

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 113**

51 Int. Cl.:

F23D 14/18 (2006.01)

F23D 99/00 (2010.01)

F24J 2/07 (2006.01)

H01L 31/042 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2012 PCT/EP2012/056345**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.10.2012 WO12136800**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2012 E 12714664 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016 EP 2694879**

54 Título: **Sistema termofotovoltaico que comprende un emisor**

30 Prioridad:

06.04.2011 FR 1153000

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.03.2017

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

OLLIER, EMMANUEL

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 605 113 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

Sistema termofotovoltaico que comprende un emisor

5 Ámbito técnico y técnica anterior

La presente invención se refiere a un emisor para sistema termofotovoltaico y a un sistema termofotovoltaico que comprende al menos dicho emisor, con dicho sistema destinado, por ejemplo, a la producción de electricidad mediante conversión de calor o al calentamiento de elementos.

10 Existen sistemas que comprenden células fotovoltaicas que convierten la radiación solar en electricidad. Sin embargo, se trata de sistemas que solo funcionan de día, es decir en presencia de radiación solar.

15 Estos sistemas comprenden células fotovoltaicas de estructura compleja que permiten una utilización optimizada del espectro solar, la radiación solar utilizada se concentra previamente por medio de un concentrador. Sin embargo, el rendimiento de estos sistemas baja cuando las condiciones de radiación dejan de ser especulares (es decir que la radiación es difusa) por ejemplo debido a la contaminación o a la cobertura nubosa, y cuando las condiciones climáticas se apartan de las condiciones idóneas para las que se han diseñado los sistemas. De ello resulta que la producción anual puede ser muy aleatoria y que el empleo de estos sistemas se limita en general a las zonas geográficas que presentan una importante insolación y relativamente homogénea en el transcurso del año.

20 Existen sistemas mixtos que asocian las células fotovoltaicas para convertir la radiación solar visible y otros medios para convertir el calor producido por la radiación solar infrarroja; sin embargo, estos sistemas son complejos y se limitan con yuxtaponer los sistemas, lo que eleva su coste.

25 Además, dado que los sistemas con células fotovoltaicas ofrecen un rendimiento limitado debido a su funcionamiento limitado al día, la amortización de estos sistemas es larga.

30 Existen asimismo sistemas que utilizan células termofotovoltaicas que convierten una radiación electromagnética que emite en el infrarrojo en electricidad. Dicho de otro modo, convierten calor en electricidad.

35 El documento US 7.557.293 describe un sistema termofotovoltaico que comprende una cámara de combustión alimentada con aire y con carburante, rodeada por un emisor, a su vez rodeado por células termofotovoltaicas. El calor liberado por la combustión se transmite entonces al emisor, que emite una radiación infrarroja a las células, que convierten este calor en electricidad. Este sistema no utiliza la radiación solar.

40 El documento CA 2.085.752 describe un sistema de generación de corriente que comprende células termofotovoltaicas sensibles a una radiación infrarroja. En una de las soluciones propuestas, el calentamiento puede efectuarse bien mediante una radiación luminosa concentrada, bien mediante la combustión de un gas. El sistema comprende una cavidad cilíndrica en la que tiene lugar la concentración, la cámara de combustión está formada por la cavidad cilíndrica, las células termofotovoltaicas están dispuestas alrededor de la cavidad cilíndrica. La superficie calentada por la radiación solar o por la combustión es idéntica. La emisión infrarroja se efectúa mediante excitación de un vapor de cesio contenido en una cavidad de tungsteno que rodea la cavidad cilíndrica, lo que provoca la emisión de radiación infrarroja, teniendo el tungsteno como función emitir electrones de excitación del cesio cuando este se lleva a muy alta temperatura. Esta temperatura es muy elevada ya que es del orden de 1.800°C. Por lo tanto, las tensiones termo-mecánicas aplicadas a este sistema son fuertes y la fiabilidad de este sistema puede ser un problema. Necesariamente, el sistema debe ser de tungsteno para resistir dicha temperatura. Además, es necesario un funcionamiento al vacío para no degradar el tungsteno con el aire. Por lo tanto, el sistema es complejo. Además, el sistema es relativamente voluminoso. Finalmente, la complejidad ligada al vacío, a la cavidad de cesio y al tamaño de los elementos dificulta la yuxtaposición de varios módulos en un mismo sistema de seguimiento del sol.

50 El documento US 6.372.979 B1 describe un sistema termofotovoltaico que comprende una cámara de combustión catalítica.

55 Exposición de la invención

En consecuencia, es un objetivo de la presente invención ofrecer un sistema capaz de generar electricidad en una gran franja de tiempo, incluso en permanencia, cualesquiera que sean las condiciones de iluminación, a la vez que ofrece una estructura relativamente sencilla y fiable con relación a los sistemas existentes.

60 Se alcanza el objetivo anteriormente enunciado mediante un sistema que emplea células termofotovoltaicas destinadas a transformar una radiación infrarroja en electricidad, con la radiación infrarroja procedente de un emisor que comprende una superficie exterior que recibe una radiación solar, al menos una cámara de combustión y una superficie exterior que emite una radiación infrarroja. De este modo, el sistema puede funcionar en permanencia bien debido a la radiación luminosa, bien a la combustión operada en la cámara de combustión, bien debido a la combinación de la radiación luminosa y de la combustión.

Dicho de otro modo, la invención emplea un emisor híbrido que emite una radiación infrarroja a partir de una radiación luminosa y/o de un calor de origen químico emitido durante la combustión. Este emisor comprende tres tipos de superficies:

- 5
- una superficie externa dedicada a la recepción del flujo solar concentrado,
 - una superficie interna dedicada al calentamiento por combustión,
- 10
- una superficie externa de emisión de la radiación infrarroja, situándose entonces las células termofotovoltaicas de conversión de la radiación infrarroja en electricidad frente a las superficies de emisión infrarroja.

De manera preferible, la superficie que recibe la radiación solar concentrada está opuesta a la que transmite la radiación infrarroja, lo que tiene como resultado proteger las células termofotovoltaicas de la radiación solar concentrada.

15

La cámara de combustión puede estar formada por canales realizados en un cuerpo macizo o por los poros de un material refractario poroso.

- 20
- De manera ventajosa, la alimentación de la cámara se realiza a través de una superficie distinta de las superficies dedicadas a la recepción y la transmisión.

La alimentación y la evacuación de la cámara de combustión tienen lugar ventajosamente a nivel de los extremos laterales con relación a la dirección de la radiación solar, dejando las caras exteriores de mayor superficie disponibles para recibir la radiación luminosa y para emitir la radiación infrarroja.

25

La presente invención tiene entonces por objeto un sistema termofotovoltaico según la reivindicación 1.

- 30
- De manera preferida, la segunda superficie exterior está opuesta a la primera superficie exterior con relación a dicha al menos una cámara de combustión.

