria para la fotosíntesis de los microorganismos (sólo la luz visible, entre 400 y 700 nm, es útil) y que puede conllevar un aumento excesivo de la temperatura dentro de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1. El aumento de la temperatura en la cámara 11 de reacción, más allá de un cierto umbral, puede matar a los microorganismos. El aumento de la temperatura puede también tener lugar en el difusor 24 y por lo tanto deteriorarlo; así, la utilización de un filtro 27 disminuye aún más el riesgo de deterioro del difusor 24.

10 Concentrador de lente de Fresnel

* *Módulo*

15 En un primer modo de realización particular del módulo 2 descrito anteriormente e ilustrado en las figuras 2 y 3, el concentrador 21 puede estar constituido por una lente convergente. La lente convergente puede ser una lente de Fresnel.

20 La utilización de una lente de Fresnel permite obtener un concentrador 21 ligero y fácil de implantar. La utilización de una lente de Fresnel permite también reducir los costes de fabricación del módulo 2. Una lente de Fresnel permite también unos porcentajes de concentración de varios centenares. El tamaño de una lente de Fresnel puede estar comprendido desde varios milímetros hasta varias decenas de centímetros.

25 Un seguidor de sol 4 (véase la figura 12) está también previsto para dirigir los rayos de sol hacia el concentrador 21 de lente de Fresnel. El seguidor de sol 4 está posicionado enfrente del concentrador 21 de lente de Fresnel. El seguidor de sol 4 comprende un espejo 41 cuya inclinación es orientable gracias a un regulador de inclinación 42 y cuyo plano de superficie intersecta horizontalmente el plano medio de la lente de Fresnel del concentrador 21.

30 Un sensor 29 a espejo compuesto con foco casi puntual (o "*compound parabolic concentrator*" en inglés) ilustrado en la figura 11 puede ser previsto para redirigir los rayos que provienen de la lente de Fresnel. El sensor 29 está colocado justo delante del foco de la lente de Fresnel, entre la lente de Fresnel y el homogeneizador 22.

35 El sensor 29 de espejo compuesto con foco casi puntual presenta una simetría de revolución y comprende una abertura de entrada 291 y una abertura de salida 292 centradas en su eje de revolución 293. La forma geométrica del sensor 29 está construida en base a un arco de parábola y asegura la redirección de cualquier rayo que entra en la abertura de entrada 291 hacia la abertura de salida 292, y por lo tanto hacia el homogeneizador 22. La utilización de tal sensor 29 permite una sobreconcentración de un factor que va de dos a cuatro. Este sensor 29 permite también compensar un seguimiento del sol de baja precisión. La abertura de entrada 291 del sensor 29 es suficientemente grande para asegurar que entre todo el haz concentrado 5 por la lente de Fresnel.

40 El filtro 27 puede ser una película que absorba las longitudes de onda infrarroja/cercana al infrarrojo. El filtro 27 puede también ser un espejo caliente que presenta la propiedad de reflejar las longitudes de onda cercanas al infrarrojo y ser transparente a la luz visible útil para la fotosíntesis.

45 El filtro 27 puede estar posicionado entre el concentrador 21 y el sensor 29. El filtro 27 puede también estar posicionado delante del concentrador 21 que recibe entonces sólo una luz filtrada.

En el caso del concentrador 21 de lente de Fresnel, varios módulos 2 pueden estar reunidos en paralelo y utilizados por un mismo fotobiorreactor 1.

50 * *Panel de captación y de distribución de la luz del sol*

Varios módulos 2, tales como se han descrito anteriormente, pueden ser ensamblados para formar un panel 3 de captación y de distribución de la luz del sol, como se representa en las figuras 4 y 5.

55 En tal panel 3, los módulos 2 están montados en paralelo.

60 Cuando la guía de luz 23 y el difusor 24 están formados por unas fibras ópticas 25 como se ha descrito anteriormente, las partes de guiado 25-23 de las fibras ópticas 25 de un módulo están agrupadas en un cable trenzado 26.

65 Los cables trenzados 26 del conjunto de los módulos 2 están después agrupados a nivel de la tapa 13 del fotobiorreactor 1, dejándose individualizadas las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 de todos los módulos 2.

