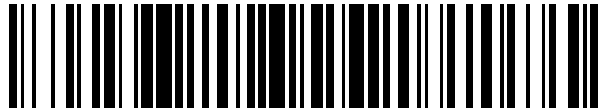


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 162**

21 Número de solicitud: 201730704

51 Int. Cl.:

**H02S 10/30** (2014.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**18.05.2017**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**19.11.2018**

Fecha de concesión:

**02.04.2019**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**09.04.2019**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu, 7  
28040 MADRID (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**DATAS MEDINA, Alejandro**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **CONVERTIDOR TERMOFOTOVOLTAICO**

57 Resumen:

Convertidor termofotovoltaico.

Un dispositivo de conversión de calor en electricidad que transforma directamente el calor radiante (fotones) en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. En esta invención, la célula fotovoltaica se sitúa en el interior de una cavidad incandescente, o emisor, que es calentada por una fuente térmica externa. La célula consta de dos caras dispuestas para absorber la radiación térmica de las paredes de dicha cavidad. Con el fin de disipar el calor no convertido en electricidad por la célula, ésta se encuentra envuelta por un fluido calo-portador que es transparente a la radiación térmica en el rango espectral de respuesta de la célula fotovoltaica.

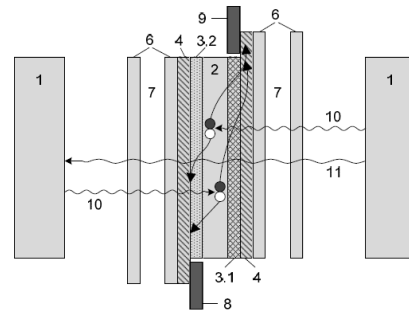


FIG. 1

ES 2 690 162 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

## DESCRIPCIÓN

### CONVERTIDOR TERMOFOTOVOLTAICO

#### 5 SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención pertenece al sector de la transformación directa de calor en electricidad mediante dispositivos fotovoltaicos.

#### 10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los convertidores termofotovoltaicos son dispositivos que se utilizan para la conversión del calor de muy a alta temperatura (superior a 1000°C) en electricidad. El mecanismo subyacente consiste en la conversión directa de la radiación térmica (fotones) en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Para ello, típicamente se utilizan semiconductores que son capaces de absorber fotones de baja energía y convertirlos en electrones que se mueven libremente dentro del semiconductor. Ejemplos de estos materiales son el antimonio de galio, el arseniuro de galio-indio o el germanio. Los elementos fundamentales de un convertidor termofotovoltaico son dos: el emisor térmico y la célula fotovoltaica. La disposición geométrica de un elemento respecto al otro es clave a la hora de adaptarse a la aplicación concreta en la que vamos a emplear el convertidor.

En una posible configuración de convertidor termofotovoltaico (TPV Tube Generators for Apartment Building and Industrial Furnace Applications," *AIP Conf. Proc.*, vol. 653, no. 1, pp. 38–48, Jan. 2003 [1], US4419532 A, US20150256119 A1), el emisor térmico son las paredes internas de una cavidad que es calentada a través de su superficie externa mediante una fuente de calor (combustión, energía solar, etc.). Las paredes internas de dicha cavidad, o emisor, son visibles por al menos una célula fotovoltaica, colocada en el interior de dicha cavidad. El emisor emite radiación térmica que es captada por la célula fotovoltaica, que consecuentemente produce electricidad. Esta configuración permite captar el calor del entorno en el cual se encuentra el convertidor, por lo que está indicada para su aplicación en la recuperación de calor en hornos industriales (tal como se describe en [1]) o en sistemas de almacenamiento de energía térmica (tal como se describe en US4419532 A o en US20150256119 A1).

35

Los diseños descritos anteriormente están concebidos para emplear células fotovoltaicas con dos contactos eléctricos, uno situado en la superficie frontal y otro situado en la superficie trasera de dicha célula. El contacto frontal es parcialmente transparente para permitir la absorción de radiación térmica, mientras que el contacto trasero es completamente opaco y está en contacto directo con un sustrato, cuya finalidad principal es la de conferir estabilidad mecánica y facilitar la disipación del calor generado en la célula. Dicho sustrato está en contacto con un disipador de calor que puede incorporar unos conductos por los que fluye un fluido refrigerante, de forma que mantiene la célula fotovoltaica a temperaturas no superiores a los 100°C.