En un modo de realización, el cuerpo comprende al menos un canal que forma la cámara de combustión. Dicho al menos un canal se extiende preferiblemente sensiblemente paralelo a la primera y la segunda superficie exterior.

- 35
- En otro modo de realización, el cuerpo del emisor comprende un alma de material poroso (que forma la cámara de combustión) y una envuelta de material no poroso.

Ventajosamente, el o los materiales del cuerpo del emisor presentan una buena conductividad térmica, preferiblemente superior a $100 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- 40
- La relación entre la segunda superficie exterior y la primera superficie exterior está comprendida, por ejemplo, entre 1 y 10, ventajosamente entre 1,5 y 4.

En un ejemplo de realización, el cuerpo presenta una forma de paralelepípedo rectángulo, llevando una cara grande la primera superficie exterior y llevando la segunda cara grande la segunda cara exterior, y en el que la cámara de combustión se extiende paralelamente a la primera y la segunda superficie exterior.

- 45

En otro ejemplo de realización, el cuerpo presenta una sección en semicírculo y posee la forma de un semicilindro, formando la superficie convexa la segunda superficie exterior y formando la superficie plana la primera superficie exterior, con la cámara de combustión extendiéndose paralelamente a la primera y la segunda superficie exterior.

- 50

Preferiblemente, la cámara de combustión es apta para conectarse a una fuente de carburante y de oxígeno a nivel de al menos uno de sus extremos laterales con relación a la primera y segunda superficie exterior.

- 55
- La cámara de combustión puede comprender ventajosamente una red de canales de manera a mejorar el intercambio térmico entre los gases de combustión y el cuerpo del emisor.

Según una característica adicional, la primera superficie exterior puede comprender un depósito de un material y/o presenta una texturación apta para mejorar la absorción de la radiación solar y para disminuir su emisividad de radiación infrarroja.

- 60

Según otra característica adicional, la segunda superficie exterior puede comprender un depósito de un material y/o una texturación apta para controlar la emisión infrarroja aumentando su intensidad y disminuyendo su emisividad en las grandes longitudes de onda, por ejemplo superiores a $1,7 \mu\text{m}$.

- 65

La cámara de combustión puede comprender al menos un catalizador de combustión.

Por ejemplo, el cuerpo del emisor está formado por uno o varios materiales refractarios tales como el carburo de silicio, el tungsteno y/o los óxidos lantánidos tales como Er_2O_3 , Yb_2O_3 .

5 El sistema puede comprender medios de control de la combustión en función del nivel de radiación solar. Preferiblemente, los medios de control comandan la combustión de manera a mantener el emisor a una temperatura sensiblemente constante.

10 El sistema puede comprender una fuente de carburantes tales como compuestos carbohidrogenados, hidrógeno o biogases.

El sistema puede comprender asimismo medios para evacuar el calor de la célula termofotovoltaica.

15 En un ejemplo de realización, el concentrador, el emisor y la célula termofotovoltaica están montados cada uno en una placa, montadas a su vez paralelas entre ellas sobre varillas.

El emisor está preferiblemente montado en la placa con la ayuda de medios que ofrecen una escasa conductividad térmica, por ejemplo inferior a $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

20 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se entenderá mejor mediante la siguiente descripción y los dibujos adjuntos, en los cuales:

25 - la figura 1 es una representación esquemática de un ejemplo de realización de un sistema termofotovoltaico,

- la figura 2 es una representación esquemática de una variante del sistema de la figura 1, visto desde arriba y visto de lado,

30 - las figuras 3A a 3D son representaciones esquemáticas de otros ejemplos de realización de emisores planos y de un sistema termofotovoltaico visto desde arriba y visto de lado,

- las figuras 4A y 4B son representaciones esquemáticas de otros ejemplos de realización de emisores semicilíndricos y de un sistema termofotovoltaico,

35 - las figuras 5A y 5B son representaciones esquemáticas de otros ejemplos de realización de emisores facetados y de un sistema termofotovoltaico,

- las figuras 6A y 6B son representaciones esquemáticas de otros ejemplos de realización de emisores cilíndricos y de un sistema termofotovoltaico visto desde arriba y visto de lado,

40 - la figura 7A es una vista de lado de una realización práctica de un sistema termofotovoltaico,

- la figura 7B es una vista en corte transversal a lo largo del plano A-A del sistema de la figura 7A, que muestra el emisor visto del lado de la primera superficie,

45 - la figura 8 es una representación esquemática de una variante de un sistema termofotovoltaico en el que el concentrador de flujo solar está formado por un colector reflector.

50 Exposición detallada de modos de realización particulares

En la figura 1, se puede observar una representación esquemática de un sistema termofotovoltaico que comprende un emisor 2 y una pluralidad de células termofotovoltaicas 4. Las células termofotovoltaicas 4 están compuestas por la unión de dos semiconductores n y p. Las células pueden estar realizadas por ejemplo de Ge, GaSb, GaAsInSb. Su gama de longitud de onda de conversión fotovoltaica está adaptada a las longitudes de ondas infrarrojas emitidas por el emisor. Por ejemplo, unas células de GaSb convertirán por efecto fotovoltaico las radiaciones infrarrojas emitidas a las longitudes de ondas inferiores a 1,7 micrómetros.

60 La dirección de la radiación solar concentrada se toma como dirección longitudinal. La radiación solar se designa mediante RS.

El emisor 2 comprende un cuerpo 6 delimitado longitudinalmente por una primera superficie exterior 8 y una segunda superficie exterior 10 y superficies laterales (no representadas). Además, el emisor comprende al menos una cámara de combustión 12 realizada en el cuerpo 6.

65 La primera superficie exterior 8 está destinada a recibir la radiación solar RS preferiblemente concentrada, por ejemplo por medio de lentes de Fresnel o de reflector. Por ejemplo, la radiación solar se concentra 2.000 veces.

5 La segunda superficie 10 está en frente de las células termofotovoltaicas 4. En el ejemplo representado, el cuerpo tiene la forma de un semicilindro de eje X. La superficie plana forma la primera superficie 8 y la superficie curvada forma la segunda superficie. Además, en el ejemplo representado, la segunda superficie está formada por varias caras planas 10.1 de manera a estar facetada. El sistema puede comprender tantas células termofotovoltaicas como caras, para optimizar la recogida de la radiación infrarroja.

Preferiblemente, la segunda superficie exterior 10 es más grande que la primera superficie exterior 8.

10 En efecto, es preferible reducir la primera superficie exterior para limitar la emisión infrarroja mediante esta superficie, emisión que no podrá convertirse en electricidad, y aumentar la superficie de la segunda superficie exterior, con el fin de tener una gran superficie de células fotovoltaicas.

15 La relación entre la segunda superficie exterior 10 y la primera superficie exterior 8 está preferiblemente incluida entre 1 y 10, de manera aún más preferible entre 1,5 y 4.

