



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 318 366**

51 Int. Cl.:
G01N 21/55 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04817155 .7**

96 Fecha de presentación : **08.10.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1671108**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.06.2006**

54 Título: **Dispositivo portátil de medición de la intensidad luminosa de un objeto y utilización de dicho dispositivo.**

30 Prioridad: **10.10.2003 FR 03 11924**
13.11.2003 US 519674 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2009

73 Titular/es: **Optis**
rue Parmentier, ZE de la Farlede-BP 275
83078 Toulon Cédex, FR

72 Inventor/es: **Delacour, Jacques**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

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

Dispositivo portátil de medición de la intensidad luminosa de un objeto y utilización de dicho dispositivo.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de medición de la intensidad luminosa de un objeto y a la utilización de dicho dispositivo.

La presente invención se aplica en particular, y de forma no limitativa, a la medición de la BRDF ("Biridirectional Reflectance Distribution Function" en inglés) de un objeto o de una parte de objeto.

10 La BRDF es una función matemática que permite caracterizar la intensidad de la luz difundida por una superficie cuando ésta es iluminada. La BRDF da la cantidad de luz difundida en función de la dirección de observación, del ángulo de incidencia de la iluminación, de la longitud de onda y de la polarización.

15 La invención se aplica asimismo a la medición de la BTDF ("Bidirectional transmittance Distribution Function"), y más generalmente de BSDF ("Bidirectional Scattering Distribution Function") y a la medición de diagramas de intensidad de fuentes luminosas y de difusiones volumétricas de materiales.

20 En una primera aplicación conocida, unas mediciones de la BRDF pueden ser utilizadas para caracterizar la signatura de una aeronave.

Desde hace algunos años, las mediciones de la BRDF se utilizan asimismo en unas lógicas de imágenes de síntesis, de concepción asistida por ordenador (CAO) y de simulación de la luz con el fin de simular el comportamiento de superficies con respecto a la luz.

25 A este fin, estas lógicas utilizan, por ejemplo en forma de biblioteca, unas mediciones reales de BRDF efectuadas en laboratorio sobre los diferentes tipos de objetos o de superficie de los cuales se desea simular el comportamiento óptico.

30 Con el fin de efectuar estas mediciones de BRDF, se conocen principalmente unos aparatos que utilizan una muestra del objeto a caracterizar. Esta muestra debe ser de pequeñas dimensiones, típicamente del orden de 10 cm.

35 Dichos aparatos de medición comprenden generalmente unos brazos articulados de grandes dimensiones en el extremo de los cuales están dispuestos unos detectores. Son en consecuencia voluminosos, pesados y, en la práctica, difícilmente transportables.

Por otra parte, el tiempo de adquisición de las mediciones con dichos aparatos es prolongado, y esto particularmente en razón de la cinemática de los sensores.

40 En consecuencia, se utilizan exclusivamente en unos laboratorios de medición y no están adaptados a la medición *in situ*.

Un objetivo de la invención es obtener un dispositivo de medición de la BRDF de dimensión razonable, transportable, que puede ser utilizado así *in situ*, y que permita efectuar unas mediciones de forma casi instantánea, gracias a un tiempo de adquisición muy corto.

45 El documento US n° 5.637.873 (DAVIS) describe un dispositivo de medición del BRDF que puede ser utilizado *in situ*, por ejemplo para medir ciertas propiedades ópticas de la superficie de un vehículo.

50 El documento DAVIS describe, en su figura 5, un modo de realización de este dispositivo que comprende un sistema de recogida de la luz reflejada por un objeto a caracterizar constituido por dos lentes y por un reflector elíptico.

Más precisamente, se posiciona, en este modo de realización, la muestra de objeto a caracterizar en un primer foco del reflector elíptico, siendo la luz reflejada por la muestra enfocada al segundo foco de este reflector elíptico.

55 Una primera lente, dispuesta a nivel de este segundo foco está dispuesta de manera que:

- enfoque los rayos luminosos reflejados por la muestra y que no son reflejados por el reflector elíptico; y
- no desvíe los rayos luminosos reflejados por el reflector elíptico.

60 El sistema DAVIS utiliza una segunda lente corriente debajo de la primera lente, en particular porque comprende a la vez una primera parte óptica para colimar los rayos luminosos recogidos por la primera lente, y una segunda parte óptica para colimar los rayos luminosos recogidos por el reflector elíptico. Esta segunda lente particular presenta así una discontinuidad en la unión de las dos partes ópticas citadas.

65 Esta discontinuidad impone una alineación perfecta del reflector elíptico y de las dos primeras lentes citadas, sin lo cual unos rayos reflejados por el reflector elíptico se mezclan con los enfocados por la primera lente y viceversa. Este problema es conocido por el experto en la materia por el nombre de "Cross-Talk".

ES 2 318 366 T3

El documento JP 63-140 904 A (TOSHIBA) describe un dispositivo compacto de medición de la intensidad luminosa de un objeto, comprendiendo este dispositivo una lente condensadora y un cuerpo tubular reflectante, a la procedente del cual está dispuesto un sensor con matriz superficial.

5 Aunque ello no se describe explícitamente, el experto en la materia comprenderá que la realización concreta de este dispositivo requiere una matriz de sensores de dimensión importante (típicamente de diagonal superior a 50 mm) para recoger toda la luz difundida por el objeto.

10 No pudiendo el dispositivo de medición TOSHIBA utilizar unos sensores estándar conocidos actualmente (cuya diagonal es del orden de 12,7 mm), su realización es necesariamente onerosa.

15 Una solución para resolver este problema es añadir un sistema afocal entre el cuerpo tubular reflectante y la matriz de sensores. Esto permite reducir la sección del haz de procedente conservando al mismo tiempo la colimación de la luz. Una disposición de este tipo se utiliza por otra parte en el sistema DAVIS en el que permite la utilización de un sensor de vídeo de pequeño tamaño para observar un haz de gran diámetro.

20 Pero el principal inconveniente de esta solución es que se aleja el plano de observación del cuerpo tubular reflectante. Ahora bien, no siendo la divergencia del haz nunca nula, se degrada por tanto la resolución a nivel del plano de observación, sobre todo cuando la muestra a medir es iluminada en una gran superficie. Por consiguiente, el dispositivo TOSHIBA no permite efectuar una medición angular precisa del diagrama de intensidad de la luz difundida.

La presente invención permite resolver los inconvenientes citados.

25 A este fin, en un primer modo de realización, la misma se refiere a un dispositivo de medición luminosa de un objeto o parte de objeto como se describe en la reivindicación 1.

En un segundo modo de realización, la invención se refiere a un dispositivo de medición luminosa de un objeto o parte de objeto como se describe en la reivindicación 2.

30 El sensor de vídeo espacial del dispositivo de medición según la invención puede estar constituido en particular por un sensor de vídeo espacial del tipo CCD, tri CCD, CMOS o tubo catódico.

35 Se destacará en primer lugar que el dispositivo de formación de imagen utilizado en la invención puede estar asociado a un sensor de vídeo de cualquier formato para recoger la señal, garantizado al mismo tiempo una resolución angular óptima, lo que no es el caso del sistema TOSHIBA descrito brevemente más arriba.

40 Además, el sistema colector del dispositivo según la invención, constituido por la parte central dióptrica y por la parte periférica catadióptrica o el reflector, sólo comprende dos elementos ópticos, lo que representa una ventaja real, en términos de coste y de facilidad de montaje, con respecto al dispositivo DAVIS que comprende tres elementos ópticos (un reflector elíptico, una primera lente y una segunda lente particular).

45 Sobre todo, y de forma muy ventajosa, la parte central dióptrica y la parte periférica catadióptrica o el reflector del dispositivo según la invención, que permiten dividir los rayos luminosos difundidos por un objeto en dos haces, en función de su inclinación, son independientes y están descorrelacionadas una de la otra.

Esta disposición particularmente ventajosa de este dispositivo en dos partes periférica y central distintas permite obtener dos haces de rayos que no se cruzan, ofrece mucho mejores tolerancias de alineación en el montaje y reduce considerablemente los problemas de "cross-talk" citados.

