



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 362 552**

51 Int. Cl.:  
**G02B 17/06** (2006.01)  
**G02B 23/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08171686 .2**  
96 Fecha de presentación : **15.12.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2073049**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.06.2009**

54 Título: **Sistema catóptrico gran angular.**

30 Prioridad: **18.12.2007 FR 07 08846**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.07.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.07.2011**

73 Titular/es: **THALES**  
**45, Rue de Villiers**  
**92200 Neuilly-Sur-Seine, FR**

72 Inventor/es: **Martin, Philippe**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 362 552 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 catóptrico gran angular

La presente invención se refiere al ámbito de los telescopios y más particularmente a los telescopios de observación embarcados en satélites. Más concretamente, el ámbito de la invención se refiere a los sistemas catóptricos gran angular, especialmente para un gran intervalo espectral.

Actualmente, una solución clásica para la observación, especialmente de la Tierra, es la utilización de telescopios anastigmáticos que comprenden 3 espejos, también denominados «telescopios TMA» según la terminología anglosajona que designa «Three Mirrors Anastigmat». Los telescopios TMA ofrecen campos generalmente comprendidos entre 25° y 30° de ángulo a la vez que corrigen las aberraciones de tercer orden. Pero más allá de este campo, las degradaciones de la imagen son importantes.

Esta limitación de campo no está adaptada a la evolución de las misiones de observación de la Tierra que necesitan cada vez mayores campos lineales con el fin de aumentar el campo instantáneo cubierto por el instrumento en rotación alrededor de la Tierra. El interés de estas misiones es fotografiar a intervalos regulares en un gran campo.

En este contexto, los telescopios de tipo TMA ya no son suficientes para responder a las misiones que necesitan fotografiar grandes campos.

Una solución que permite aumentar la anchura del campo es la utilización de telescopios anastigmáticos que comprende cuatro espejos, denominados asimismo en la terminología técnica FMA por «Four Mirrors Anastigmat». Especialmente, la Patente Sagem cuyo n° de publicación es FR2 764 081 A1 o bien en la publicación US.5.379.157 A detallan un telescopio que comprende cuatro espejos cuyo campo posee una anchura máxima de 70° de ángulo. Este campo es una limitación cuando la imagen es tratada en estas condiciones a los límites típicamente a +/-35°.

Una solución para aumentar el campo puede ser aumentar la hendidura que diafragma el campo. En este último caso, las aberraciones de la imagen, y particularmente la distorsión de la imagen producida, son muy rápidamente importantes y no permiten obtener una imagen de buena calidad en toda la anchura del campo limitado al nivel del diafragma de apertura.

Un objetivo de la invención es poner remedio a estos inconvenientes y permite especialmente vencer las limitaciones actuales de anchura de campos para los telescopios de observación. La invención propone disponer de cuatro espejos de tal manera que el primer espejo M1 es convexo y el segundo espejo M2 es cóncavo y que ambos espejos M1, M2 poseen sensiblemente el mismo radio de curvatura.

Ventajosamente, el sistema catóptrico gran angular de campo rectangular para la astronomía o la observación de la Tierra, comprende un primer espejo M1, un segundo espejo M2, un tercer espejo M3 y un cuarto espejo M4.

Ventajosamente, el primer espejo es convexo, el segundo espejo es cóncavo y los radios de curvaturas del primer M1 y del segundo M2 son sensiblemente iguales.

Ventajosamente, la relación entre:

- la distancia algebraica ( $S_1^2$ ) calculada a partir del espejo M2 hasta el foco del sistema formado por el primer y por el segundo espejos (M1, M2);
- la distancia algebraica ( $S_2$ ) calculada a partir del espejo M2 hasta el foco del espejo M1

está comprendida en el intervalo  $[0, 1]$ .

Ventajosamente, la longitud focal del sistema formado por el primer espejo M1 y el segundo espejo M2 multiplicada por  $2\sqrt{2}$  es sensiblemente igual al radio de curvatura del espejo M1 o M2.

Ventajosamente, el espejo M3 es convexo y/o el espejo M4 es cóncavo.

Ventajosamente, los espejos M1, M2, M3 y M4 tienen formas de revolución, tales que:

- M1 es esférico de orden 6;
- M2 es un elipsoide;
- M3 y M4 son esferoides aplanados.

Ventajosamente, la pupila del telescopio está en M3.