Por ejemplo, se utilizan veinticinco (25) módulos 2 para un fotobiorreactor 1. Novecientas setenta y siete (977) fibras ópticas 25 están distribuidas en el interior de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1. Las 977 fibras ópticas

25 están distribuidas en veinticinco (25) cables trenzados 26 de treinta y nueve o cuarenta (39 o 40) fibras ópticas 25, comprendiendo un módulo 2 un cable trenzado 26.

5 De manera general, si N fibras ópticas 25 están repartidas en el interior de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1, el número de módulos 2 puede variar de 1 a N con distribución de las N fibras en cable(s) trenzado(s).

10 Así, es fácil modular y adaptar el tamaño del concentrador 21 a la necesidad del fotobiorreactor 1 y/o a los microorganismos.

En el caso en el que estén previstas unas rejillas 2g, no existe un set de rejillas por módulo, sino un set de rejillas para el panel 3 en su conjunto, es decir por lo menos tres rejillas 2g por panel 3.

15 Concentrador Cassegrain

En un segundo modo de realización particular ilustrado en la figura 6, el concentrador 21 puede estar constituido por un sistema de doble parábola, denominado "Cassegrain" que comprende una primera parábola 211 y una segunda parábola 212 más pequeña posicionada en el centro de la primera parábola 211.

20 La primera parábola 211 recibe la luz del sol y la reenvía hacia la segunda parábola 212 más pequeña, realizando así una primera concentración. La segunda parábola 212 reenvía después la luz hacia el homogeneizador 22.

25 La primera parábola 211 puede ser orientable cuando está asociada a un sistema controlado de seguimiento del sol (tracking) bien conocido por el experto en la materia. Esto permite un funcionamiento óptimo en cada momento del día.

La segunda parábola 212 puede también ser orientable automáticamente con el fin de focalizar o desfocalizar el haz concentrado 5 para un control de la densidad de flujo enviada hacia el homogeneizador 22.

30 El filtro 27 está dispuesto en la recepción del haz concentrado 5 reenviado por la segunda parábola 212.

El filtro 27 puede ser un filtro líquido de doble pared enfriada. Entre las paredes, se añade una solución acuosa y permite al mismo tiempo filtrar la radiación ultravioleta indeseada y la radiación cercana al infrarrojo.

35 El filtro 27 puede también ser un filtro sólido (por ejemplo un filtro plano de vidrio u otro filtro descrito anteriormente para el concentrador de lente de Fresnel, sólo el tamaño y la forma difieren) eventualmente enfriado por el agua circulante en una doble pared.

40 Fotobiorreactor

45 Un ejemplo de fotobiorreactor 1 conforme a la invención comprende un módulo 2 tal como se ha descrito anteriormente en la modalidad con lente de Fresnel o Cassegrain (en este caso, se utiliza un solo módulo 2) o por lo menos dos módulos 2, tal como se ha descrito anteriormente en la modalidad con lente de Fresnel (véanse las figuras 5, 6 y 10).

El difusor 24 se coloca en el interior de la cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1.

50 En el caso particular en el que la guía de luz 23 y el difusor 24 están formados por un mismo elemento compuesto de fibras ópticas 25 tales como se han descrito anteriormente, las partes de difusión 25-24 de las fibras 25 en el interior de la cámara 11 de reacción pueden estar tensadas paralelamente entre sí y dispuestas según una malla triangular (véase la figura 13).

55 La distancia que separa las fibras 25 ópticas de dos en dos en el interior de la cámara 11 de reacción depende de la geometría del fotobiorreactor 1, de la concentración en biomasa esperada (intensificación) y de la densidad de flujo buscada en el interior. Por ejemplo, para una densidad de flujo típica de 4-5 W/m² (en el intervalo que va de 400 nm a 700 nm), y una concentración en biomasa dirigida de 15 kg/m³, la distancia óptima entre las fibras ópticas 25 es de 2,3 mm, llevando la optimización del conjunto entonces a un diámetro óptimo de las fibras ópticas 25 de 2,3 mm también, sea cual sea el diámetro de la cámara 11 de reacción. La ocupación volumétrica óptima total de las fibras ópticas 25 en el interior de la cámara 11 de reacción es ventajosamente del 23% aproximadamente del volumen de la cámara 11 de reacción.

