

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 367**

51 Int. Cl.:

C12M 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2010** **E 10719220 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013** **EP 2430143**

54 Título: **Aparato de producción y de cosecha de algas**

30 Prioridad:

14.05.2009 US 466008

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

10.12.2013

73 Titular/es:

**MASSE, ARTHUR W. P. (100.0%)
7371 S.E. Jamestown Terrace
Hobe Sound, FL 33455, US**

72 Inventor/es:

MASSE, ARTHUR W. P.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 433 367 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

Aparato de producción y de cosecha de algas

5 Campo de la invención

Esta divulgación se refiere generalmente a la producción de bioproductos y combustible de algas. Más particularmente, esta divulgación se refiere a la producción y cosecha de algas.

10 Antecedentes

Los combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo, proporcionan actualmente la mayoría de las necesidades de energía del mundo, incluidos los EE.UU.. Lo que es más, la demanda de combustibles fósiles se ha incrementado constantemente a lo largo de los años. En el momento de la Crisis del Petróleo de 1973, la tasa de importación de petróleo neta de EE.UU. era sólo un tercio del consumo total, mientras que hoy la tasa de importación de petróleo neta de EE.UU. se acerca a los dos tercios del consumo total. Con la tasa de consumo de petróleo de EE.UU. incrementándose aproximadamente un 11% en los últimos 10 años, y con los precios al contado del crudo que se han registrado muy por encima de los 140 dólares por barril, la economía de EE.UU. se enfrenta a una factura de combustible de petróleo importado que se acerca a los 700 mil millones de dólares en la próxima década.

Por las reservas decrecientes y costes incrementados de combustibles fósiles, así como los efectos dañinos que los combustibles fósiles pueden tener en el medioambiente, se están desarrollando actualmente fuentes de energía alternativas que son renovables y menos dañinas para el medioambiente. Las fuentes de energía alternativa incluyen generalmente gas natural, energía eólica, energía hidroeléctrica, energía solar, hidrógeno, energía nuclear y biocombustibles.

Aunque el gas natural es un combustible fósil que arde más limpio que la gasolina, produce dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero. La energía eólica, una de las formas de energía más antigua y más limpia, es antiestética y ruidosa. La energía hidroeléctrica, una fuente de energía antigua y bien desarrollada, tiene una capacidad limitada de expansión. Toda energía (aparte de la energía nuclear) se deriva básicamente de la energía solar, que también puede ser recogida directamente usando células fotoeléctricas. Se ha comprobado que el hidrógeno es una fuente de combustible viable para vehículos, con la aparición de las células de combustible. Sin embargo, el uso de hidrógeno como una fuente de energía plantea problemas con respecto a su producción, almacenaje y distribución. La energía nuclear incluye fisión nuclear, que es muy costosa y genera residuos tóxicos, y fusión nuclear, que es limpia pero se ha comprobado que no es viable.

El biocombustible se define comúnmente como un combustible sólido, líquido o gaseoso derivado de organismos recientemente vivos, incluidas plantas, animales y sus subproductos. Es una fuente de energía renovable basada en el ciclo de carbono, al contrario que otras fuentes naturales tales como el petróleo, carbón o combustibles nucleares. Los biocombustibles se pueden obtener de la madera, materiales de plantas unicelulares o multicelulares, excremento de animal, y bacterias. El etanol es un tipo de biocombustible que, combinado con gasolina, se usa mucho en la industria del transporte. Puesto que los biocombustibles pueden derivarse también de los aceites vegetales, se ha comprobado que los biocombustibles derivados de las algas son una fuente de energía alternativa prometedora. Sin embargo, varios obstáculos han frustrado la fabricación a gran escala y uso de los biocombustibles de algas.

Un obstáculo principal inherente a la producción de combustible de algas convencional es la inhabilidad de producir y cosechar algas en cantidades suficientes para proporcionar bastante combustible de algas para cubrir las necesidades de energía de civilización. Utilizando métodos existentes, la producción de combustible de algas en cantidades suficientes requeriría cultivar algas en estanques o fotobiorreactores de gran producción, cada uno de los cuales está limitado por las ineficiencias económicas y de producción. Se estima que aproximadamente 200000 hectáreas (aproximadamente 450000 acres o unos 2020 km²) de área de superficie de estanque de producción se requerirían para producir una cantidad de biodiesel de algas suficiente para reemplazar la cantidad de petróleo consumido actualmente en EE.UU. cada año.

La materia prima de algas que crece en sistemas de estanque abierto está sujeta a muchas ineficiencias y retos sistemáticos, algunos de los cuales son comunes también a sistemas de fotobiorreactor de sistema tanto abierto como cerrado. Algunos de estos retos incluyen la controlabilidad de espectro, intensidad y duración de ciclos de luz, controles de temperatura o variaciones de temperatura estacionales; contaminación por partículas hostiles llevadas por el viento; y el coste de cosecha, transporte, pretratamiento y almacenaje, por nombrar unas pocas. Estos y otros retos relacionados de métodos de cultivo de algas convencionales limitan efectivamente la viabilidad comercial de combustibles de algas.

Los fotobiorreactores de sistema cerrado, otro sistema de producción de combustible de algas convencional, sufre de muchas de estas limitaciones, inconvenientes y desventajas, asociadas con sistemas de estanque abierto. Por

ejemplo, los sistemas de fotobiorreactor cerrados conocidos descartan control adecuado de cantidad de luz, espectro, duración y ciclo. Problemas adicionales incluyen requisitos de área de terreno, requisitos de estructura de soporte y fundamentales para aplicaciones de producción a gran escala, e ineficiencias de cosecha. El documento JP-A-5277357 describe un módulo de fotobiorreactor que comprende varios recipientes de reactor apilados provistos de placas transmisoras de luz superior e inferior. Aunque los fotobiorreactores de sistema cerrado superan, o mitigan substancialmente, muchos de los problemas biológicos y medioambientales asociados con sistemas de estanque abierto, todavía no han logrado un nivel adecuado de eficacia requerida para producir biomasa de algas en cantidades suficientes para reducir la dependencia nacional del petróleo extranjero.

En consecuencia, hay una necesidad no conocida de producción de bioproducto de algas y aparatos de cosecha adecuados para la producción en masa y cosecha de algas. Lo que se necesita es un aparato que supere las limitaciones, inconvenientes y desventajas mencionadas anteriormente, concomitantes con sistemas de estanque abierto, fotobiorreactores de aparato cerrado, y otros sistemas conocidos. Sería deseable proporcionar tal aparato que haga posible el control ampliamente mejorado sobre las variables de exposición de luz de algas, incluido, por ejemplo, control sobre el ciclo de luz, cantidad de luz, espectro de luz y duración de luz. Sería deseable además proporcionar tal aparato que también hace posible y facilita la monitorización precisa y el control de otras variables que se conoce que afectan la tasa de crecimiento de algas, incluida, por ejemplo, la exposición de temperatura de algas, niveles de nutrientes, y niveles de gases (por ejemplo, O_2 y CO_2). Con el fin de abordar los problemas de requisito de tierra mencionados anteriormente asociados con sistemas de estanque abierto existentes y fotobiorreactores de sistema cerrado, sería muy deseable proporcionar un aparato que tiene una configuración estructural que requiere un impacto ambiental más pequeño frente a los sistemas existentes. Para resumir, sería muy deseable proporcionar un aparato que es de bajo coste, fácil de mantener, fácil de reproducir, y que hace posible que un operario controle con precisión todos los aspectos del ciclo Calvin con el fin de maximizar el volumen y la eficacia de producción y de cosecha, a pesar del esfuerzo deseado de que se cultiven las algas.

Sumario de la invención

Esta divulgación está dirigida generalmente a un aparato de producción y de cosecha de algas que es adecuado para la producción en masa y cosecha de bioproductos de algas en cantidades suficientes para producir combustible de algas. El aparato es expandible verticalmente, y en consecuencia, tiene el beneficio de un impacto ambiental pequeño frente a otros sistemas y métodos de producción y de cosecha de bioproducto de algas conocidos. El aparato puede proporcionar la habilidad de controlar con precisión características de temperatura, luz y otros factores conocidos por afectar la tasa de crecimiento de las algas, con el fin de maximizar la eficacia de producción. El aparato incorpora componentes de relativamente bajo coste dispuestos de una manera que facilita un despliegue eficiente y su subsiguiente reparación. La disposición vertical única saca provecho de dinámicas de fluido natural para el soporte estructural de aparato suplementario.

En una implementación, un aparato modular apilable verticalmente para la producción y cosecha de bioproducto de algas comprende al menos un miembro superior e inferior transmisor de luz que tienen, cada uno, una pluralidad de aberturas, en el que los miembros superior e inferior transmisores de luz están espaciados uno de otro y al menos uno de los miembros superior e inferior transmisores de luz incluyen al menos un terminal de conexión de luz para acoplarse a luz procedente de una fuente de luz y transmitir la luz lateralmente. Una pluralidad de conductos de fotobiorreactor que se extienden cada uno desde sus respectivas aberturas en dicho miembro superior e inferior transmisor de luz definen, cada uno, espacios interiores que contienen algas, en el que la pluralidad de conductos fotobiorreactores contactan con los miembros superior e inferior transmisores de luz a lo largo de las áreas de contacto. La luz transmitida lateralmente por los miembros superior e inferior transmisores de luz se acopla a la pluralidad de conductos de fotobiorreactor a lo largo de las áreas de contacto.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones divulgadas se describirán aquí más adelante, en combinación con los dibujos adjuntos, proporcionados para ilustrar y no para limitar las reivindicaciones adjuntas, en los que designaciones similares denotan elementos similares, y en los que:

la figura 1 es una vista lateral esquemática parcial de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas;

la figura 2 es una vista lateral de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, con un recipiente de recolección proporcionado debajo de un módulo de fotobiorreactor, y un ensamblaje de transferencia de producto proporcionado en comunicación fluida entre el módulo de fotobiorreactor y el recipiente de recolección;

la figura 3 es una vista superior de múltiples conductos de fotobiorreactor, o tubos, en un módulo de fotobiorreactor de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, que ilustra más particularmente una geometría de canal de fotobiorreactor rectangular ejemplar;

la figura 4 es una vista superior de múltiples canales de fotobiorreactor, en un módulo de fotobiorreactor de una

realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, que ilustra más particularmente una geometría de canal de fotobiorreactor hexagonal ejemplar;

la figura 5 es una vista superior de múltiples canales de fotobiorreactor, en un módulo de fotobiorreactor de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, que ilustra más particularmente una geometría de canal de fotobiorreactor circular ejemplar;

la figura 6 es una vista lateral de múltiples módulos de fotobiorreactor apilados en implementación de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas;

la figura 7 es una vista en perspectiva en despiece ordenado de un módulo de fotobiorreactor de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas;

la figura 8 es una vista en perspectiva de múltiples canales de fotobiorreactor que se extienden a través de paneles de módulo transmisores de luz;

la figura 9 es una vista superior de un módulo de fotobiorreactor de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, en la que los canales de fotobiorreactor tienen una geometría rectangular;

la figura 10 es una vista en despiece ordenado, parcialmente en corte, de un par de módulos de fotobiorreactor apilados, que ilustra una empaquetadura interpuesta entre los módulos de fotobiorreactor;

la figura 11 es una vista transversal de un par de módulos de fotobiorreactor apilados, que ilustra más particularmente una manera ejemplar de asegurar el módulo de fotobiorreactor superior en el módulo de fotobiorreactor inferior asentando un pie de módulo proporcionado en el módulo de fotobiorreactor superior en un receptáculo de módulo proporcionado en el módulo de fotobiorreactor inferior;

la figura 12 es una vista transversal de una esquina superior de un módulo de fotobiorreactor, con un grillete de elevación de módulo (o clavija de elevación) enroscado en una abertura de receptáculo de módulo (no ilustrada) proporcionada en el módulo de fotobiorreactor más alto del aparato de producción y de cosecha de algas en lugar de un receptáculo de módulo;

la figura 13 es un diagrama esquemático que ilustra la inclusión de sensores para gas, fluido y luz, respectivamente, en un módulo de fotobiorreactor de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas;

la figura 14 es una vista lateral de una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas, con un par de sensores proporcionados respectivamente en un par de conductos de fotobiorreactor, en un módulo de fotobiorreactor de aparato de cosecha de bioproducto de algas;

la figura 15 es una vista transversal de un par de módulos de fotobiorreactor apilados que tiene una empaquetadura interpuesta entre los módulos;

la figura 16 es una vista en perspectiva de una empaquetadura ilustrativa para proporcionar sellado entre los módulos de fotobiorreactor apilados;

la figura 17 es una vista transversal de una compuerta de algas ejemplar entre cada conducto de fotobiorreactor y el ensamblaje de transferencia de producto; y

la figura 18 es una vista superior de la compuerta de algas ejemplar ilustrada en la figura 17.

