

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: **2 399 254**

21) Número de solicitud: 201031430

51) Int. Cl.:

**H01L 31/052** (2006.01)

**H02N 6/00** (2006.01)

**F24J 2/10** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22) Fecha de presentación:

**27.09.2010**

43) Fecha de publicación de la solicitud:

**27.03.2013**

Fecha de la concesión:

**29.10.2013**

45) Fecha de publicación de la concesión:

**11.11.2013**

56) Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2011/070659**

73) Titular/es:

**ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES S.A  
AVDA. DE LA BUHAIRA 2  
41018 SEVILLA (Sevilla) ES**

72) Inventor/es:

**CAPARROS JIMENEZ, Sebastian**

74) Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54) Título: **SISTEMA REFLEXIVO DE CONCENTRACION SOLAR FOTOVOLTAICA**

57) Resumen:

Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, que está formado por un espejo reflector primario (1) que cambia la dirección de los haces de luz entrantes en el sistema y los dirige hacia un espejo reflector secundario (2), que vuelve a cambiar la dirección de los haces de luz recibidos y los redirecciona hacia un elemento óptico terciario (3), que a su vez transmite los haces de luz recibidos a un receptor fotovoltaico. El elemento óptico terciario (3) tiene una cara de entrada (4) curvo-convexa de sección circular, y una sección tronco-piramidal (5) que transmite por reflexión total interna los haces de luz recibidos a un receptor fotovoltaico. El extremo inicial (6) de la sección tronco-piramidal (5) tiene, inmediatamente a continuación de la cara de entrada (4), una sección transversal circular (6) que se transforma progresivamente en una sección transversal cuadrada hasta alcanzar el extremo final (7) de la sección tronco-piramidal (5).

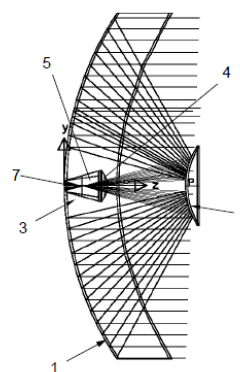


FIG. 5

ES 2 399 254 B1

## **DESCRIPCIÓN**

### **SISTEMA REFLEXIVO DE CONCENTRACION SOLAR FOTOVOLTAICA**

#### **CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

5

La presente invención pertenece al campo técnico de los sistemas de concentración solar fotovoltaica, para el aprovechamiento de la energía solar para la producción de energía eléctrica, concretamente a sistemas de concentración solar fotovoltaica de alta concentración, y más concretamente a sistemas formados principalmente por un espejo concentrador primario, un elemento reflexivo secundario, un elemento óptico terciario que funciona por reflexión total interna, y un receptor fotovoltaico.

10

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

15

Numerosos sistemas de concentración solar fotovoltaica (CPV) han sido propuestos y desarrollados a lo largo del siglo XX hasta la actualidad. A pesar de este largo historial, estos sistemas del estado de la técnica no son actualmente competitivos en términos de coste y eficiencia con respecto a las formas tradicionales de producción de energía. Los documentos WO2006114457, US2009106648 y WO2009058603 muestran el típico esquema de funcionamiento de un sistema de concentración solar fotovoltaica. Dicho sistema consiste en una lente de Fresnel concentradora de luz y un elemento óptico secundario que dota al sistema de mayor concentración. Diversos sistemas que utilizan lentes de Fresnel han sido propuestos con y sin óptica secundaria.

20

25

Recientemente se han reportado sistemas de concentración por guiado de luz, tal y como muestra el documento WO2008131566. Dichos sistemas se caracterizan por su mayor compacidad frente a sistemas tradicionales.

30

Existen otros sistemas de concentración solar fotovoltaica basados en la tecnología Cassegrain. Dichos sistemas consisten en un par de espejos reflectores y un elemento óptico terciario homogeneizador. Además hay otros elementos ópticos de concentración basados en espejos parabólicos. Dichos sistemas pueden estar formados por espejos o bien ser un sistema totalmente sólido basado en Reflexión Total Interna (RTI), como es mostrado en los documentos WO2009058603 y WO2009086293.