50 Se destacará también que el dispositivo de medición, según la invención, utiliza unos componentes estándar (un sensor de vídeo espacial asociado a un dispositivo de formación de imagen), lo que permite obtener un coste de realización muy inferior al dispositivo TOSHIBA descrito brevemente más arriba.

55 El dispositivo de formación de imagen asociado al sensor de vídeo espacial puede estar constituido en particular por un objetivo de enfoque, cuya función conocida es llenar de imágenes la procedente del colector tal como el definido anteriormente sobre el sensor de vídeo.

60 Esta disposición preferida permite ventajosamente desplazar el sensor de vídeo y mejorar así la resolución del dispositivo de medición según la invención, sobre todo cuando la muestra a medir está iluminada en una gran superficie.

Se obtiene así un dispositivo de medición de mucha mejor resolución que el descrito en el documento DAVIS del cual unos medios de observación están constituidos por una tercera y una cuarta lentes dispuestas para realizar un sistema afocal que sirve para proyectar directamente el haz luminoso sobre el sensor de vídeo.

65 Este modo preferido de realización de la invención está en consecuencia particularmente adaptado para la caracterización de superficies granulosas o texturizadas, necesitando dichas mediciones una iluminación de una superficie relativamente importante del objeto a caracterizar.

Como variante, el dispositivo de formación de imagen puede estar constituido por una cámara con microorificio, en particular cuando las fuentes luminosas iluminan la muestra a medir sobre una superficie de pequeñas dimensiones. Esto permite reducir los costes del dispositivo de medición según la invención, en detrimento relativo de la precisión de las mediciones.

Se describirán ahora dos variantes de realización preferidas para hacer converger los rayos de los primer y segundo haces sobre el dispositivo de formación de imagen.

Se pueden prever dos variantes principales del dispositivo de medición según la invención.

En una primera variante, los primer y segundo haces, procedentes respectivamente de la parte central dióptrica y de la parte periférica catadióptrica convergen en un mismo punto de enfoque sobre el cual se posiciona el dispositivo de formación de imagen.

Esta primera variante de realización permite liberarse de la lente de campo y obtener así un dispositivo de volumen reducido.

En una segunda variante, dichos dos haces son colimados.

En un segundo modo de realización de esta segunda variante, el dispositivo de medición según la invención comprende una lente de campo para hacer converger estos haces colimados en un punto de enfoque, sobre el cual es posicionado el dispositivo de formación de imagen.

Este segundo modo de realización es muy simple de concepción y presenta una cierta flexibilidad para el posicionado de los diferentes componentes ópticos.

Como tercera variante, se puede utilizar un objetivo telecéntrico. Este tipo de objetivo acepta un haz de luz colimado de entrada, lo que permite no tener que hacer converger los haces luminosos.

Según la invención, se pueden utilizar diferentes tipos de parte central dióptrica, en particular una lente esférica convergente que permite ventajosamente un volumen reducido.

En otro modo de realización, la parte central dióptrica es un objetivo constituido por lentes esféricas, lo que permite corregir las aberraciones cromáticas. La precisión de las mediciones así obtenidas se encuentra mejorada en gran manera cuando la iluminación utiliza unas fuentes luminosas de amplio espectro. Por otra parte, la fabricación y el control de calidad de las lentes esféricas son particularmente fáciles.

En otro modo de realización aún, la parte central dióptrica es una lente de Fresnel. Este componente de muy pequeño espesor (típicamente del orden del milímetro) permite reducir el volumen, el peso, la cantidad de material y el precio del dispositivo de medición según la invención.

Según dos primeras variantes de realización, que no forman parte de la presente invención, la parte periférica catadióptrica puede estar constituida por un reflector parabólico o por un reflector elíptico que utiliza la reflexión especular y que necesita eventualmente un tratamiento reflectante según el material. Estas variantes que necesitan poco material constituyen unos modos de realización económicos.

La parte periférica catadióptrica puede comprender:

- una dioptra de entrada de la luz difundida por el objeto o parte de objeto con un ángulo de inclinación importante;
- una superficie reflectante que funciona en reflexión total interna; y
- una dioptra de procedente del segundo haz.

Esta realización, que no necesita ningún tratamiento reflectante, permite evitar ventajosamente las pérdidas de luz. Las partes central y periférica pueden además ser realizadas en un solo bloque.

En un modo preferido de realización, el dispositivo de medición según la invención, comprende además:

- por lo menos una fuente adaptada para generar un haz luminoso colimado recibido por el objeto o parte de objeto con un ángulo de incidencia predeterminado con respecto a dicho eje óptico;
- estando los medios de medición adaptados para medir la intensidad de los rayos de los primer y segundo haces reflejados por el objeto, en función de este ángulo de incidencia predeterminado.

Ventajosamente, este modo de realización permite medir la BRDF de un objeto en función del ángulo de iluminación de este objeto.

La fuente luminosa puede estar constituida en particular por un láser o un diódo láser.

Ventajosamente sin embargo, la fuente está constituida por la asociación de un LED, de un diafragma de campo que permite controlar la divergencia del haz luminoso procedente del LED, de un diafragma de apertura para controlar la sección, y de una lente de colimación.

Dicha fuente permite obtener un haz de iluminación y de sección y de divergencia reducidas y predeterminadas.

Se puede prever asimismo con el fin de reducir los costes, una fuente simplificada que no comprende ningún diafragma de apertura o lente de colimación.

Preferentemente, la fuente luminosa es una fuente blanca y los medios de medición están adaptados para medir la intensidad de los rayos de los primer y segundo haces, según la longitud de onda de estos rayos.

Este modo de realización, que tiene en cuenta la influencia del espectro de luz, permite la caracterización de la BRDF de superficies irisadas.

Como variante, para las aplicaciones denominadas “visuales”, unos medios de medición, tales como un sensor de vídeo de color, están adaptados para medir la intensidad de los rayos de los primer y segundo haces en función de los colores primarios (rojo, verde y azul) a los cuales el ojo humano es sensible.

Un sensor de este tipo permite en particular reproducir el aspecto visual de la piel, de cosméticos, o el de pinturas irisadas como las de algunas carrocerías de vehículo.

Para otras aplicaciones, se puede utilizar un juego de filtros coloreados (por ejemplo unos filtros dicróicos o interferenciales) que pasan a colocarse sucesivamente delante de un sensor de vídeo monocromo. Se puede así medir la BRDF, longitud de onda por longitud de onda, para reconstituir, *a posteriori*, una BDRF completa en función del espectro.

Evidentemente, se pueden adquirir asimismo unas BRDF simplificadas, sin dependencia espectral, con la ayuda de un sensor monocromo. Este sensor puede ser sensible en particular a las longitudes de ondas del infrarrojo próximo o del infrarrojo lejano con el fin de adquirir unas mediciones de BRDF infrarrojas para las aplicaciones optrónicas, militares y/o espaciales.

En un primer modo de realización, el dispositivo de medición según la invención comprende una pluralidad de fuentes fijas de haces luminosos colimados, siendo cada una de estas fuentes independiente de las otras y, adaptada para generar un haz recibido por el objeto a caracterizar con un ángulo de incidencia propio.

Este modo de realización es particularmente ventajoso cuando se utiliza el dispositivo de medición para medir la BRDF de un objeto, mostrando la teoría del electromagnetismo y la experiencia práctica que todas las funciones de BRDF dependen del ángulo de incidencia, en el caso de objeto con superficies muy difusoras.

En este modo de realización, el dispositivo de medición de BRDF según la invención no comprende ninguna fuente móvil, lo que constituye una característica importante en el caso de un dispositivo portátil destinado a la medición *in situ*.

En este modo de realización, cada una de las fuentes fijas es activa a su vez, siendo la BRDF del objeto medida en función del ángulo de incidencia del haz colimado que ilumina este objeto.

Preferentemente, el dispositivo de medición según la invención comprende unos medios de mando, en particular en forma lógica, adaptados para encender secuencialmente las diferentes fuentes luminosas.

Se observará en este caso que el dispositivo TOSHIBA de la técnica anterior solo comprende una fuente luminosa, fija, adaptada para emitir un haz de luz colimado y enfocado sobre la muestra por una lente convergente central, según una incidencia normal fijada.