60 Como el flujo luminoso del haz concentrado 5 está distribuido de manera homogénea por el homogeneizador 22 en cada una de las fibras ópticas 25, la densidad de flujo de luz difundida por las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 es homogénea. Además, como la superficie desarrollada por las fibras ópticas de difusión lateral es muy superior a la superficie de captación, la densidad de flujo de su superficie es baja. Esto permite hacer funcionar de manera óptima termodinámicamente la fotosíntesis, por lo tanto aumentar las productividades en la superficie, pero

también disminuir la producción de polisacáridos por los microorganismos. Así, la adhesión de estos microorganismos, que se debe en parte a la producción de los polisacáridos, está minimizada.

5 Todavía en este caso particular, unas rejillas 2g pueden ser previstas para posicionar y mantener las partes de difusión de las fibras ópticas 25 paralelas y según un enmallado triangular en el interior de la cámara 11 de reacción.

10 Así, para obtener un enmallado triangular, por lo menos tres rejillas 2g tales como se han descrito anteriormente están dispuestas paralelamente las unas por encima de las otras en el interior de la cámara 11 de reacción. Dos rejillas 2g sucesivas son giradas para que sus cables 2g2 respectivos estén tensados según unas direcciones diferentes y forman un ángulo de $\pm 60^\circ$ tal como se muestra en la figura 10. Si se cuentan las rejillas 2g a partir de abajo y si se toma como referencia la dirección de los cables de la primera rejilla 2g, es decir que está dirección marca el ángulo 0° , entonces la dirección de los cables 2g2 de la segunda rejilla 2g marca el ángulo $+60^\circ$, respectivamente -60° . Asimismo, la dirección de los cables 2g2 de la tercera rejilla 2g situada por encima marca el ángulo $+120^\circ$, respectivamente -120° . Si se utiliza una cuarta rejilla 2g, la dirección de sus cables 2g2 marca el ángulo $+180^\circ$, respectivamente -180° , lo que equivale a un ángulo de 0° .

Las rejillas 2g pueden ser mantenidas a distancia las unas de las otras por unos cables 2f.

20 Así, las rejillas 2g forman virtualmente un enmallado tubular triangular. En cada una de las mallas tubulares, la parte de difusión 25-24 de una fibra óptica 25 puede ser colocada. La parte de difusión 25-24 de cada una de las fibras ópticas 25 así colocada se mantiene en su sitio asegurando una difusión del flujo luminoso homogéneo en el interior de la cámara 11 de reacción.

25 Cuando están previstas unas envolturas individuales para las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25, estas están moldeadas a nivel de la tapa 13 por la resina, mientras que están dispuestas siguiendo la malla triangular tal como se ha descrito anteriormente, y se extienden en el interior de la cámara 11 de reacción siguiendo esta malla triangular. Esto se utiliza en particular en el caso de un panel 3, tal como se ha descrito anteriormente, en el que los cables trenzados 26 que provienen de varios módulos 2 están reunidos a nivel de la tapa 13.

30 Las envolturas individuales sirven por lo tanto de sostén para las fibras ópticas 25 en el interior de la cámara 11 de reacción para mantener las fibras ópticas 25 dispuestas siguiendo la malla triangular. En este caso, las fundas individuales en el interior de las cuales se encuentran las partes de difusión 25-24 de las fibras ópticas 25 pasan a través de las rejillas 2g, cuando éstas están previstas, de la mismas manera que las fibras ópticas 25 descritas anteriormente.

35 La cámara 11 de reacción del fotobiorreactor 1 puede ser de doble capa, permitiendo la termoestabilización del cultivo de microorganismos. Por ejemplo, las paredes de la cámara 11 de reacción cilíndrica son de acero inoxidable de doble capa, con una relación altura sobre diámetro aproximadamente igual a seis.

40 Si se utiliza un filtro 27 cercano al infrarrojo, se evita un excedente de calorías en el interior de la cámara de reacción, y ya no es necesario prever un medio de evacuación de calorías para el fotobiorreactor 1.

45 Un reactor de tipo airlift 14 original con bucle de recirculación externo y de retorno central, forrado por una pared porosa metálica para la inyección vertical de gas (aire, CO_2 , O_2) está previsto para el fotobiorreactor 1 con el fin de asegurar la mezcla de la fase líquida del cultivo y las transferencias de masa gas-líquido (CO_2/O_2 principalmente) permitiendo una buena circulación de los fluidos y una buena transferencia de masa gas-líquido en la cámara 11 de reacción con un mínimo de pérdida de carga a pesar de la presencia de numerosas fibras ópticas 25.