Descripción detallada

La siguiente descripción detallada es meramente ejemplar en naturaleza y no está destinada a limitar las realizaciones descritas o la aplicación y usos de las realizaciones descritas. Como se usa aquí, la palabra "ejemplar" o "ilustrativa" significa "que sirve como ejemplo, caso, o ilustración". Cualquier implementación descrita aquí como "ejemplar" o "ilustrativa" no ha de ser necesariamente interpretada como preferida o ventajosa sobre otras implementaciones. Todas las implementaciones descritas después son implementaciones ejemplares proporcionadas para hacer posible que personas expertas en la técnica practiquen la divulgación, y no están destinadas a limitar el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, no hay intención de que estén obligados por cualquier teoría expresada o insinuada presentada en el campo técnico precedente, antecedente, resumen breve o la descripción detallada siguiente.

En referencia a los dibujos, una realización ilustrativa del aparato de producción y de cosecha de algas (en adelante "aparato") es indicada generalmente por los números de referencia 100 en las figuras 1 y 2. El aparato 100 puede incluir al menos un módulo 112 de fotobiorreactor, que se adapta para contener y sostener el crecimiento de algas 133 (figura 8) como se describirá además en adelante. En algunas aplicaciones, múltiples módulos 112 de

fotobiorreactor pueden ser apilados uno encima de otro para incrementar la capacidad de crecimiento de algas del aparato 100 sin incrementar su impacto ambiental. Un recipiente 101 de recolección (mostrado como “recolector”) puede ser proporcionado bajo el módulo o módulos 112 de fotobiorreactor para recoger bioproductos de algas (no ilustrados) de las algas 133 (figura 8) que se cultivan en el módulo o módulos 112 de fotobiorreactor. Los productos de algas incluyen cualquier producto de las algas 133 que puede ser usado para producir combustible de algas u otro producto útil. Los bioproductos de algas incluyen, pero no están limitados a estos, algas, biomasa de algas, excreciones de algas y productos derivados de algas. Un procesador 102 de producto puede comunicarse con el recipiente 101 de recolección para recibir y procesar los bioproductos de algas en combustible de alga u otro producto. El procesador 102 de producto puede utilizar métodos convencionales, que son conocidos por los expertos en la técnica, para convertir los bioproductos de algas en combustible de algas u otro producto. El procesador 102 de producto puede ser una secadora, una prensa, un procesador de transesterificación, un procesador de refinamiento, un procesador de microondas o un procesador sónico, por ejemplo y sin limitación. Varios procesos pueden ser empleados para lograr el producto deseado final y la implementación específica para un producto particular, como será evidente para un experto en la técnica.

En algunas realizaciones, un bastidor 108 de soporte de módulo puede soportar el módulo o módulos 112 de fotobiorreactor sobre el recipiente 101 de recolección. El bastidor 108 de soporte de módulo puede incluir múltiples miembros 109 de bastidor de esquina verticales, que soportan sus respectivas esquinas del módulo o módulos 112 de fotobiorreactor, y múltiples miembros 110 de bastidor de centro (indicados en guiones en la figura 2), que soportan la porción de centro del módulo o módulos 112 de fotobiorreactor. En algunas realizaciones, un ensamblaje 104 de transferencia de producto que está generalmente en forma de colector (es decir, muchas entradas, y una única salida) puede ser interpuesto entre el módulo o módulos 112 de fotobiorreactor y el recipiente 101 de recolección, para facilitar el drenaje de bioproductos de algas del módulo o módulos 112 de fotobiorreactor en el recipiente 101 de recolección, como se describirá además a continuación. El ensamblaje 104 de transferencia de producto puede incluir múltiples tubos 105 de transferencia de producto que se extienden desde el módulo o módulos 112 de fotobiorreactor al recipiente 101 de recolección. Alternativamente, el producto puede ser recogido dentro de las conexiones de tuberías de la variedad, y subsiguientemente transmitido directamente al procesador 102 de producto. Sin embargo, las algas pueden ser cosechadas desde la parte superior del aparato 100 de módulo apilado colocando un ensamblaje 104 de transferencia de producto en la parte superior del aparato, y bombeando agua en los conductos 132 de fotoreactor desde abajo (por ejemplo a través del colector), resultando en agua fluyendo hacia arriba, causando que el nivel de agua en todos los conductor 132 de fotoreactor suba, llevando así las algas flotantes a un ensamblaje 104 de transferencia de producto superior.

Como se ilustra en la figura 7, cada módulo 112 de fotobiorreactor del aparato 100 puede incluir un bastidor 113 de módulo. Al menos un miembro transmisor de luz 122, 126, 128 puede ser proporcionado en el bastidor 113 de módulo. Cada miembro transmisor de luz 122, 126, 128 comprende un material transmisor de luz tal como policarbonato, por ejemplo y sin limitación. El policarbonato es bien conocido por ser altamente transparente a la luz visible y tiene características transmisoras de luz mejores que muchos tipos de vidrio. Múltiples aberturas 123 para conductos 132 de fotobiorreactor son proporcionadas en cada miembro transmisor de luz 122, 126 y 128. Una variedad de múltiples conductos 132 de fotobiorreactor, cada uno de los cuales es material transparente y transmisor de luz, tal como el policarbonato, por ejemplo y sin limitación, se extiende a través de las respectivas aberturas 123 de cada panel transmisor de luz 122, 126 y 128. Cada abertura 123 puede corresponder en forma y tamaño a la configuración en corte transversal de cada conducto 132 de fotobiorreactor. En consecuencia, cada conducto 132 de fotobiorreactor está dispuesto en relación de recepción de luz con respecto a cada panel transmisor de luz 122, 126 y 128, a lo largo del área de superficie de contacto entre el conducto 132 de fotobiorreactor y cada miembro transmisor de luz 122, 126 y 128, para propósitos que serán descritos a continuación.

Los componentes termoplásticos, paneles transmisores de luz 122, 126 y 128, conducto 132 de fotobiorreactor que comprenden policarbonato, pueden ser soldados usando soldadura de láser. La soldadura de láser de termoplásticos depende de muchas de las mismas normas de compatibilidad de resina que los otros procesos de soldadura de plástico hacen, pero es más flexible en química de resina o diferencias de temperatura de fundido que la mayoría de los procesos de soldadura de plástico. Las ventajas de soldado de láser no incluyen generación de partícula, y áreas de unión soldadas de alta calidad óptica. La soldadura con solvente también puede ser usada. En la soldadura con solvente, se aplica un solvente que puede disolver temporalmente el polímero a temperatura ambiente. Cuando esto ocurre, las cadenas de polímeros son libres para moverse en el líquido y pueden mezclarse con otras cadenas disueltas similarmente en el otro componente. Dado suficiente tiempo, el solvente penetra a través del polímero y fuera del ambiente, de manera que las cadenas pierden su movilidad. Esto deja una masa sólida de cadenas de polímero enredadas que constituye una soldadura con solvente.

Las características transmisoras de luz de cada conducto 132 de fotobiorreactor pueden facilitar la transmisión de luz que es recibida desde los paneles transmisores de luz 122, 126 y 128, a lo largo de substancialmente la longitud entera del conducto 132 de fotobiorreactor. En una realización, la refracción puede proporcionar la propagación de luz en el interior de los conductos 132 de fotobiorreactor. En otras realizaciones, la eficacia refractiva puede ser incrementada por el uso de ópticas refractivas holográficas que pueden ser grabadas en las paredes de los tubos, o películas y capas reflectoras que pueden ser aplicadas a lo largo de las superficies interiores o exteriores de los conductos 132 de fotobiorreactor, o combinación de estos, tal como durante o después de la extrusión.

Cada conducto 132 de fotobiorreactor es adaptado para contener algas 133 (figura 8) y puede ser conformado y configurado geométricamente para maximizar la exposición de las algas contenidas 133 a la luz, y para maximizar la distribución interna de la luz a través del conducto 132 de fotobiorreactor. Debería señalarse que el espacio de las

Además, aunque el aparato es ilustrado en la figura 7 como una pluralidad de conductos individuales 132 que se extienden a través de aberturas 123 en miembros transmisores de luz, esta divulgación contempla la fabricación alternativa de un módulo unitario, o de una pieza, que tiene una pluralidad de canales lineales paralelos que se extienden a través de la estructura unitaria de tal manera que los canales adyacentes comparten una pared lateral. En ese caso, cada canal lineal define un espacio de canal interior, que puede ser elegido teniendo un área en corte transversal uniforme predeterminada para maximizar el crecimiento de una cepa de algas particular. Tal estructura de módulo de una pieza reemplazaría la necesidad de separar conductos 132 y miembros transmisores de luz 122, 126 y 128, así como la necesidad de una estructura de soporte externa.

Volviendo a la realización ejemplar, el bastidor 113 de módulo de cada módulo 112 de fotobiorreactor puede tener cualquier diseño o estructura que sea adecuada para soportar al menos un miembro transmisor de luz 122, 126, 128. Como se ilustra además en la figura 7, en algunas realizaciones el bastidor 113 de módulo puede tener una configuración en forma de cubo con cuatro soportes 114 de esquina verticales, y un par de soportes transversales horizontales inferiores 115 que conectan los soportes 114 de esquina adyacentes uno con otro. En algunas realizaciones, un miembro inferior transmisor de luz 122 puede ser proporcionado en los soportes transversales inferiores 115 del bastidor 113 de módulo. Un miembro superior transmisor de luz 128 puede ser proporcionado en los soportes transversales superiores 115. Uno o más miembros transmisores de luz 126 en medio separados pueden ser proporcionados en el bastidor 113 de módulo entre el miembro inferior transmisor de luz 128. Cada conducto 132 de fotobiorreactor puede extenderse a través de aberturas alineadas 123 proporcionadas en el miembro inferior transmisor de luz 122, el miembro transmisor de luz medio 126 y el miembro superior transmisor de luz 128, respectivamente. El miembro inferior transmisor de luz 122, el miembro transmisor de luz medio 126 y el miembro superior transmisor de luz 128 pueden estar unidos al bastidor 113 de módulo usando adhesivos, sujetadores y/o cualquier otra técnica de unión adecuada conocida por los expertos en la técnica.