5

10

Como en estos sistemas la radiación térmica proveniente del emisor llega a la célula con un ángulo de visión de 360°, es necesario disponer de al menos dos células, cada una capaz de captar un ángulo de visión de 180° por su superficie frontal. Estas células deben situarse en las caras opuestas del disipador de calor, de forma que el receptor formado por ambas células sea capaz de captar radiación proveniente de un ángulo de visión de 360°.

15

El principal problema de esta configuración es el elevado coste que conlleva el emplear dos células fotovoltaicas para captar toda la radiación proveniente del emisor. Por lo tanto, el objeto de esta invención es el de proporcionar un convertidor termofotovoltaico que requiera una única célula capaz de captar la radiación proveniente de un ángulo de visión de 360°, y que a la vez disponga de un sistema de disipación de calor que permita mantener a la célula a temperaturas no superiores a los 100°C.

20

## **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

25

La presente invención proporciona un convertidor termofotovoltaico para la conversión directa del calor en electricidad en una configuración en la cual el emisor son las paredes internas de una cavidad que rodea completamente a la célula fotovoltaica, y en el cual una única célula fotovoltaica es capaz de captar radiación proveniente de toda la superficie del emisor, y en el cual se dispone de un método de disipación de calor que permita refrigerar la célula fotovoltaica.

30

Este dispositivo permite reducir a la mitad la superficie de material semiconductor para generar la misma potencia eléctrica y, al mismo tiempo, aumentar la eficiencia de conversión de calor en electricidad. El resultado final es un menor coste de la electricidad generada.

35

Para ello, el convertidor termofotovoltaico de la invención comprende al menos una célula fotovoltaica (5) que consta de dos caras dispuestas para absorber radiación; un conducto (7) para la circulación de un fluido refrigerante con paredes (6) transparentes, donde el conducto (7) envuelve a la célula fotovoltaica y las paredes (6) están al menos parcialmente en contacto con ambas caras de la célula fotovoltaica (5); y un emisor térmico (1), preferiblemente cilíndrico, que envuelve a los elementos anteriores. En el convertidor de la presente invención, las paredes (6) son transparentes a la radiación emitida por el emisor (1), permitiendo así el paso de fotones a su través sin ser absorbidos.

10

En realizaciones preferidas de la presente invención, la célula fotovoltaica (5) está formada por una lámina foto-generadora (2) que genera pares electrón-hueco a partir de la absorción de los fotones emitidos por el emisor (1). Dicha lámina consta de dos caras, en las que se han depositado dos materiales, parcialmente transparentes en el rango espectral de absorción de la lámina foto-generadora (2), que realizan la función de contactos selectivos para electrones (3.1) y huecos (3.2), respectivamente. Sobre estas capas se deposita una capa adicional de material conductor eléctrico también semi-transparente (4), cuya función es transportar los electrones salientes del contacto selectivo de electrones (3.1) y los electrones entrantes al contacto selectivo de huecos (3.2). La célula fotovoltaica (5) formada por los elementos (2), (3.1), (3.2) y (4) está en contacto con al menos parte de las paredes (6) de un conducto (7) para la circulación de un fluido refrigerante, donde estas paredes (6) son transparentes a la radiación emitida por el emisor (1), al menos en el rango espectral correspondiente a la respuesta espectral de la lámina foto-generadora (2), permitiendo el paso de fotones a su través sin ser absorbidos.