35

Para dichos sistemas Cassegrain se han reportado distintos tipos de elementos ópticos terciarios, tales como prismas con paredes rectas o curvadas, o sistemas tipo

Kohler, tal y como se puede observar en la figura 2, en los que no se emplean elementos ópticos terciarios.

Un sistema ideal de concentración solar fotovoltaica debería reunir las siguientes características para ser competitivo: minimizar las pérdidas en los sistemas de concentración ópticos, es decir conseguir una mayor eficiencia óptica; ser soluciones  
5 efectivas en coste y fiables a largo plazo; ser compactos, y conseguir una máxima eficiencia termodinámica, esto es alcanzar el máximo grado de concentración posible en un diseño que absorba las tolerancias de fabricación del sistema y desviaciones del seguidor solar.

10 Maximizar eficiencia termodinámica significa maximizar el uso de la etendue. El concepto de etendue, fue descrito por Dr. Winston y Co. en Non Imaging Optics y es de suma importancia en un sistema de concentración solar fotovoltaica. Maximizar la etendue significa maximizar el ángulo de aceptación de un sistema para un grado de concentración determinado, o bien maximizar la concentración para un ángulo de  
15 aceptación definido. Un módulo de máximo uso de etendue tiene potencial para concentrar de manera efectiva la radiación solar, minimizando el coste del elemento semiconductor y en consecuencia del módulo. Asimismo dota al sistema de la tolerancia necesaria para ser montado en sistemas reales de seguimiento solar, y permitir las tolerancias de fabricación del módulo sin que ello afecte al rendimiento del  
20 mismo.

El máximo grado de concentración alcanzable para un ángulo de aceptación viene definido por la siguiente ecuación:

$$C_{\max} = \frac{(n^2 \cdot \text{seno}(\theta_1))^2}{(\text{seno}(\theta_2))^2}$$

25

Siendo  $n$  el índice de refracción del medio en el que está sumergido el receptor fotovoltaico,  $\theta_1$  el ángulo de entrada en la célula fotovoltaica y  $\theta_2$  el ángulo de aceptación en el sistema. Maximizar el uso de la etendue implica pues estar lo más cerca posible de  $C_{\max}$  para  $n$ ,  $\theta_1$  y  $\theta_2$  definidos.

30 Los sistemas de concentración solar fotovoltaica mediante lentes de Fresnel son los hasta ahora más utilizados, ya que es una tecnología conocida, estándar y efectiva en costes. Sin embargo no son sistemas excesivamente compactos y no maximizan el uso de la etendue. No obstante, se han publicado ciertos documentos con objeto de

maximizar el uso de etendue utilizando sistemas de lentes con distancias focales muy elevadas y elementos secundarios con cierta curvatura a la entrada.

Los sistemas reflexivos están siendo introducidos progresivamente, en general son más compactos que los sistemas refractivos, y con el diseño adecuado maximizan el uso de etendue en comparación con lentes.

Los sistemas por guiado de luz son los más compactos. Sin embargo tienen aun que demostrar su eficiencia óptica, costes y fiabilidad a largo plazo.

Era por tanto deseable un sistema que consiguiera una elevada concentración solar fotovoltaica evitando los inconvenientes existentes en los anteriores sistemas del estado de la técnica.

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención resuelve los problemas existentes en el estado de la técnica mediante un sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica.

La invención tiene como objeto presentar un sistema de concentración fotovoltaica de alta eficiencia óptica, compacto, efectivo en costes y que maximice el ángulo de aceptación para una concentración dada.

El sistema tiene un espejo reflector primario que redirige los haces de luz solar entrante cambiando su dirección de flujo. Este espejo reflector primario esta definido por una superficie cónica de ecuación:

$$z = \frac{c_1 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_1)c_1^2 \cdot r^2}}$$

donde las constantes  $c_1$  y  $k_1$  se optimizan para maximizar la transmisión de luz sobre la superficie del espejo reflector primario generado por dicha ecuación.

El sistema presenta un espejo reflector secundario que vuelve a redireccionar los haces de luz recibida del espejo reflector primario. Este espejo reflector secundario esta definido también por una superficie cónica de ecuación:

$$z = \frac{c_2 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_2)c_2^2 \cdot r^2}}$$

donde las constantes  $c_2$  y  $k_2$  se optimizan para maximizar la transmisión de luz sobre la superficie del espejo reflector secundario generado por dicha ecuación.

