

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 142**

51 Int. Cl.:

G01J 3/28 (2006.01)

G01J 3/02 (2006.01)

G02B 3/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2011 E 11719367 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014 EP 2567203**

54 Título: **Formación de imágenes espectrales**

30 Prioridad:

05.05.2010 GB 201007489

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

30.05.2014

73 Titular/es:

**BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB**

72 Inventor/es:

**LAYCOCK, LESLIE, CHARLES;
GRIFFITH, MICHAEL, STEWART;
CULFAZ, FERHAT;
VALLEJO VEIGA, IVAN y
BLAGG, ADRIAN SIMON**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 464 142 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

Formación de imágenes espectrales

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a aparatos y métodos de formación de imágenes espectrales.

Antecedentes

En los campos de la formación de imágenes hiperespectrales y multiespectrales, denominada en lo sucesivo "formación de imágenes espectrales" por simplicidad, se captan imágenes separadas de una escena de imágenes para una pluralidad de bandas o valores de frecuencia electromagnética. Las diferentes bandas o valores de frecuencia electromagnética están distribuidas típicamente por una pluralidad de regiones del espectro electromagnético, por ejemplo distribuidas por más de una del infrarrojo, luz visible y ultravioleta. Los aparatos de formación de imágenes espectrales convencionales tienden a ser grandes y complejos.

El uso de elementos ópticos binarios difractivos/disposiciones de lentes difractivas en un generador de imágenes hiperespectral se desvela en los siguientes antecedentes: (i) US3.641.354; (ii) "Application of binary optical element to infrared hyperspectral detection", Q. Sun y col., Science en Chin (Serie E), Vol. 46, Nº 6, diciembre de 2003, páginas 654-660; y (iii) "Lenslet Arrays for Simultaneous Infrared Multi-spectral Imaging of CB Targets", M Hinnrichs y N. Gupta, 7th Joint Standoff Detection for Chemical and Biological Defense, 23-27 de octubre de 2006 (documento disponible en Pacific Advanced Technology). Tales propuestas tienden a implicar elementos ópticos móviles del aparato axialmente para proporcionar diferentes distancias focales y/o detección de diferentes frecuencias electromagnéticas. Una desventaja es que esto dificulta la implementación para aplicaciones que se beneficiarían de aparatos más pequeños y fácilmente portables.

Se conocen lentes deformables, por ejemplo lentes fluidicas, cuyas formas se cambian para cambiar la distancia focal de la lente. Se conoce la implementación del cambio de forma usando un mecanismo de bombeo, tal como se describe, por ejemplo, en los siguientes antecedentes: (i) "Fabrication of a fluidic membrane lens system", J. Draheim y col., Journal of Micromechanics and Microengineering, 19 (2009) 095013, IOP Publishing; (ii) "A rapidly deformable liquid lens", H. Oku y M. Ishikawa, SPIE Newsroom 2009, 10.1117/2.1200912.002505; (iii) "Variable-focus liquid lens", H. Ren y col., Optics Express, Vol. 15, Nº 10, 14 de mayo de 2007, páginas 5931-5936; y (iv) el documento WO 2010/018403.

Ejemplos de membranas usadas en lentes fluidicas se describen en los siguientes antecedentes: (i) "Self-optimised vision correction with adaptive spectacle lenses in developing countries", M. G. Douali y J. D. Silver, Ophthal. Physiol. Opt. 2004, Vol. 24, páginas 234-241; y (ii) "Tuneable optical lenses from diamond thin films", A. Kriele y col., Applied Physics letters, vol. 95, 031905 (2009).

El uso de un líquido altamente dispersivo en una lente líquida, pero no una lente deformable, se desvela en el documento US 5684636. El líquido altamente dispersivo se usa como parte de una disposición para reducir la aberración cromática, es decir, fundamentalmente todo lo contrario de lo que se está intentando en la formación de imágenes espectrales.

Sumario de la invención

Los presentes inventores se han dado cuenta de que diversas desventajas, tales como el tamaño relativamente grande y la complejidad de muchos aparatos de formación de imágenes espectrales convencionales tienden a surgir al menos en parte: (i) de usar objetos separados para proporcionar las funciones respectivas de captación/enfoque de luz en el objetivo, separación de frecuencia electromagnética, y aumento/enfoque; y/o (ii) de implicar típicamente elementos móviles del aparato para proporcionar diferentes distancias focales y/o detección de diferentes frecuencias electromagnéticas.

Los presentes inventores además se han dado cuenta de que sería deseable paliar o superar algunas de estas deficiencias proporcionando una disposición en la cual dos o más de las funciones de captación/enfoque de luz en el objetivo, separación de frecuencia electromagnética, y aumento/enfoque se combinan al menos hasta cierto punto, y/o en las cuales se reduce o elimina el uso de movimiento de elementos.

El aparato de formación de imágenes espectrales de la invención combina las acciones de enfoque y separación cromática de la radiación electromagnética en una única lente deformable.

En un aspecto, la presente invención proporciona un sistema de formación de imágenes espectrales que incluye: una lente deformable de material dispersivo, medio para deformar la lente para variar la distancia focal de la lente deformable; y uno o más procesadores dispuestos para discriminar entre diferentes frecuencias de la radiación electromagnética detectada en virtud del diferente enfoque, que surge de la dispersión de la lente deformable, de las

diferentes frecuencias electromagnéticas respectivas.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un sistema de formación de imágenes espectrales que incluye: una lente deformable de material dispersivo, un sensor colocado para detectar la radiación electromagnética recibida desde la lente, medio para deformar la lente por medio del cual variar la distancia focal de la lente y enfocar la radiación electromagnética de diferente frecuencia sobre el sensor y medio discriminador para discriminar una frecuencia enfocada de radiación electromagnética recibida por el sensor de otras frecuencias desenfocadas.

El medio para deformar la lente puede hacer que la lente enfoque a su vez en frecuencias sucesivas y el medio discriminador puede, por consiguiente, discriminar a su vez las frecuencias enfocadas sucesivas de las frecuencias desenfocadas.

El sensor puede comprender una matriz de plano focal, por ejemplo un chip de cámara digital, que puede proporcionar un plano de imagen que está fijo, en relación con la lente.

La lente deformable puede ser una lente fluídica.

La lente deformable es, con preferencia, relativamente de alta dispersión.

El medio discriminador puede comprender un procesador que puede determinar una eliminación de borrosidad de un único valor espectral o imagen de banda.

El medio discriminador puede comprender un procesador para eliminar o ignorar la radiación electromagnética de brillo sustancialmente uniforme a través de píxeles detectores para frecuencias desenfocadas.

El sistema puede incluir además una lente no deformable usada sustancialmente para enfocar, con la lente deformable usándose para discriminación espectral.

El sistema puede estar dispuesto además para paliar los efectos del borde espectral, por ejemplo, captando luz hasta el borde de la matriz de sensores, o cualquier límite conveniente dentro del borde, pero sólo formando una imagen a partir de los píxeles a una cierta distancia hacia dentro de este límite. Tal distancia puede ser 0,5 veces la función de dispersión de punto.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un método de formación de imágenes espectrales, comprendiendo el método, como primera etapa: deformar una lente deformable de material dispersivo para enfocar una primera banda de frecuencia de radiación electromagnética sobre un plano de imagen, detectar toda la radiación de imagen en este plano de imagen; repetir la primera etapa tantas veces como sea necesario para bandas de frecuencia adicionales de radiación electromagnética y procesar los datos de la radiación de imagen detectada para realizar discriminación espectral.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un programa informático o varios programas informáticos dispuestos de manera que cuando es(son) ejecutado(s) por un sistema informático hace(n) que el sistema informático funcione de acuerdo con el método anterior.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un medio de almacenamiento legible por una máquina que almacena un programa informático o al menos uno de los varios programas informáticos según el aspecto anterior.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de una realización de un sistema de formación de imágenes espectrales;

las figuras 2A-2C son ilustraciones esquemáticas comparativas (no a escala) que ilustran de modo simplificado algunos aspectos de la dirección y enfoque de luz que tiene lugar durante el funcionamiento del sistema de formación de imágenes de la figura 1;

la figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra ciertos detalles de una disposición de lente deformable del sistema de formación de imágenes de la figura 1;

la figura 4 muestra ciertas etapas de proceso de una realización de un método de formación de imágenes;

la figura 5 ilustra el grado de dispersión espectral que debe producir la lente para que el método de formación de imágenes logre una resolución espectral deseada (número de bandas de longitud de onda espectral para un intervalo espectral dado, y por tanto las anchuras espectrales de estas bandas);

la figura 6 muestra esquemáticamente un triplete de Cooke típico que usa lentes deformables;

la figura 7 muestra esquemáticamente una lente fluidica deformable que tiene superficies ópticas planas;

5 la figura 8 muestra la lente de la figura 7 con sus superficies ópticas deformadas;

la figura 9 muestra esquemáticamente un doblete acromático que tiene lentes deformables fluidicas activas; y

10 la figura 10 muestra una disposición de la figura 9 con las lentes reconfiguradas para ofrecer tanto potencia como dispersión.

Descripción detallada

15 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de una realización de un sistema de formación de imágenes espectrales 1, denominado en lo sucesivo el sistema de formación de imágenes 1.