Ventajosamente, el número de apertura es superior o igual a 3,8

Ventajosamente, las distancias entre lentes son sensiblemente próximas a los siguientes valores:

- $d(M1-M2) = 154 \text{ mm};$
- $d(M2-M3) = 80 \text{ mm};$
- 5     •  $d(M3-M4) = 55 \text{ mm};$
- $d(M4\text{-imagen}) = 75 \text{ mm}.$

Ventajosamente, el campo lineal es de  $2^\circ \times 85^\circ$ .

Ventajosamente, el telescopio posee una longitud sensiblemente próxima a 170 mm.

Ventajosamente, el telescopio posee una altura sensiblemente próxima a 45 mm.

- 10   Ventajosamente, el telescopio posee una anchura de 110 mm.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la ayuda de la siguiente descripción, realizada respecto de los dibujos anexos que representan:

- la figura 1 representa el esquema del principio general de un telescopio generador de imágenes que proporciona la imagen de un objeto a un espectrómetro;
- 15   • la figura 2 representa una realización de la disposición de los espejos M1 y M2;
- la figura 3 representa una realización de un telescopio de cuatro espejos según la invención
- La figure 4 representa el sistema según la invención vista de arriba.

En la presente invención, el sistema comprende cuatro espejos de los cuales los dos primeros M1 y M2 tienen sensiblemente el mismo radio de curvatura. M1 es convexo y M2 es cóncavo.

- 20   Se toma un caso de ejemplo de un caso de realización descrito a continuación para un radio de curvatura de M1 igual a 197 mm y un radio de curvatura de M2 igual a 203 mm. Se considera en este último caso que ambos radios de curvatura son sensiblemente iguales teniendo en cuenta su mínima diferencia, siendo la diferencia entre los dos radios de curvatura del 3%.

- 25   Entre las diferentes configuraciones posibles de disposición entre M1 y M2, el sistema según la invención permite disponer los espejos M1 y M2 de tal manera que la relación entre la distancia algebraica entre la imagen producida por M2 y el espejo M2 y la distancia algebraica entre la imagen producida por M1 y el espejo M2 está comprendida en el intervalo  $[-1, 0]$ .

En la presente invención, el sistema comprende un espejo M1 en el cual un término de deformación de orden 6 permite corregir algunas aberraciones. Este término hace que el espejo sea ligeramente esférico.

- 30   La figura 1 representa el principio general de un telescopio generador de imágenes TI generalmente asociado a un espectrómetro de hendidura, especialmente en las misiones de observación. La imagen 100' de un objeto 100 está formada a partir de rayos luminosos que entran 101 en el telescopio TI y convergen en la salida del telescopio en el foco. La imagen 100' puede entonces ser la fuente de un espectrómetro de hendidura que permite dispersar la luz de manera a ensanchar el espectro.

- 35   El sistema según la invención es un telescopio generador de imágenes de tipo catóptrico que incluye 4 espejos, indicados M1, M2, M3 y M4 en el resto de descripción.

Una realización según la invención propone un telescopio cuyos espejos están ligeramente inclinados los unos respecto de los otros. El ángulo de campo entre el espejo M1 y los rayos luminosos de entrada es próximo a  $30^\circ$  de ángulo.

- 40   Una realización según la invención propone un telescopio que tiene un volumen reducido. El volumen total, para una longitud focal de 45 mm, es de 170 mm de longitud, 45 mm de altura y 110 mm de anchura.

Con el fin de obtener un gran campo, le sistema catóptrico posee un número de apertura reducido, éste se define por la relación  $F/D$ , designando «F» la distancia focal y «D» el diámetro de la pupila de entrada que designa la apertura del telescopio, se habla entonces de telescopio «compacto». Se toma un ejemplo de caso de realización

- 45   para un número de apertura igual a 3,8.

Tal relación de la longitud focal respecto del diámetro de apertura permite obtener un gran campo del objeto representado en imagen, pudiendo ser éste del orden de 85° x 2° de forma rectangular.

En estas condiciones el campo admisible por el telescopio es de +/-42,5°

- 5 Con el fin de no degradar la imagen obtenida por los cuatro espejos M1, M2, M3 y M4, que forman un telescopio de tipo FMA, el sistema según la invención propone disponer de un primer espejo M1 convexo y de un segundo espejo M2 cóncavo.