25

El emisor (1) se calienta directamente mediante una fuente térmica externa (luz solar, combustión, reacción nuclear, etc.) y emite fotones por su cara interior. Los fotones emitidos (10) que tienen energía suficiente para ser absorbidos en la lámina foto-generadora (2) generan un par electrón/hueco en su interior. Los electrones son colectados por el contacto selectivo de electrones (3.1) y los huecos por el contacto selectivo de huecos (3.2). Los huecos que llegan al contacto selectivo de huecos (3.2) recombinan con los electrones entrantes a dicho contacto a través de la capa conductora (4), permitiendo el flujo de corriente a través de las terminales positiva (8) y negativa (9) del convertidor. Los fotones (11) que no tienen energía suficiente para ser absorbidos en la lámina foto-generadora (2) pueden reabsorberse en la pared opuesta del emisor (1). De esta forma, dichos fotones

35

pueden ser reciclados y contribuir a mantener caliente el emisor (1). Sin embargo, parte de los fotones emitidos por el emisor (1) pueden ser absorbidos en alguno de los elementos intermedios (2), (3.1), (3.2), (4) o (6), contribuyendo a aumentar la temperatura de dichos elementos, y con ellos la de la lámina foto-generadora (2). Para evitar que dicha lámina alcance temperaturas excesivamente altas, preferentemente no superior a superior a 100 °C, ya que estas temperaturas terminarían dañando el dispositivo y reduciendo la eficiencia de conversión, se hace circular un fluido refrigerante por el conducto (7), que se encarga de transferir el calor generado por la absorción de estos fotones al exterior. Este fluido es transparente a la radiación emitida por el emisor (1) al menos en el rango espectral correspondiente a la respuesta espectral de la lámina foto-generadora (2), permitiendo el paso de fotones a su través sin ser absorbidos.

Esta invención puede emplearse en dos tipos de aplicaciones principales: sistemas de recuperación de energía en procesos industriales y sistemas de almacenamiento de energía a muy altas temperaturas, preferiblemente superiores a los 1000°C, por ejemplo, en sistemas de generación termosolar de concentración. También puede tener aplicación en la generación de electricidad en aplicaciones espaciales, especialmente en aquellas misiones que se realizan cerca del Sol y dónde la radiación solar es demasiado intensa como para utilizar células solares convencionales. En todas ellas, esta invención permitiría reducir el coste y mejorar la funcionalidad de estos sistemas de generación de energía.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

La Fig. 1 muestra un corte transversal de un convertidor termofotovoltaico de acuerdo a la invención.

La Fig. 2 muestra un corte transversal de un convertidor termofotovoltaico de acuerdo a otra realización en la que el convertidor consta de tres células fotovoltaicas conectadas en serie, de forma que la terminal positiva de una de las células se conecta con la terminal negativa de la siguiente, para lo cual se alterna la posición de los contactos selectivos para electrones (3.1) y huecos (3.2) en las células adyacentes del convertidor.

La Fig. 3 muestra una vista superior del convertidor termofotovoltaico.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5

El emisor (1) comprende un material refractario. En una posible realización, el emisor puede fabricarse mediante metales refractarios de alto punto de fusión (superior a 1000°C) y una presión de vapor relativamente baja ( $<10^{-9}$  atm a 1000°C), como por ejemplo tungsteno, molibdeno, tántalo o platino. En otra posible realización, el emisor (1) se fabrica utilizando un material cerámico refractario como el carburo de silicio, el grafito o la alúmina.

10

En una posible realización, la superficie de la cavidad interna del emisor (1) se recubre con una capa de un material refractario que confiere a la superficie propiedades de emisión térmica selectiva, de forma que la mayor parte de los fotones emitidos por el emisor tienen energías suficientemente altas como para producir la generación de un par electrón-hueco en la lámina foto-generadora (2). Esta capa puede consistir en un óxido de Yterbio (Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) u óxido de Erblio (Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de entre 1 y 10 micras de espesor.

15

La lámina foto-generadora (2) comprende un material semiconductor cuyo ancho de banda prohibida es suficientemente estrecho como para permitir la absorción de los fotones emitidos por el emisor en el rango de temperaturas de entre 1000 y 2000°C. En una posible realización, esta lámina puede fabricarse mediante semiconductores cristalinos que constan de un único elemento químico, como el silicio o el germanio, cuyos umbrales de absorción son de 1.12 eV y 0.66 eV, respectivamente. En otra posible realización, esta lámina puede fabricarse con materiales semiconductores cristalinos binarios, ternarios o cuaternarios como el GaSb, el InGaAs o el InGaAsSb, cuyos umbrales de absorción son de 0.73 eV, 0.74 eV y 0.5 eV, respectivamente.