Como se ilustra en la figura 9, en algunas realizaciones, al menos un soporte 118 de placa de centro puede extenderse a través de las aberturas de soporte de centro (no ilustradas) proporcionadas en cada miembro transmisor de luz 122, 126 y 128, para refuerzo. Cada soporte 118 de placa de centro puede extenderse en general en relación paralela y adyacente con respecto a los conductos 132 de fotobiorreactor. En algunas realizaciones, cuatro soportes 118 de placa de centro pueden extenderse a través de las aberturas de soporte de centro en el miembro transmisor de luz 122, 126 y 128.

Los conductos 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor pueden tener cualquier configuración en corte transversal deseada. Como se ilustra en la figura 3, en algunas realizaciones cada conducto 132 de fotobiorreactor puede tener un corte transversal generalmente rectangular. Como se ilustra en la figura 4, en algunas realizaciones cada conducto 132 de fotobiorreactor puede tener un corte transversal generalmente hexagonal. Como se ilustra en la figura 5, en algunas realizaciones cada conducto 132 de fotobiorreactor puede tener un corte transversal generalmente circular. Otras geometrías de corte transversal, tales como triangular, pentagonal y octogonal, por ejemplo y sin limitación, son posibles. Como se ilustra en la figura 8, en la implementación del aparato 100, que será descrita a continuación, las algas 133 pueden ser cultivadas en cada conducto 132 de fotobiorreactor con el propósito de cosechar bioproductos de algas (no ilustradas) de las algas 133. La geometría de corte transversal particular, y área de corte transversal, de cada conducto 132 de fotobiorreactor puede depender de tales factores como las características de la cepa particular de algas 133 siendo cultivadas en los conductos 132 de cultivo de algas, el intervalo de parámetros medioambientales requerido por cualquier cepa específica de algas para maximización de eficacia fotosintética, requisitos de exposición variable en varias fuentes y espectro de luz, intensidad de exposición, volumen de contención y los métodos de fabricación específica usados para fabricar los conductos 132 de cultivo de algas.

Como se ilustra en las figuras 1 y 2 de los dibujos, una fuente 134 de luz mostrada como una bombilla de luz (sólo por ejemplo) puede ser dispuesta en comunicación óptica con cada uno de los miembros transmisores de luz 122, 126 y 128. En algunas realizaciones, los cables transmisores de luz 135 de fibra óptica pueden estar dispuestos en comunicación óptica con la fuente 134 de luz. Las ramificaciones 136 de tubo de luz pueden ramificarse desde cada cable transmisor de luz 135. Un terminal 137 de conexión transmisor de luz puede ser usado para conectar ramificaciones 136 de cable transmisoras de luz a los miembros transmisores de luz 122, 126 y 128. La fuente 134 de luz puede ser luz natural, luz artificial, o una combinación tanto de luz natural como de luz artificial. Cada miembro transmisor de luz 122, 126 y 128 imparte rigidez estructural al módulo 112 de fotobiorreactor, y proporciona un medio para transferencia de luz desde la fuente 134 de luz a los conductos 132 de fotobiorreactor.

Como se ilustra en las figuras 1 y 6 de los dibujos, en algunas aplicaciones del aparato 100, múltiples módulos 112

de fotobiorreactor pueden ser apilados uno encima de otro para incrementar de forma selectiva la capacidad de cultivo de algas del aparato 100. Los módulos 112 de fotobiorreactor apilados pueden ser estabilizados uno encima de otro de acuerdo con cualquier técnica adecuada, como es conocido por los expertos en la técnica. Por ejemplo, como se ilustra en las figuras 10 a 12, en algunas realizaciones múltiples receptáculos 140 de módulo, teniendo cada uno un asiento 142 de receptáculo (figura 9), pueden ser proporcionados en respectivas esquinas del miembro superior transmisor de luz 128 de cada módulo 112 de fotobiorreactor. Cada receptáculo 140 de módulo puede estar dotado de múltiples roscas 141 de receptáculo para facilitar la inserción enroscada de cada receptáculo 140 de módulo en una abertura de receptáculo correspondiente en el correspondiente bastidor de módulo (no ilustrado) proporcionada a través del panel transmisor de luz superior 128. Múltiples pies 144 de bastidor de módulo pueden ser proporcionados, en sus respectivas esquinas, a través del miembro inferior transmisor de luz 122 de cada módulo 112 de fotobiorreactor. Cada pie 144 de módulo puede estar dotado de múltiples roscas 145 de pie para facilitar la inserción enroscada de cada pie 144 de módulo en una abertura de pie correspondiente (no ilustrada) proporcionada a través del miembro inferior transmisor de luz 122. En consecuencia, como se ilustra en la figura 11, los pies 144 de módulo de un módulo 112 de fotobiorreactor superior pueden ser asentados en los asientos 142 de receptáculo (figura 9) en los respectivos receptáculos 140 de módulo, para estabilizar el módulo 112 de fotobiorreactor superior en el módulo 112 de fotobiorreactor inferior. Como se ilustra en la figura 6, será apreciado por los expertos en la técnica que cualquier número de módulos 112 de fotobiorreactor puede ser apilado en el aparato 100 para incrementar correspondientemente la capacidad de cultivo de algas del aparato 100. Lo que es más, múltiples aparatos 100, que tiene cada uno múltiples módulos 112 de fotobiorreactor apilados, pueden ser proporcionados en relación adyacente para incrementar la capacidad de cultivo de algas a la vez que se minimiza el espacio de impacto ambiental ocupado por el aparato.

Como se ilustra en la figura 12, en algunas realizaciones un grillete 154 de elevación de módulo puede ser insertado en cada abertura de receptáculo de módulo (no ilustrada) proporcionada a través del panel transmisor de luz superior 128 del módulo 112 de fotobiorreactor más alto en el aparato 100. Cada grillete 154 de elevación de módulo puede incluir roscas 155 y un bucle 156. Un cable (no ilustrado) proporcionado en un aparato de izado (no ilustrado) puede ser sujetado al bucle 156 de grillete de cada grillete 154 de elevación de módulo, para facilitar elevación y descenso selectivo del módulo 112 de fotobiorreactor superior, con respecto al módulo 112 de fotobiorreactor inmediatamente subyacente de la pila, mediante funcionamiento del aparato de izado.

Como se ilustra en las figuras 10, 15 y 16, en algunas realizaciones, una empaquetadura 148 puede ser interpuesta entre el miembro superior transmisor de luz 128 de cada módulo 112 de fotobiorreactor y el miembro inferior transmisor de luz del próximo módulo 112 de fotobiorreactor más alto en la pila. Como se ilustra en la figura 16, cada empaquetadura 148 puede incluir múltiples aberturas 149 de conducto, que establecen comunicación fluida entre los conductos 132 de fotobiorreactor de los respectivos módulos 112 de fotobiorreactor apilados. En algunas realizaciones, al menos una abertura 150 de soporte de centro puede ser proporcionada en la porción central de la empaquetadura 148, para acomodar el extremo de al menos uno de los soportes 118 de placa de centro. Las aberturas 151 de esquina pueden ser proporcionadas en las respectivas esquinas de cada empaquetadura 148, para acomodar los receptáculos 140 de módulo en el módulo 112 de fotobiorreactor inferior y los pies 144 de módulo en el módulo 112 de fotobiorreactor superior. En consecuencia, la empaquetadura 148 puede proporcionar una junta estanca al fluido entre los conductos 132 de fotobiorreactor de módulos 112 de fotobiorreactor adyacentes.

Además de facilitar el control de los factores relacionados con luz y temperatura, el aparato divulgado permite el control de otros elementos que afectan la tasa de cultivo de las algas, tales como la concentración de CO₂, niveles de O₂, y niveles de nutrientes. Como se ilustra en la figura 13 de los dibujos, el gas 160, el fluido 161, la luz 162 y otras sustancias o elementos, pueden ser proporcionados como se requiere para el sustento y cultivo de las algas 133 en cada uno de los conductos 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor. Como se describe anteriormente, la luz 162 puede ser luz natural, luz artificial o una combinación de estas, proporcionada por la fuente 134 de luz (figura 1). El gas 160, el fluido 161, y otros elementos requeridos para el sustento y cultivo de las algas 133 pueden ser proporcionados en un medio de cultivo (no ilustrado) en el que las algas 133 estén suspendidas en cada conducto 132 de fotobiorreactor. En algunas realizaciones, cada módulo 112 de fotobiorreactor puede incluir sensores (que son designados esquemáticamente como "SENSOR A", "SENSOR B" y "SENSOR C", en la figura 13) adaptados para sentir varios parámetros del gas 160, el fluido 161, la luz 162, u otras sustancias o elementos requeridos para el sustento y el cultivo de las algas 133. Por ejemplo, en la figura 13, el SENSOR A puede ser un sensor 164 de gas que siente la presencia, concentración y/u otros parámetros, de un gas 160 que sustenta algas en los conductos 132 de fotobiorreactor; el SENSOR B puede ser un sensor 165 de fluido que siente la presencia, cantidad y/u otros parámetros, de un fluido 161 en los conductos 132 de fotobiorreactor; y el SENSOR C puede ser un sensor 166 de luz que siente la presencia, espectro y/u otros parámetros, de la luz 162 a la que las algas 133 están expuestas. El sensor 164 de gas, el sensor 165 de fluido y/o el sensor 166 de luz, puede ser adaptado para determinar las tasas permisibles de concentraciones o cantidades del gas 160, el fluido 161 y/u otras sustancias o elementos, y el espectro, intensidad, fuente y destino dentro del aparato 100, de la luz 162, para facilitar cambios en las concentraciones, cantidades y otros parámetros, con el fin de asegurar el cultivo óptimo de las algas 133 en los conductos 132 de fotobiorreactor. Como se ilustra en la figura 14, el sensor 164 de gas, el sensor 165 de fluido, el sensor 166 de luz (figura 13) y cualquier sensor adicional, puede ser proporcionado en uno o más conductos 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor. Las moléculas de carbono, el medio de cultivo y otras sustancias que pueden ser necesarias para el sustento y cultivo de las algas 133, pueden ser suministradas a las

algas 133 mediante varios procesos, incluido, pero no limitado, un lavador atmosférico o medioambiental, concentrado comprimido y emisiones industriales. En algunas realizaciones, un refrigerante (no ilustrado) puede ser proporcionado en cada conducto 132 de fotobiorreactor para ayudar en el control de temperaturas ambientales internas.

5 Como se ilustra en las figuras 17 y 18 de los dibujos, en alguna realización una compuerta 170 de algas bidireccional multibifurcada flexible puede ser proporcionada y colocada entre el borde inferior de los conductos 132 de fotobiorreactor y una disposición de colector tal como ensamblaje 104 de transferencia de producto que comprende una pluralidad de tubos 105 de transferencia de producto (véase la figura 1). El ensamblaje 104 de transferencia de
10 producto tiene agujeros para emparejarse con los extremos de los conductos 132 de fotorreactor, teniendo los agujeros las mismas o casi las mismas dimensiones (por ejemplo, diámetro) que las dimensiones internas (por ejemplo, diámetro) de los conductos 132 de fotorreactor.