El sistema de formación de imágenes 1 comprende una disposición de lente deformable 2, denominada al describir las figuras 1 y 2A-2C como la lente 2, un sensor electromagnético 4, denominado en lo sucesivo como el sensor 4, y un controlador 6.

20 La lente 2 está dispuesta para dirigir la luz de imagen recibida (el término "luz" se usa por comodidad en este documento como un término general que engloba radiación electromagnética de cualquier frecuencia, incluyendo, por ejemplo, infrarrojo y ultravioleta) hacia el sensor 4, es decir, en términos generales, para enfocar la luz hacia el sensor 4. Sin embargo, cabe destacar que, como se explicará con más detalle más adelante, la luz no es enfocada necesariamente en el sensor 4. En funcionamiento, se consigue diferenciación espectral aunque manteniendo no obstante la distancia de separación entre la lente 2 y el sensor 4 fijo, es decir, se emplea en efecto un plano de imagen fijo.

30 El controlador 6 está asociado a la lente 2. El controlador 6 también está asociado al sensor 4, como lo está el procesador 7.

Las figuras 2A-2C son ilustraciones esquemáticas comparativas (no a escala) que ilustran de modo simplificado algunos aspectos de la dirección y enfoque de luz que tiene lugar durante el funcionamiento del sistema de formación de imágenes 1.

35 En esta realización la lente es una lente convergente. Las figuras 2A, 2B y 2C muestran de modo simplificado, nominal, la trayectorias recorridas por rayos de luz ejemplares para tres formas diferentes de la lente 2, es decir, para tres distancias focales diferentes de la lente 2. (En las figuras, por facilidad de referencia, las trayectorias de los rayos de luz se muestran como si continuaran más allá del sensor 4, sin embargo, en la práctica los rayos de luz típicamente serán totalmente absorbidos o reflejados en el sensor). Las tres distancias focales diferentes disminuyen yendo de la figura 2A a la figura 2B a la figura 2C.

Excepto cuando se indique de otro modo, la siguiente descripción se aplica a todas las figuras 2A, 2B y 2C.

45 La lente 2 y el sensor 4 están separados a una separación fija 8. El eje óptico de la lente se indica por el número de referencia 9. Se muestran rayos de luz de ejemplo para tres frecuencias (o bandas de frecuencia) electromagnéticas ejemplares diferentes, en particular rayos de luz 11 de una primera frecuencia, rayos de luz 12 de una segunda frecuencia deferente de la primera frecuencia, y rayos de luz 13 de una tercera frecuencia diferente de la primera y la segunda frecuencias. Se apreciará que en otras realizaciones se procesan otros números (por ejemplo, mayores de tres) de frecuencia electromagnética diferente, usando correspondientemente más de tres formas diferentes de la lente 2.

55 La lente 2 es relativamente de alta dispersión, y de ahí que los rayos de luz de diferente frecuencia (los rayos de luz respectivos 11, 12 y 13) sean enfocados en diferentes puntos respectivos en el eje óptico para la distancia focal nominal particular (es decir, dependiente de su forma deformada, y diferente en cada una de las figuras 2A, 2B y 2C) de la lente 2. Los rayos de luz 11 de la primera frecuencia son enfocados en un punto 111 en el eje óptico 9; los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia son enfocados en un punto diferente 112 en el eje óptico 9; y los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia son enfocados en un punto diferente 113 en el eje óptico 9.

60 En virtud de esto, los rayos de luz de diferente frecuencia (los rayos de luz respectivos 11, 12 y 13) caen sobre el sensor 4 en diferentes sitios para la distancia focal nominal particular de la lente 2. En las figuras, los rayos de luz 11 de la primera frecuencia se muestran cayendo sobre el sensor 4 en las posiciones 211; los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia se muestran cayendo sobre el sensor 4 en las posiciones 212; y los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia se muestran cayendo sobre el sensor 4 en las posiciones 213.

65 Por facilidad de referencia, las tres distancias focales diferentes de la lente 2 representadas respectivamente en las

figuras 2A, 2B y 2C son aquellas que enfocan respectivamente los rayos de luz de cada una de las tres frecuencias diferentes en el plano del sensor 2.

Por consiguiente, en la figura 2A, que muestra el caso en el que la distancia focal nominal de la lente 2 prevé que los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia sean enfocados en el plano del sensor 4, estos rayos de luz 13 producen sólo una posición 213, que además está coincidente con el punto focal 113 anteriormente mencionado de los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia, representando así una forma enfocada de la escena de imagen para la tercera frecuencia. Respecto a las otras dos frecuencias, sin embargo, en la figura 2A hay dos posiciones 211 producidas por los rayos de luz 11 de la primera frecuencia, y dos posiciones adicionales 212 producidas por los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia, representando estas posiciones 211 y 212 de la primera y la segunda frecuencias formas desenfocadas respectivas de la escena de imagen en el sensor 4 para estas frecuencias.

De la misma manera, en la figura 2B, que muestra el caso en el que la distancia focal nominal de la lente 2 prevé que los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia sean enfocados en el plano del sensor 4, estos rayos de luz 12 producen sólo una posición 212, que además está coincidente con el punto focal 112 anteriormente mencionado de los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia, representando así una forma enfocada de la escena de imagen para la segunda frecuencia. Respecto a las otras dos frecuencias, sin embargo, en la figura 2B hay dos posiciones 211 producidas por los rayos de luz 11 de la primera frecuencia, y dos posiciones adicionales 213 producidas por los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia, representando estas posiciones 211 y 213 de la primera y la tercera frecuencias formas desenfocadas respectivas de la escena de imagen en el sensor 4 para estas frecuencias.

De la misma manera, en la figura 2C, que muestra el caso en el que la distancia focal nominal de la lente 2 prevé que los rayos de luz 11 de la primera frecuencia sean enfocados en el plano del sensor 4, estos rayos de luz 11 producen sólo una posición 211, que además está coincidente con el punto focal 111 anteriormente mencionado de los rayos de luz 11 de la primera frecuencia, representando así una forma enfocada de la escena de imagen para la primera frecuencia. Respecto a las otras dos frecuencias, sin embargo, en la figura 2C hay dos posiciones 212 producidas por los rayos de luz 12 de la segunda frecuencia, y dos posiciones adicionales 213 producidas por los rayos de luz 13 de la tercera frecuencia, representando estas posiciones 212 y 213 de la segunda y la tercera frecuencias formas desenfocadas respectivas de la escena de imagen en el sensor 4 para estas frecuencias.

Por lo tanto, para cada una de las formas de lente, es decir, las distancias focales proporcionadas a la lente 2, los rayos de luz de una de las frecuencias proporcionan una imagen nominalmente enfocada, mientras que los rayos de luz de otras frecuencias proporcionan una forma de imagen nominalmente desenfocada. El controlador 6 hace uso de esta diferencia para procesar la salida del sensor para proporcionar información de imagen que discrimina entre las diferentes frecuencias para proporcionar información de imagen separada para frecuencias separadas (es decir, realiza discriminación espectral), tal como se describirá más detalladamente más adelante.

La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra ciertos detalles de la disposición de lente deformable 2 de esta realización. La disposición de lente deformable 2 comprende una membrana deformable 32, denominada en lo sucesivo la membrana 32, y un fluido 34 contenido por la membrana 34. El fluido 34 está asociado a un mecanismo de bombeo 36.

En funcionamiento (en resumen), el fluido 34 y la membrana 32 proporcionan el comportamiento de la lente. La forma de la lente se cambia mediante el mecanismo de bombeo 36 que ejerce más o menos presión sobre la membrana 32 a través del fluido 34. La distancia focal nominal de la lente cambia debido al cambio de forma.

La disposición de lente deformable 2 se muestra en una forma sumamente esquematizada en la figura 3 para permitir una comprensión conveniente del funcionamiento de la misma. En la práctica, y con más detalle, la estructura y el funcionamiento de la disposición de lente deformable 2 se seleccionan e implementan según los requisitos particulares de formación de imágenes en consideración. Ejemplos de estructuras y principios de funcionamiento que pueden emplearse (o pueden emplearse adaptaciones de los mismos) se describen en los siguientes antecedentes, cada uno de los cuales se incorpora en este documento por referencia: (i) "Fabrication of a fluidic membrane lens system", J. Draheim y col., Journal of Micromechanics and Microengineering, 19 (2009) 095013, IOP Publishing; (ii) "A rapidly deformable liquid lens", H. Oku y M. Ishikawa, SPIE Newsroom 2009, 10.1117/2.1200912.002502; (iii) "Variable-focus liquid lens", H. Ren y col., Optics Express, Vol. 15, Nº 10, 14 de mayo de 2007, páginas 5931-5936; y (iv) el documento WO 2010/018403.