Adicionalmente, el sistema tiene un elemento óptico terciario sólido, que recibe los haces de luz dirigida desde el espejo reflector secundario, y la transmite a un receptor  
5 fotovoltaico.

Este elemento óptico terciario presenta una cara de entrada de los haces de luz curvoconvexa de sección circular, y a continuación una sección piramidal que transmite los haces de luz por Reflexión Total Interna. Dicha sección piramidal va cambiando su sección progresivamente de circular a cuadrada. Con ello se consigue acoplar un  
10 máximo ángulo de aceptación con células fotovoltaicas cuadradas.

Opcionalmente, el elemento óptico terciario puede presentar una zona o reborde dispuesto alrededor de la cara de entrada. En este reborde se pueden alojar marcas de alineamiento y sirve de soporte a elementos de sujeción mecánicos. El perímetro del reborde puede ser circular o cuadrado, dependiendo del proceso de moldeado.

15 El sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica objeto de la presente invención presenta ciertas ventajas con respecto a sistemas convencionales con lentes de Fresnel.

En primer lugar, este sistema concentrador está formado por espejos. Los espejos no presentan aberraciones cromáticas lo que significa puntos focales más nítidos y  
20 mayores grados de concentración que el conseguido con las lentes Fresnel.

Asimismo, los espejos pueden presentar radios de curvatura muy superiores a las lentes, haciendo que el sistema sea más compacto. Mayor compacidad implica menor coste en materiales del módulo y menor peso de la estructura. Como consecuencia, los costes en material del seguidor se reducen al no tener que soportar cargas tan  
25 altas.

La principal ventaja que este sistema presenta frente a otros sistemas reflexivos similares radica en el uso del elemento óptico terciario con la forma descrita. Dicho elemento provee al sistema de un gran ángulo de aceptación. Ello permite mayores ratios de concentración manteniendo niveles aceptables del ángulo de aceptación  
30 necesario para los seguidores. Todas estas características redundan en un ahorro de costes en el módulo (poco uso de elemento semiconductor) y en el Tracker (ángulo de aceptación muy superior al de diseños convencionales) Como ejemplo de la citada eficiencia se han diseñado sistemas capaces de concentrar la radiación solar hasta 1000 veces con semiángulos de aceptancias de 1.3 grados. Ello implica que las

tolerancias de producción de los módulos así como del seguimiento solar se simplificarían, redundando en menores costes

### **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

5

A continuación, para facilitar la comprensión de la invención, a modo ilustrativo pero no limitativo se describirá una realización de la invención que hace referencia a una serie de figuras.

10 La figura 1 es un esquema de funcionamiento típico de un sistema de concentración solar fotovoltaica conocido en el estado de la técnica.

La figura 2 muestra el funcionamiento de otro sistema de concentración solar fotovoltaica basado en la tecnología Cassegrain, también conocido en el estado de la técnica. Dicho sistema concentrador no presenta elementos ópticos terciarios.

15 La figura 3 presenta elementos ópticos de concentración basados en espejos parabólicos también existentes en el estado de la técnica.

La figura 4 muestra un sistema de concentración por guiado de luz, ya existente en el estado de la técnica.

La figura 5 muestra una realización del sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica objeto de la presente invención.

20 La figura 6 muestra una vista ampliada de una realización del elemento óptico terciario descrito en la presente invención.

En estas figuras se hace referencia a un conjunto de elementos que son:

1. espejo reflector primario
2. espejo reflector secundario
- 25 3. elemento óptico terciario
4. cara de entrada del elemento óptico terciario
5. sección tronco-piramidal del elemento óptico terciario
6. extremo inicial de la sección tronco-piramidal
7. extremo final de la sección tronco-piramidal
- 30 8. reborde del elemento óptico terciario

### **DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCION**

Tal y como se puede observar en las figuras 5 y 6, el objeto de la presente invención es un sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, formado por un espejo reflector primario 1, un espejo reflector secundario 2, y un elemento óptico terciario 3.

El espejo reflector primario 1 cambia la dirección de los haces de luz solar entrantes en el sistema y la redirige hacia el espejo reflector secundario 2, que vuelve a cambiar la dirección de los haces de luz recibidos y los redirecciona hacia el elemento óptico terciario 3.