50 El metal poroso se coloca en la base del reactor de tipo airlift 14 dentro de una caja de aire que lo rodea. Así, los gases son llevados por una alimentación radial, e inyectados verticalmente a través del metal poroso. El retorno de la solución (líquida) se efectúa por el centro del reactor de tipo airlift. El metal poroso permite una mejor transferencia de masa gas-líquido permitiendo la formación de burbujas de gas más finas en la solución.

55 La circulación eficaz generada permite entonces minimizar la adhesión de las células a las paredes y/o al difusor.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Módulo (2) de guiado de la luz del sol para un fotorreactor (1) que comprende una cámara (11) de reacción, comprendiendo el módulo (2):
- un concentrador (21) dispuesto fuera de la cámara (11) de reacción para concentrar la luz solar en un haz concentrado;
 - un difusor (24) para ser dispuesto en la cámara (11) de reacción para introducir el haz concentrado en el interior de la cámara (11) de reacción;
- 10 caracterizado por que el módulo (2) comprende además un homogeneizador (22) dispuesto entre el concentrador (21) y el difusor (24), fuera de la cámara (11) de reacción, para homogeneizar el haz concentrado antes de que el haz concentrado entre en el difusor (24).
- 15 2. Módulo (2) según la reivindicación 1, que comprende además una guía de luz (23) para guiar la luz del concentrador (21) al difusor (24), estando la guía de luz (23) dispuesta entre el homogeneizador (22) y el difusor (24) fuera de la cámara (11) de reacción.
- 20 3. Módulo (2) según una de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además un filtro (27) cercano al infrarrojo para filtrar la luz del sol de manera que la luz transmitida en la cámara (11) de reacción esté exenta de radiación en el infrarrojo cercano.
- 25 4. Módulo (2) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el concentrador (21) es un concentrador de lente de Fresnel que comprende una lente de Fresnel que tiene un foco.
- 30 5. Módulo (2) según la reivindicación 4, que comprende además un sensor (29) de espejo compuesto con foco casi puntual dispuesto entre el concentrador de lente de Fresnel y el homogeneizador (22) y delante del foco de la lente de Fresnel para redirigir el haz concentrado.
- 35 6. Módulo (2) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el concentrador (21) es un concentrador de tipo Cassegrain.
- 40 7. Módulo (2) según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la guía de luz (23) y el difusor (24) forman un solo y mismo elemento compuesto de fibras ópticas (25);
- en el que cada fibra óptica (25) posee una parte difusora (25-24), formando las partes de difusión (25-24) de las fibras ópticas (25) el difusor (24); y
 - en el que cada fibra óptica (25) posee una parte de guiado (25-23) fuera de la cámara (11) de reacción, formando las partes de guiado (25-23) de las fibras ópticas (25) la guía de luz (23), estando las partes de guiado (25-23) de las fibras ópticas (25) reunidas en un cable trenzado (26).
- 45 8. Panel (3) de guiado de luz que comprende por lo menos dos módulos (2) de guiado de luz según una de las reivindicaciones 1 a 5 o según la reivindicación 7 en combinación con una de las reivindicaciones 4 o 5, estando los módulos (2) montados en paralelo.
- 50 9. Fotorreactor (1) que comprende una cámara (11) de reacción, caracterizado por que comprende además un módulo (2) según una de las reivindicaciones 1 a 7, o un panel (3) de guiado de luz según la reivindicación 8, estando el difusor del módulo (2) o los difusores del panel dispuesto(s) en el interior de la cámara (11) de reacción.
- 55 10. Fotorreactor que comprende una cámara (11) de reacción, caracterizado por que comprende además un módulo (2) según la reivindicación 7 o un panel (3) de guiado de luz que comprende un módulo (2) según la reivindicación 7 en combinación con una de las reivindicaciones 4 o 5, estando las partes de difusión de las fibras ópticas (25) del módulo (2) o del panel (3) dispuestas tensadas y paralelas entre sí en el interior de la cámara (11) de reacción según un enmallado triangular.
- 60 11. Fotorreactor según la reivindicación 10, que comprende además por lo menos tres rejillas (2g) dispuestas paralelamente la una por encima de la otra, estando cada una formada por un marco (2g1) y por cables (2g2) tensados en el interior del marco (2g1) paralelamente los unos a los otros según una dirección, formando la dirección de los cables de una rejilla con la dirección de los cables de una rejilla por encima un ángulo de $\pm 60^\circ$ con el fin de mantener las partes de difusión (25-24) de las fibras ópticas (25) según un enmallado triangular.
- 65 12. Fotorreactor según una de las reivindicaciones 10 u 11, que comprende además un reactor de tipo airlift (14) con

bucle de recirculación externo y un retorno central para mezclar eficazmente el contenido de la cámara (11) de reacción.