El dispositivo TOSHIBA no puede medir por tanto una función de BRDF en función del ángulo de incidencia de iluminación, como en el caso de las pinturas irisadas. Esta limitación importante se elimina por tanto mediante la presente invención.

En otro modo de realización, se utiliza una fuente luminosa móvil, única, adaptada para iluminar el objeto o la parte de objeto a caracterizar según diferentes ángulos de incidencia predeterminados.

Esta fuente luminosa puede ser por ejemplo móvil en traslación sobre un raíl.

En el segundo modo de realización de la segunda variante citada, se puede utilizar ventajosamente una fuente única móvil en rotación alrededor del foco imagen de la lente de campo, con respecto a una lámina semirreflectante

ES 2 318 366 T3

posicionada entre esta lente de campo y el dispositivo de formación de imagen, estando esta lámina semirreflectante adaptada:

- para reflejar el haz luminoso colimado generado por la fuente única en dirección al objeto a caracterizar; y
- para permitir el paso de los primer y segundo haces que convergen a la procedente de la lente de campo.

Este modo de realización permite medir la BRDF de un objeto o de una parte de objeto que presenta una superficie anisótropa. Evidentemente, la medición de la BRDF de un objeto que presenta una superficie anisótropa se puede realizar asimismo en las variantes descritas anteriormente, haciendo girar el dispositivo 90° con respecto al objeto a medir.

Permite evitar asimismo la formación de zonas de sombra en los haces, siendo las zonas de sombra debidas a la presencia de fuentes luminosas en estos haces.

Preferentemente, el dispositivo según la invención comprende unos medios de reconstitución y de registro sobre un soporte, de mediciones de la BRDF del objeto o de la parte de objeto así caracterizada.

Estos medios de reconstitución y de registro sobre un soporte permiten calcular la función de BRDF a partir de los registros del sensor de vídeo.

El dispositivo de medición según la invención tal como el descrito brevemente más arriba en sus diferentes variantes, puede ser utilizado en particular *in situ*, para medir la BRDF de un objeto o de una parte de objeto difícilmente accesible.

En particular puede así ser utilizado para medir la BRDF de la superficie de un tablero de mando de un vehículo, sin que sea necesario recortar una muestra de este tablero de mando para su análisis.

De todos modos, el dispositivo de medición según la invención permite obtener unas mediciones de intensidad que era imposible, incluso muy difícil de obtener con los dispositivos de medición conocidos hasta entonces.

Este dispositivo de medición puede ser realizado a bajo coste y permite además adquirir las mediciones de intensidad de forma muy rápida.

De forma totalmente similar, la invención permite medir la BTDF (Bidirectional Transmittance Distribution Function), la BSDF (Bidirectional Scattering Distribution Function) o la difusión volumétrica de un objeto o parte de objeto, en particular un objeto o parte de objeto que presenta una superficie anisótropa. De forma evidente para el experto en la materia, las fuentes luminosas son entonces dispuestas de manera que iluminen el objeto por detrás, de manera que éste difunda la luz cuya intensidad es medida por el dispositivo según la invención.

La invención permite obtener asimismo unos diagramas de intensidad para unas fuentes luminosas tales como unos LED, un visualizador luminoso, una pantalla de visualización, etc. En este caso, el dispositivo de medición no comprende ninguna fuente luminosa propiamente hablando, constituyendo el objeto o parte de objeto dicha fuente luminosa.

Entre las aplicaciones de la invención, se encuentran los programas de ordenador que utilizan unas funciones de simulación de las propiedades ópticas de un objeto o parte de objeto, utilizando estos programas unas mediciones de intensidad luminosa obtenidas sobre un objeto real del mismo tipo con un dispositivo de medición tal como el descrito brevemente más arriba.

Estos programas de ordenador pueden ser en particular una lógica de concepción asistida por ordenador (CAO) o una lógica de simulación de la luz.

La invención permite así obtener un programa que permite simular las propiedades ópticas de objetos antes de su fabricación. La misma permite también la simulación de objetos (carretera, túnel...) o de estructuras (piel...) difícilmente accesibles o transportables a un laboratorio.

Otros aspectos y ventajas de la presente invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la lectura de la descripción de modos particulares de realización siguientes, siendo esta descripción proporcionada únicamente a título de ejemplos no limitativos y haciendo referencia a los planos adjuntos, en los que:

- las figuras 1 y 3 representan un dispositivo de medición que no forma parte de la presente invención;

- las figuras 2, 4 y 5 representan un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención en dos modos preferidos de realización;

- las figuras 6 a 8 representan unas fuentes luminosas que pueden ser utilizadas en un dispositivo de medición de acuerdo con la invención;

ES 2 318 366 T3

- la figura 9 representa el funcionamiento de un objetivo telecéntrico en el marco de la invención; y

- la figura 10 representa, a título de ejemplo, un gráfico de intensidad de flujo luminoso obtenido por un dispositivo de medición de acuerdo con la invención.

La figura 1 representa un dispositivo de medición de la intensidad luminosa de un objeto o parte de un objeto, que no forma parte de la presente invención.

En el modo de realización descrito en este caso, este dispositivo comprende una parte central dióptrica 3 en forma de una lente esférica convergente con una conjugación de tipo foco infinito, y un reflector parabólico 2 perforado en su vértice.

De manera conocida por el experto en la materia, la lente esférica convergente 3 puede ser reemplazada por una lente de Fresnel o un objetivo compuesto por lentes esféricas.

El reflector parabólico 2 utiliza la reflexión especular. Puede por ejemplo ser de inoxidable y/o necesitar eventualmente un tratamiento reflectante según el material.

La lente esférica 3 y el reflector parabólico 2 están dispuestos de tal manera que sus ejes ópticos H y sus focos F_1 están confundidos.

Un objeto, o parte de objeto 4 del cual se desea medir la intensidad luminosa o la BRDF, es colocado en este foco F_1 .

Este objeto 4 puede ser en particular una fuente luminosa para la cual se quieren medir unos diagramas de intensidad.

En el modo preferido de realización descrito en este caso, el dispositivo de medición según la invención comprende varias fuentes 1 de haces luminosos colimados, por ejemplo cinco.

Cada una de esas fuentes 1 es independiente de las otras, lo que significa que puede ser mandada por ejemplo por unos medios lógicos no representados en este caso para emitir, o dejar de emitir, un haz luminoso, independientemente de las otras fuentes.

En el modo de realización descrito en la presente memoria, se supondrá que estas fuentes 1 emiten cada una por turno.

En aras de simplificación, dos fuentes luminosas 1 están representadas en la figura 1, estando estas fuentes adaptadas para generar un haz luminoso colimado representado por las líneas a trazos i_1, i_2 .

En esta figura, los haces luminosos colimados no atraviesan la lente esférica 3. En un modo de realización ventajoso, algunos haces luminosos i_1, i_2 atraviesan la lente esférica 3, lo que permite iluminar el objeto 4 con un ángulo α de pequeña incidencia con respecto al eje óptico H.

Cuando estos haces colimados i_1, i_2 encuentran la superficie interna del reflector parabólico 2, son reflejados en dirección al foco F_1 de esta parábola y, por consiguiente, recibidos por el objeto 4 dispuesto en este punto.

Cada uno de los haces luminosos i_1, i_2 es recibido por el objeto 4 con un ángulo de incidencia α_1, α_2 , con respecto al eje óptico H, propio y predeterminado.

Cuando el objeto 4 es iluminado por un haz luminoso que procede de una fuente 1, este objeto 4 difunde unos rayos luminosos en todas las direcciones θ , con respecto al eje óptico H.

De acuerdo con la invención, los rayos luminosos difundidos por el objeto 4 y que poseen un ángulo de inclinación θ_c pequeño con respecto al eje óptico H, son interceptados por la lente esférica convergente 3.

En contrapartida, los rayos luminosos difundidos por el objeto 4 con un ángulo de incidencia θ_p importante con respecto al eje óptico H son interceptados por la pared interna reflectante del reflector parabólico 2.

Preferentemente, el ángulo de inclinación de la luz a partir del cual el rayo luminoso difundido es interceptado por el reflector parabólico 2 se sitúa entre 30° y 45° .