15 Hay una compuerta 170 de algas por conducto 132 de fotorreactor. La compuerta 170 de algas está diseñada para abrirse cuando hay presión diferencial en ella, y para actuar como una válvula de dos caminos de baja resistencia que permite flujo hacia arriba y hacia abajo dependiendo de la dirección de la presión diferencial. Cuando la dirección del flujo es hacia abajo, la compuerta 170 de algas puede permitir que las células de algas que caen suavemente vayan a parar a su superficie superior, proporcionando a las células de algas un último punto de recurso para ir a parar y todavía continuar su cultivo en conductos 132 de fotorreactor iluminados.

20 La compuerta 170 de algas comprende el canto exterior 171 y múltiples aspas 172 ("bifurcaciones") de dispositivo interiores flexibles que se extienden hacia dentro desde el canto 171 de dispositivo. Como se describe anteriormente, la compuerta 170 de algas permite el flujo fluido bajo la influencia de presión diferencial, siendo un lado el lado de conducto 132 de fotobiorreactor y siendo el otro lado el tubo 105 de transferencia de producto del
25 lado de ensamblaje 104 de transferencia de producto. Como se muestra en la figura 1, los tubos 105 de transferencia de producto están acoplados para permitir la recolección mediante un recipiente de recolección adecuado, tal como el recolector 101 de producto mostrado en la figura 1. La flotabilidad de las algas mantiene generalmente las algas en los conductos 132.

30 El canto 171 de dispositivo que contacta con el borde inferior de los conductos 132 de fotobiorreactor funciona análogamente al sellado de una junta tórica de acuerdo con el conocimiento de los expertos en la técnica. La compuerta 170 de algas mantiene una forma planar y posición planar horizontal asociada y es así cerrada con tal de que la presión de fluido sea igual o casi igual en las bifurcaciones 172. Cuando se cambia ese equilibrio, tal como mediante la abertura de una válvula aguas abajo, las bifurcaciones 172 se doblarán en la dirección de flujo fluido. Si
35 una bomba de presión positiva es activada desde abajo, entonces el agua y el producto fluirán hacia arriba, y las bifurcaciones 172 se doblarán hacia arriba permitiendo que el agua y el producto fluyan de paso. Las bifurcaciones 172 flotan básicamente, pero favorecen su posición planar horizontal neutral. Proporcionan un tipo de estantería para que las algas 133 se sienten, manteniendo las algas 133 en la porción iluminada de los conductos 132, evitando así que las algas 133 se caigan en los tubos 105 de transferencia de producto oscuros. Esto también
40 permite una comunicación fluida virtualmente no obstruida de las columnas de agua individuales en los conductos 132 con el ensamblaje 104 de transferencia de producto (o colector) y así además, el suelo (o base), que completa la característica comprendiendo la principal de soporte de peso de agua por mediación de transferencia hidráulica.

45 El flujo hacia arriba proporcionado por la compuerta 170 de algas puede ser una característica importante ya que el módulo puede ser cosechado desde arriba o desde abajo del aparato. Dependiendo de la etapa de desarrollo, las algas pueden ser flotantes positiva o negativamente. La cosecha puede ocurrir en etapas características diferentes de flotabilidad de estas algas. Por lo tanto, en el caso de que las algas de flotabilidad positiva sean cosechadas desde arriba del aparato de módulo apilado, el agua puede ser bombeada en los conductos 132 desde abajo (por ejemplo a través de un ensamblaje de transferencia de producto/colector 104), resultando en agua fluyendo hacia
50 arriba a través de la compuerta 170 de algas, causando que el nivel de agua se incremente en todos los conductos 132, llevando así las algas flotantes a un colector de cosecha superior.

La compuerta 170 de algas puede ser formada desde una variedad de cuestiones. Por ejemplo, materiales resistentes al agua y flexibles, tales como cualquiera de los muchos materiales de goma sintética, por ejemplo
55 neopreno. Los materiales pueden también proporcionar resistencia a ácidos débiles o bases débiles. La geometría de canto exterior 171 de la compuerta 170 de algas puede ser fabricada para ajustarse a cualquiera de las diferentes geometrías empleadas en los conductos 132, ejemplos de lo cual se encuentran en las figuras 3, 4 y 5.

60 En la aplicación típica, el aparato 100 puede ser usado para producir y cosechar bioproductos de algas (no ilustrados) tales como biomasa de algas, excreciones de algas, y productos derivados de algas, por ejemplo y sin limitación. Los bioproductos de algas pueden ser usados para producir combustible de algas u otros productos útiles.

65 En consecuencia, como se ilustra en la figura 8, las algas 133 pueden ser colocadas en cada conducto 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor. Las algas 133 pueden estar suspendidas en un medio de cultivo de algas (no ilustrado) que contiene los gases 160 y los fluidos 161 (figura 13) y cualquier otro químico, sustancia o nutrientes, que pueda ser necesario para el sustento y cultivo de las algas 133. Al interior de los

conductos 132 de fotobiorreactor puede accederse a través de las respectivas aberturas 123 (figura 7) proporcionadas en el panel transmisor de luz superior 128 del módulo 112 de fotobiorreactor. Dependiendo de los requisitos de producción de los bioproductos de algas para ser cosechados desde las algas 133, un número seleccionado de los módulos 112 de fotobiorreactor puede ser apilado uno encima de otro, por ejemplo, de la manera que se ha descrito anteriormente con respecto a las figuras 10 y 11. Lo que es más, como se ilustra en la figura 6, múltiples aparatos 100 que tienen cada uno un número seleccionado de módulos 112 de fotobiorreactor pueden ser colocados en relación generalmente adyacente uno con respecto a otro, para incrementar además la capacidad de cultivo de algas del aparato 100.

La fuente 134 de luz (figura 1) puede ser accionada para transmitir luz 162 en cada conducto 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor a través de cables transmisores de luz 135, las ramificaciones 136 de tubo de luz y los miembros transmisores de luz 122, 126 y 128, respectivamente. La luz 162 es transmitida desde cada miembro transmisor de luz 122, 126 y 128, en cada conducto 132 de fotobiorreactor, en las superficies de contacto entre el miembro transmisor de luz 122, 126 y 128, y cada conducto 132 de fotobiorreactor correspondiente. En consecuencia, las algas 133 son sustentadas mediante gases 160, fluidos 161, luz 162, y nutrientes y sustancias dispuestas en el medio de cultivo dentro de cada conducto 132 de fotobiorreactor. El sensor 164 de gas, el sensor 165 de fluido, el sensor 166 de luz (figura 13) y cualquier sensor adicional (no ilustrado), puede indicar los intervalos de varios parámetros del gas 160, fluido 161, luz 162, y otras sustancias a las que las algas 133 están expuestas en cada conducto 132 de fotobiorreactor. Los tipos y cantidades de gas 160, fluido 161, luz 162 y otras sustancias pueden estar ajustadas para mantener esos elementos dentro de los intervalos para el sustento y cultivo óptimo de las algas 133 en los conductos 132 de fotobiorreactor.

Como resultado de su cultivo y metabolismo, las algas 133 producen bioproductos de algas (no ilustrados), que pueden incluir, pero que no están limitados a estos, biomasa de algas, excreciones de algas y productos derivados de las algas. Los bioproductos de algas que se producen por las algas 133 pueden drenarse desde los conductos 132 de fotobiorreactor de cada módulo 112 de fotobiorreactor, a través de tubos 105 de transferencia de productos del ensamblaje 104 de transferencia de producto, en el recipiente 101 de recolección del aparato 100. En algunas realizaciones, una bomba de vacío (no ilustrada) puede ser accionada para atraer los bioproductos de algas desde cada conducto 132 de fotobiorreactor, a través de tubos 105 de transferencia de producto del ensamblaje 104 de transferencia de producto, en el recipiente 101 de recolección. Los bioproductos de algas pueden después ser bombeados, transportados, tirados o de otro modo movidos, desde el recipiente 101 de recolección en el procesador 102 de producto. El procesador 102 de producto puede transformar los bioproductos de algas en combustible de algas u otro producto. En aplicaciones en las que múltiples módulos 112 de fotobiorreactor son apilados en el ensamblaje 104 de transferencia de producto del aparato 100, la empaquetadura 148 (figuras 10, 15 y 16) es interpuesta entre los módulos 112 de fotobiorreactor proporciona una junta estanca al fluido entre los conductos 132 de fotobiorreactor de los respectivos módulos 112 de fotobiorreactor. Los módulos 112 de fotobiorreactor puede ser retirados de forma selectiva desde el aparato 100, o añadido a este, uniendo las clavijas 154 de elevación de módulo (figura 12) al panel 128 de transmisión superior de cada módulo 112 de fotobiorreactor añadido o retirado, en lugar de los receptáculos 140 de módulo (figura 11), y que extiende un cable (no ilustrado) unido a un aparato de izado (no ilustrado) a través de un bucle 156 de clavija de cada clavija 154 de elevación de módulo. El aparato de izado puede después ser accionado para elevar el módulo 112 de fotobiorreactor superior desde el aparato 100, o para bajar un módulo 112 de fotobiorreactor adicional en el módulo 112 de fotobiorreactor superior del aparato 100.

Aunque no se muestra en las realizaciones ejemplares, se contemplan disposiciones de conducto alternativas, tal como la incorporación de conductos dispuestos concéntricamente. Además, aunque las realizaciones ejemplares descritas y representadas aquí detallan la retirada, o cosecha, de material de algas desde el fondo del módulo, será evidente para los expertos en la técnica que el material de algas podría ser cosechado fácilmente desde la parte superior de los módulos por mediación de la instalación de, por ejemplo, tubos de recolección y dispositivos colectores.

REIVINDICACIONES

1. Un módulo de fotobiorreactor para producir bioproductos de algas, que comprende:

- 5 - al menos un miembro superior e inferior transmisor de luz que tienen, cada uno, una pluralidad de aberturas, en el que dichos miembros superior e inferior transmisores de luz están espaciados uno de otro y al menos uno de dichos miembros superior e inferior transmisores de luz incluye al menos un terminal de conexión de luz para acoplarse a luz procedente de una fuente de luz y transmitir dicha luz lateralmente,
- 10 - una pluralidad de conductos de fotobiorreactor que se extienden, cada uno, desde respectivas aberturas en dicho miembro superior e inferior transmisor de luz y que definen un espacio interior de contención de algas, en el que dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor contactan con dichos miembros superior e inferior transmisores de luz a lo largo de áreas de contacto, y
- 15 en el que dicha luz transmitida lateralmente por dichos miembros superior e inferior transmisores de luz se acopla a dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor a lo largo de dichas áreas de contacto.

2. El módulo de fotobiorreactor de la reivindicación 1, que comprende además al menos un soporte sólido que se extiende desde entre respectivas aberturas de dicha pluralidad en dicho miembro superior e inferior transmisor de luz para refuerzo estructural.

3. El módulo de fotobiorreactor de la reivindicación 1, en el que dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactores comparten paredes laterales.

4. El módulo de fotobiorreactor de la reivindicación 1, en el que dicho terminal de conexión de luz está configurado para recibir un cable transmisor de luz.

5. El módulo de fotobiorreactor de la reivindicación 1, que comprende además al menos un miembro adicional transmisor de luz, interpuesto entre dicho miembro superior e inferior transmisor de luz.