FIG. 1

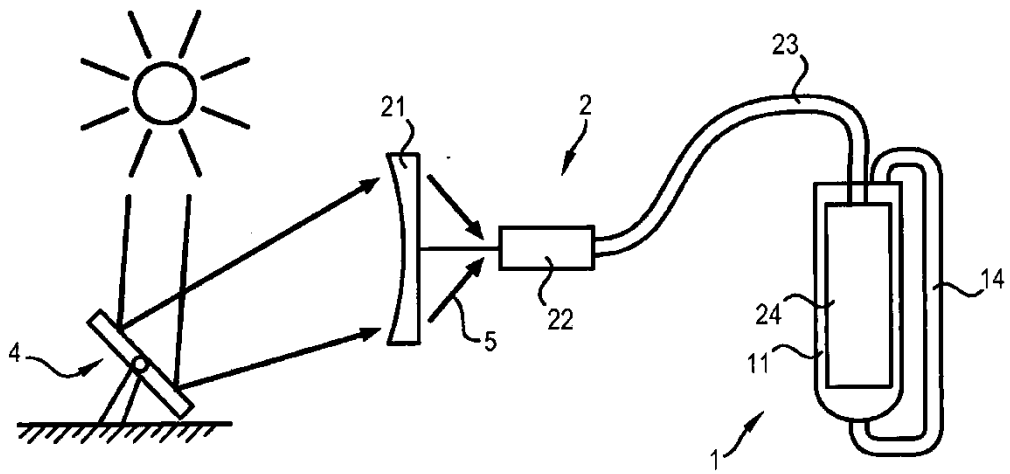


FIG. 2

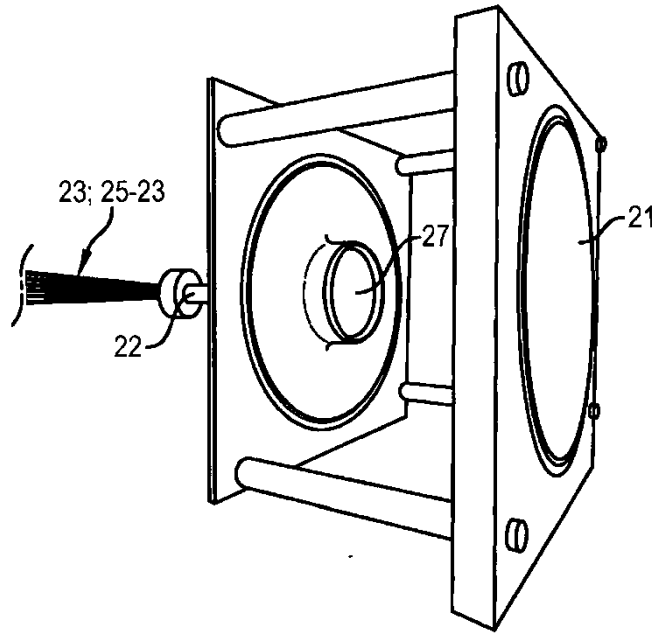


FIG. 3

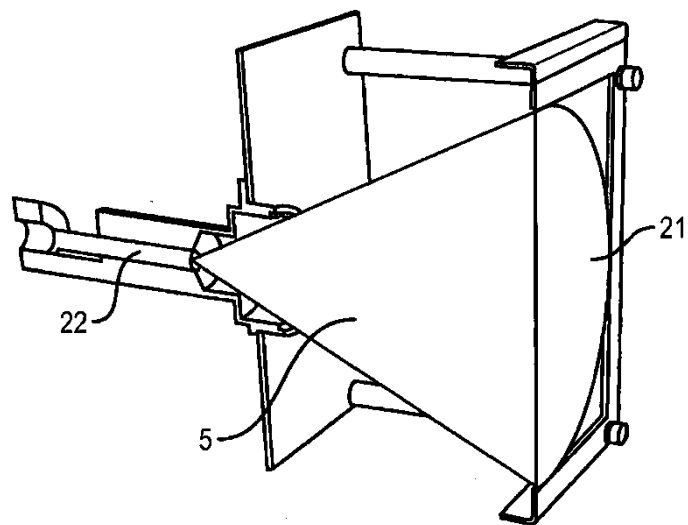