El elemento óptico terciario 3 está formado por una cara de entrada 4 curvo-convexa de sección circular y por una sección tronco-piramidal 5 la cual transmite por reflexión total interna los haces de luz recibidos a un receptor fotovoltaico.

El extremo inicial 6 de la sección tronco-piramidal 5 tiene inmediatamente a continuación de la cara de entrada 4 una sección transversal circular 6 que se transforma progresivamente en una sección transversal cuadrada hasta alcanzar el extremo final 7 de la sección tronco-piramidal 5.

De acuerdo con una realización preferente de la invención, mostrada en las figuras 5 y 6, el elemento óptico terciario 3 del sistema reflexivo de concentración tiene un reborde 8 dispuesto alrededor de la cara de entrada 4. Este reborde 8 puede ser de geometría cuadrada o circular, y ópticamente activo o inactivo.

Asimismo, dependiendo de distintos modos de fabricación de este elemento óptico terciario 3, el reborde 8 puede ser integral con el elemento óptico terciario 3, o bien ser independiente de dicho elemento óptico terciario 3, fijándose posteriormente a él.

Como se ha indicado anteriormente, para el óptimo funcionamiento del sistema, tanto el espejo reflector primario 1 como el espejo reflector secundario 2 están definidos por sendas superficies cónicas de ecuaciones

25

$$z = \frac{c_1 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_1)c_1^2 \cdot r^2}} \quad \text{y} \quad z = \frac{c_2 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_2)c_2^2 \cdot r^2}}$$

en la que las constantes  $c_1$  y  $k_1$  para el espejo reflector primario 1, y  $c_2$  y  $k_2$  para el espejo reflector secundario 2, se optimizan para maximizar la transmisión de los haces de luz sobre las superficies de dichos espejos reflectores 1,2.

El sistema descrito particularmente queda definido por una concentración geométrica de 1000X, concentrando la radiación en una célula fotovoltaica de 10x10 mm<sup>2</sup>. Esto define un espejo reflector primario 1 de 316.5x316.5 mm<sup>2</sup>. El espejo reflector secundario 2 es de sección circular con 72 mm de diámetro.

Preferentemente, el elemento óptico terciario se ha optimizado para proveer de un ángulo de aceptación de  $1.3^\circ$ . En la figura 6 se muestra el diseño del elemento óptico terciario 3, capaz de proveer una concentración geométrica de 1000X y un ángulo de aceptación de  $1.3^\circ$ .

- 5 Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de modificaciones de detalle siempre que no alteren el principio fundamental y la esencia de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, caracterizado porque comprende
- 5 - un espejo reflector primario (1) que cambia la dirección de los haces de luz solar entrantes en el sistema y los dirige hacia
- un espejo reflector secundario (2) que vuelve a cambiar la dirección de los haces de luz recibidos y los redirecciona hacia
- un elemento óptico terciario (3), que a su vez comprende
- 10 - una cara de entrada (4) curvo-convexa de sección circular, y
- una sección tronco-piramidal (5) que transmite por reflexión total interna los haces de luz recibidos a un receptor fotovoltaico, comprendiendo el extremo inicial (6) de la sección tronco-piramidal (5), inmediatamente a continuación de la cara de entrada (4), una sección transversal circular (6) que se transforma progresivamente en
- 15 una sección transversal cuadrada hasta alcanzar el extremo final (7) de la sección tronco-piramidal (5).
2. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según la reivindicación 1, caracterizado porque el elemento óptico terciario (3) comprende un reborde (8)
- 20 dispuesto alrededor de la cara de entrada (4).
3. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según la reivindicación anterior, caracterizado porque el reborde (8) del elemento óptico terciario (3) tiene una geometría seleccionada entre cuadrada y circular.
- 25
4. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, caracterizado porque el reborde (8) del elemento óptico terciario (3) es ópticamente inactivo.
- 30
5. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, caracterizado porque el reborde (8) del elemento óptico terciario (3) es ópticamente activo.

6. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque el reborde (8) es integral con el elemento óptico terciario (3).

5 7. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque el reborde (8) es independiente del elemento óptico terciario (3).

8. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el espejo reflector primario (1) está definido por una superficie cónica de ecuación

$$z = \frac{c_1 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_1)c_1^2 \cdot r^2}}$$

15 en la que las constantes  $c_1$  y  $k_1$  se optimizan para maximizar la transmisión de luz sobre la superficie del espejo reflector primario (1) generado por dicha ecuación.

9. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el espejo reflector secundario (2) está definido por una superficie cónica de ecuación

20

$$z = \frac{c_2 \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_2)c_2^2 \cdot r^2}}$$

en la que las constantes  $c_2$  y  $k_2$  se optimizan para maximizar la transmisión de luz sobre la superficie del espejo reflector secundario (2) generado por dicha ecuación.

25 10. Sistema reflexivo de concentración solar fotovoltaica, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

- el receptor fotovoltaico tiene una superficie de  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ,
- el espejo reflector primario (1) tiene una superficie de  $316,5 \times 316,5 \text{ mm}^2$ ,
- y el espejo reflector secundario (2) es de sección circular y tiene un diámetro de

30 72 mm.

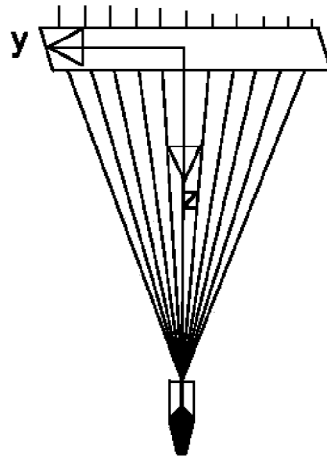


FIG. 1

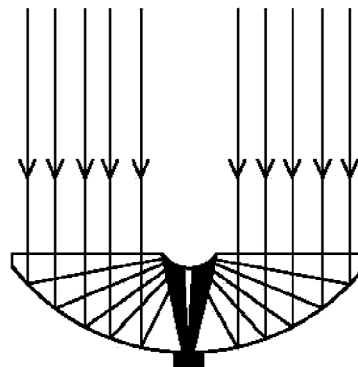


FIG. 2

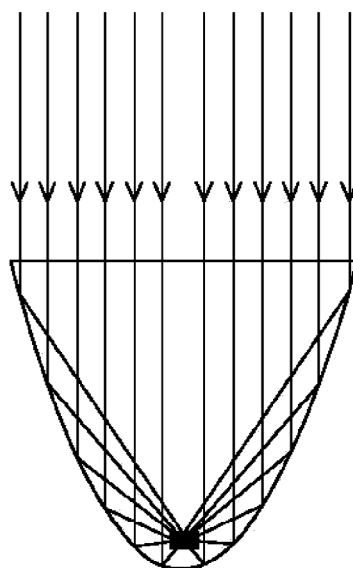


FIG. 3

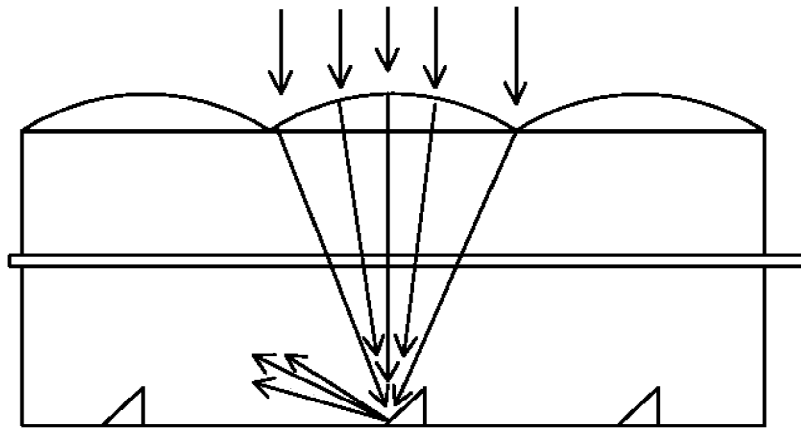


FIG. 4

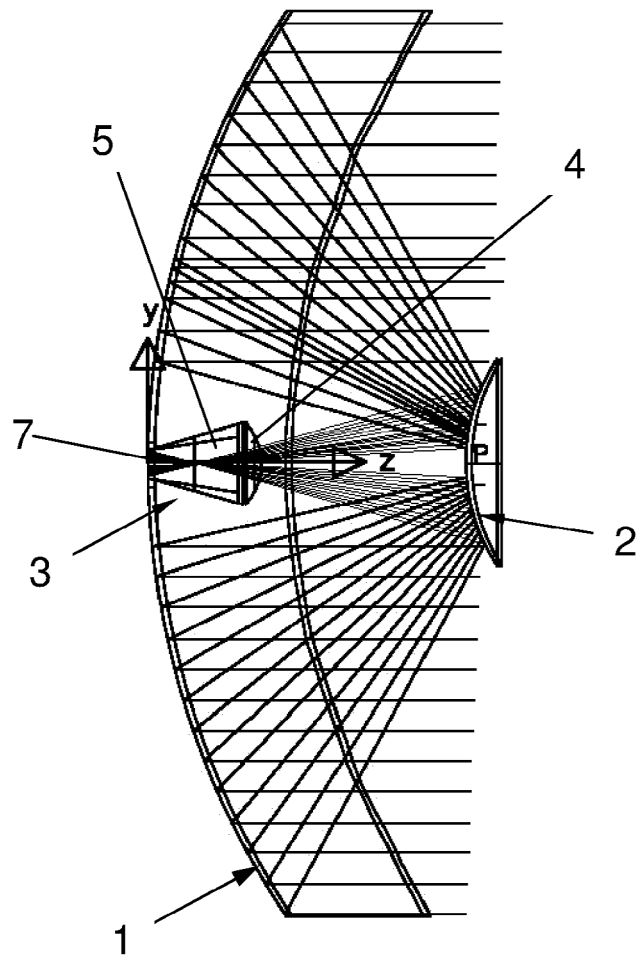


FIG. 5

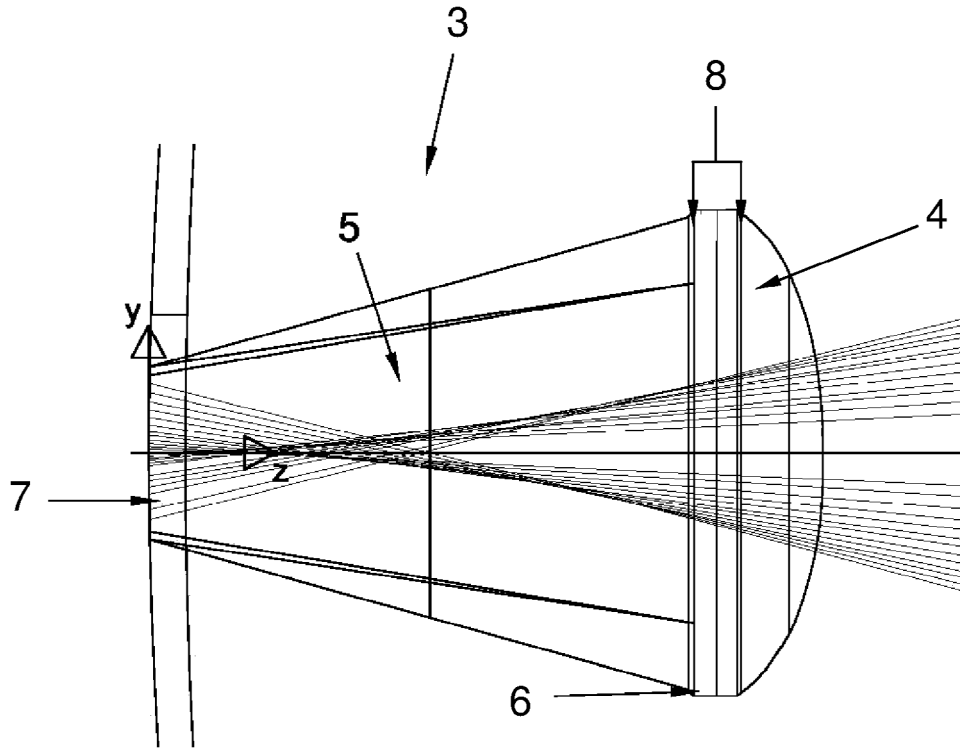


FIG. 6