Los espejos son superficies de revolución. La descripción de estas superficies se realiza sobre una meridiana que está definida por la ecuación de la flecha Z en función de la distancia h al eje óptico por la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{\frac{h^2}{R}}{1 + \sqrt{1 - (1+k) \frac{h^2}{R^2}}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10}$$

- 10 con los coeficientes definidos como sigue:

- R : Radio de curvatura en el vértice de la superficie
- K : constante de conicidad de la superficie
- A : constante de deformación de orden 4
- B : constante de deformación de orden 6
- 15 • C : constante de deformación de orden 8
- D : constante de deformación de orden 10

Esta deformación permite definir la forma de los espejos empleados en la combinación óptica del sistema.

Los términos A, B, C, D son términos de «asfericidad» o también denominados de deformación, propia de la forma del espejo.

- 20 En una realización, la invención propone disponer de cuatro espejos M1, M2, M3, M4 tales que:

- la forma de M1 es esférica de sexto orden, los términos A, C y D son nulos y B es no nulo.
- la forma de M2 es una elipsoide, A, B, C, y D son nulos y k está comprendido entre -1 y 0;
- la forma de M3 es un esferoide aplanado, A, B, C, y D son nulos y k es no nulo;
- la forma de M4 es un esferoide aplanado, A, B, C, y D son nulos y k es no nulo.

- 25 Una realización permite disponer los espejos de tal manera que

- la distancia D<sub>12</sub> entre M1 y M2 es sensiblemente próxima a 155 mm;
- la distancia D<sub>23</sub> entre M2 y M3 es sensiblemente próxima a 80 mm;
- la distancia D<sub>34</sub> entre M3 y M4 es sensiblemente próxima a 55 mm;
- la distancia D<sub>4imagen</sub> entre M4 y la imagen es sensiblemente próxima a 75 mm, distancia denominada « tiro ».

- 30 En una realización la relación de la longitud focal respecto de la distancia entre lentes es sensiblemente próxima a 0,5. Puede ser del orden de 0,4 en un caso próximo.

Para tal campo lineal de 85°, el sistema según la invención reduce al tercer orden las aberraciones esféricas, la coma, el astigmatismo y la curvatura de campo.

La figura 2 representa un telescopio formado por espejos M1 y M2 centrados.

Los rayos luminosos paralelos 1 y 1' son reflejados por M1, espejo de tipo convexo, en M2, siendo el punto 3 considerado como el objeto virtual de M2, fuente de los rayos 4, 4' que se reflejan en M2. Estando la imagen final formada en el foco 6 del telescopio.

- 5 En este ejemplo, la distancia  $S_2$  es la distancia algebraica entre el espejo M2 y el foco de M1, y por otra parte la distancia  $S_2'$  es la distancia algebraica entre el espejo M2 y el foco del telescopio. El sistema según la invención comprende dos espejos M1 y M2 cuya relación  $S_2'/S_2$  está comprendida en el intervalo  $[0,1]$ .

El sistema formado por los espejos M1 y M2 es aplanético, corrige las aberraciones esféricas y la coma de tercer orden.

- 10 El sistema formado por los espejos M1 y M2, en una realización, se combina con un espejo M3 de tipo convexo que limita el diafragma de apertura. En este caso, la pupila del telescopio se sitúa en M3.

Un caso de realización permite disponer de un cuarto espejo M4 cóncavo que permite obtener una imagen de buena calidad del objeto del sistema catóptrico en un campo de  $85^\circ$ .

- 15 La figura 3 representa la asociación de los cuatro espejos M1, M2, M3 y M4 dispuestos de manera que estén todos sensiblemente en un mismo eje, no estando el dibujo a escala. Los rayos luminosos 200 que llegan a M1 con un ángulo próximo a  $30^\circ$  son reflejados a M2 y a continuación a M3 y finalmente a M4, reconstruyendo este último la imagen en un punto del plano focal E del espejo M4.

La figura 4 representa una vista superior del sistema según la invención donde la anchura P corresponde a la anchura del espejo M1.

- 20 El volumen total L/H/P de los cuatro espejos dispuestos según el sistema de la invención ocupa un espacio reducido, un caso de realización con las siguientes dimensiones: 170 mm/45 mm/110 mm. Tal dimensión es similar a telescopios de tipo FMA o TMA.

La calidad de la imagen es superior al límite de difracción a 587 nm de media en el campo.

Este tipo de campo lineal, ofrece ventajas en término de campo instantáneo cubierto por el telescopio.