FIG. 4

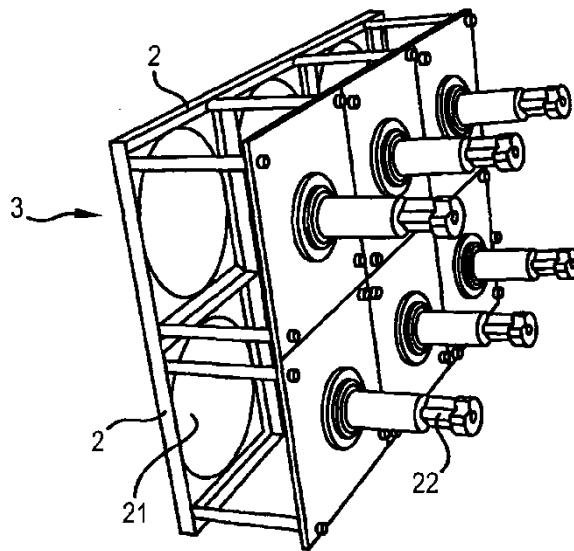


FIG. 5

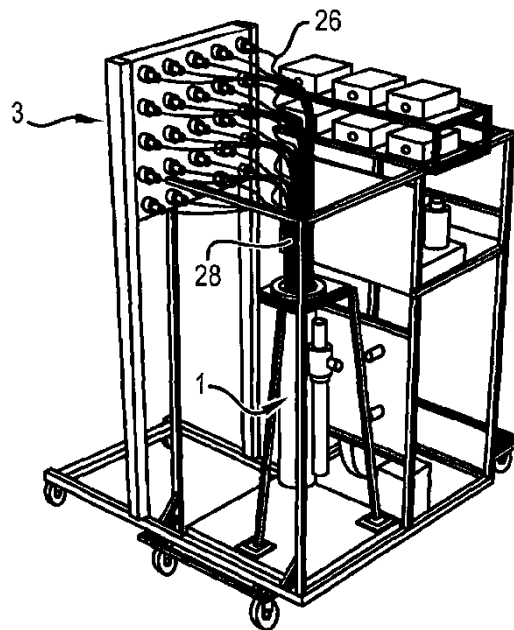


FIG. 6

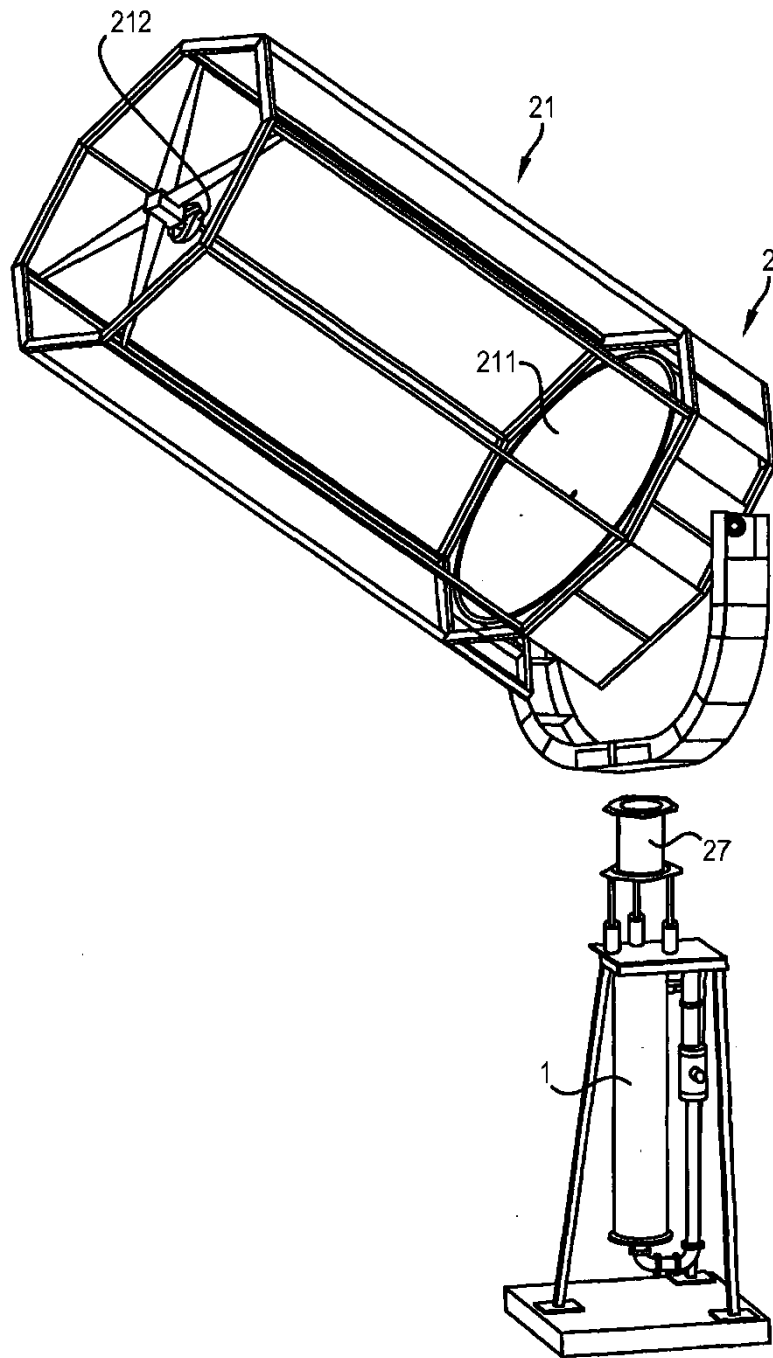


FIG. 7