20 En el ejemplo representado, la cámara de combustión 12 está formada por una pluralidad de canales 14 que se extienden longitudinalmente. Los canales 14 están alimentados en carburante gaseoso o líquido y en oxígeno, y están conectados a una evacuación. Por ejemplo, se puede elegir el carburante entre el H₂, los compuestos hidrocarbonados del tipo C_xH_y, especialmente el metano, el propano, el butano y el biogás.

25 Los canales 14 pueden presentar geometrías complejas, de manera a confinar los gases de combustión y aumentar el tiempo de intercambio térmico con el emisor. Por ejemplo, los canales 14 pueden comprender tramos de ida y tramos de vuelta dentro del cuerpo, para aumentar la distancia recorrida por los gases en el emisor y favorecer así el intercambio de calor con el emisor.

30 De manera ventajosa, el emisor puede comprender circuitos de canales que pueden comprender canales en los que tiene lugar la combustión y canales dedicados a la recirculación de los gases calientes hacia los canales de combustión, para mantener la combustión y maximizar las transferencias térmicas con el emisor.

35 El inicio de la combustión puede ser provocado por el calentamiento de los gases, por ejemplo iniciada por un arco eléctrico o por una reacción catalítica de auto-inflamación, por ejemplo de una mezcla H₂/O₂. La alimentación de los gases y su evacuación se realizan preferiblemente por las caras laterales del emisor con relación a la dirección de la radiación solar. Los medios de alimentación de la combustión y de medios de evacuación de los gases pueden estar formados por canales. Los canales pueden ser de escasas dimensiones, por ejemplo de algunas micras a algunos milímetros de diámetro en el caso de una micro-combustión, o de grandes dimensiones del orden del centímetro o más, en el caso de una combustión clásica.

40 Un catalizador de combustión puede estar presente en la cámara de combustión, por ejemplo en forma de un depósito en la pared interior de los canales, de manera a mantener la combustión. Los catalizadores pueden ser por ejemplo platinoideos (Pd-Pt-Rh) o perovskitas a base de lantano.

45 La alimentación y/o la evacuación de la cámara de combustión a nivel de los extremos laterales con relación a la dirección de la radiación solar permiten no reducir la primera y la segunda superficie destinadas a recibir el flujo concentrado y a emitir la radiación infrarroja respectivamente.

Cada célula termofotovoltaica 4 está conectada eléctricamente a medios de recogida (no representados) de la electricidad producida mediante conversión de la radiación emitida por el emisor.

50 El flujo solar concentrado permite calentar el emisor hasta entre 500°C y 2.500°C, típicamente entre 1.000°C y 1.500°C en función de la relación de concentración. Se pretende alcanzar una temperatura elevada del emisor para tener una emisión infrarroja a suficientemente corta frecuencia para ser convertida eficazmente por la célula.

55 El material del cuerpo del emisor se elige de tal manera que soporta estas temperaturas de funcionamiento. Por ejemplo, se realiza de uno o varios materiales refractarios resistentes a la gama de temperaturas mencionada anteriormente; por ejemplo, puede tratarse de carburo de silicio, de tungsteno, de óxidos lantanos tales como el Er₂O₃, Yb₂O₃..., o de una combinación de estos materiales.

60 La primera superficie 8 podrá ventajosamente ser revestida de un material destinado a mejorar la absorción de la radiación solar, por ejemplo de revestimientos a base de silicona como las pinturas Pyromark®, y la segunda superficie 10 podrá ventajosamente ser revestida de un material destinado a controlar la emisión de la radiación infrarroja, por ejemplo de una capa de óxidos lantánidos.

65 La primera y la segunda superficie podrán ser texturadas, de manera a modificar los parámetros de absorción o de emisión respectivamente. También se puede plantear ajustar las prestaciones ópticas realizando estructuras específicas en superficie que permitan desacoplar los comportamientos ópticos en las gamas visible e infrarroja. En

el caso de la primera superficie exterior, estas estructuras permiten absorber preferiblemente la radiación visible y reflejar la radiación infrarroja, de manera a disminuir la emisividad de la primera superficie exterior en la radiación infrarroja.

5 Además, de manera preferente, el sistema está realizado de manera a limitar las pérdidas térmicas y a maximizar la temperatura del emisor. Para ello, se puede prever que las piezas en contacto con el cuerpo del emisor, por ejemplo forman soporte del mismo y presentan una escasa conductividad térmica, preferiblemente inferior a $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Por ejemplo, el material puede ser circona, alúmina, un aerogel o cualquier otro material con una escasa conductividad térmica. Esto permite maximizar el rendimiento del sistema rebajando la longitud de onda característica de la radiación emitida.

10 Unos filtros de control espectral pueden interponerse entre la segunda superficie exterior 10 y las células fotovoltaicas. Los filtros de control espectral pueden estar compuestos por un sistema de multicapas depositadas sobre un sustrato de vidrio o sobre las células.

15 Una envuelta al vacío podrá rodear el emisor, de manera a limitar las pérdidas térmicas por convección del aire. Esta presentará al menos dos ventanas transparentes a las radiaciones visibles e infrarrojas del lado de la radiación solar concentrada incidente y del lado de la emisión de la radiación infrarroja en dirección a las células termofotovoltaicas. Comprenderá asimismo al menos dos pasos de conexiones de gas para la llegada y la evacuación de los gases de combustión.

20 El sistema comprende asimismo medios de control con el fin de gestionar la combustión en el seno del emisor en función de la intensidad de la radiación luminosa. La temperatura del emisor será gestionada preferiblemente por un método sin contacto, como la pirometría infrarroja. Se puede plantear asimismo el uso de un termopar de alta temperatura. Si la temperatura disminuye, la combustión interna podrá activarse y se ajustarán los caudales de gas de manera a mantener la temperatura de emisor deseada. Los medios de control permiten entonces mantener sensiblemente constante la temperatura del emisor cualesquiera que sean las condiciones de insolación y, por lo tanto, obtener una producción de electricidad sensiblemente constante.

25 A continuación, se explica el funcionamiento de este sistema termofotovoltaico de producción de electricidad.

En primer lugar, se considera el caso de condiciones de insolación óptimas. En este caso, el sistema puede funcionar únicamente con la radiación solar.

30 La primera superficie 8 recibe la radiación solar, que ha sido previamente concentrada mediante las lentes de Fresnel por ejemplo; esta radiación luminosa es absorbida por el cuerpo del emisor que se calienta. Este calentamiento se traduce por la emisión, por la segunda superficie 10, de una radiación electromagnética en el infrarrojo, los fotones de esta radiación son absorbidos por las células 4 y crean portadores de carga eléctrica, lo que genera electricidad.