- 25 El material utilizado es preferiblemente el vidrio para los espejos y el carbono para la estructura.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema catóptrico gran angular de campo rectangular para la astronomía o la observación de la Tierra, que comprende un primer espejo M1, un segundo espejo M2, un tercer espejo M3 y un cuarto espejo M4, caracterizado porque el primer espejo es convexo, el segundo espejo es cóncavo y porque los radios de curvatura del primer M1 y el segundo M2 son sensiblemente iguales, la relación entre:
- la distancia algebraica ( $S'2$ ) calculada a partir del espejo M2 hasta el foco del sistema formado por el primer y por el segundo espejos (M1, M2);
- 10 estando la distancia algebraica ( $S2$ ) calculada a partir del espejo M2 hasta el foco del espejo M1 comprendida en el intervalo  $[0, 1]$ .
2. Sistema catóptrico según la reivindicación 1, caracterizado porque la longitud focal del sistema formado por el primer espejo M1 y el segundo espejo M2 espejo multiplicada por  $2\sqrt{2}$  es sensiblemente igual al radio de curvatura del espejo M1 o M2.
3. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 2, caracterizado porque el espejo M3 es convexo.
- 15 4. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 3, caracterizado porque el espejo M4 es cóncavo.
5. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 4, caracterizado porque los espejos M1, M2, M3 y M4 tienen formas de revolución, tales que:
- M1 es esférico de orden 6;
  - M2 es una elipsoide;
  - M3 y M4 son esferoides aplanados.
- 20 6. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 5, caracterizado porque la pupila del telescopio está en el espejo M3.
7. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 6, caracterizado porque el número de apertura es superior o igual a 3,8
- 25 8. Sistema catóptrico según la reivindicación 7, caracterizado porque las distancias entre lentes son sensiblemente próximas a los siguientes valores:
- $d(M1-M2) = 154$  mm;
  - $d(M2-M3) = 80$  mm;
  - $d(M3-M4) = 55$  mm;
  - $d(M4-imagen) = 75$  mm.
- 30 9. Sistema catóptrico según la reivindicación 8, caracterizado porque el campo lineal es de  $2^\circ \times 85^\circ$ .
10. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 9, caracterizado porque el telescopio posee una longitud sensiblemente próxima a 170 mm.
11. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 10, caracterizado porque el telescopio posee una altura sensiblemente próxima a 45 mm.
- 35 12. Sistema catóptrico según cualquiera de las reivindicaciones 1 à 11, caracterizado porque el telescopio posee una anchura de 110 mm.