En efecto, más allá de 45° , la lente esférica convergente 3 adolece de problemas conocidos de formación de imagen y de transmisión de la luz; por debajo de 30° , el reflector parabólico resulta demasiado voluminoso.

En el modo de realización descrito en la figura 1, la lente esférica convergente 3 de conjugación de tipo foco infinito, y el reflector parabólico 2, generan respectivamente un primer y un segundo haces colimados a partir de la luz difundida por el objeto o parte de objeto 4, siendo estos haces paralelos al eje óptico H.

ES 2 318 366 T3

La lente esférica convergente 3 y el reflector parabólico 2 están dispuestos de tal manera que los rayos r_p y r_c no se cruzan entre sí.

Unos rayos r_c y r_p de estos primer y segundo haces están representados en la figura 1.

El dispositivo de medición descrito en la figura 1 comprende además unos medios de observación de los primer y segundo haces citados en un plano objeto P.

Para un rayo dado r_c , r_p de los primer y segundo haces, se anotará respectivamente h_c , h_p la distancia entre:

- el punto A_2 de intersección entre este rayo (r_p , r_c) y el plano objeto P; y
- el punto A_1 de intersección entre el eje óptico H y el plano objeto P.

De manera evidente para el experto en la materia, esta distancia h_c , h_p es función del ángulo de difusión θ_c , θ_p .

Más precisamente, a cada distancia h corresponde un ángulo de difusión θ y viceversa.

En el modo de realización de la figura 1, el dispositivo de medición comprende una lente de campo 5 para hacer converger los primer y segundo haces colimados en un punto de enfoque F_2 .

En este punto de enfoque, se encuentra un dispositivo de formación de imagen 6 asociado a un sensor de vídeo 7 para obtener una imagen, en el plano objeto P, de los primer y segundo haces colimados a nivel de la lente de campo 5.

El dispositivo de formación de imagen 6 es típicamente un objetivo de enfoque clásico. Evidentemente, se puede prescindir del objetivo de enfoque (según el principio bien conocido de “cámara con microorificio”) pero se obtiene una imagen borrosa, que proporciona una BRDF cuya resolución está degradada.

Se puede utilizar asimismo un objetivo de enfoque telecéntrico 6' del tipo representado en la figura 9, siendo el diámetro de este objetivo 6' superior al tamaño del objeto a medir. Con un objetivo de este tipo que funciona en luz colimada, no hay necesidad de hacer converger los primer y segundo haces colimados en un punto de enfoque F_2 . La ventaja es no tener que utilizar lente de campo.

Siendo conocido un objetivo de este tipo por el experto en la materia, no será descrito con mayor detalle.

La imagen así registrada es tratada digitalmente por un ordenador 8 con el fin, por ejemplo, de representar gráficamente un flujo luminoso de los primer y segundo haces en función de la distancia h de los rayos r_c , r_p de estos haces en el eje óptico.

Este tratamiento digital permite así reconstituir digitalmente la función de BRDF con vistas a su utilización futura en otras aplicaciones, por ejemplo en unas lógicas de simulación de la luz.

Dicho gráfico, dado a título de ejemplo en la figura 10, se describirá ahora. Este gráfico comprende tres partes A, B y C.

La parte A corresponde al flujo luminoso procedente de la parte central dióptrica, correspondiendo las partes B y C (que son simétricas) al flujo luminoso procedente de la parte periférica catadióptrica.

Aparece en este gráfico que estas tres partes están separadas. El gráfico presenta así dos zonas de discontinuidad que corresponden a la separación física entre la parte dióptrica y la parte catadióptrica. Estas dos zonas traducen el hecho de que los haces no se superponen. Se puede por tanto explotar ventajosamente la totalidad de los dos haces.

El sensor de vídeo 7 es por ejemplo un sensor espacial de tipo CCD, tri CCD, CMOS o tubo catódico.

De todas maneras, se obtiene así sobre este sensor de vídeo, la distribución de los rayos r_c , r_p de los primer y segundo haces según su distancia h_p , h_c con respecto al eje óptico H.

Como se ha precisado anteriormente, esta distribución en distancia permite obtener la distribución angular θ de difusión de estos rayos, siendo la relación entre la distancia h y el ángulo de difusión θ unívoca.

Este dispositivo permite así medir la intensidad de los rayos r_p , r_c de los primer y segundo haces, en función del ángulo de inclinación θ_p , θ_c de la luz difundida por el objeto 4 y en función del ángulo de incidencia α del haz luminoso recibido por el objeto 4 que proviene de una fuente luminosa 1.

En un modo preferido de realización, la fuente 1 emite una luz blanca, siendo el sensor de vídeo un sensor RVB conocido por el experto en la materia.

ES 2 318 366 T3

El dispositivo según la invención permite así la medición de la intensidad de los rayos r_p , r_c de los primer y segundo haces en función de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) a los cuales el ojo humano es sensible.

5 Permite obtener una BRDF coloreada que permite restituir los colores de un objeto 4 que tiene una superficie irisada.

10 El dispositivo de medición descrito anteriormente con referencia a la figura 1, puede, en una primera configuración, ser realizado asociando al reflector parabólico 2 perforado en su vértice, una lente esférica convergente 3, estando estos dos elementos separados uno del otro.

La figura 2 representa un modo de realización del dispositivo de la figura 1 en el cual el reflector parabólico 2 y la lente esférica convergente 3 están realizados de un solo bloque en un mismo material dieléctrico transparente, obtenido por ejemplo por mecanizado o por moldeo.

15 En este modo de realización, el receptor parabólico funciona por reflexión total interna. Más precisamente:

- la lente convergente 3 comprende una cara delantera 3a, perpendicular al eje óptico H y una cara posterior esférica 3b simétrica centrada sobre el foco F_1 ; y

20 - el reflector parabólico 2 comprende una cara delantera 2a esférica, también centrada sobre el foco F_1 , y una cara posterior 2b perpendicular al eje óptico H.

25 Como se ha representado en la figura 2, la cara delantera 2a del reflector parabólico 2 prolonga la cara delantera 3a de la lente esférica convergente 3.

Asimismo, la cara posterior 2b está unida por una superficie 2c a la cara posterior esférica 3b de la lente esférica convergente 3.

30 Con referencia a la figura 3, se describirá ahora otro modo de realización del dispositivo de medición que no forma parte de la presente invención.

En este modo de realización, la parte central dióptrica 3 está constituida por una lente esférica convergente de conjugación de tipo objeto real/imagen real.

35 En este modo de realización, la parte periférica catadióptrica está constituida por un reflector elíptico 2 cuya superficie interna utiliza la reflexión especular.

40 En este modo de realización, la lente esférica convergente 3 y el reflector elíptico reflectante 2 están dispuestos de tal manera que los rayos r_p , r_c de los primer y segundo haces converjan en un mismo punto de enfoque F_3 .

En este modo de realización, el dispositivo de medición no comprende ninguna lente de campo 5, estando el objetivo del sensor de vídeo 7 posicionado en el punto de enfoque F_3 .

45 La figura 4 representa esquemáticamente un segundo modo de realización del dispositivo de medición según la invención.

En este modo de realización, la parte central dióptrica 3 está constituida por una dioptra esférica convergente.

50 La parte periférica catadióptrica 2 de este cuarto modo de realización comprende una dioptra de entrada de la luz difundida por dicho objeto o parte de objeto con un ángulo de inclinación importante, una superficie reflectante que funciona en reflexión total interna, y una dioptra de procedente de dicho segundo haz.

55 Más precisamente, la parte periférica catadióptrica 2 comprende una cara delantera esférica 2a centrada sobre el foco F_1 y una cara posterior 2b, esférica también, centrada sobre el punto de enfoque F_3 .

La parte central dióptrica 3 constituida por una lente gruesa comprende una cara delantera 3a perpendicular al eje óptico H y una cara posterior 3b esférica.

60 La figura 5 representa esquemáticamente la parte central dióptrica y la parte periférica catadióptrica de un tercer modo de realización del dispositivo de medición según la invención.

En esta variante de realización, la parte periférica catadióptrica 2 está constituida por una cúpula de la que un eje de revolución está confundido con el eje óptico H.