35 Si la insolación es insuficiente, por ejemplo debido a la presencia de nubes, los medios de control provocan la combustión de gases, por ejemplo H_2 y O_2 en la cámara de combustión 12, lo que provoca una liberación de calor, absorbida por el cuerpo 6 del emisor 2, compensando así la escasa radiación luminosa. La radiación solar calienta el cuerpo 6 del emisor 2 mediante la primera superficie exterior 8 y los gases de combustión calientan el cuerpo 6 del emisor 2 desde el interior.

40 En la ausencia de radiación luminosa, por ejemplo en plena noche, el cuerpo se calienta únicamente por medio de la reacción de combustión en la cámara de combustión 12.

45 Es entonces posible generar una cantidad de corriente constante a lo largo de toda la jornada y del año, cualesquiera que sean las condiciones de insolación.

50 El emisor según la invención está adaptado, al mismo tiempo, a un funcionamiento solo en modo solar y solo en modo combustible. El emisor comprende zonas macizas para conducir el calor desde la primera superficie hasta la segunda superficie y desde la cámara de combustión hasta la segunda superficie. Para ello, la distancia y la conductividad térmica entre la primera superficie iluminada por la radiación solar y la zona de emisión infrarroja se eligen de manera a garantizar una muy buena transferencia de calor. La conductividad térmica del material que forma el emisor está preferiblemente incluida entre $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ y $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ o es superior a $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

55 Además, de manera ventajosa, la radiación solar concentrada ilumina la primera superficie que está situada en el lado opuesto a la segunda superficie con relación a la cámara de combustión; de este modo, las células termofotovoltaicas están protegidas de la radiación solar concentrada. El o los materiales y el grosor del emisor son tales que la radiación solar incidente no se transmite, siquiera en parte.

60 La disposición preferente en la que están dispuestas las dos superficies exteriores 8, 10, a cada lado de la cámara de combustión 12, permite tener un trayecto térmico corto, al mismo tiempo entre la primera superficie 8 y la

segunda superficie 10, y entre la cámara de combustión 12 y la segunda superficie 10. Por lo tanto, el sistema ofrece un buen funcionamiento con una u otra o las dos fuentes de energía.

5 En la figura 2, se puede observar una variante del sistema de la figura 1, en la que el cuerpo 6 del emisor es compuesto; este comprende una envuelta 6.1 de material no poroso y un alma 6.2 de material poroso, con los poros del alma formando una multitud de cámaras de combustión.

10 Los materiales porosos son, por ejemplo, carburo de silicio u otra cerámica a alta temperatura cuyo proceso de fabricación permite obtener una porosidad abierta. La tasa de porosidad es función de la combustión deseada. Está preferiblemente incluida entre el 50% y el 95%.

15 En las figuras 3A a 3D, están representados otros ejemplos de realización de un sistema termofotovoltaico. En estos ejemplos, el emisor presenta la forma de un paralelepípedo rectángulo, una de cuyas grandes superficies forma la primera superficie 8 y la otra superficie grande forma la segunda superficie 10. Una o varias células termofotovoltaicas están dispuestas en frente de la segunda superficie.

20 Las superficies laterales no ocupadas por la llegada y la salida de los gases estarán preferiblemente aisladas térmicamente, por ejemplo por medio de capas que comprenden un volumen cerrado lleno de aire, de capas que comprenden un volumen cerrado al vacío y/o capas de material aislante como alúmina o circona.

25 Se puede prever la realización de la estructura a base de un material que presenta una conductividad térmica anisótropa y preferiblemente perpendicular al plano del emisor. Este material puede ser un bosque de nanotubos de carbono en una cavidad, por ejemplo de carburo de silicio. La porosidad está entonces constituida por los espacios entre los nanotubos de carbono.

En el ejemplo de la figura 3A, la cámara de combustión 12 está formada por un único canal de sección rectangular cuya mayor longitud se extiende perpendicularmente a la dirección de la radiación solar RS, sobre toda la longitud del emisor, como se puede ver en le vista lateral.

30 En los ejemplos de las figuras 3B y 3C, la cámara de combustión comprende varios canales que se extienden sobre toda la longitud del emisor, perpendicularmente a la dirección de la radiación solar RS, y dispuestos unos al lado de otros, en la figura 3B los canales poseen una sección rectangular y, en la figura 3C, los canales poseen una sección circular. Se podría plantear tener varias filas de canales.

35 En la figura 3D, el cuerpo 6 del emisor es compuesto, este comprende una envuelta 6.1 de material no poroso y un alma 6.2 de material poroso, que forman la cámara de combustión.

40 En las figuras 4A y 4B, se puede observar una variante del sistema de la figura 1 en la que la segunda superficie no está facetada. En el ejemplo representado, el número de células termofotovoltaicas es reducido con relación al sistema de la figura 1, pero estas presentan superficies más grandes. El número y el tamaño de las células no son, en ningún caso, limitativos. También se pueden plantear células con una superficie receptora cóncava.

45 En la figura 4A, la cámara de combustión 12 está formada por una pluralidad de canales 14 que se extienden sobre toda la longitud, perpendicularmente a la dirección de la radiación solar RS y, en la figura 4B, el emisor comprende un alma de material poroso 6.2.

En las figuras 5A y 5B, se puede observar otro ejemplo de realización de un sistema termofotovoltaico, en el que el emisor 102 comprende un cuerpo en forma de prisma de sección triangular.

50 La primera superficie 108 del emisor está formada por una de las caras del prisma. La segunda superficie 110 está formada por las otras dos caras del prisma. Una célula termofotovoltaica 4 está dispuesta en frente de cada una de las caras de la segunda superficie 110.

55 En la figura 5A, la cámara de combustión comprende canales 114 que se extienden entre las dos caras longitudinales. Los canales están repartidos en el cuerpo. En el ejemplo representado, están repartidos de manera regular.

60 En la figura 5B, el emisor comprende una envuelta de material no poroso 106.1 y un alma de material poroso 106.2 con una forma prismática correspondiente.

En las figuras 6A y 6B, se puede observar otro ejemplo de realización de un sistema termofotovoltaico en el que el emisor 202 comprende un cuerpo en forma de cilindro de revolución de eje longitudinal X.

65 En la figura 6A, la cámara de combustión está formada por un canal único 214. Una cámara de combustión compuesta por una pluralidad de canales paralelos no se sale del marco de la presente invención. En la figura 6B, el emisor comprende un alma de material poroso.

Los ejemplos de realizaciones representados en las figuras 3B, 3C, 3D son especialmente interesantes, ya que presentan una conductividad térmica de la cara receptora de la radiación solar hacia la cara emisora de rayos infrarrojos mejorada por la presencia de materiales conductores entre las células de combustión. La temperatura de la cara emisora está maximizada durante el funcionamiento en concentración solar y, de hecho, la cantidad de energía eléctrica producida. Además, las configuraciones de estos sistemas permiten limitar el número de células termofotovoltaicas, incluso utilizar una única célula, colocadas en frente de la superficie emisora.

En la figura 7A, se puede observar un ejemplo de realización práctica de un sistema termofotovoltaico híbrido o mixto visto de lado.