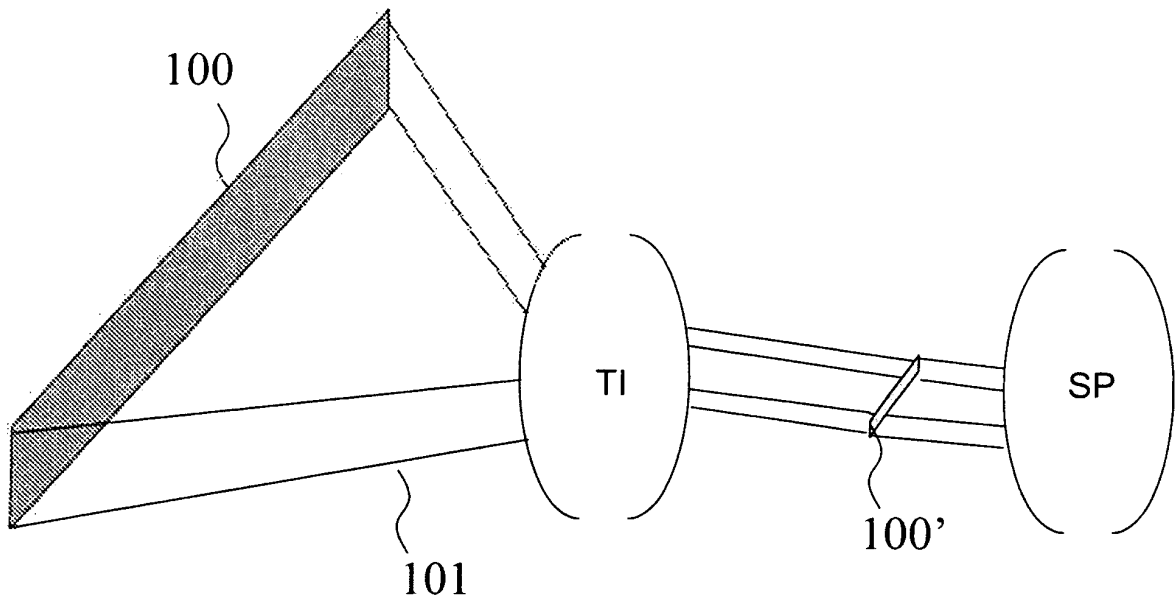


FIG.1

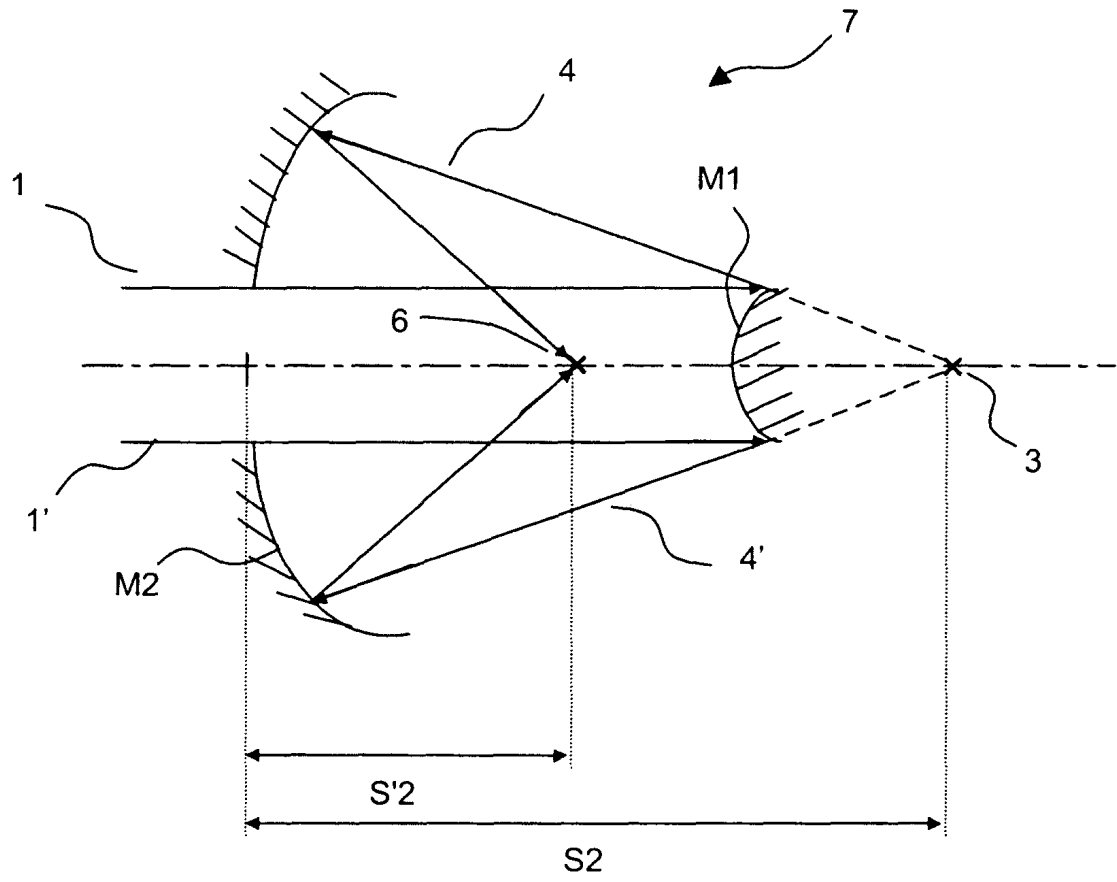


FIG.2