6. Un aparato modular apilado verticalmente para producción y cosecha de algas, que comprende:

- una pluralidad de módulos de fotobiorreactor apilados uno encima de otro para producir bioproductos de algas, comprendiendo cada uno de dichos módulos de fotobiorreactor:

al menos un miembro superior e inferior transmisor de luz que tienen, cada uno, una pluralidad de aberturas, en el que dichos miembros superior e inferior transmisores de luz están espaciados uno de otro y al menos uno de dichos miembros superior e inferior transmisores de luz incluye al menos un terminal de conexión de luz para acoplarse a luz procedente de una fuente de luz y transmitir dicha luz lateralmente, una pluralidad de conductos de fotobiorreactor que se extienden, cada uno, desde respectivas aberturas en dicho miembro superior e inferior transmisor de luz y que definen un espacio interior de contención de algas, en el que dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor contactan con dichos miembros superior e inferior transmisores de luz a lo largo de áreas de contacto,

en el que dicha luz transmitida lateralmente por dichos miembros superior e inferior transmisores de luz se acopla a dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor a lo largo de dichas áreas de contacto, y

- una empaquetadura que comprende una pluralidad de aberturas de conducto interpuestas entre módulos de fotobiorreactor adyacentes de dicha pluralidad para proporcionar una junta estanca al fluido para la comunicación fluida de módulo a módulo entre respectivos conductos de fotobiorreactor de dicha pluralidad que están apilados uno sobre otro.

7. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, en el que dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor comprende además receptáculos roscados dispuestos en esquinas en un lado de dicha pluralidad de dichos módulos de fotobiorreactor y pies de módulos roscados en esquinas del otro lado de dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor, y en el que dichos pies de módulos roscados procedentes de una superior de dichas pluralidades de módulos de fotobiorreactor están insertados de forma enroscada en dichos receptáculos roscados de una inferior de dichas pluralidades de módulos de fotobiorreactor.

8. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, en el que dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor comprende además al menos un soporte sólido que se extiende desde entre respectivas aberturas en dicho miembro superior e inferior transmisor de luz para refuerzo estructural.

9. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, en el que dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor en cada uno de dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor comparte paredes laterales.

10. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, en el que dichos terminales de conexión de luz en cada uno de dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor están configurados para recibir un cable de transmisión de luz.
- 5 11. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, que comprende además cables transmisores de luz de fibra óptica acoplados a dichos terminales de conexión de luz para transmitir dicha luz desde dicha fuente de luz a cada uno de dichos miembros superior e inferior transmisores de luz.
- 10 12. El aparato modular apilado verticalmente de la reivindicación 6, que comprende además al menos un miembro adicional transmisor de luz interpuesto entre dicho miembro superior e inferior transmisor de luz.
13. Un método para producir bioproductos de algas, que comprende:
- 15 - proporcionar algas en al menos un módulo de biorreactor que comprende una pluralidad de conductos de fotobiorreactor que definen, cada uno, un espacio interior de contención de algas que se extienden, cada uno, desde respectivas aberturas en un miembro superior e inferior transmisor de luz, en el que dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor contactan con dichos miembros superior e inferior transmisores de luz a lo largo de áreas de contacto,
- 20 - transmitir lateralmente luz que es recibida por dicho miembro superior e inferior transmisor de luz a dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor, y acoplarse a dicha luz a lo largo de dichas áreas de contacto dentro de dicha pluralidad de conductos de fotobiorreactor para alcanzar dichas algas.
- 25 14. El método de la reivindicación 13, en el que dicho al menos un módulo de biorreactor comprende una pluralidad de módulos de fotobiorreactor apilados uno encima de otro.
15. El método de la reivindicación 14, en el que dicha pluralidad de módulos de fotobiorreactor proporcionan comunicación fluida de módulo a módulo entre respectivos conductos de fotobiorreactor de dicha pluralidad que están apilados uno encima de otro.