65 La cara externa de esta cúpula está recubierta de microprismas 100 que actúan como unos espejos gracias a la reflexión total interna y reflejan localmente los haces luminosos de manera que los rebatan hacia el eje óptico H. Estos microprismas 100 pueden tener una superficie reflectante plana o parabólica. De todas maneras, estos microprismas 100 generan un haz colimado a partir de la luz difundida por la muestra.

ES 2 318 366 T3

La parte central dióptica es una lente de Fresnel cuya función óptica es idéntica a la lente esférica convergente 3 de la figura 1.

En los cinco modos de realización descritos anteriormente, las fuentes 1 de haces luminosos colimados pueden estar constituidas por un láser o un diodo láser conocido por el experto en la materia.

Este modo de realización está particularmente adaptado para la medición del BRDF de un objeto o de una parte de objeto, cuando se requiere una gran resolución angular y/o cuando la información espectral no es útil.

Es en particular el caso de las superficies no irisadas para las cuales la dependencia espectral es ya conocida y está descorrelacionada del ángulo de observación.

Se describirá ahora haciendo referencia a la figura 6 una fuente luminosa 1' que puede ser utilizada en un dispositivo de medición de acuerdo con la invención.

Esta fuente luminosa 1' comprende un LED 13 dispuesto corriente arriba de un diafragma de campo 14 posicionado a su vez en el foco F_4 de una lente de colimación 16.

De manera conocida, este diafragma de campo permite controlar la divergencia del haz luminoso de procedente del LED 13.

Esta fuente luminosa 1' comprende también un diafragma de abertura 15 situado en la proximidad de la lente de colimación 16, para controlar la abertura del haz emitido por el LED 13.

La disposición de los diferentes elementos que constituyen la fuente 1' permite obtener un haz colimado que posee una divergencia pequeña y una sección limitada.

Los dispositivos de medición de acuerdo con la invención, descritos con referencia a las figuras 1 a 4, comprenden varias fuentes luminosas fijas 1, 1' que emiten cada una por turno un haz luminoso colimado.

Se recuerda que estas fuentes luminosas no son necesarias cuando se trata de medir los diagramas de intensidad de una fuente luminosa situada en el foco F_1 de las partes centrales diópticas 3 y periféricas catadiópticas 2.

Se describirán ahora dos variantes de fuentes luminosas móviles que pueden ser utilizadas en un dispositivo de medición según la invención.

La figura 7 representa una fuente luminosa 1'' única móvil en traslación sobre un raíl 30.

Esta fuente luminosa 1'' puede ser utilizada en particular en un dispositivo de medición de acuerdo con el de la figura 1, cuando el raíl 30 está dispuesto perpendicularmente al eje óptico H, de manera que la fuente móvil 1'' emite unos rayos luminosos paralelos a este eje óptico H.

En este caso, la fuente luminosa 1'' puede ocupar las posiciones de las diferentes fuentes luminosas 1 descritas anteriormente con referencia a la figura 1.

Esta fuente luminosa móvil 1'' puede ser utilizada asimismo en el modo de realización de la figura 2, con la única condición de que el raíl 30 esté dispuesto de manera que los haces luminosos emitidos por la fuente 1'' sean dirigidos en la dirección opuesta a la del punto de enfoque F_3 .

De todas maneras, esta fuente luminosa móvil 1'' puede ser desplazada a lo largo del raíl 30 por unos medios no representados en este caso.

Este modo de realización es particularmente ventajoso puesto que permite, desplazando la fuente 1'' sobre el raíl 30, la iluminación del objeto 4 bajo diferentes ángulos de incidencia α .

La figura 8 representa una variante de fuente móvil única 1''' que puede ser utilizada en un dispositivo de acuerdo con la invención cuando las partes centrales diópticas 3 y catadiópticas 2 generan unos primer y segundo haces colimados, como por ejemplo en el modo de realización de las figuras 1 ó 2.

Como se ha descrito anteriormente, dicho modo de realización comprende una lente de campo 5 adaptada para hacer converger los rayos r_c y r_p de los primer y segundo haces hacia un punto de enfoque F_3 .

En la variante de realización descrita en este caso, el dispositivo de medición según la invención comprende una lámina semirreflectante 18 posicionada entre esta lente de campo 5 y el dispositivo de formación de imagen 6.

Esta lámina semirreflectante 18 permite el paso de los rayos r_c , r_p de los primer y segundo haces convergentes en dirección al dispositivo de formación de imagen 6.

ES 2 318 366 T3

En este modo de realización descrito en la presente memoria, la fuente luminosa 1''' es móvil en rotación alrededor del foco imagen F_4 de la lente de campo 5 con respecto a la lámina semirreflectante 18.

En esta disposición, la lámina semirreflectante 13 refleja el haz colimado generado por la fuente única 1''', en dirección al objeto 4.

Más precisamente, la incidencia α del haz luminoso recibido por el objeto 4 depende directamente de la orientación de la fuente luminosa 1'' con respecto a la lámina semirreflectante 13.

Este modo de realización es particularmente ventajoso puesto que permite medir la BRDF de un objeto o de una parte de objeto 4 que presenta una superficie anisótropa.

Como variante, es posible utilizar una fuente luminosa fija asociada a un espejo móvil en rotación según dos ejes, estando el espejo centrado sobre el foco imagen F_4 de la lente de campo 5, emitiendo la fuente luminosa un haz de luz colimado que se refleja en el centro del espejo.

De forma evidente, la fuente móvil única descrita más arriba con referencia a la figura 8, puede ser utilizada en la variante de realización del dispositivo de medición según la invención representada en la figura 4. En este caso, el experto en la materia comprenderá que no se utiliza la lente de campo 5.

Los diferentes modos de realización del dispositivo de medición según la invención descritos anteriormente pueden ser utilizados para medir la BRDF de un objeto o de una parte de objeto en función del ángulo α de iluminación de este objeto, de la dirección de observación θ de este objeto, y de la polarización de la luz cuando se utiliza una fuente blanca en combinación con una cámara vídeo de color RVB.

Estos modos de realización de la invención presentan todos la ventaja de ser particularmente compactos gracias a la asociación de la parte central dióptrica y de la parte periférica catadióptrica.

Permiten además medir toda la luz emitida en un semiespacio.

El modo preferido de realización descrito con referencia a la figura 7 permite además la medición de la BRDF de una fuente irisada, sin que sea necesario desplazar el dispositivo con respecto al objeto a caracterizar.

Por otra parte, y de forma evidente para el experto en la materia, el dispositivo de medición según la invención puede ser utilizado para medir la BTDF de una superficie traslúcida. En este caso, la intensidad luminosa medida es la transmitida por el objeto o la parte de objeto a caracterizar y no una luz reflejada.

Estos diferentes modos de realización permiten así medir la BRDF de objetos o de superficies difícilmente accesibles, o para las cuales no se desea extraer muestras.

La utilización de un dispositivo de medición según la invención es muy simple puesto que es suficiente barrer el objeto a caracterizar. Los datos de medición de intensidad recogidos pueden ser tratados a continuación digitalmente por ejemplo por un programa de ordenador con el fin de reconstituir una función de BRDF. Esta función de BRDF puede ser entonces utilizada *a posteriori* en una lógica de CAO, de imagen de síntesis o de simulación de la luz.

Estos programas de ordenador permiten así una simulación particularmente realista de las propiedades ópticas de un objeto o del comportamiento de un objeto con respecto a la luz.