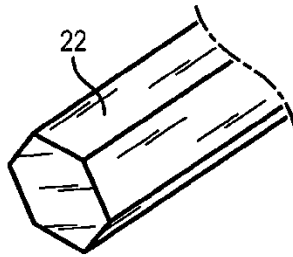


FIG. 8

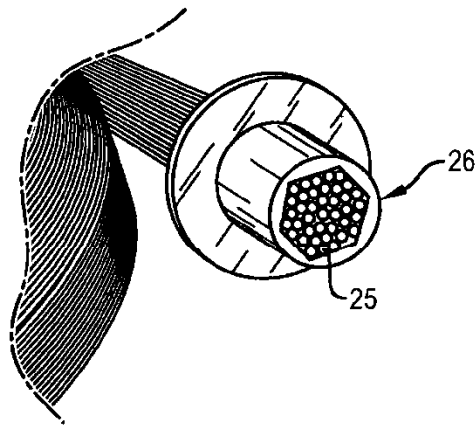


FIG. 9

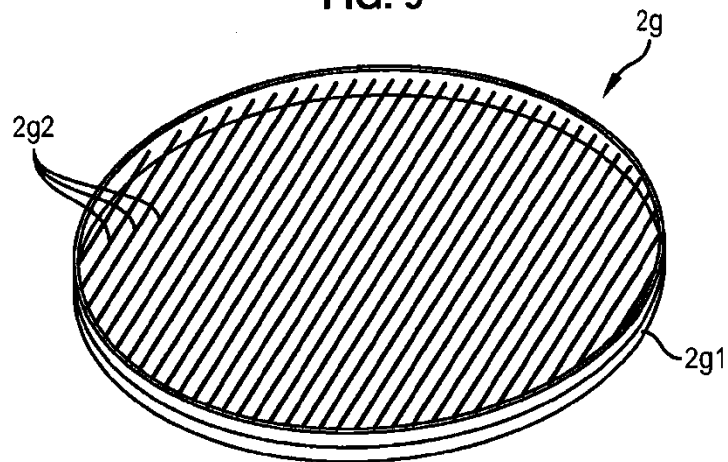


FIG. 10