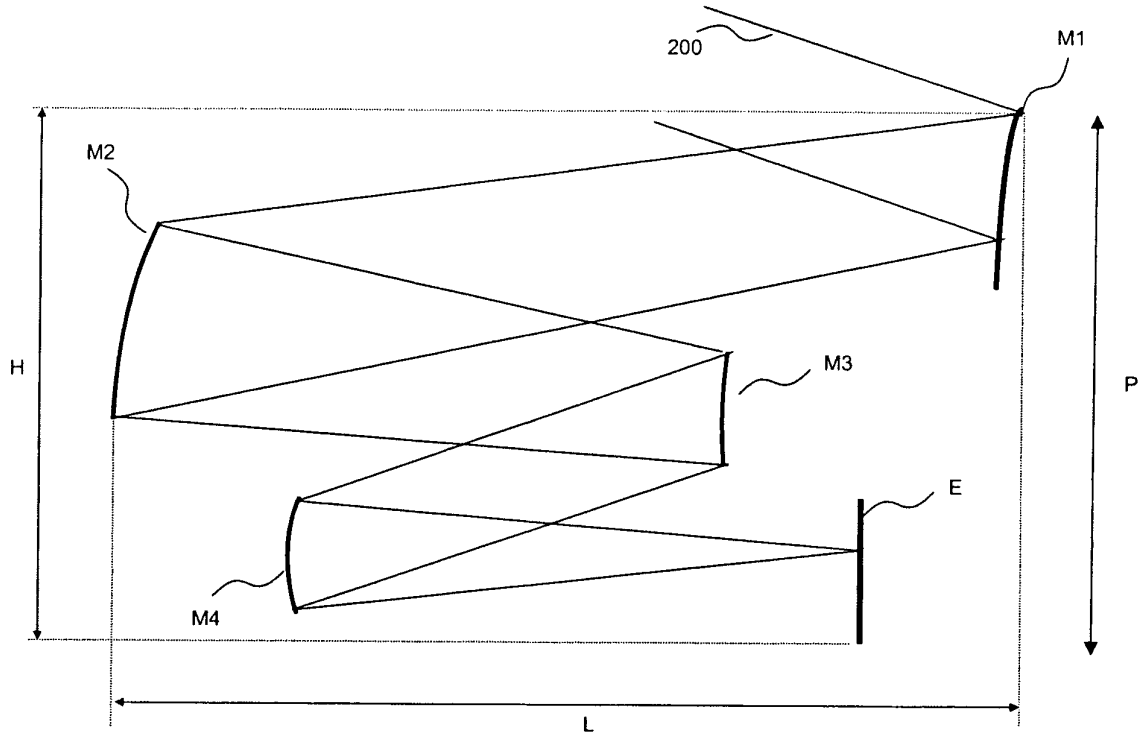


FIG.3

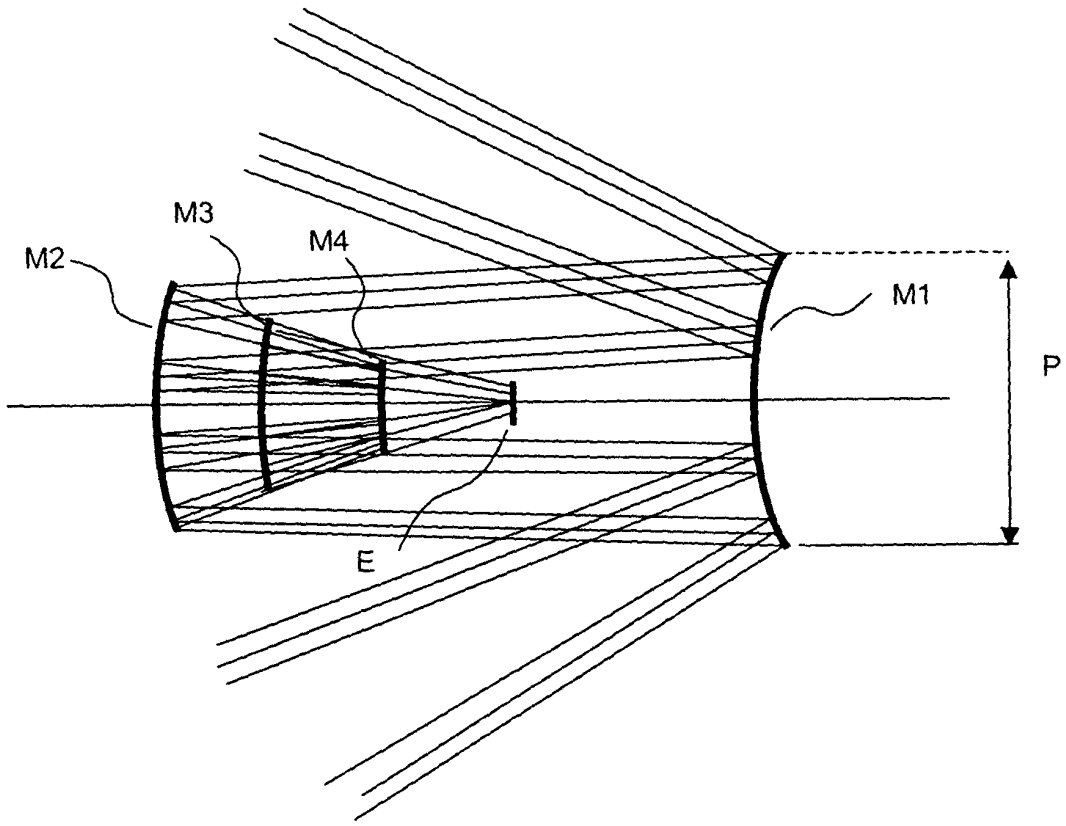


FIG.4