La invención encuentra así una utilización privilegiada en el campo de las lógicas de concepción asistidas por ordenador y de simulación de la luz, puesto que permite prever, de forma muy realista el comportamiento óptico de un objeto antes de su fabricación.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medición de la intensidad luminosa de un objeto o parte de objeto (4), comprendiendo el dispositivo:

- una parte central dióptrica (3) adaptada para generar un primer haz colimado a partir de la luz difundida por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de inclinación (θ_c) pequeño con respecto al eje óptico (H) de dicha parte central dióptrica (3), cuando dicho objeto (4) es colocado en el foco objeto (F_1), de dicha parte central dióptrica (3); y

- una parte periférica catadióptrica (2) de eje óptico (H) y de foco objeto (F_1), respectivamente confundidos con dicho eje óptico (H) y dicho foco (F_1) de dicha parte central dióptrica (3), siendo dicha parte periférica catadióptrica (2) independiente de dicha parte central dióptrica (3) y estando adaptada para generar un segundo haz colimado, a partir de la luz difundida por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de inclinación (θ_p) importante con respecto a dicho eje óptico (H), no cruzándose los rayos (r_p) de dicho segundo haz con los rayos (r_c) de dicho primer haz en un plano objeto (P) situado a la procedente de las dos partes (2) y (3);

comprendiendo además dicho dispositivo de medición:

- un sensor de vídeo (7) espacial asociado a un dispositivo de formación de imagen (6) para obtener una imagen de dichos primer y segundo haces en dicho plano objeto (P), teniendo cada rayo (r_p , r_c) de dichos haces, en dicho plano objeto (P), una distancia (h_p , h_c) a dicho eje óptico (H) en función de dicho ángulo de inclinación (θ_p , θ_c); y

- unos medios de medición, a partir de dicha imagen, de la intensidad de los rayos (r_p , r_c) de dichos primer y segundo haces, en función de dicho ángulo de inclinación (θ_p , θ_c).

2. Dispositivo de medición de la intensidad luminosa de un objeto o parte de objeto (4), comprendiendo el dispositivo:

- una parte central dióptrica (3) constituida por una dioptra esférica convergente (3) adaptada para generar un primer haz convergente a partir de la luz difundida por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de inclinación (θ_c) pequeño con respecto al eje óptico (H) de dicha dioptra (3), y

- una parte periférica catadióptrica (2) de eje óptico (H) y de foco objeto (F_1), respectivamente confundidos con dicho eje óptico (H) y dicho foco objeto (F_1) de dicha parte central dióptrica (3), siendo dicha parte periférica catadióptrica (2) independiente de dicha parte central dióptrica (3), y estando adaptada para generar un segundo haz convergente, a partir de la luz difundida por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de inclinación (θ_p) importante con respecto a dicho eje óptico (H), no cruzándose los rayos (r_p) de dicho segundo haz con los rayos (r_c) de dicho primer haz en un plano objeto (P) situado a la procedente de las partes (2) y (3),

comprendiendo además dicho dispositivo de medición:

- un sensor de vídeo (7) espacial asociado a un dispositivo de formación de imagen (6) para obtener una imagen de dichos primer y segundo haces en el plano objeto (P), teniendo cada rayo (r_p , r_c) de dichos haces, en dicho plano objeto (P), una distancia (h_p , h_c) a dicho eje óptico (H) en función de dicho ángulo de inclinación (θ_p , θ_c); y

- unos medios de medición, a partir de dicha imagen, de la intensidad de los rayos (r_p , r_c) de dichos primer y segundo haces, en función de dicho ángulo de inclinación (θ_p , θ_c).

3. Dispositivo de medición según la reivindicación 2, **caracterizado** porque dichos primer y segundo haces convergen en un mismo punto de enfoque (F_3), estando el dispositivo de formación de imagen (6) de dicho sensor de vídeo (7) posicionado en este punto de enfoque (F_3).

4. Dispositivo de medición según la reivindicación 1, **caracterizado** porque siendo dichos primer y segundo haces unos haces colimados, comprende además una lente de campo (5) para hacer converger estos haces en un punto de enfoque (F_2) sobre el cual está posicionado el dispositivo de formación de imagen (5).

5. Dispositivo de medición según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los primer y segundo haces son unos haces colimados, y porque dicho dispositivo de formación de imagen es un objetivo de enfoque telecéntrico (6').

6. Dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque dicha parte central dióptrica (3) es una lente esférica convergente (3), un objetivo compuesto por lentes esféricas, o una lente de Fresnel.

7. Dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque comprende además:

- por lo menos una fuente adaptada para generar un haz luminoso colimado recibido por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de incidencia (α) predeterminado con respecto a dicho eje óptico (H); y porque:

ES 2 318 366 T3

- dichos medios de medición están adaptados para medir la intensidad de los rayos de los primer y segundo haces reflejados por dicho objeto o parte de objeto (4), en función de dicho ángulo de incidencia predeterminado (α_1 , α_2).

8. Dispositivo de medición según la reivindicación 7, **caracterizado** porque dicha por lo menos una fuente es un láser o un diodo láser.

9. Dispositivo de medición según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado** porque, para generar dicho haz luminoso colimado, dicha por lo menos una fuente comprende un LED (13), y eventualmente un diafragma de campo (14) situado en el foco de una lente de colimación (16) y un diafragma de abertura (15) situado en la proximidad de dicha lente de colimación.

10. Dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado** porque siendo dicha por lo menos una fuente luminosa una fuente blanca, dichos medios de medición están adaptados para medir la intensidad de los rayos (r_p , r_c) de los primer y segundo haces, según por lo menos una longitud de onda de dichos rayos.

11. Dispositivo de medición según la reivindicación 10, **caracterizado** porque dichos medios de medición están adaptados para medir la intensidad de los rayos (r_p , r_c) de los primer y segundo haces en función de los colores primarios (rojo, verde, azul) a los cuales el ojo es sensible.

12. Dispositivo de medición según cualquiera de la reivindicaciones 7 a 11, **caracterizada** porque comprende una pluralidad de fuentes fijas de haces luminosos colimados, siendo cada una de estas fuentes independiente de las otras y, estando adaptada para generar un haz recibido por dicho objeto o parte de objeto (4) con un ángulo de incidencia (α) propio.

13. Dispositivo de medición según la reivindicación 12, **caracterizado** porque comprende además unos medios de mando adaptados para encender secuencialmente dichas fuentes luminosas.

14. Dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13, **caracterizado** porque comprende una fuente luminosa móvil única, adaptada para generar un haz luminoso recibido por dicho objeto o parte de objeto (4), con un ángulo de incidencia (α) variable predeterminado.

15. Dispositivo de medición según la reivindicación 14, **caracterizado** porque dicha fuente luminosa única (1'') es móvil en traslación sobre un raíl (30).

16. Dispositivo de medición según la reivindicación 4 y 15, **caracterizado** porque dicha fuente única es móvil en rotación alrededor del foco imagen (F_4) de dicha lente de campo (5), con respecto a una lámina semirreflectante (18) posicionada entre dicha lente de campo (5) y dichos medios de observación, estando dicha lámina semirreflectante (18) adaptada:

- para reflejar dicho haz luminoso colimado generado por dicha fuente única (1''') en dirección a dicho objeto o parte de objeto (4); y

- para permitir el paso de dichos primer y segundo haces que convergen a la procedente de dicha lente de campo (5).

17. Dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque comprende además unos medios de reconstitución y de registro sobre un soporte, de mediciones de la BRDF ("Bidirectional Reflectance Distribution Function"), de la BTDF ("Bidirectional Transmittance Distribution Function") o de la BSDF ("Bidirectional Scattering Distribution Function") de dicho objeto o parte de objeto (4).

18. Utilización de un dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, para medir la BRDF, la BTDF o la BSDF de un objeto o parte de objeto (4), en particular *in situ* cuando dicho objeto o parte de objeto (4) es difícilmente accesible.

19. Utilización de un dispositivo de medición según la reivindicación 18, para medir la BRDF de un objeto (4) o parte de objeto (4) que presenta una superficie anisótropa.

20. Utilización de un dispositivo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, para medir unos diagramas de intensidad de una fuente luminosa constituida por dicho objeto (4).