20

25

Los contactos selectivos para electrones (3.1) y huecos (3.2) comprenden un material semiconductor. En una realización particular de la invención, los contactos selectivos pueden fabricarse del mismo semiconductor que se ha empleado para fabricar la lámina foto-generadora, pero incorporando dopantes tipo N para fabricar el contacto selectivo de electrones (3.1) o dopantes tipo P para fabricar el contacto selectivo de huecos (3.2). Si la lámina foto-generadora se ha fabricado en silicio o germanio, el dopante tipo N puede ser el Fósforo y el dopante tipo P puede ser el Boro. En otra realización particular, los contactos

30

35

selectivos pueden fabricarse con un material semiconductor con un ancho de banda prohibida mayor que la del semiconductor empleado para fabricar la lamina foto-generadora (2) y con el dopaje necesario (tipo N o P) para que funcione como contacto selectivo de electrones (tipo N) o huecos (tipo P). En el caso de una lámina foto-generadora de silicio o germanio, los contactos selectivos pueden fabricarse con silicio amorfo dopado con fosforo para fabricar el contacto selectivo de electrones (3.1), o dopado con boro para el contacto selectivo de huecos (3.2).

La capa conductora (4) puede tener un espesor variable desde 100 a 2000 nm, y fabricarse mediante un óxido conductor transparente, como por ejemplo el óxido de zinc dopado con aluminio (ZnO:Al) o el óxido de indio dopado con estaño (ITO). En otra realización particular, la capa conductora (4) puede comprender una malla metálica colocada sobre el óxido conductor transparente, con el fin de mejorar las propiedades de conducción eléctrica de dicha capa. Así mismo, es posible prescindir del óxido conductor transparente y emplear únicamente la malla metálica, directamente colocada sobre los contactos selectivos de electrones (3.1) o huecos (3.2). En cualquiera de las realizaciones anteriores, dicha malla metálica puede fabricarse mediante metales de alta conductividad eléctrica como la plata, el aluminio, el cobre o el oro.

Las paredes (6) del conducto (7) pueden fabricarse en cuarzo o vidrio, y la unión con la célula fotovoltaica (5) se puede realizar mediante un epoxi óptico transparente, de forma que se realice un buen contacto térmico y óptico entre ambas caras de la célula fotovoltaica (5) y las paredes (6) de dicho conducto (7).

El fluido refrigerante que se introduce por el conducto (7) puede ser un líquido con punto de ebullición comprendido entre los 50°C y los 400°C, y es al menos parcialmente transparente a la radiación en el rango espectral correspondiente a la absorción en la lámina foto-generadora (2). En una realización particular de la invención se emplea agua destilada como fluido refrigerante, ya que es transparente a la radiación con longitudes de onda comprendidas entre las 200 y 1000 nm, y su punto de ebullición a presión atmosférica es de 100°C. El empleo de agua como líquido refrigerante podría combinarse con una lámina foto-generadora (2) de silicio, cuya respuesta espectral comprende el rango de 400 a 1100 nm. En otra realización particular, el fluido puede consistir en líquidos de mayor punto de ebullición como el glicerol (290°C), etilenglicol (197°C) o el therminol (359°C). Estos fluidos, junto con otros fluidos de menor punto de fusión como el metanol (65°C), el etanol (78°C), el

alcohol isopropílico (83°C), o el etanoato de etilo (77°C), tienen la ventaja de tener una mayor transmitancia en la ventana de 800 a 1400 nm, donde la respuesta espectral de una lamina foto-generadora de silicio es mayor.