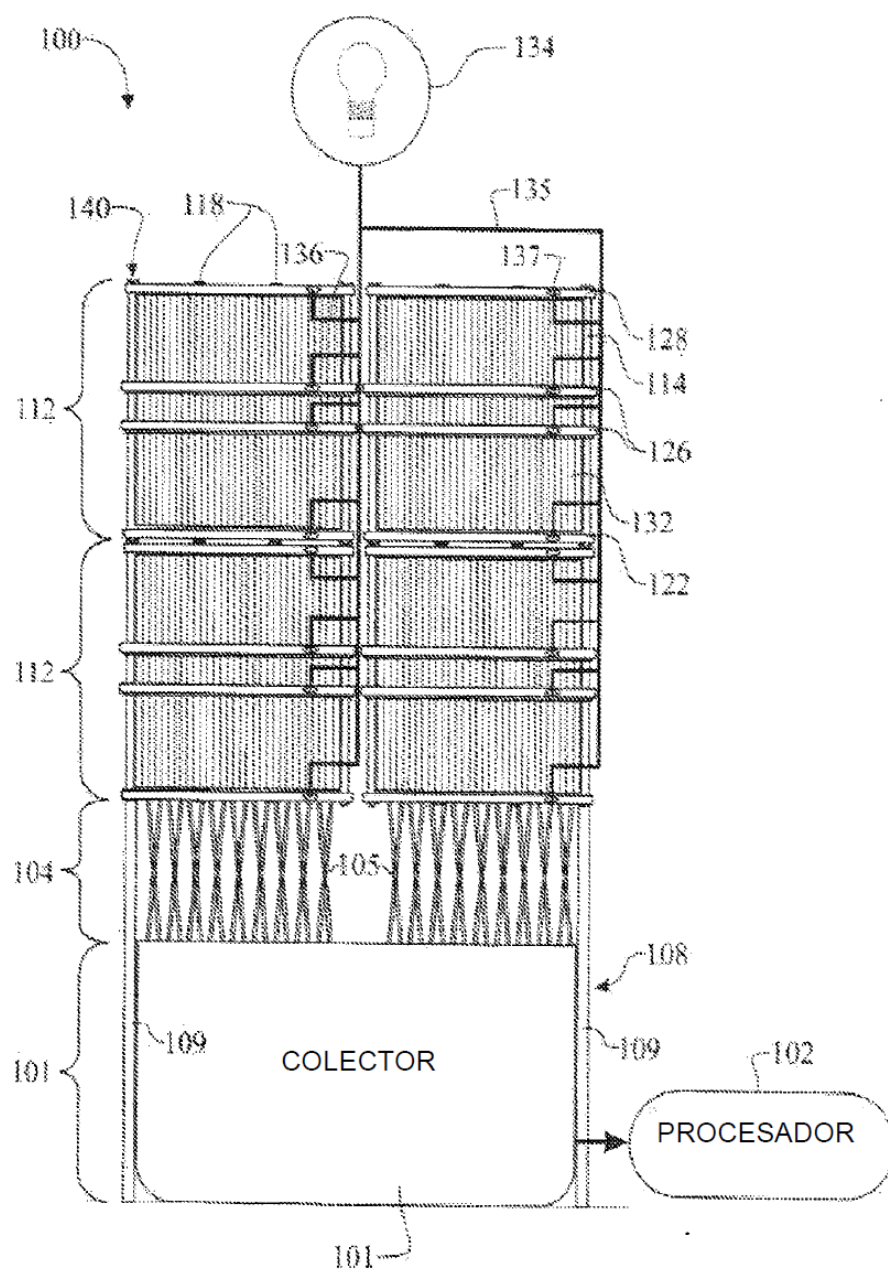


FIG. 1

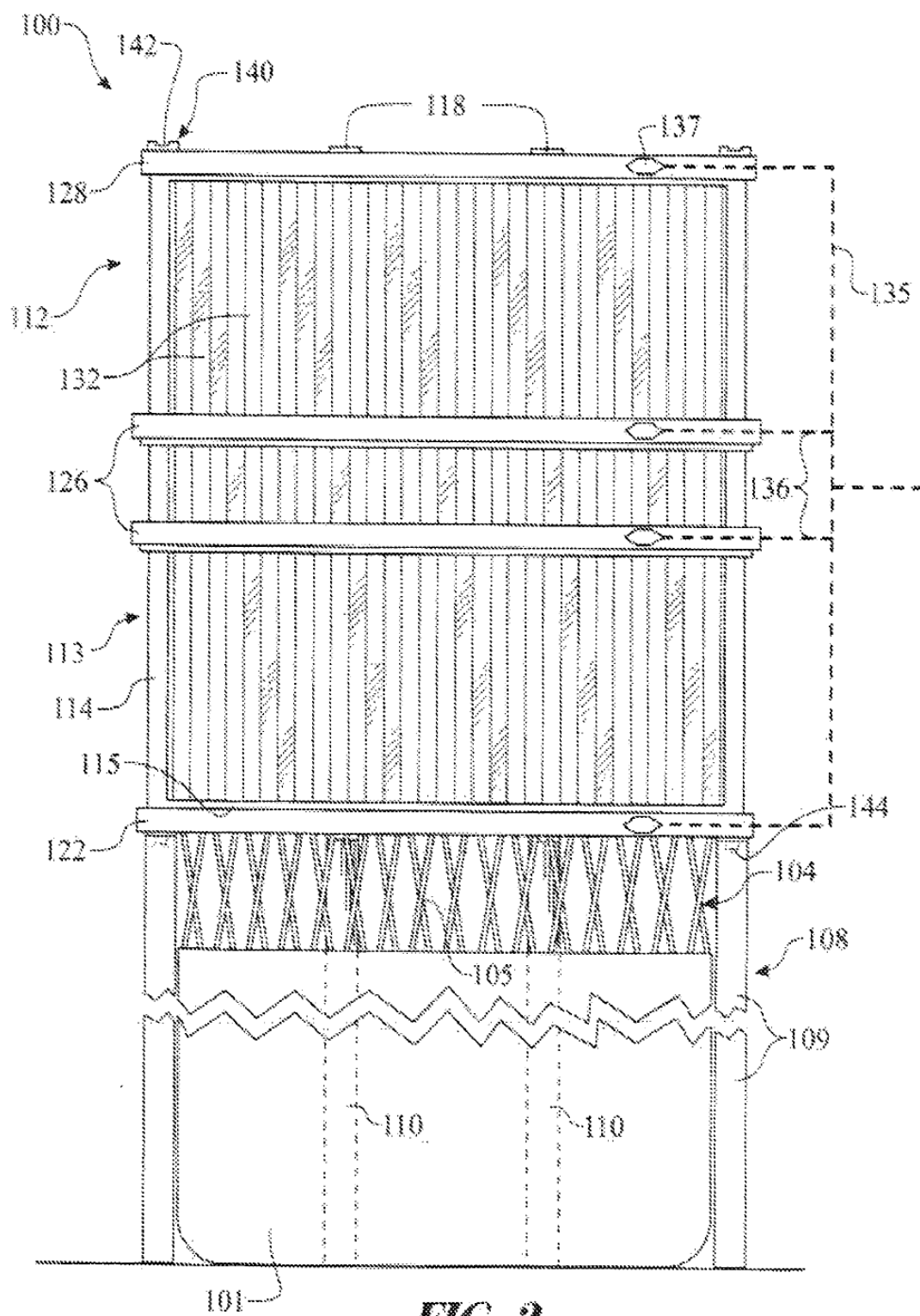


FIG. 2

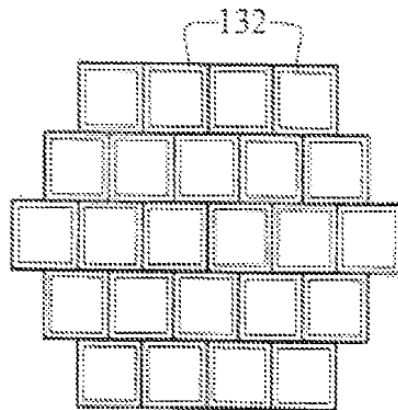


FIG. 3

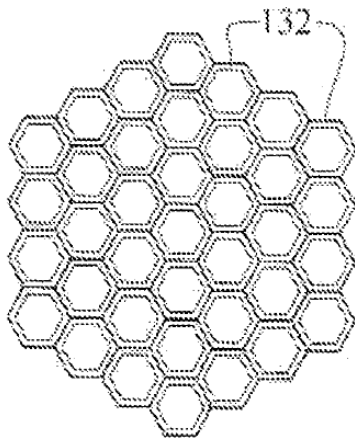


FIG. 4

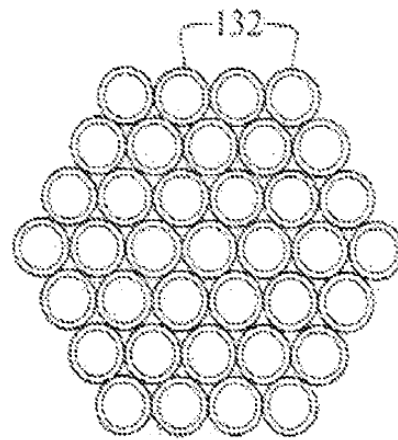


FIG. 5

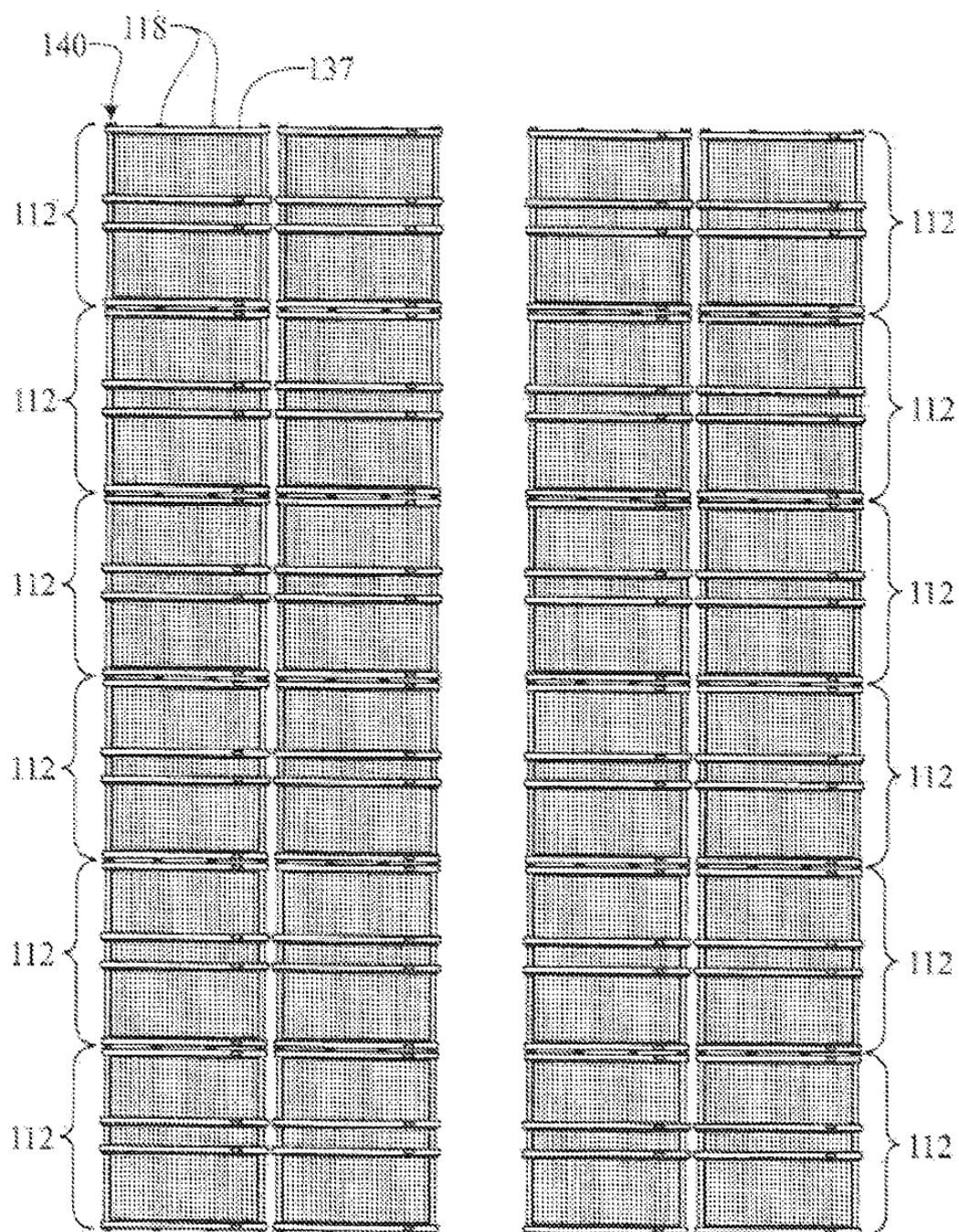