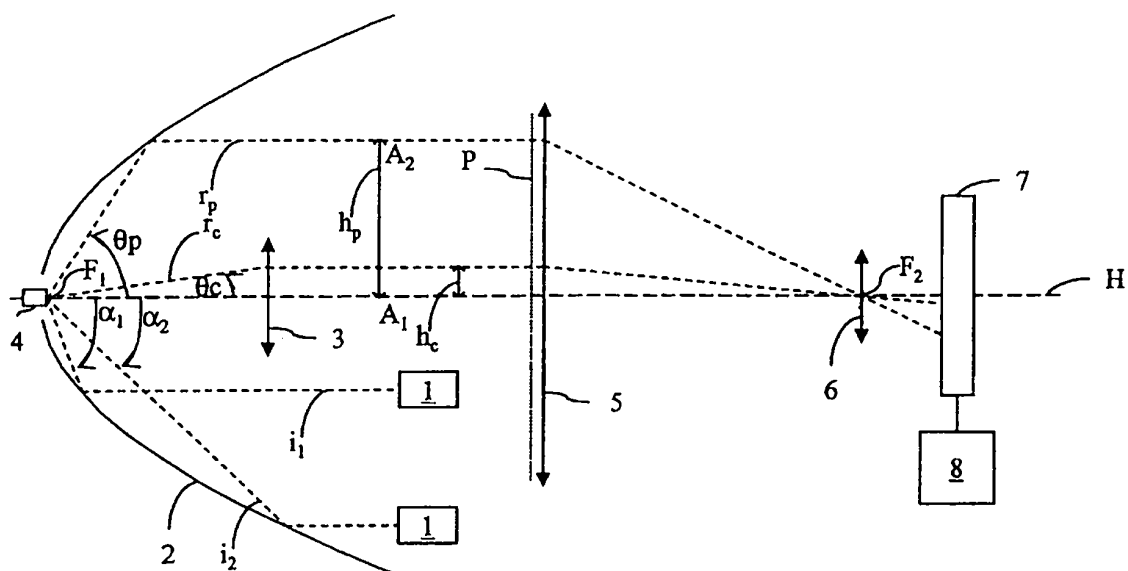


FIG. 1

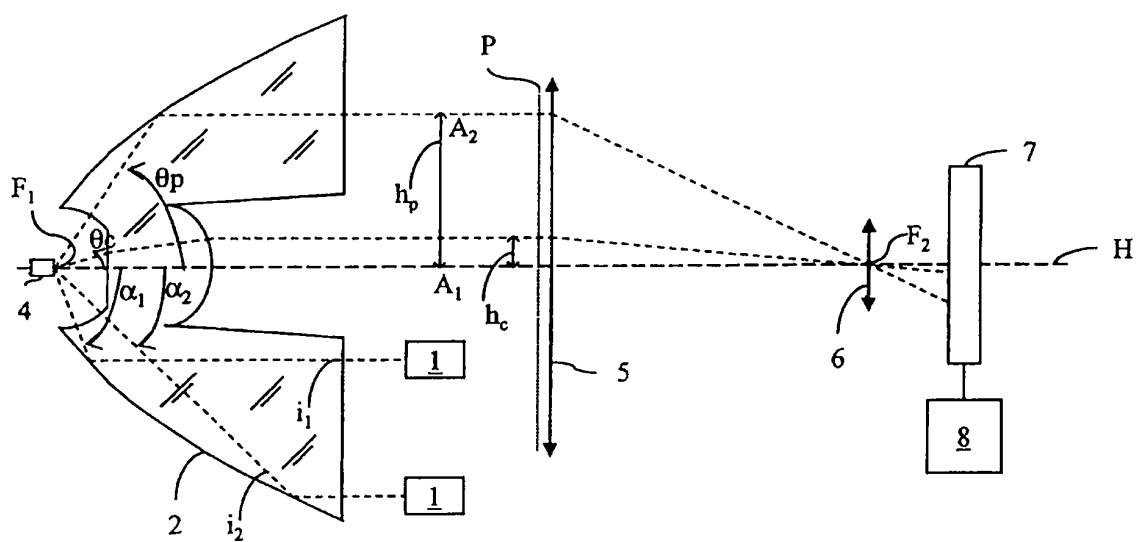


FIG. 2

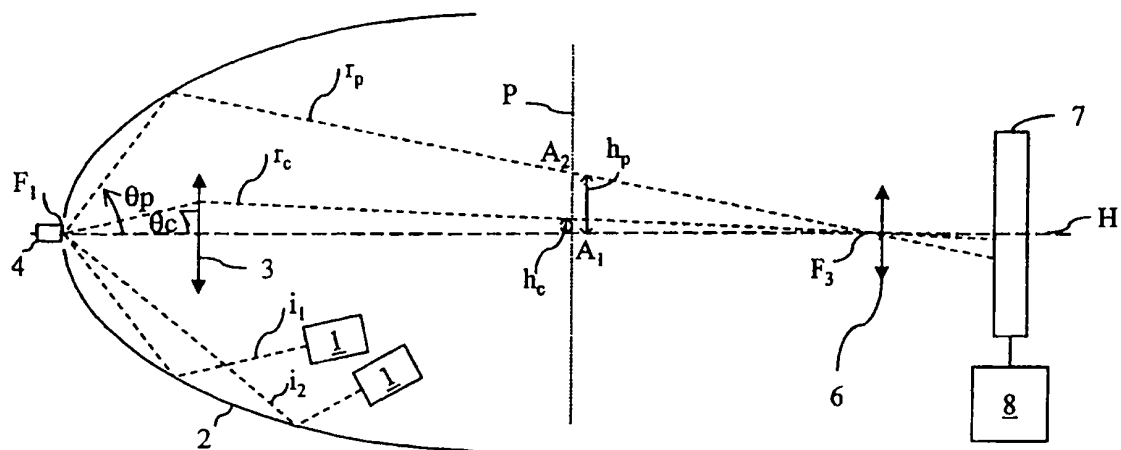


FIG. 3

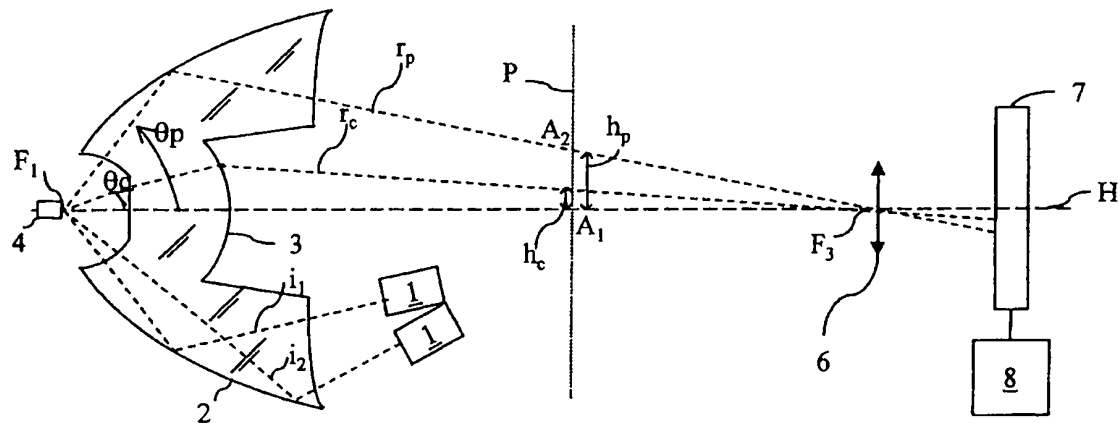


FIG. 4

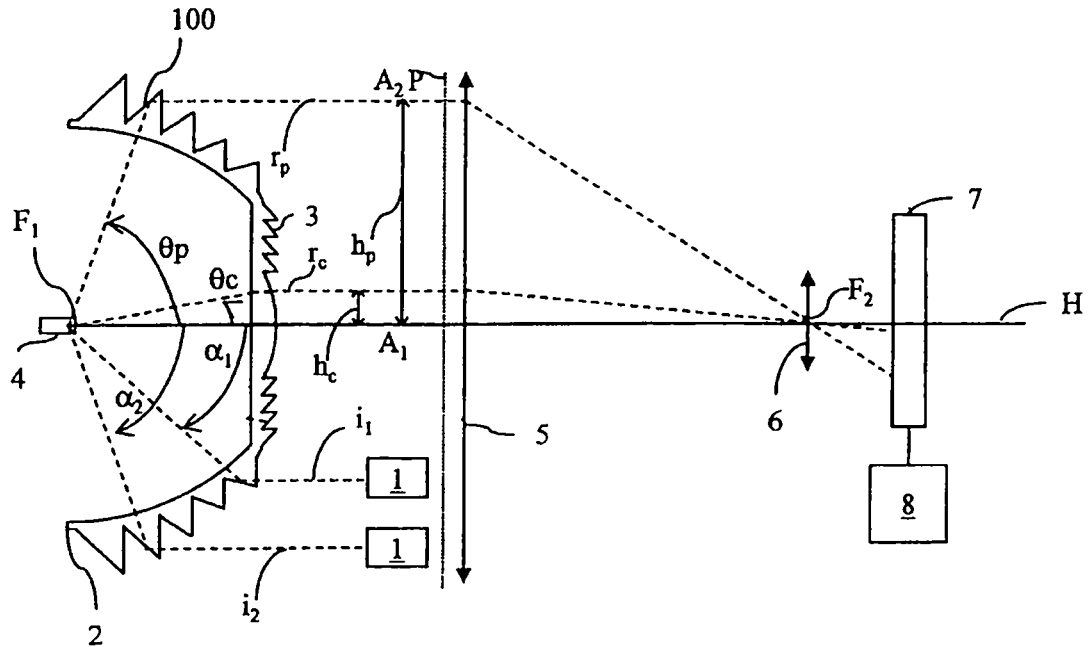


FIG. 5