- 5 En realizaciones particulares de la presente invención, el convertidor termofotovoltaico que se describe en esta solicitud de patente comprende dos o más células fotovoltaicas (5) conectadas en serie. En particular, las células fotovoltaicas se conectan de forma que la terminal positiva (8) de una de las células se conecta con la terminal negativa (9) de la siguiente, para lo cual se alterna la posición de los contactos selectivos para electrones (3.1) y huecos (3.2) en las células adyacentes del convertidor. En particular, la figura 2 se muestra el convertidor de la invención con tres células fotovoltaicas (5) en serie.
- 10

Las realizaciones que incluyen dos células o mas conectadas en serie permiten aumentar la tensión de salida del convertidor y al mismo tiempo aumentar el área de captación de energía del convertidor. De esta forma, es posible aumentar el tamaño del convertidor y con ello la potencia generada, sin necesidad de aumentar la corriente de salida, lo cual conllevaría unas pérdidas óhmicas muy elevadas.

15



## REIVINDICACIONES

1.- Un convertidor termofotovoltaico caracterizado porque comprende:

5 - al menos una célula fotovoltaica (5) que consta de dos caras dispuestas para absorber radiación;

- un conducto (7) para la circulación de un fluido refrigerante con paredes (6) transparentes, que envuelve a la célula fotovoltaica, donde las paredes (6) están al menos parcialmente en contacto con ambas caras de la célula fotovoltaica (5); y

- un emisor térmico (1) que envuelve a los elementos anteriores.

10

2.- El convertidor termofotovoltaico de la reivindicación 1, donde la célula fotovoltaica (5) comprende:

• una lámina foto-generadora (2) de pares electrón-hueco que consta de dos caras;

15 • una capa de material parcialmente transparente en el rango espectral de absorción de la lámina (2), con función de contacto selectivo para electrones (3.1), depositada sobre una de las caras de la lámina foto-generadora (2);

• una capa de material parcialmente transparente en el rango espectral de absorción de la lámina (2), con función de contacto selectivo para huecos (3.2), depositada sobre la otra cara de la lámina foto-generadora (2), y

20

• capas de material conductor eléctrico semi-transparente (4) depositadas sobre las capas (3.1) y (3.2).

3.- El convertidor termofotovoltaico según la reivindicación 2, donde la lámina foto-generadora (2) comprende un material semiconductor cristalino seleccionado del grupo que  
25 consiste en silicio, germanio, GaSb, InGaAs y InGaAsSb.

4.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, donde

30 la capa de material con función de contacto selectivo para electrones (3.1) comprende el mismo material semiconductor que la lámina foto-generadora (2) junto con dopantes tipo N; y

la capa de material con función de contacto selectivo para huecos (3.2) comprende el mismo material semiconductor que la lámina foto-generadora (2) junto con dopantes tipo P.

- 5.- El convertidor termofotovoltaico según la reivindicación 4, donde el material semiconductor se selecciona entre silicio y germanio, el dopante tipo N de la capa (3.1) es Fósforo y el dopante tipo P de la capa (3.2) es Boro.
- 5 6.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, donde
- la capa de material con función de contacto selectivo para electrones (3.1) comprende un material semiconductor con un ancho de banda prohibida mayor que la del semiconductor comprendido en la lamina foto-generadora (2) y dopantes tipo N; y
- 10 la capa de material con función de contacto selectivo para huecos (3.2) comprende un material semiconductor con un ancho de banda prohibida mayor que la del semiconductor comprendido en la lamina foto-generadora (2) y dopantes tipo P.
- 7.- El convertidor termofotovoltaico según la reivindicación 6, donde el material semiconductor de la lámina foto-generadora (2) se selecciona entre silicio y germanio, el material semiconductor de las capas (3.1) y (3.2) es silicio amorfo, el dopante tipo N de la capa (3.1) es Fósforo y el dopante tipo P de la capa (3.2) es Boro.
- 15 8.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, donde la capa conductora (4) comprende un óxido conductor transparente, una malla metálica o una combinación de ambos.
- 20 9.- El convertidor termofotovoltaico de la reivindicación 8, donde la malla metálica está formada con un metal seleccionado del grupo que consiste en plata, aluminio, cobre y oro.
- 25 10.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde una capa de material refractario con propiedades de emisión térmica selectiva está depositada en la superficie de la cavidad interna del emisor (1).
- 30 11. El convertidor termofotovoltaico según la reivindicación 10, donde el material refractario se selecciona entre óxido de Yterbio y óxido de Erblio, y la capa tiene un espesor entre 1 y 10 micras.

