(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 487 241**

(51) Int. CI.:

G02B 13/16 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01)
G02B 6/08 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2008 E 08788669 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 2179315**

(54) Título: **Dispositivo de formación de imágenes**

(30) Prioridad:

16.08.2007 GB 0715998
16.08.2007 EP 07270042

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.08.2014

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

LAYCOCK, LESLIE CHARLES y
HANDEREK, VINCENT ANDREI

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

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 de formación de imágenes

Antecedentes

a. Campo de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo de formación de imágenes, de forma particular pero no exclusivamente a un dispositivo de formación de imágenes miniaturizado para la formación de imágenes en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

b. Técnica relacionada

Los modernos sensores de imágenes de silicio de tipo CCD y CMOS se están haciendo extremadamente pequeños, de manera que el tamaño de paquete de las cámaras miniaturizadas comerciales está pasando a estar dominado por la óptica de formación de imágenes, aun cuando esta última sea tan sólo una estructura que soporte una cámara oscura. Recientemente, se han ofrecido muestras de cámaras de peso extremadamente ligero que funcionan en la región visible del espectro. Dichas cámaras están inspiradas por sistemas biológicos de formación de imágenes. Ideas similares para cámaras desarrolladas para funcionar en el infrarrojo ayudarían a reducir drásticamente los requisitos de tamaño, peso y refrigeración en muchas aplicaciones de formación de imágenes, que ofrecen también reducciones sustanciales de coste. Además, los diseños de gran campo de visión pueden simplificar potencialmente los sistemas de control que dependen de la formación de imágenes en el infrarrojo cercano.

Es deseable producir un dispositivo de formación de imágenes en el infrarrojo cercano (IRC) con las siguientes características

- capacidad para funcionar a 1.064 nm.

- campo de visión total de 120°

- resolución de píxel de ≤ 3 mrad

Un dispositivo de formación de imágenes de inspiración biológica que está inspirado por la construcción de los ojos de los insectos consistente en un sensor convexo segmentado acoplado a una red de microlentes de forma similar podría cumplir con estos requisitos. Para reducir al mínimo el tamaño, este diseño requeriría que una serie de matrices de pequeños sensores individuales estuviera densamente empaquetada en ángulos específicos. Sin embargo, el diseño y fabricación de sensores de este tipo será probablemente costoso. A largo plazo, los sensores fabricados con sustratos de polímeros flexibles proporcionarían una solución viable, si bien en la actualidad es deseable proporcionar un dispositivo de formación de imágenes que pueda usar un único sensor plano convencional.

Es posible usar un sensor plano si se usa óptica de deflexión del haz. Si los haces experimentan una deflexión antes de entrar en las lentes entonces puede usarse también una disposición plana de las lentes. Se propone un ejemplo en las lentes holográficas en Tai y col. en 'Design and Fabrication of a Wide-Field Holographic Lens for a Laser Communication Receiver', A.M. Tai, M.T. Eismann y B.D. Neagle. Opt. Eng. 32 (12) 1993 pág. 3254 3266. Se ilustra esquemáticamente en la figura 1 en la que un sensor plano 1 recibe los haces A, B, C por medio de las lentes 2 después de deflexión de los haces A, C, por los hologramas 3. Sin embargo para obtener altas eficacias de deflexión en un gran campo de visión sería necesario segmentar adicionalmente los hologramas; lo que de nuevo sería complejo y costoso.

Como una alternativa a los hologramas, pueden usarse prismas para la deflexión de los haces antes de entrar en la lente tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 2 en la que un sensor plano 1 recibe los haces A, B, C por medio de las lentes 2 después de la deflexión de los haces A, C, por los prismas 4. Alternativamente pueden proporcionarse prismas en la superficie del sensor. Sin embargo, los prismas son voluminosos en cuanto a su fabricación y provocarán aberraciones cromáticas. Además, el despliegue en la superficie del sensor tenderá a generar astigmatismo y coma adicional debido al haz convergente tal como se describe en 'Formulas for the Coma and Astigmatism of Wedge Prisms used in Converging Light', J.W. Howard. App. Opt. 24 (23) 1985, pág. 4265-4268.

En el documento US-A-7286295 se muestran sistemas de formación de imágenes de lentes compuestas que usan una placa frontal de fibra.

Por tanto se desea producir un dispositivo de formación de imágenes miniaturizado económico que tenga las características descritas anteriormente.

Sumario de la invención

Según la invención se proporciona un dispositivo de formación de imágenes que comprende:

al menos una lente;

un sensor sustancialmente plano que tiene una pluralidad de píxeles;

medios de guiado de luz que comprenden una pluralidad de guías de luz para dirigir la luz recibida por medio de dicha al menos una lente hacia dicho sensor;

en el que dichos medios de guiado de luz están modelados para dirigir la luz de manera que la luz procedente de una región central en un campo de visión del dispositivo de formación de imágenes sea detectada por dicho sensor con una resolución angular por píxel diferente que para la luz procedente de regiones periféricas en el campo de visión;

en el que el dispositivo de formación de imágenes comprende una pluralidad de lentes dispuestas de manera que los ejes de dos o más de las lentes convergen; y dichos medios de guiado de luz comprenden una o más placas frontales de fibra óptica.

En el que los medios de guiado de luz comprenden una placa frontal de fibra óptica que tiene una o más facetas recibiendo cada faceta luz de una lente asociada;

en el que cualquier superficie de la placa frontal con una superficie inclinada que no es ortogonal al eje longitudinal de las fibras ópticas es modificada para facilitar el guiado de luz de entrada con el fin de superar el hecho de que la desviación del haz debida a refracción en la superficie inclinada se reduzca.