FIG. 6

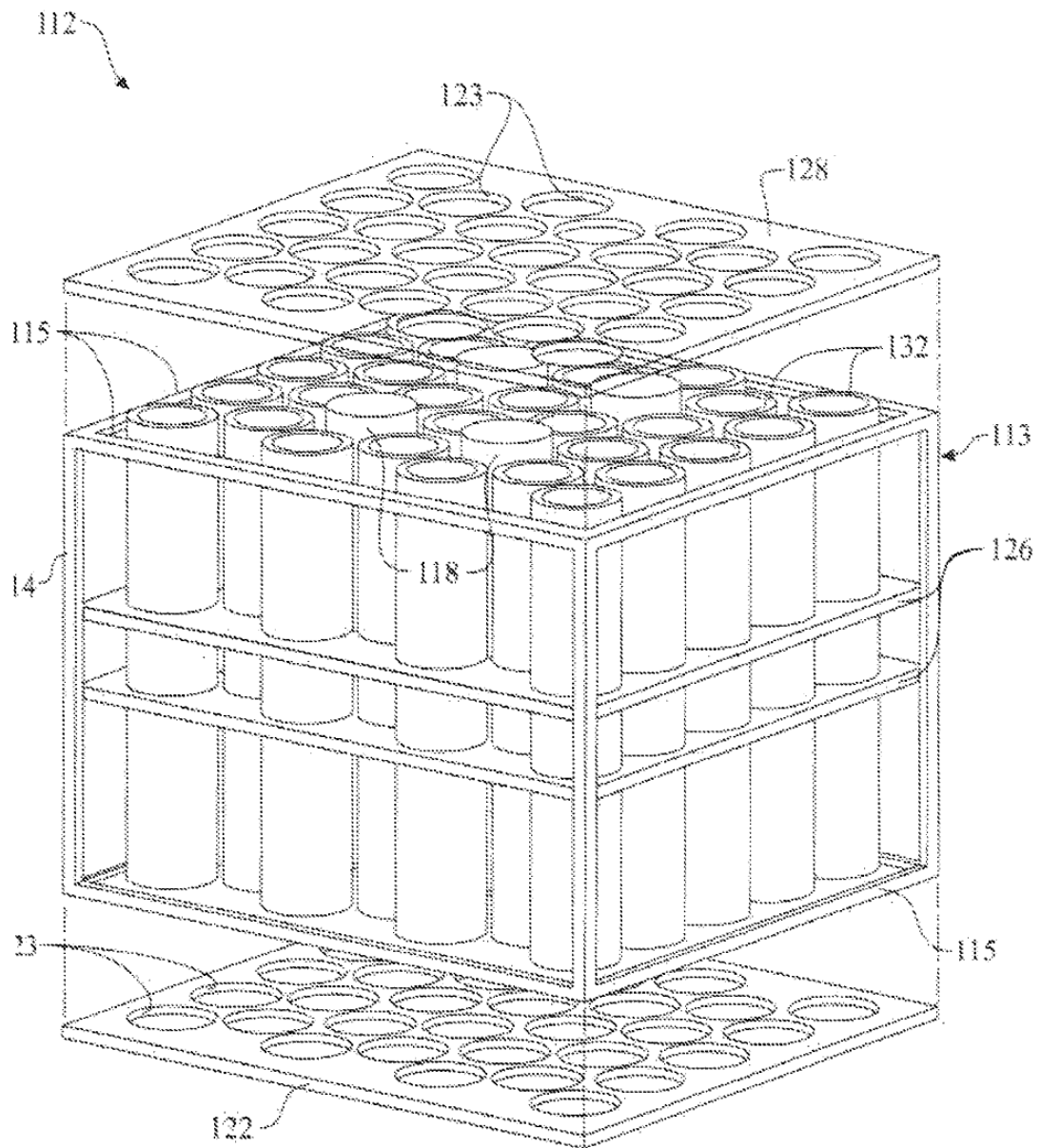


FIG. 7

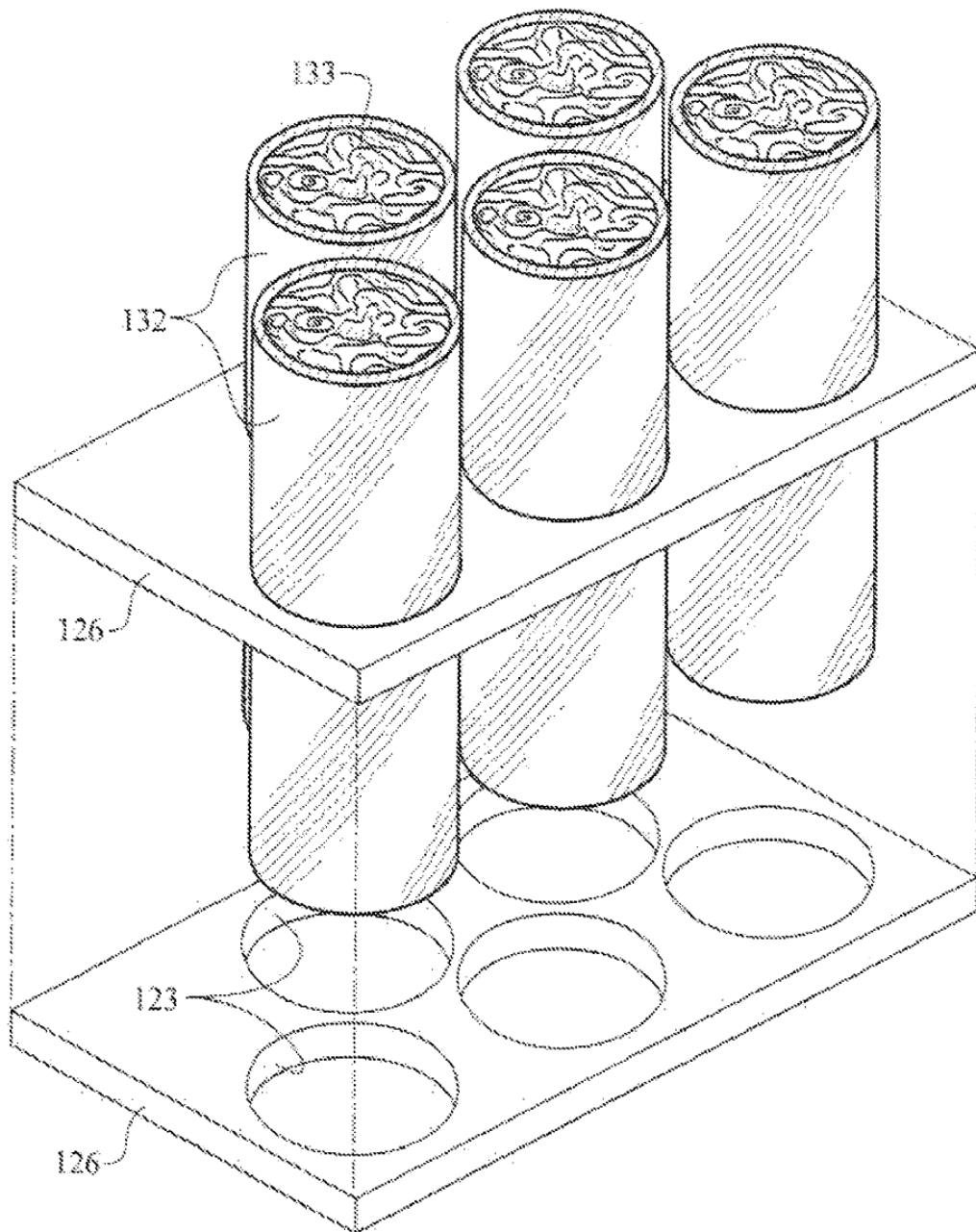


FIG. 8

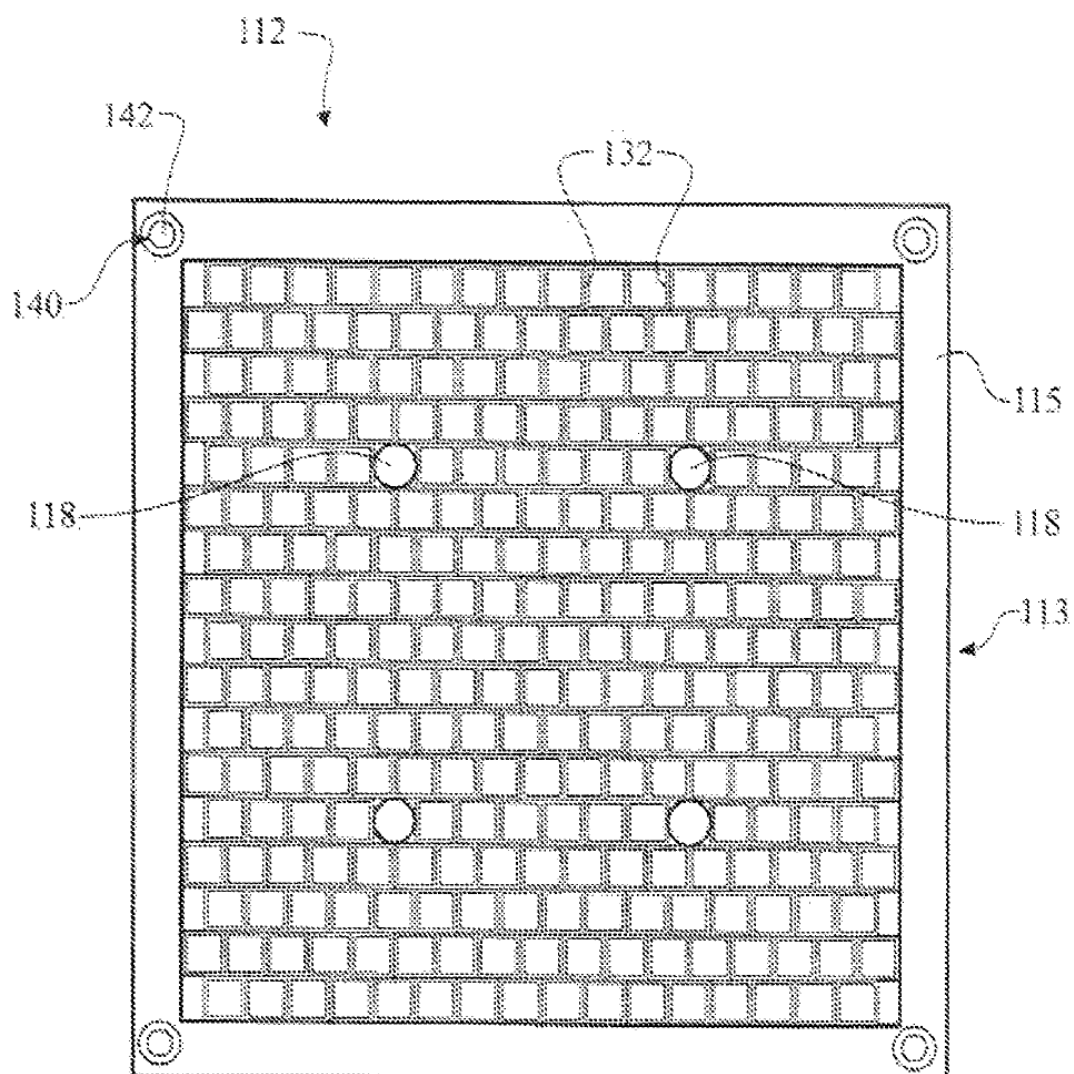


FIG. 9

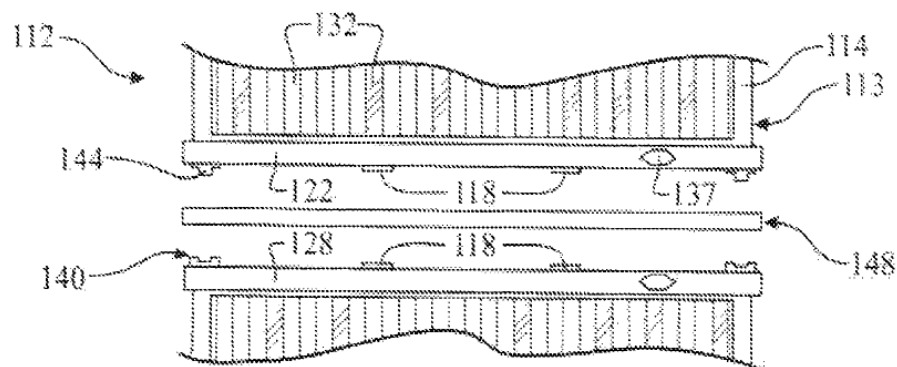


FIG. 10

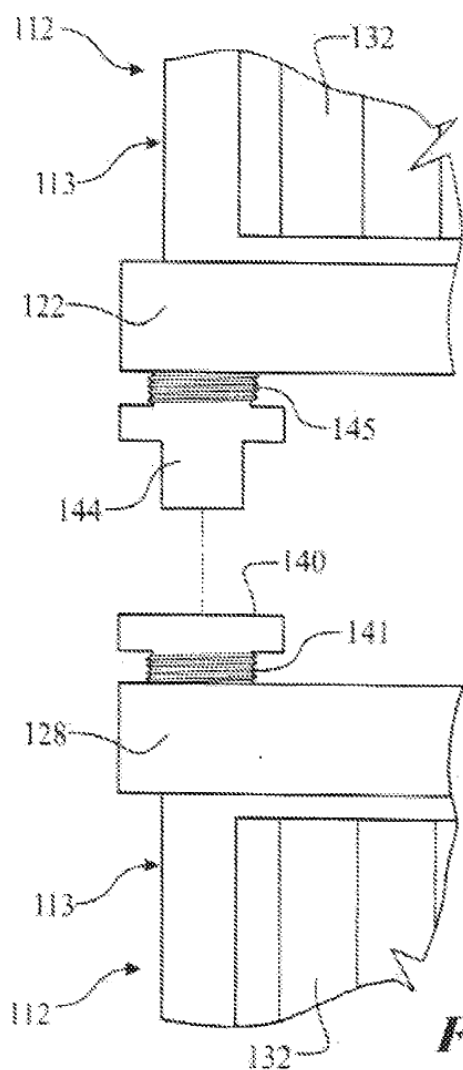


FIG. 11

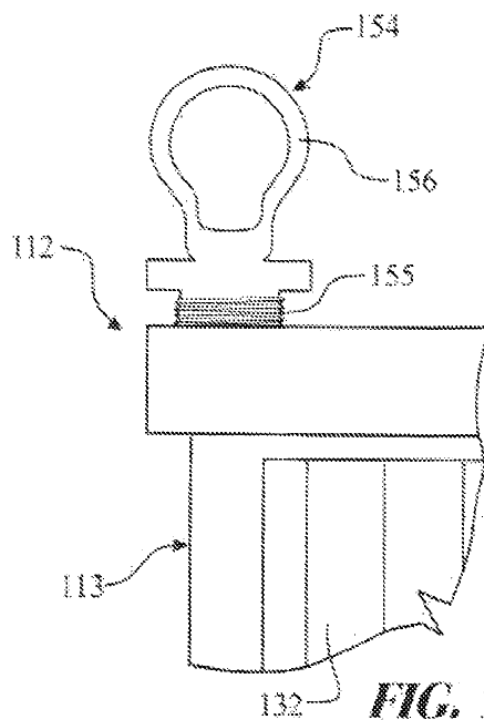