Con preferencia, el fluido 34 empleado es uno que tiene una alta dispersión, es decir, un fluido cuyas propiedades ópticas tales como el índice de refracción, varían hasta un punto relativamente grande como una función de la frecuencia electromagnética, al menos a lo largo o entre las frecuencias de las que se pretende formar imágenes. (Se prefiere una lente altamente dispersiva para: producir resolución espectral fina; para mejorar la calidad de formación de imágenes mejorando el enfoque de una banda dada de frecuencias electromagnéticas; y para facilitar el procesamiento de la radiación medida maximizando el desenfoque de la radiación desenfocada para maximizar la "grisura fuera de banda" - véase más adelante). Algunos ejemplos de tales fluidos relativamente de alta dispersión son: (k) cinamaldehído $C_6H_5CH : CHCHO$; (ii) líquido de inmersión "EC31" (marca comercial) comercializado por Cargille Laboratories, 55 Commerce Rd., Cedar Grove, NJ 07009 USA; y (iii) cristales líquidos adecuados, por

ejemplo cristales líquidos libres de metales y de ftalocianinas de níquel. Detalles adicionales de algunos de estos se describen en los siguientes antecedentes: (i) "Dispersive liquids - Wilcox, The Americal Mineralogist Vol. 49 1964; y (ii) "The refractive index dispersion and the optical contents of liquid crystal metal-free and nickel (ii) phthalocyanines" F. Yakuphanoglu y col., Physica B 373 (2006) páginas 262-266.

5

El fluido puede ser líquido o gas.

Algunos ejemplos de materiales que pueden usarse para la membrana son los descritos en los antecedentes anteriormente mencionados que describen la lente deformable. Algunos ejemplos adicionales de materiales que pueden usarse para la membrana son poliéster, mylar, diamante (transparente dentro de la región infrarroja), o película de seguridad Baader Astrosolar (marca comercial) (la última comercializada por el Baader Planetarium, Zur Sternwarte, D-82291 Mammendorf, Alemania). Algunos de estos, y a título de ejemplo algunas otras posibilidades, se describen en los siguientes antecedentes: (i) "Self-optimised vision correction with adaptive spectacle lenses in developing countries", M. G. Douali y J. D. Silver, Ophthal. Physiol. Opt. 2004, Vol. 24, páginas 234-241; y (ii) "Tuneable optical lenses from diamond thin films", A. Kriele y col., Applied Physics letters, vol. 95, 031905 (2009)-

10

15

De modo más general, dependiendo de los valores o intervalos de frecuencia pretendidos de los que han de formarse imágenes, y otros criterios de diseño, el fluido y/o los materiales de la membrana pueden seleccionarse o adaptarse en consecuencia a partir de los ejemplos ofrecidos en los antecedentes anteriormente mencionados, o puede usarse cualquier otro apropiado.

20

Detalles adicionales del sensor 4 de esta realización son como los que vienen a continuación. En esta realización, el sensor 4 es un sensor de radiación electromagnética convencional, en forma de una matriz de detectores, tal como un dispositivo acoplado por carga con base de silicio (si, por ejemplo, se detecta luz visible cercana al infrarrojo).

25

En funcionamiento, el controlador 6 sincroniza la salida del sensor 4 con el cambio de la forma de la lente de la disposición de lente deformable 2, tal como para proporcionar o controlar una conexión entre la salida del sensor 4 y la distancia focal actual de la lente, es decir, realmente el valor particular o intervalo de frecuencia electromagnética al que el sistema está ajustado realmente. Más particularmente, el controlador controla la lente para que pase cíclicamente por las diferentes distancias focales (es decir, formas) de la lente permitiendo así que las diferentes frecuencias sean enfocadas consecutivamente según esa acción cíclica, es decir, las diferentes imágenes enfocadas para las diferentes frecuencias respectivas se proporcionan realmente de manera multiplexada en el tiempo. La salida del sensor 4 es enviada luego al procesador 7. Los detalles de cómo el procesador 7 procesa la salida del sensor para proporcionar información de imagen que discrimina entre las diferentes frecuencias para proporcionar información de imagen separada para frecuencias separadas se describirán con más detalle más adelante.

30

35

El procesador 7 puede estar dispuesto para procesar la salida del sensor para proporcionar información de imagen que discrimina entre las diferentes frecuencias para proporcionar información de imagen separada para frecuencias separadas de cualquiera manera apropiada. Esto puede implementarse, por ejemplo, utilizando algo o toda la información y conceptos siguientes, en uno o más algoritmos correspondientes.

40

El número de fotones realmente captados por cada píxel p-q, para cada banda b y configuración de lente d se indica en lo sucesivo por:

45

$$N_{b,p-q}^{(d)}$$

donde:

d es una configuración de lente;

50

b es una banda de frecuencia; y

p-q indica un píxel en la fila p-ésima, y la columna q-ésima de la matriz de detectores.

55

El píxel en la fila p-ésima y la columna q-ésima de la matriz de detectores se denomina en lo sucesivo "píxel p-q".

Análogamente, el número de fotones que *serían* captados por cada píxel p'-q' si se enfoca mediante una lente ideal (es decir, el número de fotones "apuntados" a p'-q') se indica en lo sucesivo por:

60

$$N'_{b,p'-q'}$$

A medida que se ajusta la configuración de lente, d, variará la cantidad de luz en una banda particular b, captada por el píxel p-q de la matriz de detectores. Esto es porque la función de dispersión de punto para cada b varía con d.

Usando un método de calibración (por ejemplo, un método que implique barrer un punto luminoso láser a través de la matriz de detectores), es posible determinar, para una banda dada b , la fracción del número total de fotones apuntados al píxel $p'-q'$ que son captados, sin embargo, por el píxel $p-q$ (es decir, el píxel en la fila p -ésima, y la columna q -ésima de la matriz de detectores). Esta fracción se indicará en lo sucesivo por:

$$F_{b,p-q,p'-q'}^{(d_b)}$$

donde:

d_b es la configuración de lente para la cual se enfoca la luz de la banda b ;

b es una banda de frecuencia;

$p-q$ indica un píxel en la fila p -ésima, y la columna q -ésima de la matriz de detectores; y

$p'-q'$ indica un píxel en la fila p' -ésima, y la columna q' -ésima de la matriz de detectores.

Puede medirse una imagen real para determinar el número real de fotones captados por el píxel $p-q$ durante el uso en la configuración de lente d_b . Este número de fotones captados por el píxel $p-q$ se indica en lo sucesivo por:

$$N_{b,p-q}^{(d_b)}$$

Los valores de $F_{b,p-q,p'-q'}^{(d_b)}$ son funciones de la configuración de lente d_b . Por lo tanto:

$$N_{b,p-q}^{(d_b)} = \sum_p \sum_q F_{b,p-q,p'-q'}^{(d_b)} N'_{b,p'-q'} \quad (1)$$

donde $N'_{b,p'-q'}$ es el número de fotones en la banda b apuntados al píxel $p'-q'$, es decir, que serían captados por $p'-q'$ si se eliminara toda difracción, desenfoque y otros efectos de dispersión.

En otras palabras, el número de fotones captados por el píxel $p-q$ es la suma sobre todos los píxeles del número de fotones que son apuntados a cada uno de estos píxeles multiplicada por la fracción de aquellos fotones que impactan, en cambio, en el píxel $p-q$.

En esta realización, la matriz de detectores es una matriz que tiene m filas de píxeles y n columnas de píxeles. De ese modo, $p=1, \dots, m$, y $q=1, \dots, n$. Por lo tanto, la ecuación (1) anterior corresponde a $m \times n$ ecuaciones simultáneas, para una única banda (enfocada) b , y ninguna otra banda (desenfocada). Estas ecuaciones simultáneas son las siguientes:

$$N_b^{(d_b)} = F_b^{(d_b)} \times N'_b$$

donde:

$$N_b^{(d_b)} \text{ es una matriz de } m \times n \text{ (es decir, } N_{b,p-q}^{(d_b)} \text{ para } p=1, \dots, m \text{ y } q=1, \dots, n);$$

$$F_b^{(d_b)} \text{ es un tensor de } m \times n \times m \times n; \text{ y}$$

$$N'_b \text{ es una matriz de } m \times n \text{ (es decir, } N'_{b,p'-q'} \text{ para } p'=1, \dots, m \text{ y } q'=1, \dots, n).$$

Por lo tanto:

$$[F_b^{(d_b)}]^{-1} N_b^{(d_b)} = N'_b$$

De este modo, puede determinarse el número de fotones apuntados a cada píxel $p'-q'$, para una imagen de banda espectral enfocada única b (se eliminan la difracción y otros efectos de dispersión).

Esto puede usarse para proporcionar eliminación de borrosidad para una imagen de una única banda espectral enfocada b. Si se capta simultáneamente más de una imagen de banda por la matriz de detectores (una enfocada en cada configuración de lente, el resto desenfocadas), como en las figuras 2A, 2B y 2C), se pueden tratar de la siguiente manera:

5 La configuración de lente d puede ajustarse progresivamente, y se capta la luz para cada d_b (es decir, para cada configuración de lente en la cual se enfoca la luz de la banda b), $b=1, 2, \dots, a$.

En cada d_b , y para un píxel p-q dado, puede medirse lo siguiente:

$$10 \quad \sum_b N_{b,p-q}^{(d_b)} = S_{p-q}^{(d_b)}$$

Este es el número de fotones captados por el píxel p-q, con la configuración de lente siendo d_b (es decir, la configuración de lente en la cual se enfoca la luz de la banda b'), sumados a lo largo de todas las bandas de luz.