El sistema presenta un eje longitudinal Y. El sistema comprende, de izquierda a derecha en la representación de la figura 7A, el concentrador con lente de Fresnel 17, el emisor 2, un filtro infrarrojo 15, la célula termofotovoltaica 4 asociada a un radiador 16.

Cada uno de los elementos mencionados se monta en una placa P1, P2, P3, P4, a su vez montadas en cuatro varillas 18 que atraviesan cada placa por sus cuatro esquinas.

En la figura 7B, se puede observar una vista del emisor del lado de la primera cara, montado en una abertura central 19 de la placa P2.

El emisor está montado en la placa P2, por medio de dos soportes laterales 20 entre los que el soporte se mantiene apretado. Los dos soportes 20 están fijados, a su vez, en piezas 22 montadas en la placa P2. Los soportes 20 están ventajosamente en dos partes, lo que permite evitar una fijación rígida del emisor en uno de los soportes y permite cierta dilatación térmica entre el emisor y su soporte durante el calentamiento a muy alta temperatura. En efecto, en el ejemplo representado, el emisor está insertado en dos gargantas realizadas en las piezas soporte 20. Como variante, se podría plantear no utilizar soporte, por lo que el emisor podría ser sujetado por los elementos de alimentación y de escape de las células de combustión.

Como se ha descrito anteriormente, el soporte 20 ofrece preferiblemente una escasa conductividad térmica para evitar las fugas laterales.

En esta figura 7B, se puede observar un sistema, con los canales 14 de la cámara de combustión y el encendedor 24 representados esquemáticamente.

La lente de Fresnel 17 está fijada a la placa P1 con la ayuda de medios de apriete en el ejemplo representado, y la placa P1 comprende una abertura central para el paso del flujo solar concentrado.

El filtro infrarrojo 15 está montado en la placa P3 que comprende asimismo una abertura central 26.

La célula termofotovoltaica 4 está montada en un soporte 28, ventajosamente un soporte que ofrece una buena conductividad térmica, por ejemplo de cobre, mediante el que está montada en la placa P4. El radiador está montado en el soporte 28 en la cara opuesta a la que lleva la célula. El radiador 28 sirve para evacuar el calor de la célula, que es conducido desde la célula al radiador a través del soporte de cobre 28. La placa P4 comprende asimismo una abertura central 30 para el montaje del conjunto célula, soporte y radiador.

Las placas y los elementos que llevan están dispuestos unos con relación a otros según distancias dadas determinadas en función de las características de distintos elementos con el fin de optimizar el rendimiento del sistema. Por ejemplo, la distancia entre la lente de Fresnel y la primera superficie es igual a la distancia focal de la lente de Fresnel.

Se pueden realizar mediciones de temperatura en el emisor, en el filtro infrarrojo y en el soporte de la célula fotovoltaica para el seguimiento del sistema. Las mediciones se efectúan mediante termopares o pirómetro óptico para el emisor. Se pueden utilizar otros medios de medición.

En la figura 8, se puede observar una vista de conjunto de un sistema termofotovoltaico en el que el concentrador 17 está formado por un reflector de forma parabólica montado en lo alto de un mástil.

Los rayos solares son recogidos por el reflector, que los refleja en la primera superficie del emisor.

A continuación, se describen ejemplos de procedimientos de realización de los sistemas termofotovoltaicos descritos anteriormente.

En un ejemplo de procedimiento de realización, el emisor está realizado en una pieza maciza que comprende uno o varios canales. La pieza puede estar realizada mediante sinterización de polvos cerámicos. Los canales se obtienen bien mediante mecanizado de la pieza, bien mediante moldeo. El mecanizado puede realizarse con herramientas

5 habituales o, ventajosamente, con láser, reduciendo el riesgo de inicio de fisuras. El mecanizado puede tener lugar en la pieza en crudo o después de la sinterización. Las superficies externas pueden ser texturadas para mejorar las propiedades ópticas, por ejemplo mediante grabado en seco o en húmedo de motivos con una contra-máscara de resina, como un polímero, o un material duro como el SiO₂, el grabado tiene preferiblemente lugar en la pieza sinterizada, lo que permite obtener una muy buena precisión dimensional.

10 En otro ejemplo de procedimiento de realización, se realizan semi-piezas en las que se mecanizan semi-canales, y estas se ensamblan mediante sellado, soldadura del tipo estándar o reactivo o ensamblaje mediante difusión de las dos piezas. El mecanizado es, por ejemplo, del tipo mecánico o del tipo mediante grabado con plasma o del tipo mediante ablación láser. Este procedimiento permite ventajosamente obtener circuitos de canales complejos que pueden comprender partes dedicadas a la combustión y una contra-circulación de los gases calientes para limitar la pérdida por convección o conducción y garantizar buenas condiciones de combustión, como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, las dos semi-piezas son de SiC.

15 Las superficies externas del emisor pueden ser texturadas para mejorar las propiedades ópticas, por ejemplo mediante grabado en seco o en húmedo de motivos de algunos micrómetros, con una contra-máscara de resina, como un polímero o un material duro como el SiO₂.

20 En los ejemplos en los que el emisor posee un alma de material poroso, esta está realizada de cerámica porosa obtenida, por ejemplo mediante sinterización, y se introduce la misma en una envuelta externa de material poroso. Las superficies externas de la envuelta de material no poroso pueden ser texturadas para mejorar las propiedades ópticas, por ejemplo mediante grabado en seco o en húmedo de motivos con una contra-máscara de resina, como un polímero o un material duro como el SiO₂.

25 El sistema según la presente invención es de realización relativamente sencilla, trabaja a temperaturas comprendidas entre 900°C y 1.500°C, que reduce las tensiones termomecánicas y mejora la fiabilidad. Además, a estas temperaturas de funcionamiento, se pueden utilizar materiales que no se degradan al aire, como el carburo de silicio, y permite por lo tanto una simplificación del sistema, ya que no es necesario el vacío, y una mejora de la durabilidad.

30 Además, pueden presentar tamaños reducidos de sistema, por ejemplo 10X10X2 mm³. Se puede realizar una micro-combustión catalítica en su volumen, lo que limita el consumo de gas. Este tamaño reducido permite asimismo yuxtaponer módulos análogos al de la figura 7a en un mismo sistema de seguimiento del sol, utilizando por ejemplo una concentración mediante lentes de Fresnel.

35 Gracias a la invención, es posible generar electricidad a partir de dos fuentes de energía complementarias y combinadas: la energía solar con concentración de la radiación solar y la energía por combustión de, por ejemplo, biogás o hidrógeno.

40 Además, es posible producir electricidad termofotovoltaica de día y de noche. La producción anual de este sistema puede aumentarse ampliamente con relación a los sistemas existentes ya que la producción puede ser permanente. Se reducen asimismo los problemas de producción intermitente de electricidad propios de la producción a partir de energía solar. La invención permite eliminar los medios de almacenamiento de energía eléctrica o térmica para compensar las variaciones de insolación, como las baterías, sales fundidas (altas temperaturas), lechos de rocas (bajas temperaturas) que son generalmente medios pesados.