FIG. 12

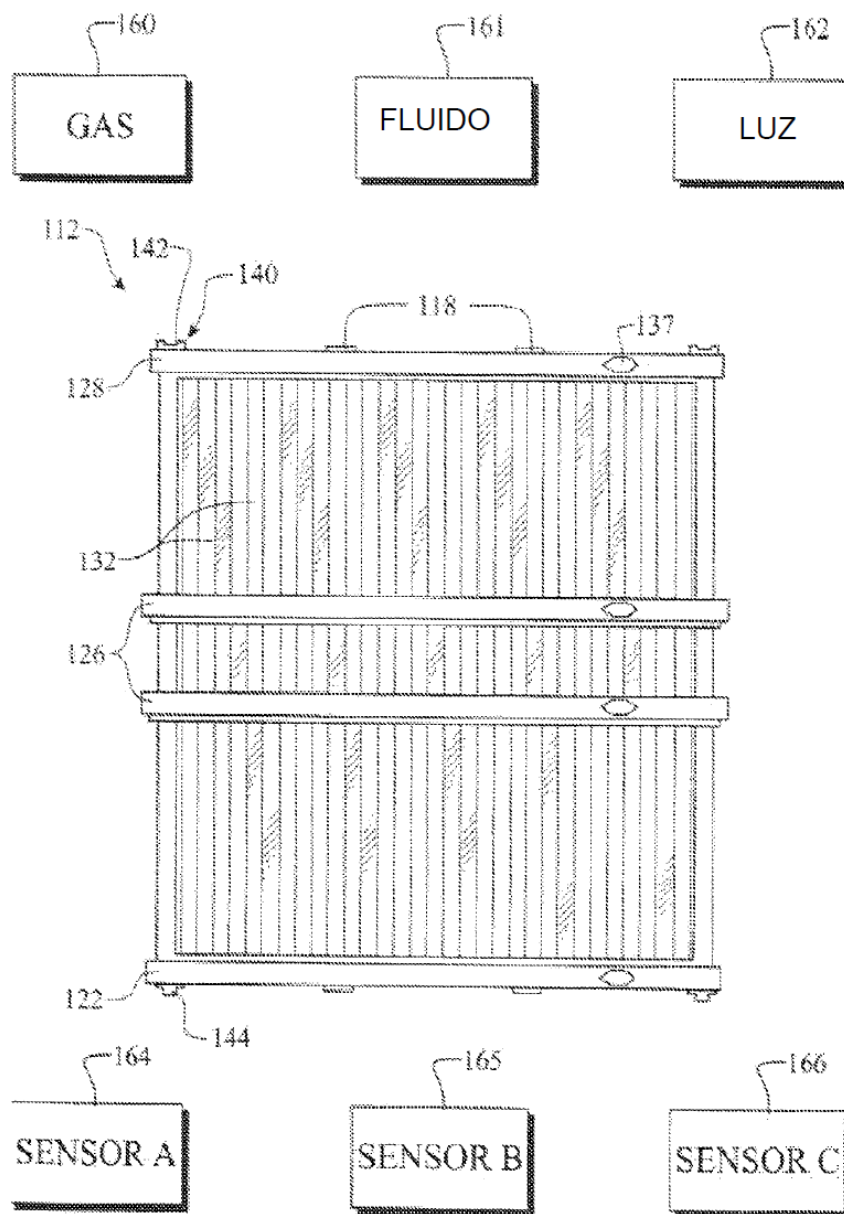


FIG. 13

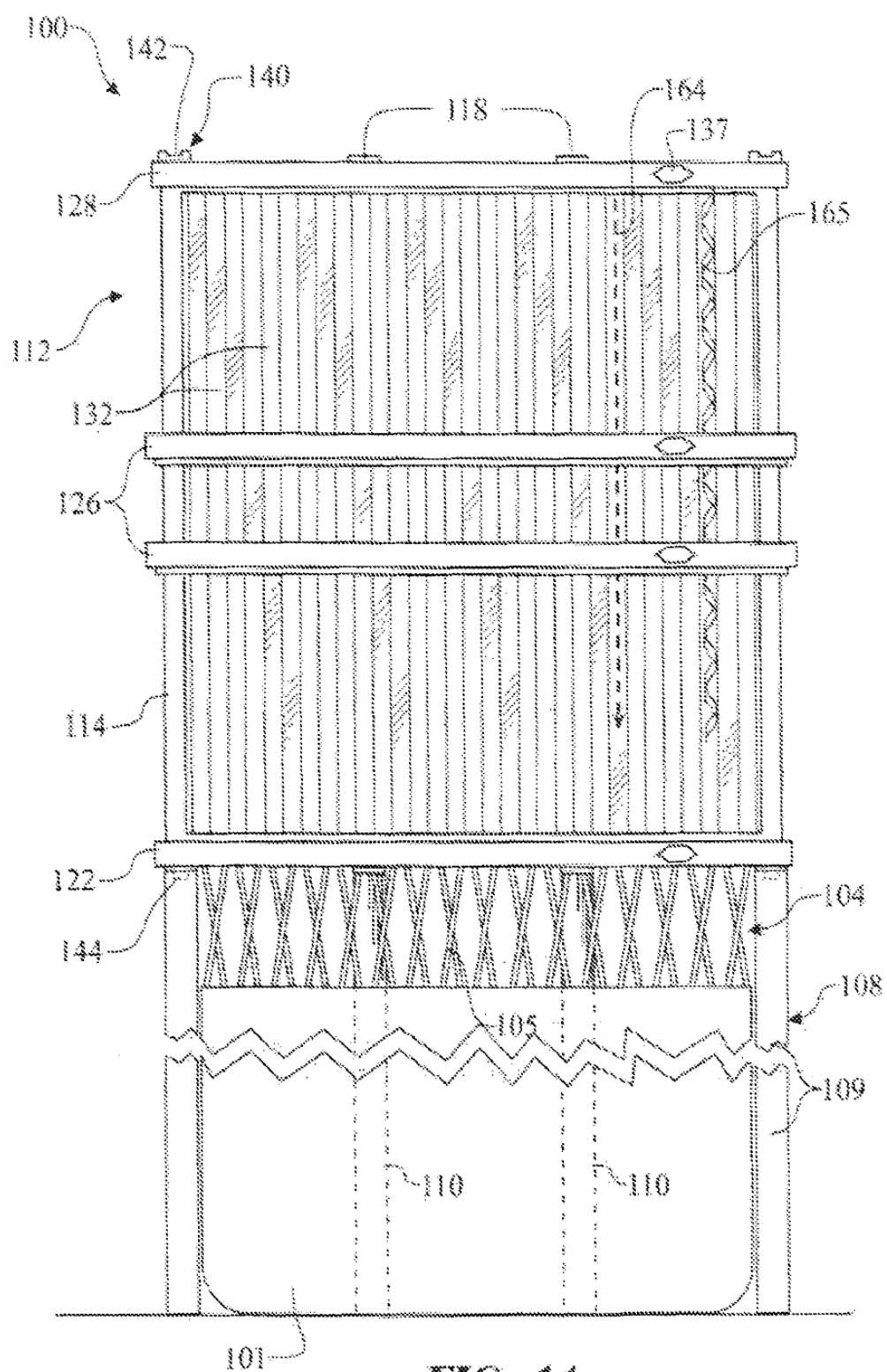
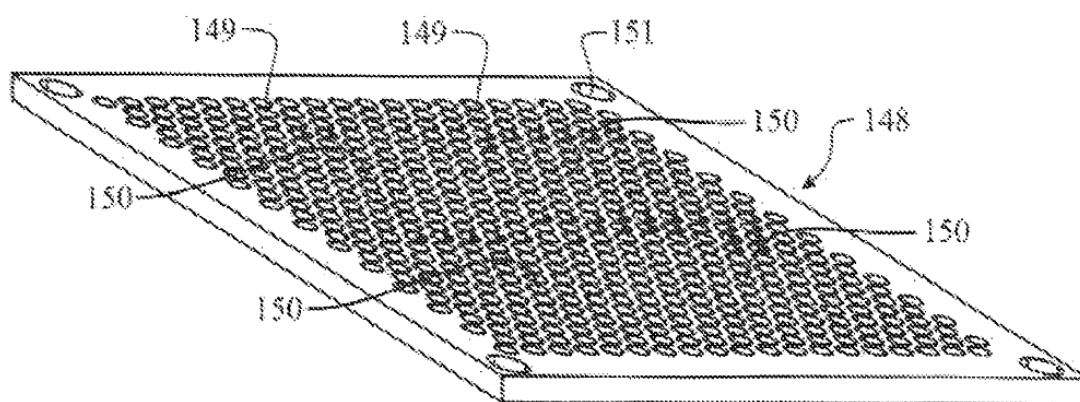
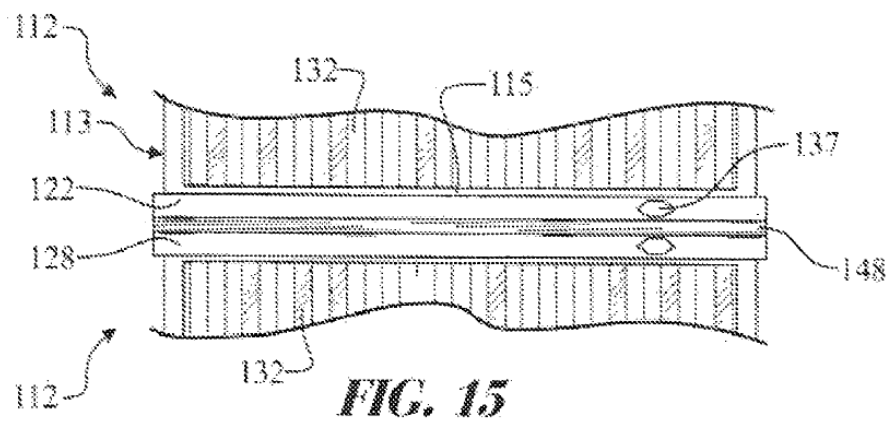


FIG. 14



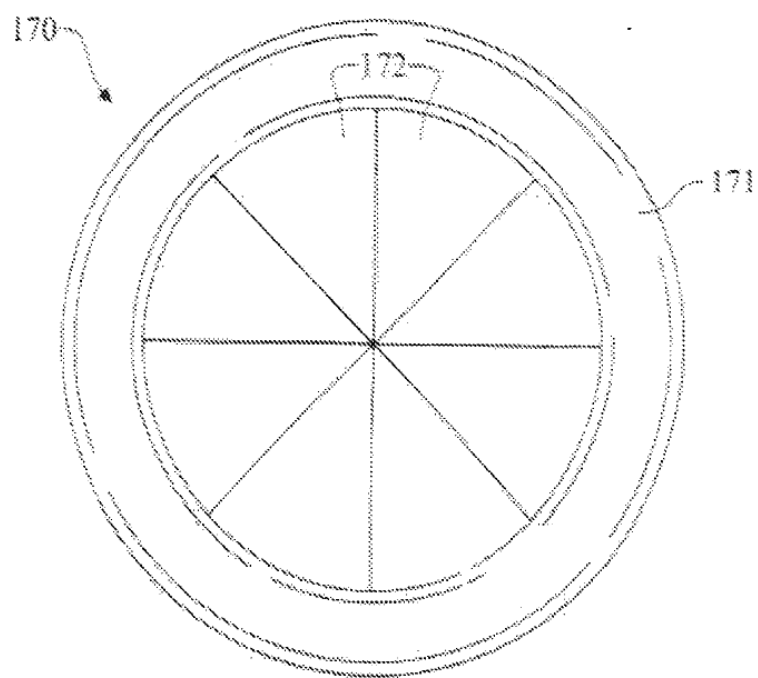
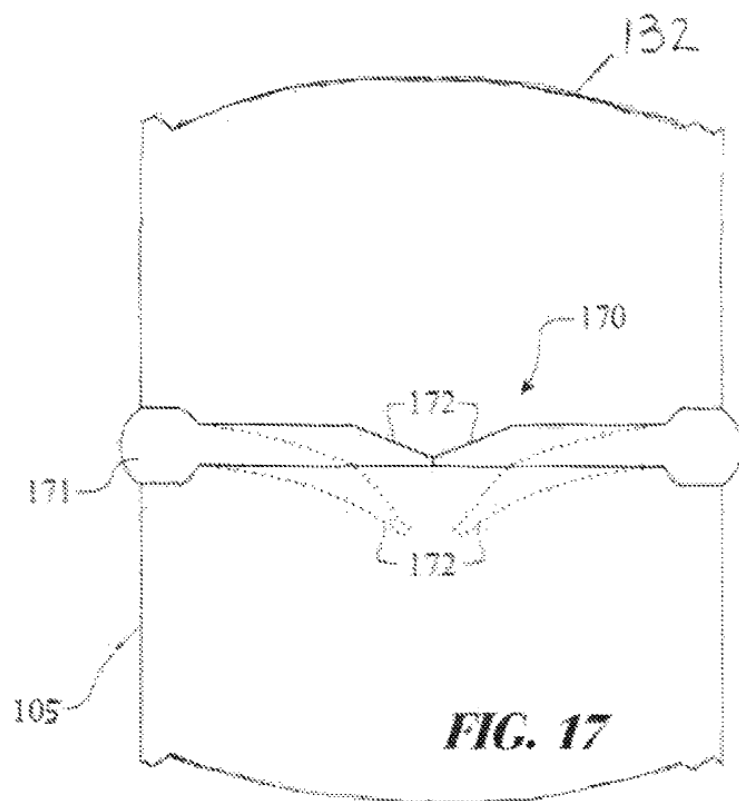


FIG. 18