15 Además, (consúltese la ecuación (1) anterior)

$$\sum_b N_{b,p-q}^{(d_b)} = S_{p-q}^{(d_b)} = \sum_b \sum_p \sum_q F_{b,p-q,p'-q'}^{(d_b)} N'_{b,p'-q'} \quad (2)$$

20 La configuración de lente puede variarse. Por lo tanto, como $b=1, 2, \dots, a$, la ecuación (2) anterior corresponde a a x m x n ecuaciones simultáneas.

Por lo tanto, como $F_{b,p-q,p'-q'}^{(d_b)}$ se ha medido usando el método de calibración:

$$25 \quad S = F \times N'$$

Donde S es una matriz o tensor de m x n, N' es un tensor de a x m x n, y F es un tensor de a x m x n x a x m x n.

De manera equivalente:

$$30 \quad S_{pq}^{(d_b)} = F_{bpqp'q'}^{(d_b)} N'_{bp'q'}$$

(usando la convención de la suma de Einstein para subíndices).

35 Por lo tanto,

$$\left[F_{bpqp'q'}^{(d_b)} \right]^{-1} S_{pq}^{(d_b)} = N'_{bp'q'}$$

Por conveniencia, $F_{bpqp'q'}^{(d_b)}$ puede descomponerse en tensores de segundo o tercer orden.

40 Por lo tanto, puede determinarse el número de fotones apuntados a cada píxel p-q, para una imagen de banda espectral múltiple (se eliminan la difracción, el desenfoque y otros efectos de dispersión). Esto puede usarse para proporcionar eliminación de borrosidad para una imagen de banda espectral múltiple.

45 Pueden utilizarse las siguientes técnicas opcionales adicionales que tienden a hacer ventajosamente más eficientes los algoritmos de procesamiento.

Puede aprovecharse la "grisura" de imágenes de banda desenfocada alejadas de un píxel de interés. Si la luz en los píxeles lejanos es "gris", es decir de brillo constante a lo largo de bandas desenfocadas (o una señal sustancialmente igual en cada banda), entonces estas contribuciones pueden eliminarse, o ignorarse, por ejemplo usando una simple sustracción global. Esto tiende ventajosamente a simplificar el tensor $F_{bpqp'q'}^{(d_b)}$ porque, para un píxel p-q dado, la mayoría de los elementos (en una base apropiada) pueden ignorarse, es decir, puede suponerse que la mayoría de los elementos del tensor/matriz son cero. Así que para cada píxel este tensor puede invertirse más eficientemente, es decir $\left[F_{bpqp'q'}^{(d_b)} \right]^{-1}$ tiende a ser más fácil de determinar.

55 Las simplificaciones anteriores pueden mejorarse ventajosamente diseñando la lente fluídica para aumentar la

“grisura fuera de banda”. Esto puede conseguirse, por ejemplo, incrementando la dispersión de la longitud de onda de la lente. La “grisura fuera de banda” tiende a proporcionar que, para bandas desenfocadas, los fotones apuntados a cualquier píxel dado se distribuyan (es decir, se extiendan o “emborronen”) tan uniformemente como sea posible por toda la matriz de píxeles.

5 La aberración es continua con la longitud de onda, así que emborronamiento mencionado anteriormente de la distribución de fotones detectada tiende a producirse dentro de una banda. De este modo, para mejorar las simplificaciones del tensor $F_{bpqp'q'}^{(d_b')}$ mencionado anteriormente, puede escogerse una anchura de banda que reduzca este emborronamiento tanto como sea posible. También para mejorar las simplificaciones, la lente fluidica puede
10 diseñarse para maximizar la tasa de desenfoque con respecto a la longitud de onda a medida que esta longitud de onda se vuelve más diferente de las longitudes de onda de la banda. Esto puede conseguirse, por ejemplo, maximizando la dispersión de la longitud de onda de la lente.

Con preferencia, se palian los “efectos de borde” espectral en el algoritmo de procesamiento. Una manera de
15 conseguir esto es el siguiente. Una reducción gradual de la sensibilidad del sensor, a longitudes de onda en la periferia del intervalo espectral de interés, puede conducir a la captación de luz en un intervalo espectral más ancho que el deseado para captar suficiente información para permitir que el algoritmo de procesamiento funcione correctamente. Para limitar este intervalo espectral, puede emplearse un filtro espectral de banda ancha con reducciones abruptas de transmisión en los bordes de su ventana espectral. Esto filtraría la luz captada en las
20 longitudes de onda no deseadas. Eliminar estas longitudes de onda (reduciendo sus intensidades a cero), o reducir los niveles de estas longitudes de onda, eliminará o reducirá su efecto sobre el funcionamiento del algoritmo de procesamiento, el cual sólo se vería afectado entonces por intensidades sustancialmente no nulas. Asimismo, usar tal filtro espectral con dos o más bandas de paso espectral no contiguas permitiría que se ignoraran las longitudes de onda no deseadas en mitad del intervalo espectral captado.

25 Con preferencia, se palian los “efectos de borde” espacial en el algoritmo de procesamiento. Una manera de conseguir esto es la siguiente. Una imagen que contiene píxeles en el borde de una matriz de sensores no puede formarse de modo idealizado ya que no mediríamos la luz desaparecida de la matriz de sensores que necesita el algoritmo de procesamiento para resolver su sistema de ecuaciones simultáneas. Suponiendo que la función de dispersión de punto tiene una anchura finita w en la matriz de sensores, este problema puede evitarse o paliarse
30 captando luz hasta el borde de la matriz de sensores (o cualquier límite conveniente dentro del borde), pero sólo formando una imagen a partir de los píxeles a una cierta distancia hacia el interior de este límite, por ejemplo una distancia $0,5 w$ hacia el interior de este límite.

35 El aparato para implementar el controlador descrito anteriormente 6, y las funciones y operaciones del controlador, y para realizar alguna o todas las etapas del método que se describirá más adelante, pueden proporcionarse configurando o adaptando cualquier aparato adecuado, por ejemplo uno o más ordenadores y otros aparatos de procesamiento o procesadores, para implementar instrucciones y usar datos, incluyendo instrucciones y datos en forma de un programa informático o una pluralidad de programas informáticos almacenados dentro de o en un medio
40 de almacenamiento legible por una máquina tal como memoria de ordenador, un disco de ordenador, ROM, PROM, etc., o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.

Otra posibilidad es usar, o adaptar, algoritmos de procesamiento de imagen existentes tales como los que se usan en generadores de imágenes espectrales de lente difractiva.

45 Se apreciará que el sistema de formación de imágenes descrito anteriormente 1 permite que se realice un método de formación de imágenes correspondiente. La figura 4 muestra ciertas etapas de proceso de una realización de tal método de formación de imágenes.

50 En la etapa s2, se deforma la lente deformable para proporcionar una primera distancia focal nominal.

En la etapa S4, se detecta la radiación de imagen en un plano de imagen fijo.

55 Después de eso, en la etapa s6, se deforma la lente deformable para proporcionar una distancia focal nominal adicional que es diferente de la primera distancia focal nominal.

En la etapa s8, se detecta la radiación de imagen en el plano de imagen fijo.

60 En la etapa s10, se procesan los datos de la radiación de imagen detectada para discriminar entre imágenes separadas para diferentes componentes de la frecuencia electromagnética de la radiación de imagen detectada (es decir, se realiza discriminación espectral).

En la etapa S12 se determina si el proceso está completado. Si no lo está, es decir, si van a seguir proporcionándose imágenes, el proceso vuelve a la etapa s2.

65

En el ejemplo simplificado anterior, sólo se tienen en cuenta dos frecuencias diferentes, es decir, se incluyen en cada ciclo de barrido. Si se van a tener en cuenta más frecuencias, entonces se llevan a cabo un par de etapas correspondientes a las etapas s6 y s8 después de la etapa s8 para cada frecuencia adicional que ha de tenerse en cuenta.

Las realizaciones descritas anteriormente pueden implementarse o adaptarse para proporcionar formación de imágenes espectrales, en la cual las imágenes separadas de una escena de imagen son capturadas para una pluralidad de bandas o valores de frecuencia electromagnética. Existen varias posibilidades que surgen. Por ejemplo, en realizaciones sencillas aunque se produzcan imágenes separadas para diversos valores o intervalos de frecuencia diferentes, todos estos están en la misma región del espectro electromagnético en el sentido, por ejemplo, del ultravioleta, la luz visible, o el infrarrojo, etcétera. Sin embargo, en otras realizaciones, se producen imágenes separadas para diversos valores o intervalos de frecuencia diferentes que se distribuyen por dos o más regiones del espectro electromagnético en el sentido, por ejemplo, del ultravioleta, la luz visible, o el infrarrojo, etcétera. Para cualquiera de estas posibilidades, los diversos valores o bandas de frecuencia diferentes pueden ser contiguos o no contiguos, o una mezcla de los mismos, es decir, algunos pueden ser contiguos mientras que otros no lo son. Se observa que la palabra “bandas” en la terminología “para diversos valores o bandas de frecuencia diferentes” engloba situaciones en donde un intervalo (banda) dado de frecuencias son procesadas juntas, con una forma de lente común, es decir, configuración de distancia focal nominal, es decir, como si fueran un valor de frecuencia discreto, y con los errores así producidos siendo suficientemente pequeños para permitir la formación útil de la imagen.

Otra posibilidad es que en vez de que la forma de la lente sea cambiada entre formas diferentes de manera discreta, la lente pueda cambiar su forma gradualmente, con el procesamiento compensando o teniendo en cuenta de otro modo el cambio gradual resultante en las propiedades de la imagen detectada.