50 Además, la invención permite, gracias a la combustión, compensar la escasez de producción de la parte concentración solar en condiciones climáticas desfavorables como, por ejemplo, una cobertura nubosa. La combustión ofrece asimismo la ventaja de poder mantener la temperatura del emisor y, por lo tanto, la cantidad de energía producida. Por ello, la invención permitirá mantener la producción en condiciones de luz difusa.

55 Además, la invención ofrece cierta flexibilidad de producción de electricidad capaz de adaptarse a picos de demanda aumentando temporalmente la temperatura del emisor mediante combustión en el momento deseado. En efecto, el rendimiento del sistema depende directamente de la temperatura del emisor y, por lo tanto, de los flujos de gases de combustión.

60 El control de la combustión puede permitir ventajosamente pilotar la temperatura del emisor de manera a trabajar en modo estacionario a temperatura constante, mientras que la aportación de la parte concentración será variable. Esto disminuye las variaciones térmicas impuestas al emisor, por lo que la vida útil del mismo aumenta.

Desde un punto de vista industrial y comercial, la producción de electricidad continua permite disminuir el tiempo de amortización de la instalación con relación a los sistemas fotovoltaicos que solo funcionan de día y en condiciones climáticas favorables.

65 Además, el emisor según la invención combina los elementos de generador solar y de los generadores térmicos poniendo en común gran parte de los elementos: emisores, filtros, células termofotovoltaicas, procesamiento

eléctrico, distribución, terrenos.

5 Gracias a la invención, ya que la producción es ampliamente independiente de las condiciones climáticas, los sistemas termofotovoltaicos mixtos o híbridos pueden instalarse en países que ofrecen condiciones de insolación no óptimas.

Los sistemas termofotovoltaicos mixtos o híbridos según la invención están especialmente adaptados a la producción de electricidad.

REIVINDICACIONES

1. Sistema termofotovoltaico que comprende un emisor de radiación infrarroja (2, 102, 202) que comprende un cuerpo (6) dotado de una primera superficie exterior (8, 108) y de una segunda superficie exterior (10, 110), siendo distintas dichas superficies exteriores primera (8, 108) y segunda (10, 110), estando destinada la primera superficie exterior a recibir una radiación solar concentrada, estando destinada la segunda superficie exterior (10, 110) a emitir una radiación infrarroja, comprendiendo dicho cuerpo (6) en su interior al menos una cámara de combustión (12) de gas y/o de líquido, en el que la cámara de combustión está alimentada a través de una superficie exterior del emisor distinta de la primera y de la segunda superficie exterior, comprendiendo asimismo dicho sistema un concentrador (17) dispuesto en frente de la primera superficie exterior (8, 108) del emisor, medios de encendido (24) para provocar la combustión en el emisor (2) y al menos una célula termofotovoltaica (4) dispuesta en frente de la segunda superficie exterior (10, 110) y destinada a recibir la radiación infrarroja emitida por la segunda superficie del emisor.
2. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 1, en el que la segunda superficie exterior (10, 110) está opuesta a la primera superficie exterior (8, 108) con relación a dicha al menos una cámara de combustión (12).
3. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 1 o 2, en el que el cuerpo (6) comprende al menos un canal (14, 114, 214) que forma la cámara de combustión (12).
4. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 3, en el que dicho al menos un canal (14, 114, 214) se extiende sensiblemente paralelo a las superficies exteriores primera (8, 108) y segunda (10, 110).
5. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 1 o 2, en el que el cuerpo (2) comprende un alma de material poroso (6.2, 106.2, 206.2) que forma la cámara de combustión y una envuelta de material no poroso (6.1, 106.1, 206.1).
6. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la relación entre la segunda superficie exterior y la primera superficie exterior está comprendida entre 1 y 10, ventajosamente entre 1,5 y 4.
7. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el cuerpo (6) presenta una forma de paralelepípedo rectángulo, llevando una cara grande la primera superficie exterior (8) y llevando la segunda cara grande la segunda superficie exterior (10), y en el que la cámara de combustión (12) se extiende paralelamente a las superficies exteriores primera (8) y segunda (10).
8. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el cuerpo (6) presenta una sección en semicírculo, y tiene la forma de un semicilindro, formando la superficie convexa la segunda superficie exterior (10) y formando la superficie plana la primera superficie exterior (8), extendiéndose la cámara de combustión (12) paralelamente a las superficies exteriores primera (8) y segunda (10).
9. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 7 u 8, en el que la cámara de combustión es apta para conectarse a una fuente de carburante y de oxígeno a nivel de al menos uno de sus extremos longitudinales.
10. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la cámara de combustión comprende una red de canales (14, 114, 214) de manera a mejorar el intercambio térmico entre los gases de combustión y el cuerpo del emisor.
11. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la primera superficie exterior (8, 108) comprende un depósito de material y/o presenta una texturación apta para mejorar la absorción de la radiación solar y para disminuir su emisividad en radiación infrarroja.
12. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la segunda superficie exterior (10, 110) comprende un depósito de material y/o una texturación aptos para controlar la emisión infrarroja aumentando su intensidad y disminuyendo su emisividad en las grandes longitudes de onda, por ejemplo superiores a 1,7 μm .
13. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el cuerpo (6) está formado por uno o varios materiales refractarios tales como carburo de silicio, tungsteno y/o los óxidos lantánidos tales como Er_2O_3 , Yb_2O_3 , etc.
14. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende medios de control de la combustión en función del nivel de radiación solar, comandando ventajosamente dichos medios de control la combustión de manera a mantener el emisor a una temperatura sensiblemente constante.
15. Sistema termofotovoltaico según una de las reivindicaciones 1 a 14, en el que el concentrador (17), el emisor (2, 102, 202) y la célula termofotovoltaica (4) están montados, cada uno, en una placa (P1, P2, P4), montadas a su vez paralelamente unas a otras en varillas (18).