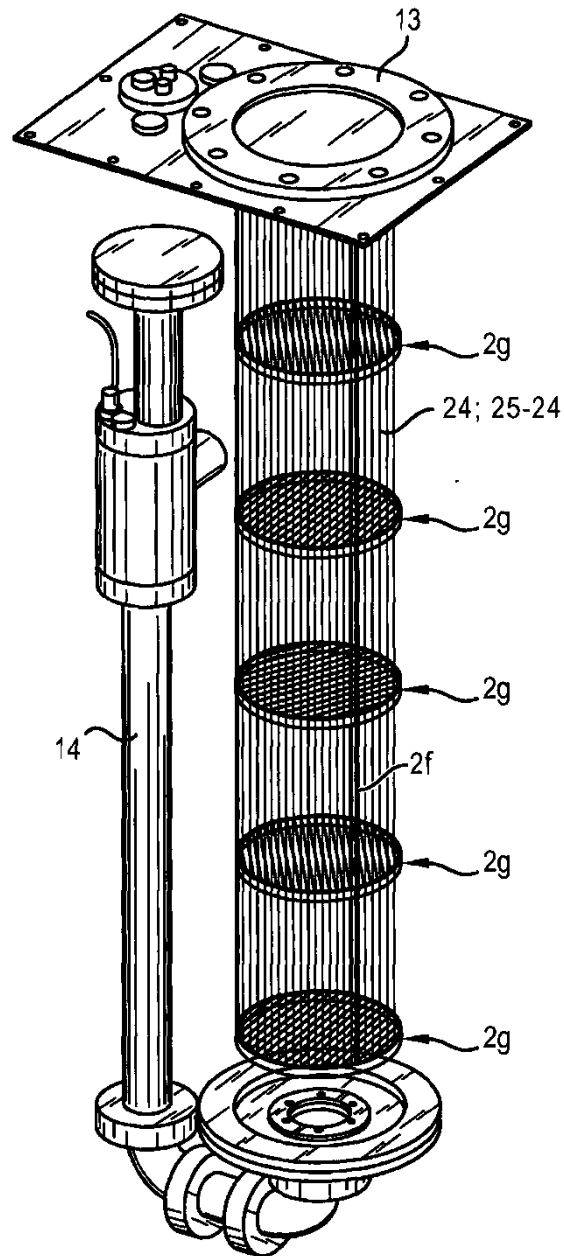


FIG. 11

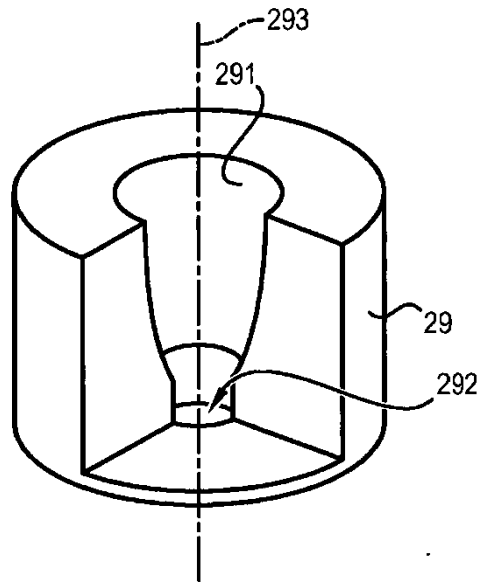


FIG. 12

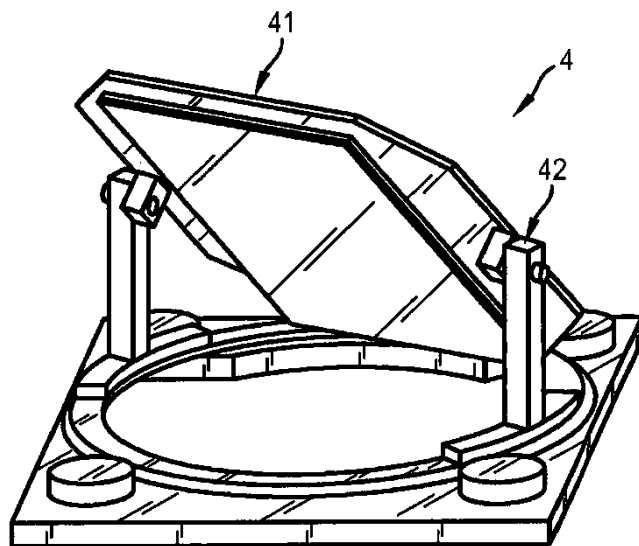


FIG. 13