Para proporcionar prestaciones ópticas adicionales, en otros ejemplos la lente fluidica puede combinarse con elementos de vidrio sólidos convencionales. Por ejemplo, puede usarse una lente separada para enfocar la luz a una distancia dada, con la lente deformable usada sólo para proporcionar separación espectral de los planos focales. En ciertas realizaciones, esto puede permitir algoritmos de procesamiento más eficientes o más sencillos.

Aunque el sistema descrito hasta ahora está basado en el uso de una única lente deformable, existen ventajas potenciales en el uso de más de una lente deformable o una combinación tanto de elementos de lente deformables como pasivos.

En general, cuanto mayor es el número de elementos y superficies disponibles para el ajuste (bien como elementos deformables o bien elementos estáticos), mayor es la flexibilidad al diseñar un sistema óptico de formación de imágenes. Tal ajuste es posible, por ejemplo, mediante el diseño de las superficies y la elección del índice de refracción/la dispersión para los elementos deformables y pasivos. De este modo, las aberraciones de tipo no cromático, por ejemplo la coma o el astigmatismo, pueden minimizarse en tanto que manteniendo una aberración cromática lo más grande posible.

Además, con más elementos, puede introducirse mayor funcionalidad, por ejemplo, añadiendo capacidad de aumento u ofreciendo un sistema que pueda ser reconfigurado para funcionar tanto como un sistema de formación de imágenes estándar como un sistema de formación de imágenes espectrales.

Lo siguiente se analiza brevemente como ejemplos, pero alguien experto en la materia podría darse cuenta que más combinaciones:-

a) El uso de dos elementos de lente deformable consecutivos con la capacidad para ajustar entre formas convexas y cóncavas, para permitir una capacidad de lente de aumento.

b) La figura 6 de más adelante muestra una disposición típica de triplete de Cooke con un elemento negativo pasivo central 61. Esta disposición ofrecerá más flexibilidad al equilibrar el requisito combinado de minimizar las distorsiones no cromáticas en tanto que manteniendo un alto nivel de aberración cromática. Además, si el elemento central 61 está hecho de un vidrio de baja dispersión, el uso de dos elementos deformables (62, 63) que sean altamente dispersivos debería ofrecer un mayor nivel de separación cromática que un diseño de lente única.

c) Si el elemento central pasivo 61 en el centro del triplete de Cooke es reemplazado por un elemento deformable adicional (no mostrado), el sistema también podrá ofrecer una capacidad de lente de aumento. En este caso, volvería a ser ventajoso escoger una lente deformable negativa con una baja dispersión.

Aunque la discusión anterior supone que siempre se requerirá que el sistema óptico actúe como un sistema de formación de imágenes espectrales, puede resultar ser beneficioso para uso portátil para combinar varias funciones ópticas en un sistema. En este caso sería ventajoso que el sistema cambiara entre formación de imágenes convencionales y formación de imágenes multispectrales o hiperespectrales. Esto podría conseguirse configurando el sistema óptico para que funcione con uno o más elementos fluidicos cuyas propiedades de dispersión podrían

ajustarse. Más adelante se dan dos ejemplos de cómo puede conseguirse esto:-

d) En un sistema que contiene varios elementos de lente, introduciendo un elemento de lente fluidica que contiene un fluido altamente dispersivo 71 cuyas superficies 72, 73 pueden hacerse totalmente planas para no ofrecer potencia ni dispersión, véase la figura 7. Cuando está totalmente activo, este elemento de lente introduciría tanto potencia como dispersión cromática, véase la figura 8. En este caso, la aberración cromática está íntimamente ligada a la potencia óptica. Como tal, tendrá que haber otro elemento deformable o combinación de elementos cuya potencia pueda variarse sin introducir aberración cromática. Este podría ser un elemento tal como se analiza en el siguiente párrafo.

e) Un doblete acromático típico (no mostrado) podría combinar un elemento negativo de baja potencia hecho de vidrio con potasio y plomo de alta dispersión con un elemento positivo de potencia más alta hecho de vidrio con potasio y boro de baja dispersión. Esto conseguiría potencia positiva en tanto que minimizando las aberraciones cromáticas. Este tipo de doblete también puede usarse con elementos fluidicos activos como en la figura 9; el vidrio con potasio y plomo puede reemplazarse por una cavidad fluidica 91 que contiene un fluido de alta dispersión 92 y el elemento con potasio y boro puede reemplazarse por una cavidad fluidica 93 que contiene un fluido de baja dispersión 94. Tal sistema ofrecería potencia óptica variable sin introducir distorsión cromática; véase el ejemplo de la figura 9.

Debido a que ambos lados del doblete son activos, si es necesario, esta lente puede reconfigurarse por sí misma para ofrecer tanto potencia como dispersión, véase la figura 10.

En las realizaciones anteriores, la disposición de lente deformable se implementa mediante el uso de una lente fluidica, cuya distancia focal nominal se cambia cambiando la forma general de la lente. Sin embargo, en otras realizaciones, pueden emplearse otras formas de lente deformable para cambiar la distancia focal nominal.

Con preferencia, la lente deformable comprende un material altamente dispersivo, por ejemplo el fluido 34 y/o la membrana 32 comprende un material altamente dispersivo. Más en general, con preferencia la lente de la disposición de lente es altamente dispersiva. (Se prefiere una lente altamente dispersiva para: producir resolución espectral fina; mejorar la calidad de formación de imágenes mejorando el enfoque de una banda dada de frecuencias electromagnéticas; y facilitar el procesamiento de la radiación medida maximizando del desenfoque o de la radiación desenfocada para maximizar la "grisura fuera de banda"). Una manera en la cual el material de la lente puede considerarse como, o cumple el requisito de "altamente dispersivo", en relación con las dimensiones de píxeles del sensor 4 y la separación 8 entre la lente y el sensor es si causa suficiente separación axial de las distancias focales de diferentes longitudes de onda para causar desenfoque significativo de la luz a lo largo de al menos la mitad del intervalo espectral total, $\Delta\lambda$, detectado por el sensor. Para la lente deformable, esto debería ser cierto con preferencia para cualquier configuración de lente dada pensada para ser usada. De este modo, la luz procedente de no más de $0,5\Delta\lambda$ estaría enfocada sobre la matriz de sensores. (Esto significa que, como mínimo, podría formarse una imagen de dos gamas de longitud de onda, que es el mínimo necesario para que se considere "multiespectral"). La terminología "enfocada" se entiende aquí como que la luz que debiera ser enfocada sobre un píxel particular no debería apartarse más que una proporción relativamente pequeña de una anchura de píxel de este píxel. Con preferencia, esa pequeña proporción es la mitad de la anchura de un píxel. Con más preferencia, esa pequeña proporción es un cuarto de la anchura de un píxel; con más preferencia aún, un octavo de la anchura de un píxel. Esto puede entenderse aún más haciendo referencia a la figura 5. La figura 5 muestra este concepto para el caso de que la pequeña proporción sea un cuarto de la anchura de un píxel (es decir $\Delta\lambda \leq 0,5\lambda_p$, véase el diagrama). Supongamos que la separación espacial axial de las distancias focales para diferentes bandas de longitud de onda sobre $0,5\Delta\lambda$ es Δx . Por lo tanto (véase la figura 5):

$$\frac{0,5\Delta x}{\Delta z} = \frac{f_0 - 0,5\Delta x}{D_{lente}}$$

$$\therefore 0,5\Delta x D_{lente} = (f_0 - 0,5\Delta x)\Delta z$$

$$\therefore 0,5\Delta x(D_{lente} + \Delta z) = f_0\Delta z$$

$$\therefore \Delta x = \frac{2f_0\Delta z}{D_{lente} + \Delta z}$$

Si Δz es mucho menor que D_{lente} ($\Delta z \ll D_{lente}$), podemos escribir la siguiente expresión aproximada para Δx :

$$\Delta x \approx 2 \frac{f_0}{D_{\text{lente}}} \Delta z$$

Usando esta aproximación, y sustituyendo Δz usando $\Delta z \leq 0,5l_p$, obtenemos:

$$5 \quad \Delta x \leq \frac{f_0}{D_{\text{lente}}} l_p.$$

En otras palabras, con preferencia, la dispersión de un material de lente “altamente dispersivo” debería producir un Δx que satisface esta desigualdad (o valores correspondientes para, por ejemplo, los casos de que la pequeña proporción sea un cuarto de la anchura de un píxel, o que la pequeña proporción sea un octavo de la anchura de un píxel).

Los usos potenciales de la invención son muchos y variados. Más adelante se dan algunos ejemplos.

En el campo de la Respuesta ante emergencias y la Defensa, la invención puede usarse para marcado espectral, elección de blancos, detección a distancia de dispositivos explosivos y agentes químicos y biológicos. Específicamente, pueden usarse mapas con geolocalización e información espectral por parte de personal militar. También, los periscopios navales pueden ser equipados con la invención.