16. Sistema termofotovoltaico según la reivindicación 15, en el que el emisor (2) está montado en la placa (P2) mediante medios que ofrecen una escasa conductividad térmica, por ejemplo inferior a $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

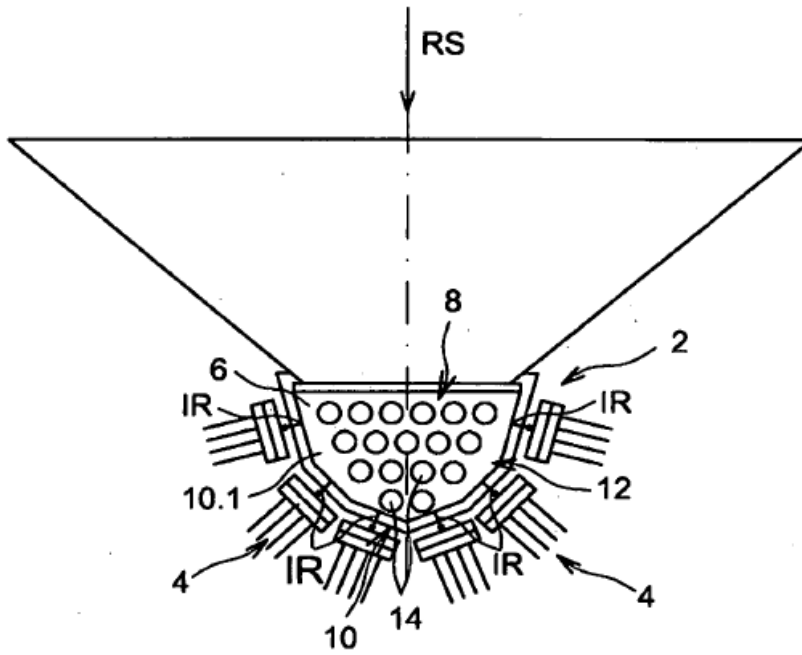


FIG. 1

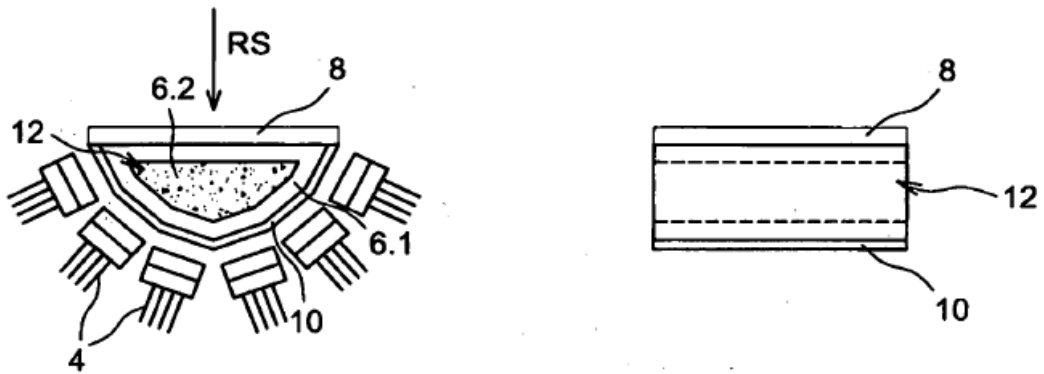


FIG. 2

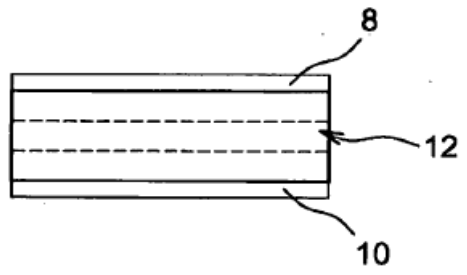
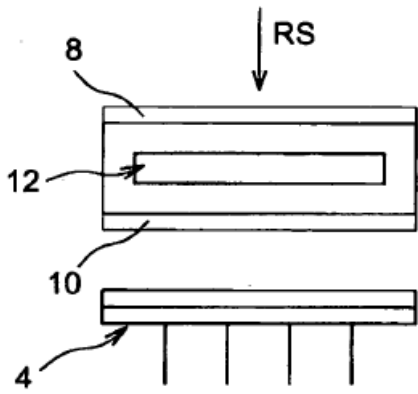


FIG. 3A

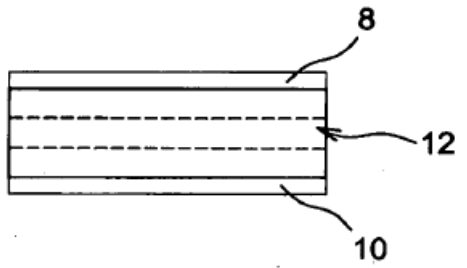
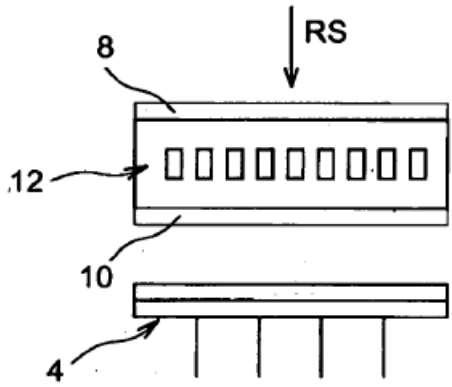


FIG. 3B

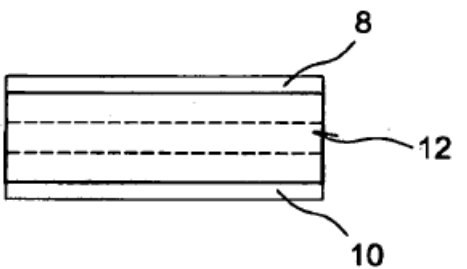
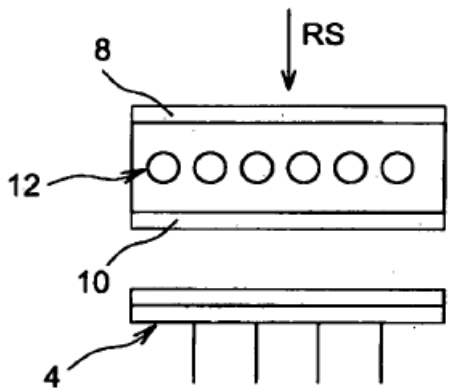


FIG. 3C

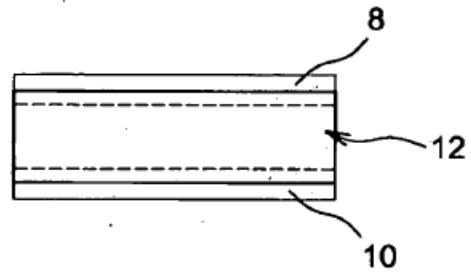
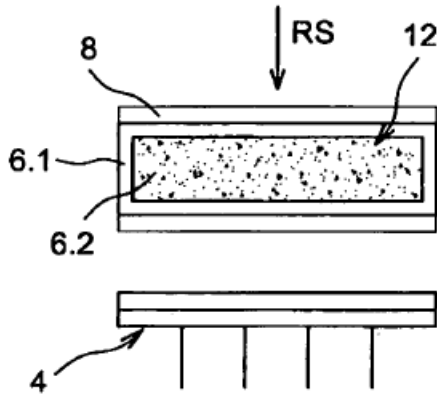