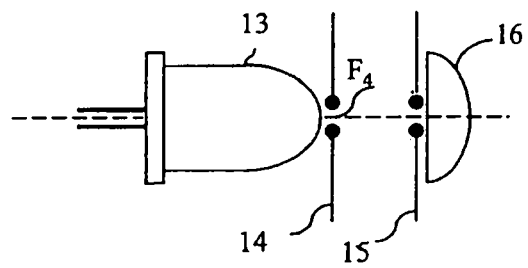


FIG. 6

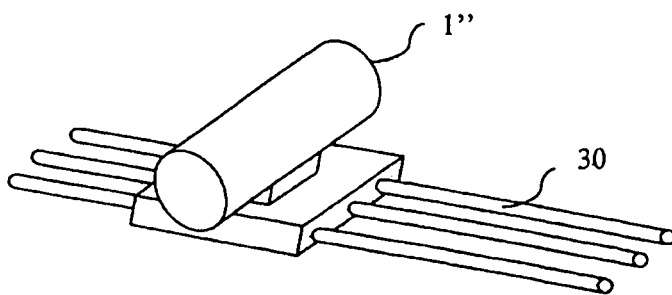


FIG. 7

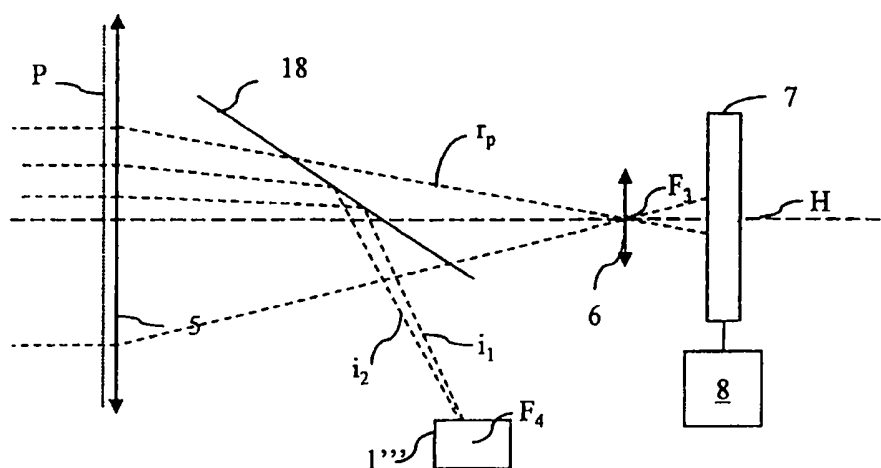


FIG. 8

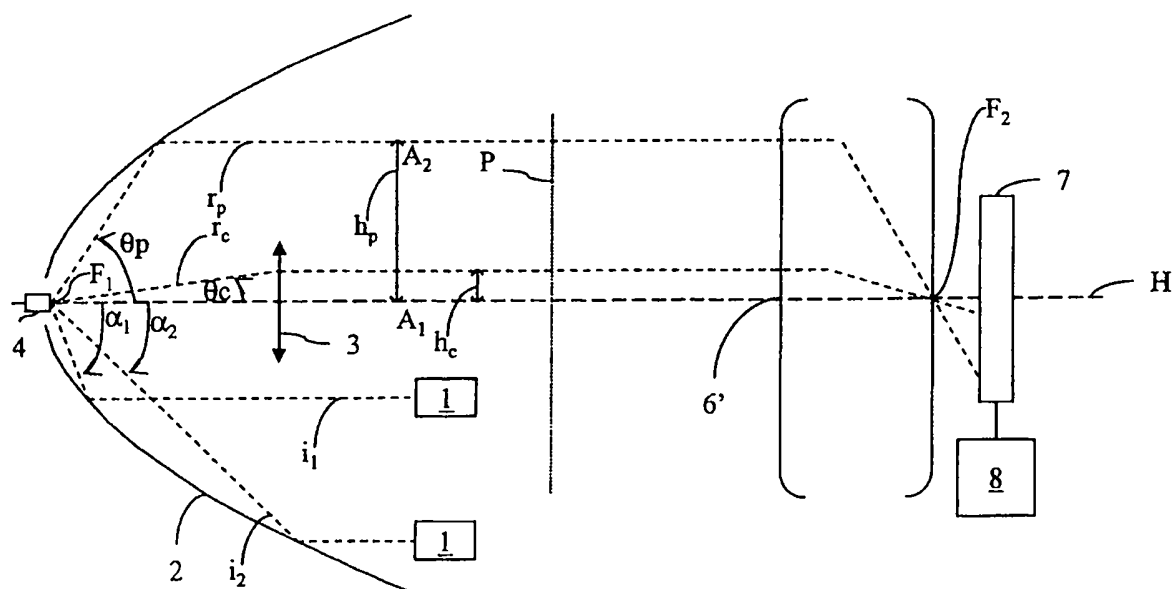


FIG. 9

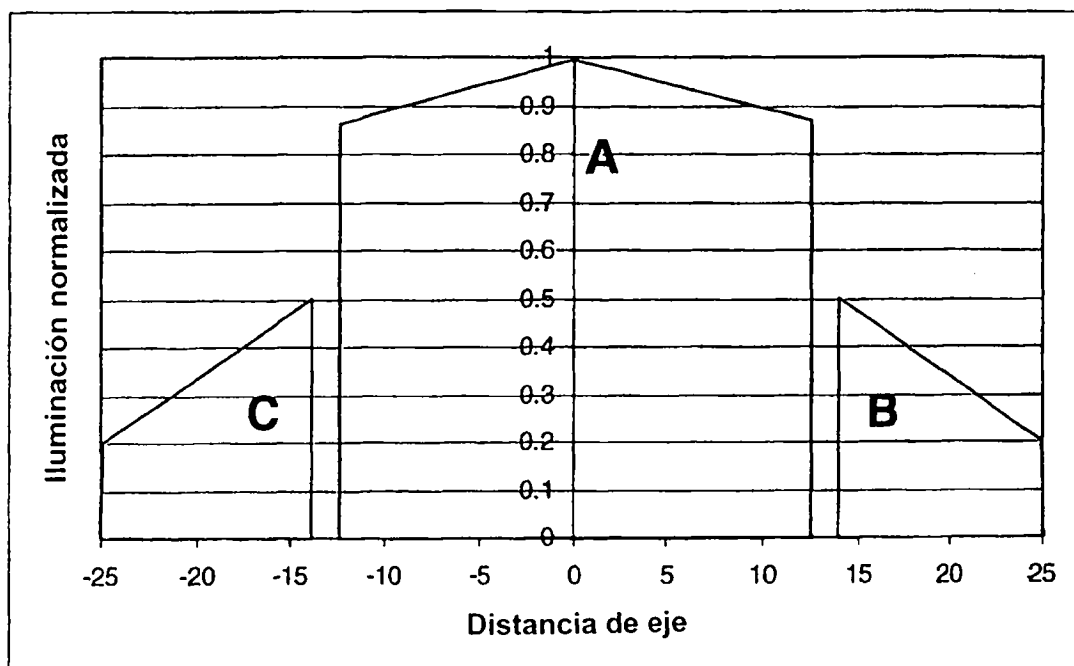


FIG.10