En el campo de la Vigilancia y Seguridad, la formación de imágenes espectrales añade valor a las redes de cámaras de seguridad fijas permitiendo que “objetos” móviles (personas, vehículos) seleccionados por el operador sean rastreados mediante reconocimiento de su firma espectral. Tal rastreo espectral automatizado puede ser traspasado de una cámara a otra, aunque no tengan campos visuales superpuestos. Esto será útil en el rastreo en tiempo real de personas sospechosas/vehículos/etc. o en la aceleración de prospección de datos de secuencias de archivo.

Además, pueden usarse realizaciones compactas de la invención para observar las firmas espectrales de sustancias de interés particulares (por ejemplo, residuos de fármacos o explosivos).

En el campo de la Búsqueda y Rescate, pueden explorarse grandes áreas de mar o tierra, buscando personas u objetos, que ocupan quizá sólo unos pocos píxeles de imagen, que son difíciles de identificar espacialmente. Podría usarse un diseño de lente de gran angular en esta aplicación para maximizar el campo visual. La compacidad del diseño propuesto lo haría adecuado para vehículos aéreos no tripulados encargados de la búsqueda y el rescate. Generadores de imágenes manuales o montados en un casco o la ropa serían útiles para el personal de búsqueda y rescate (por ejemplo, bomberos) para identificar rápidamente objetos/personas de interés en entornos de baja visibilidad. En el ejemplo de la extinción de incendios, las longitudes de onda infrarrojas serían mejores para penetrar el humo que la luz visible. Añadir información espectral a esto permitiría que se presentara una vista en “falso color” al bombero (por ejemplo, en un visualizador frontal); o, si se busca algo con una firma espectral conocida, podría superponerse un mapa de detección de filtro coincidente.

En los campos de la Investigación y Desarrollo, la formación de imágenes espectrales con la invención dará a los científicos la oportunidad de analizar de manera no invasiva y rápida los escenarios de crímenes, las pruebas y otros objetos de interés. La invención también puede aplicarse en el análisis de arte u otros documentos o artefactos históricos. Las unidades forenses serán suficientemente pequeñas y portátiles como para ser utilizadas en una amplia variedad de entornos, especialmente en escenarios de crímenes. Longitudes de onda de interés particulares son el UV (ultravioleta) cercano (longitud de onda de 0,1-0,4 μm), el NIR (infrarrojo cercano) (0,7-1,4 μm) y el SWIR (infrarrojo de onda corta) (1,4-3,0 μm). La formación de imágenes en el UV cercano puede revelar claramente trazas orgánicas, tales como huellas dactilares. Mientras tanto, las longitudes de onda NIR y SWIR pueden usarse para analizar documentos o imágenes, por ejemplo cuadros, para detectar falsificación u ocultación.

En el campo de la Investigación de las Ciencias de la Vida, cuando se usa como espectrómetro multicanal, es posible el cribado de alto rendimiento donde la alta resolución espectral, la diferenciación espacial y la supresión de canal son todos parámetros críticos. Ejemplos son: formación de imágenes por fluorescencia, cribado de alto rendimiento (permite el estudio de sistemas biológicos enteros, en vez de componentes individuales).

Espectroscopia multicanal (por ejemplo, seguimiento de múltiples marcadores a la vez en un sistema biológico), detección de nanoesferas y puntos cuánticos (marcadores coloreados para formación de imágenes y análisis de sistemas biológicos), y desarrollo de fármacos.

En este campo el aparato de la invención debería ser sensible a intervalos de longitud de onda clave, por ejemplo colores de sustancias químicas marcadoras, huellas dactilares espectrales de ingredientes activos en fármacos experimentales.

En el campo de la Formación de imágenes médicas, para aplicaciones medicas de diagnóstico, la detección hiperespectral proporciona un medio de alta resolución de formación de imágenes de tejidos a nivel ya sea macroscópico o celular y de proporcionar información espectral precisa relacionada con el paciente, la muestra de tejido, o la condición de la enfermedad.

5 Una ventaja obvia es la capacidad para explorar de manera no invasiva una muestra completa en vivo con alta resolución espacial y espectral.

10 Usos médicos específicos de la formación de imágenes espectrales son los siguientes: Formación de imágenes de diagnóstico no invasivo (por ejemplo, biopsia óptica); demarcación de tejidos; análisis terapéutico (por ejemplo, monitorización de síntomas); formación de imágenes retinales; colonoscopia; detección/diagnosis de cáncer de piel; monitorización de tratamiento/suministro de fármacos. El aparato debería ser sensible a longitudes de onda clave, por ejemplo colores en los cuales los tejidos sanos y no sanos difieren consistentemente.

15 En el campo de la Microscopia, para aplicaciones tales como rastreo y clasificación de absorción y suministro celular de fármacos y la cuantificación de la presencia de nanopartículas marcadas dentro de muestras de tejido, la formación de imágenes hiperespectrales según la invención representa una extensión valiosa de las técnicas de investigación tradicionales que puede utilizar los microscopios ópticos existentes disponibles dentro del laboratorio. Por ejemplo, la formación de imágenes espectrales a través de un microscopio puede usar la firma espectral para correlacionar de manera no invasiva la concentración de especies en una fase microscópica, y su evolución en el tiempo. Esto puede hacerse para múltiples especies a la vez, debido a sus firmas espectrales únicas que pueden distinguirse con algoritmos de análisis hiperespectral. Áreas de aplicación de ejemplo son: descubrimiento de fármacos, espectroscopia celular, fluorescencia e investigación de nanoesferas y nano partículas.

25 En el campo de la Detección Remota, la invención puede usarse para análisis espectral tanto aéreo como estacionario para aplicaciones de detección remota. El uso de imágenes hiperespectrales, que incluyen toda la información espacial y espectral, permite a los investigadores generar y analizar datos de formación de imágenes espectrales en profundidad. Ejemplos son: Ingeniería Civil y Medioambiental, Monitorización Medioambiental, Detección de Contaminación, Gestión Forestal, Agricultura de Precisión, y Exploración Mineral.

30 En el campo de la Exploración Mineral/de Materias Primas y la Inspección de Minas/Canteras, la industria minera puede usar la formación de imágenes espectrales de dos maneras principales: prospección, cartografía e inspección del emplazamiento minero, y monitorización y control de procesos. Aplicaciones específicas son: exploración aérea para cartografía minera; análisis de testigos de sondeo (en campo o en laboratorio); análisis de canteras y excavaciones; y monitorización y gestión medioambiental.

40 En el campo de la Seguridad y Calidad Alimentaria, está previsto el uso de la invención para inspección en línea de aves de corral, frutas, verduras y cultivos especiales. Aunque la tecnología de visión mecánica ha sido una propuesta estándar para muchas aplicaciones de inspección y seguridad alimentaria, la formación de imágenes hiperespectrales ofrece el beneficio añadido de analizar la composición química de los productos alimentarios incrementando significativamente de ese modo los rendimientos de producción. Mediante quimiometría de alto rendimiento, con la detección hiperespectral pueden analizarse las condiciones de enfermedad, la madurez, la ternura, la clasificación o la contaminación de los productos alimentarios.

45 Las posibilidades de despliegue incluyen generadores de imágenes espectrales fijos en líneas de proceso/producción; unidades portátiles para inspección puntual en tiendas, almacenes o centros de proceso; montaje en vehículos aéreos no tripulados u otra aeronave de bajo coste (por ejemplo, ultraligeros pilotados) para inspección de cultivos.

50 En el campo del Proceso de Minerales, la invención proporciona beneficios únicos para incrementar la capacidad de producción y la eficiencia de áreas operacionales clave dentro de las industrias mineras y de proceso de mineral. El uso de formación de imágenes hiperespectrales para la inspección en línea de minerales y materias primas en el proceso reporta beneficios para incrementar la cantidad y calidad del producto acabado. Si los sensores de formación de imágenes hiperespectrales son desplegados al principio del proceso de producción, el contenido de mineral de la materia prima puede analizarse en línea para determinar los aditivos de mezcla necesarios para el producto final requerido. Esto reduce potencialmente el tiempo, la temperatura y la duración del proceso en el horno en tanto que proporcionando mayor control de calidad sobre la composición del producto final.

Algunas aplicaciones específicas en este dominio se enumeran a continuación:

60 Inspección en línea de elevado volumen de material; Control de procesos de tratamiento; Control de clasificación de material.

65 En el campo de la Fabricación Farmacéutica, el uso de la formación de imágenes hiperespectrales acelera no sólo el proceso de descubrimiento de fármacos, sino que ofrece ventajas para los fabricantes farmacéuticos que trasladan compuestos y fármacos novedosos del laboratorio a la planta de fabricación. Las aplicaciones específicas son las

siguientes: - Control de calidad; Control/optimización de procesos de fabricación (por ejemplo, dispersión de secado por atomización).