- 12.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde las paredes (6) están al menos parcialmente en contacto con ambas caras de la célula fotovoltaica (5) mediante un epoxi óptico transparente.
- 5 13.- El convertidor termofotovoltaico según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, donde el fluido refrigerante que circula por el conducto (7) es un líquido con punto de ebullición entre 50°C y 400°C, parcialmente transparente a la radiación en el rango espectral de absorción de la lámina foto-generadora (2).
- 10 14.- El convertidor termofotovoltaico de acuerdo una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende dos o más células fotovoltaicas (5) conectadas en serie.
- 15.- Uso del convertidor termofotovoltaico que se describe en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en sistemas de recuperación de energía en procesos industriales, sistemas de almacenamiento de energía a temperaturas superiores a los 1000°C o en sistemas de generación de electricidad en aplicaciones espaciales.
- 15

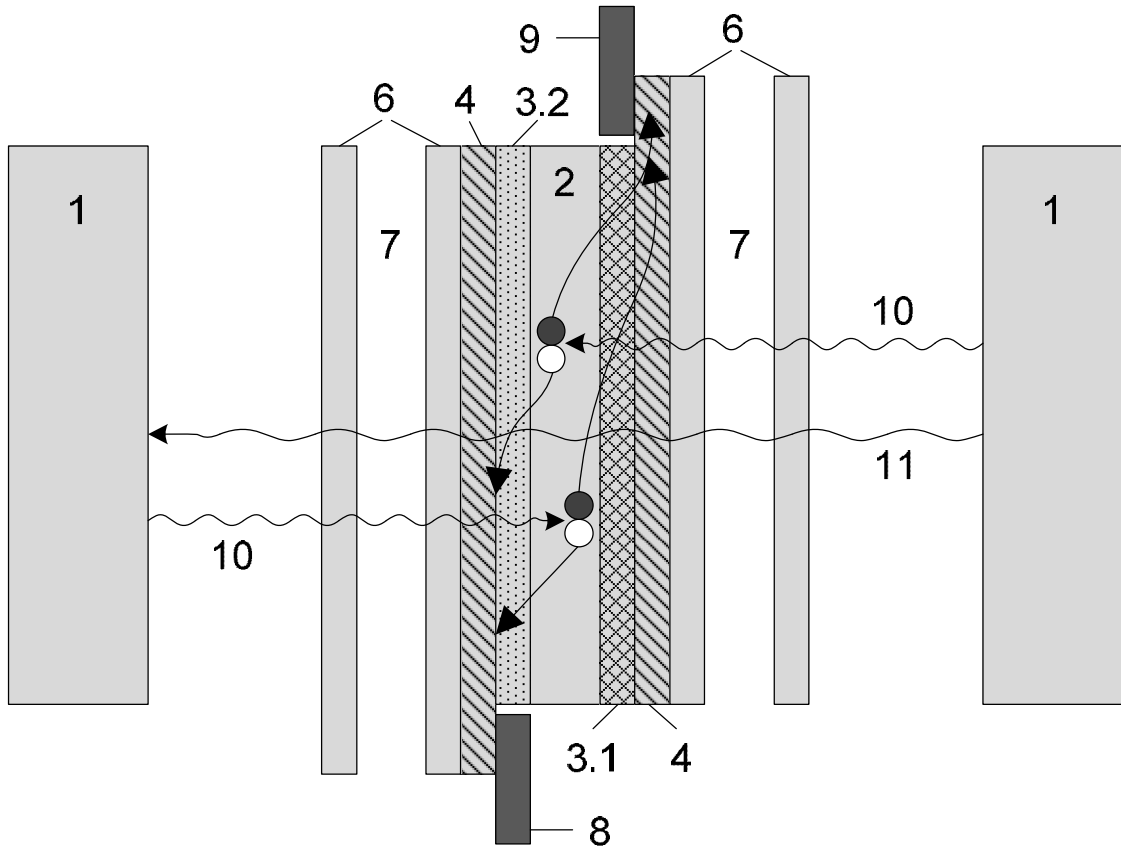


FIG. 1

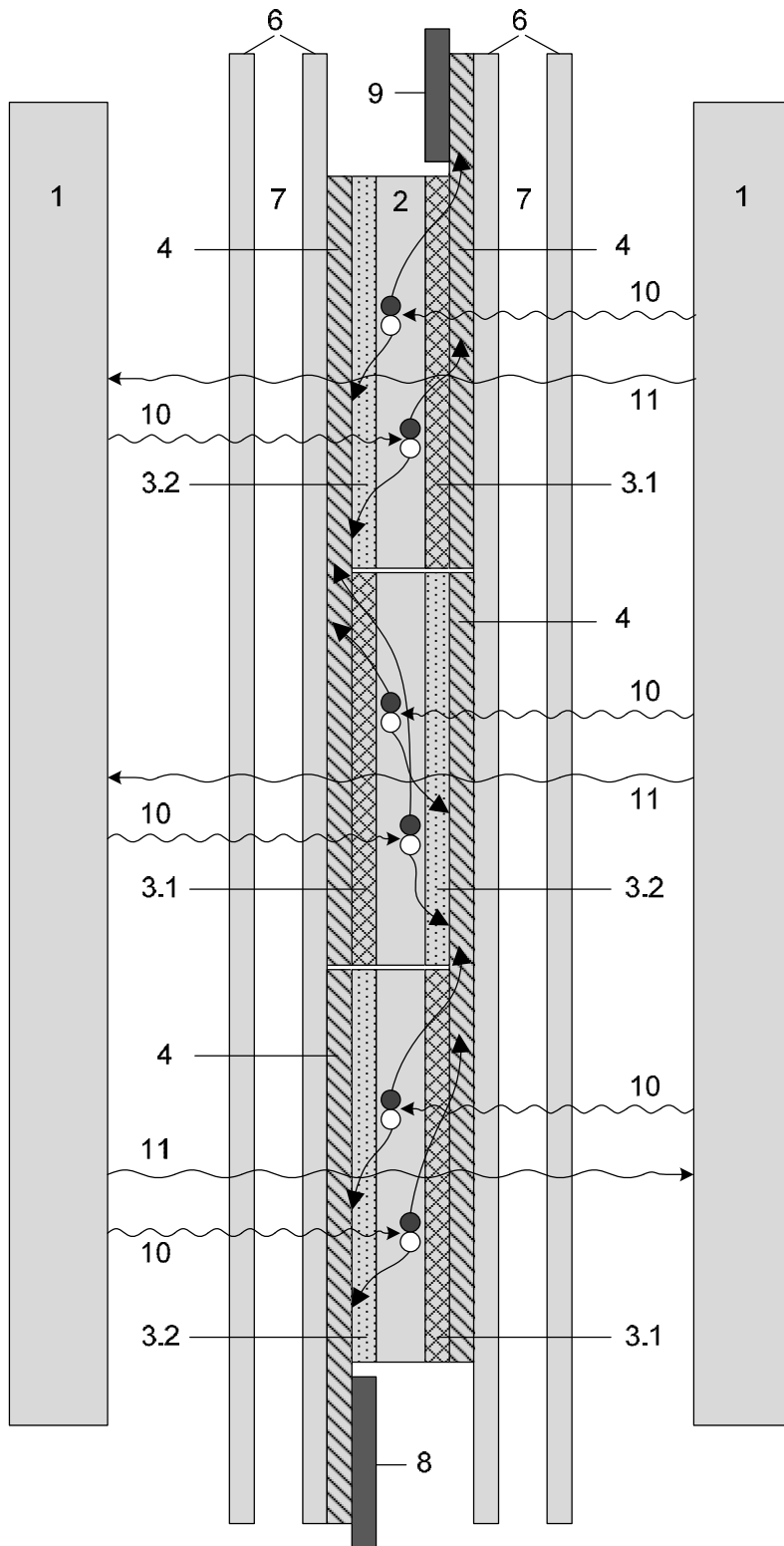


FIG. 2

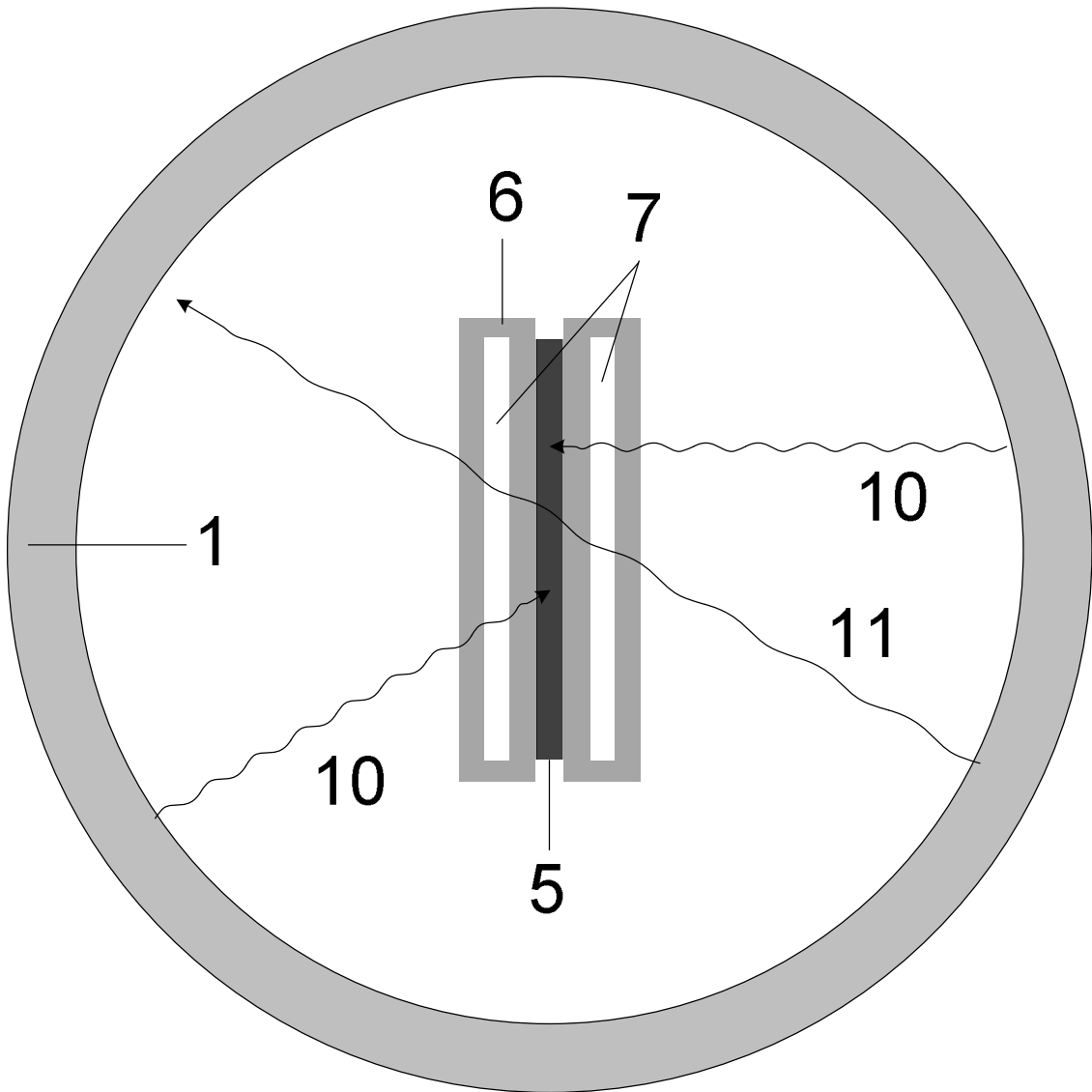


FIG. 3