FIG. 3D

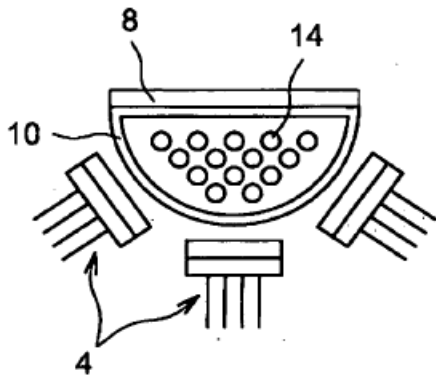


FIG. 4A

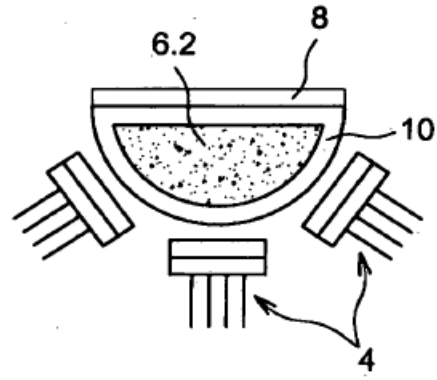


FIG. 4B

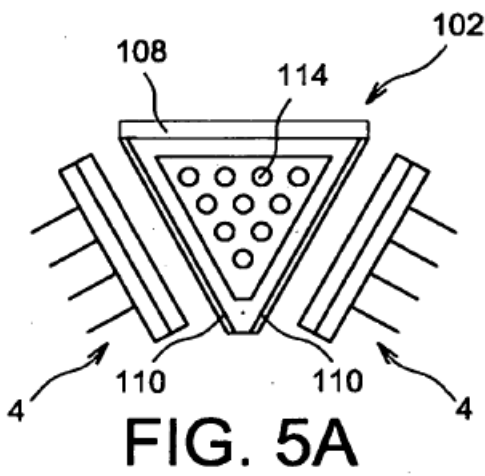


FIG. 5A

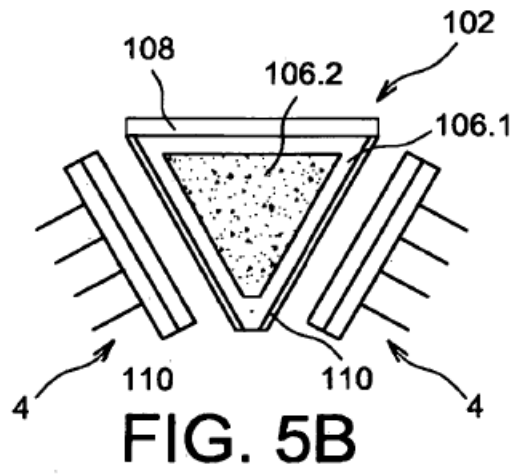


FIG. 5B

FIG. 6A

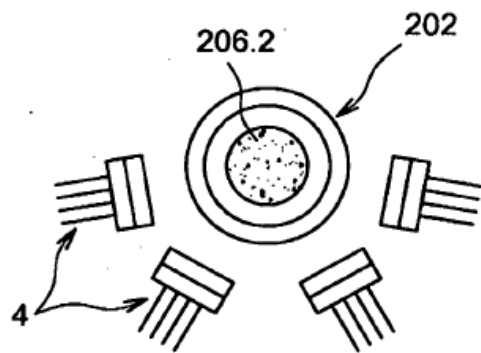
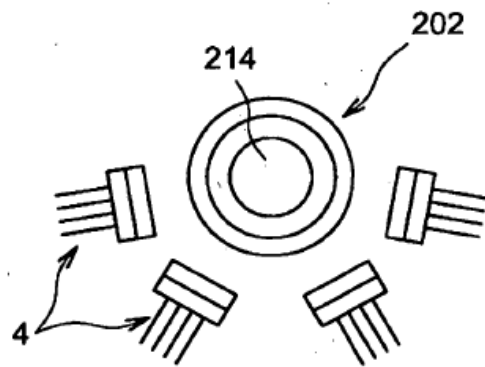
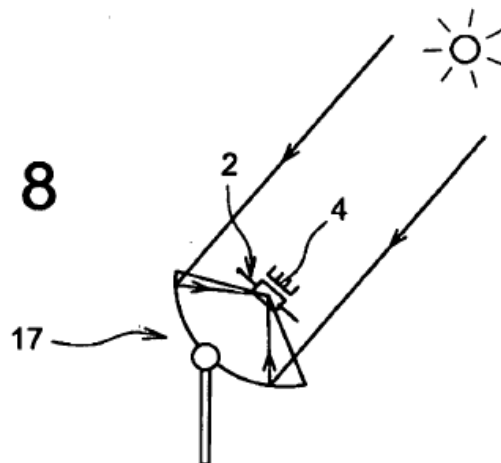


FIG. 6B

FIG. 8



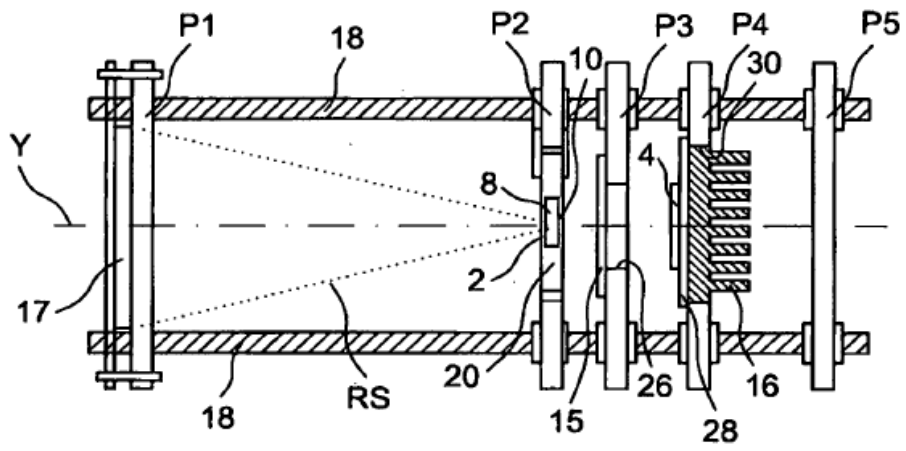


FIG. 7A

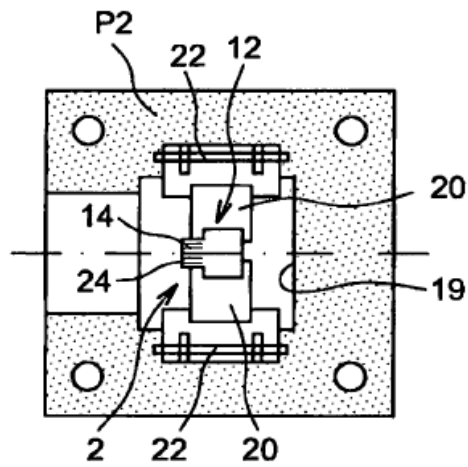


FIG. 7B