5 En el campo de la Electrónica y otra Fabricación, usando la invención, es posible la monitorización espectral en línea o "en la línea" de la formulación crítica y los procesos de inspección para mantenimiento, y el funcionamiento de las etapas clave dentro de una operación de fabricación de proceso. El intervalo del infrarrojo cercano (NIR) de longitud de onda de 900 a 1700 nanómetros (nm), y el intervalo visible-infrarrojo cercano extendido (VNIR extendido) de 600 a 1600 nm, son de considerable interés para aplicaciones de proceso, ejemplos de las cuales se enumeran a continuación:-

10 Control de calidad de LCD; Operaciones de semiconductores; Farmacéuticas; Fotovoltaicas; Inspección de obleas semiconductoras.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de formación de imágenes espectrales (1) que incluye:
 - 5 una lente deformable (2) de material dispersivo;
un sensor (4) colocado para detectar la radiación electromagnética recibida desde la lente;
medio (36) para deformar la lente (2) por medio del cual variar la distancia focal de la lente y enfocar la radiación electromagnética de diferente frecuencia sobre el sensor (4); y
 - 10 medio discriminador (6) para discriminar una frecuencia enfocada de radiación electromagnética recibida por el sensor de otras frecuencias desenfoadas.
- 15 2. Un sistema según la reivindicación 1, en el que el medio para deformar la lente hace que la lente enfoque a su vez en frecuencias sucesivas y el medio discriminador discrimina a su vez las frecuencias enfocadas sucesivas de las frecuencias desenfoadas.
- 20 3. Un sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que el sensor comprende una matriz de plano focal.
4. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el sensor está situado en un plano de imagen fijo en relación con la lente.
- 25 5. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la lente deformable es una lente fluidica.
6. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la lente deformable es relativamente de alta dispersión.
- 30 7. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la lente deformable forma parte de una lente compuesta que tiene más de un elemento óptico.
8. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el medio discriminador comprende un procesador para determinar una eliminación de borrosidad de un único valor espectral o imagen de banda.
- 35 9. Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el medio discriminador comprende un procesador para eliminar o ignorar la radiación de brillo sustancialmente uniforme a través de píxeles detectores para frecuencias desenfoadas de radiación electromagnética.
- 40 10. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, que incluye además una lente no deformable usada sustancialmente para enfocar, con la lente deformable usándose para discriminación espectral.
11. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, que incluye un filtro espectral de banda ancha para paliar los efectos de borde espectral.
- 45 12. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el sensor incluye una matriz de píxeles para detectar la radiación electromagnética, definiendo la matriz de píxeles un borde exterior, y en el que el sistema incluye medios para seleccionar píxeles por medio de los cuales formar sólo una imagen a partir de píxeles situados a una cierta distancia hacia el interior desde el borde exterior.
- 50 13. Un método para formación de imágenes espectrales, comprendiendo el método, como primera etapa:
deformar una lente deformable de material dispersivo para enfocar una primera banda de frecuencia de radiación electromagnética sobre un plano de imagen;
55 detectar toda la radiación de imagen en este plano de imagen;
repetir la primera etapa, si se requiere, tantas veces como sea necesario para bandas de frecuencia adicionales de radiación electromagnética, y
60 procesar los datos de la radiación de imagen detectada para realizar discriminación espectral.
14. Un programa informático o una pluralidad de programas informáticos dispuestos de manera que cuando es(son) ejecutado(s) por un sistema informático hace(n) que el sistema informático funcione de acuerdo con el método de la reivindicación 13.
- 65 15. Un medio de almacenamiento legible por una máquina que almacena un programa informático o al menos uno

de la pluralidad de programas informáticos según la reivindicación 14.

Fig.1.

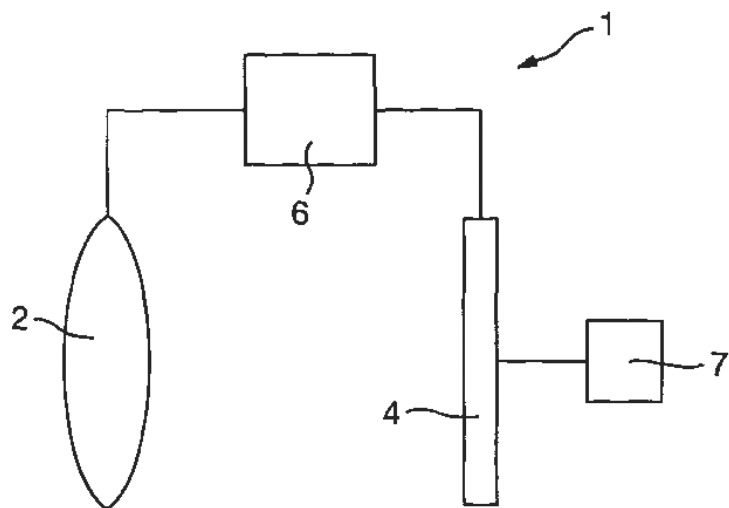


Fig.3.

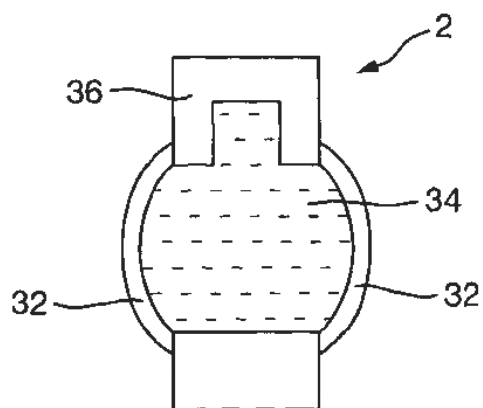


Fig.2A.

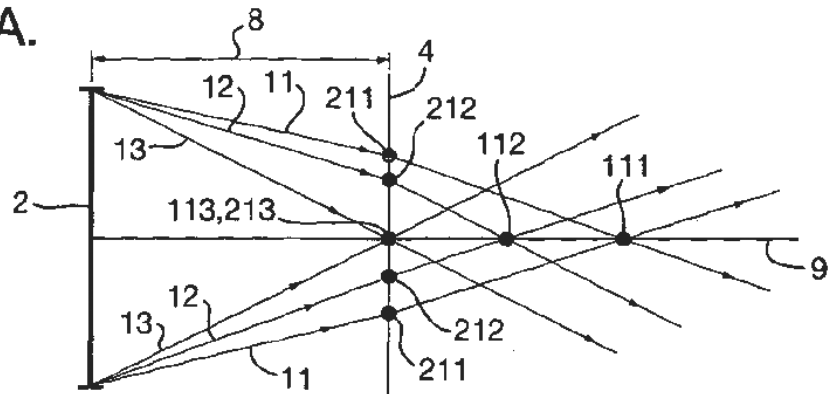


Fig.2B.

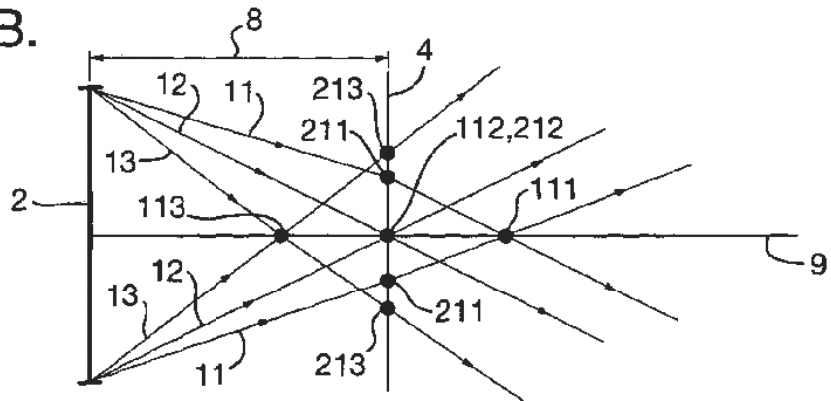


Fig.2C.

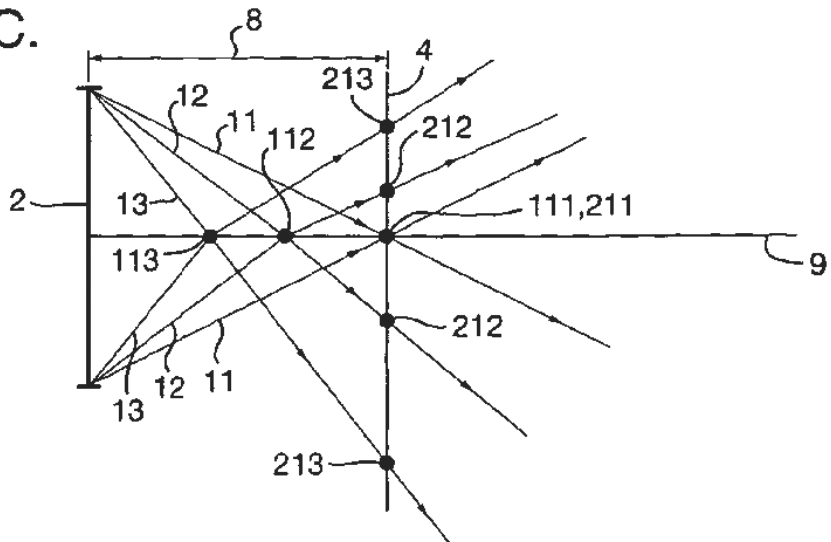


Fig.4.

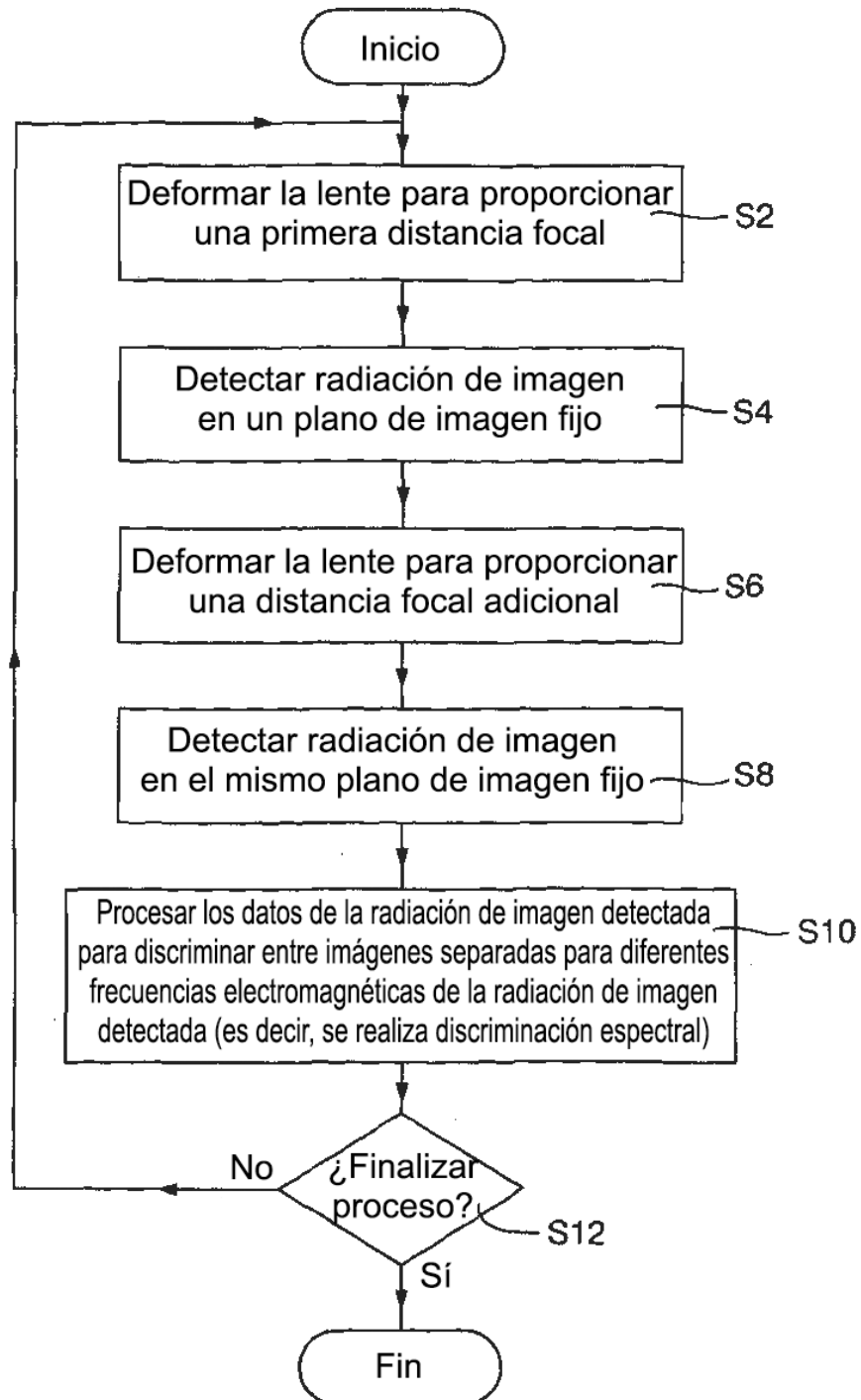


Fig.5.

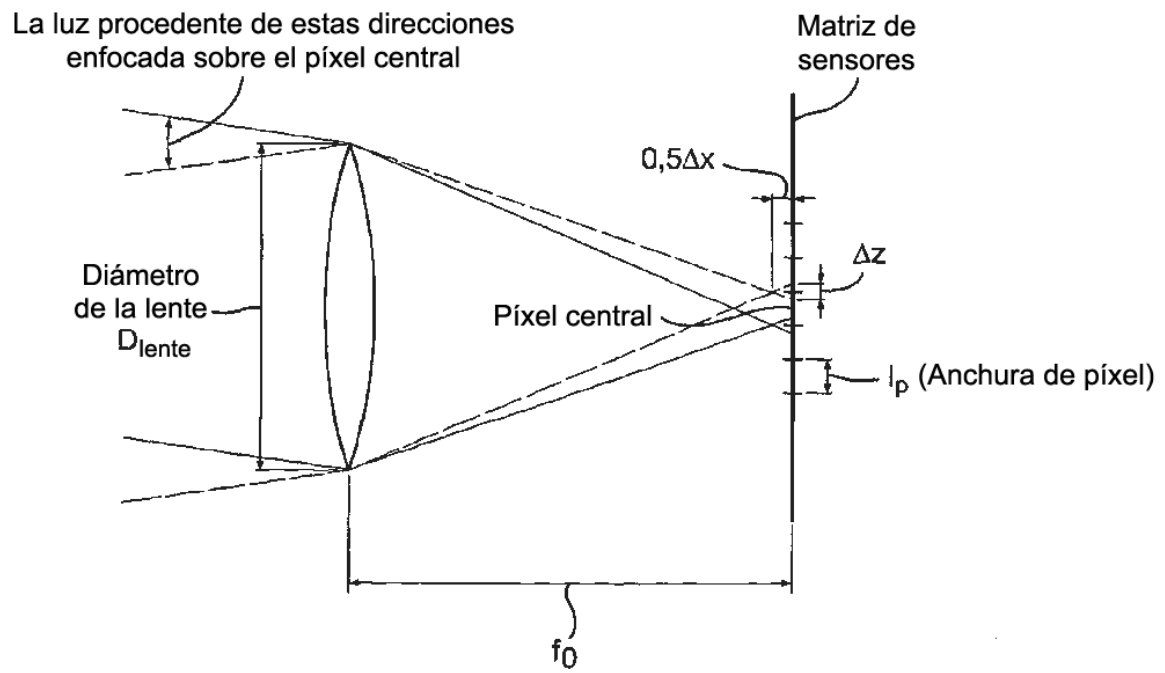


Fig.6.

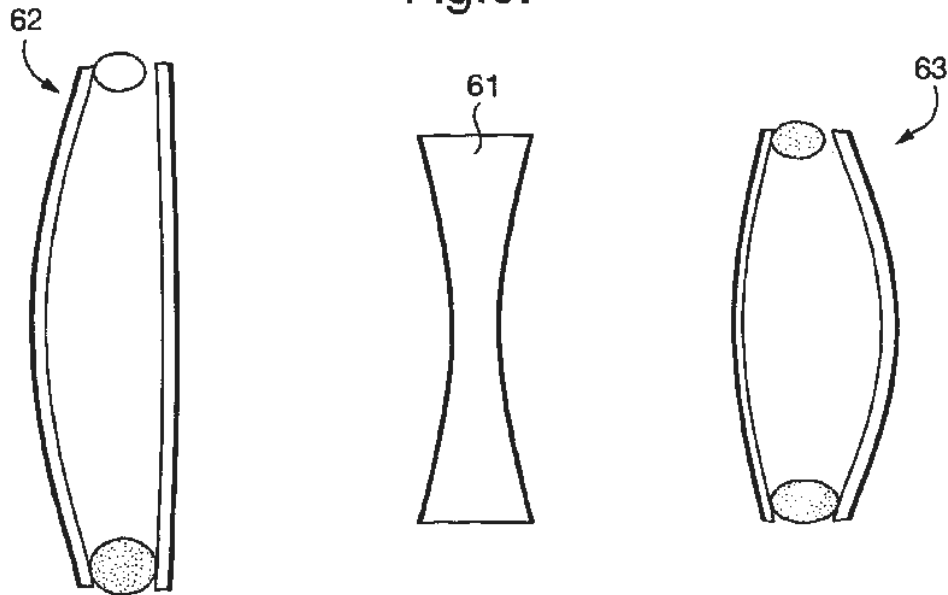


Fig.7.

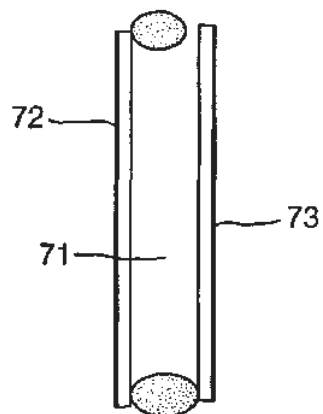


Fig.8.

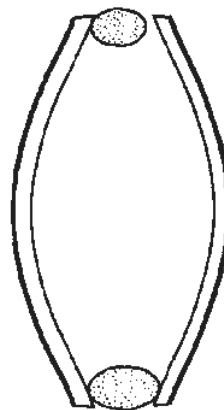


Fig.9.

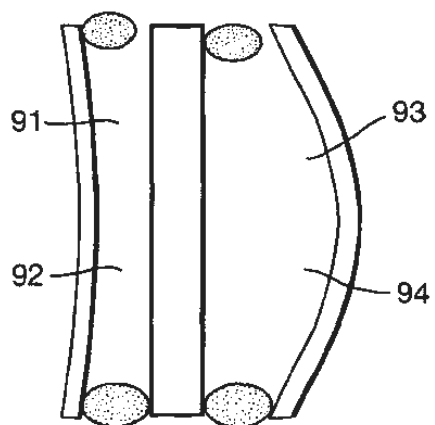


Fig.10.