En varias realizaciones la superficie es modificada:

- proporcionando una superficie de difusión en la superficie de las guías de luz;

- proporcionando una superficie escalonada en la superficie de las guías de luz; o

- proporcionando una película delgada prismática en la superficie de las guías de luz.

En la realización preferida las lentes están dispuestas de manera que proporcionan un campo de visión de π estereorradianes. En este caso, preferentemente nueve lentes están dispuestas en una matriz de tres por tres de manera que una sección transversal de la red de lentes es igual a la tercera parte de un polígono regular de nueve lados.

En una realización preferida se simula un sensor con foveación mediante la segmentación del sensor y la luz es guiada desde las lentes de manera que se obtiene una resolución más elevada cerca del centro del sensor y se obtiene una resolución más baja cerca de la periferia del sensor.

En otra realización de la invención la lente es una lente esférica y los medios de guiado de luz comprenden una pluralidad de guías de luz paralelas dispuestas para formar una placa que tiene un rebaje curvado, el rebaje está dispuesto para recibir una parte del plano de imagen de dicha lente y para acoplar luz recibida por dicho plano de imagen a dicho sensor.

En esta realización, preferentemente dicha lente es una lente de gradiente de índice. Preferentemente los medios de guiado de luz comprenden una placa frontal de fibra óptica en bisel, en la que el grado de foveación en el dispositivo de formación de imágenes está determinado por el ángulo de bisel en la placa frontal de fibra óptica en el rebaje curvado. En una realización preferida adicional, el rebaje curvado es modificado de manera que cada fibra óptica tiene una superficie de recepción de luz que es ortogonal al eje longitudinal de la fibra.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención a modo sólo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una ilustración esquemática de un dispositivo de formación de imágenes de lentes múltiples de la técnica anterior que emplea deflexión de haces holográficos;

la figura 2 es una ilustración esquemática de un dispositivo de formación de imágenes de lentes múltiples de la técnica anterior que emplea prismas para deflexión de haz;

la figura 3 es una ilustración de un dispositivo de formación de imágenes según una realización de la presente

invención;

la figura 4 es una ilustración de un dispositivo de formación de imágenes según una segunda realización de la presente invención;

la figura 5a es una ilustración de una primera disposición de una pluralidad de lentes para su uso en la presente invención;

la figura 5b es una ilustración de ejemplo de una disposición de sensores compleja para su uso con la disposición de lentes de la figura 5a;

la figura 6 es una vista en planta de una segmentación de un sensor plano para un dispositivo de formación de imágenes que tiene la configuración de lentes ilustrada en la figura 4;

las figuras 7a, 7b y 7c son ilustraciones esquemáticas que muestran una vista desde arriba y vistas en sección transversal de una disposición preferida de una pluralidad de lentes para su uso en la presente invención;

la figura 8 es una vista en planta de una segmentación de un sensor plano para un dispositivo de formación de imágenes que tiene la configuración de lentes ilustrada en la figura 7;

las figuras 9a, 9b y 9c ilustran diferentes técnicas para dirigir rayos en una placa frontal de fibra óptica con facetas;

las figuras 10a, 10b 10c y 10d ilustran una realización de un alojamiento para el dispositivo de formación de imágenes de la presente invención;

la figura 11 es un dispositivo de formación de imágenes según una realización adicional de la presente invención;

la figura 12 muestra un dispositivo de formación de imágenes según una realización adicional de la presente invención que usa foveación de la imagen;

la figura 13 muestra el dispositivo de formación de imágenes de la figura 12 acoplado al equipo de tratamiento y visualización de imágenes según una realización preferida adicional de la presente invención;

la figura 14 muestra un dispositivo de formación de imágenes según una realización preferida adicional de la presente invención que usa una lente esférica de índice de refracción uniforme y una placa frontal de fibra óptica en bisel;

la figura 15 muestra un dispositivo de formación de imágenes según una realización preferida adicional de la presente invención que usa una lente esférica GRIN y una placa frontal de fibra óptica en bisel;

la figura 16 y la figura 17 ilustran principios para la determinación del factor de foveación debido al bisel de la placa frontal de fibra óptica en realizaciones preferidas de la presente invención; y

la figura 18 muestra el efecto de una función de foveación de imagen, determinado con referencia a la figura 17, en un dispositivo de formación de imágenes según una realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada

En referencia ahora a la figura 3, un dispositivo de formación de imágenes 11 según una realización de la presente invención comprende una pluralidad de microlentes 12 dispuestas de manera que el eje 13 de cada una de las microlentes converge en un punto D, es decir, las microlentes apuntan en direcciones diferentes unas de otras para proporcionar un gran campo de visión cuando las imágenes recibidas desde las microlentes se combinan. Las microlentes están acopladas a un sensor sustancialmente plano 14 por medios de guiado de luz 15 que comprenden una pluralidad de guías de luz, y que en la realización preferida de la invención son proporcionados por una placa frontal de fibra óptica (FOFP). La placa frontal de fibra óptica 15 comprende una serie de superficies de facetas a, b, c. La faceta a recibe la luz incidente A, la faceta b recibe la luz incidente B y la faceta c recibe la luz incidente C. La placa frontal de fibra óptica 15 ha sido pulida para formar las facetas a y c que crean un ángulo Δf entre las superficies de facetas inclinadas a, c de la placa frontal, y el sensor 14. Se observará que la figura 3 ilustra figurativamente una sección bidimensional a través de un dispositivo de formación de imágenes tridimensional que se describirá a continuación más en detalle con referencia a figuras adicionales.

En esta realización de la invención, la luz incidente A y C se focaliza en una superficie con facetas a y c respectiva que no es ortogonal al eje longitudinal de las fibras ópticas de los medios de guiado de luz 15. Esto tiene dos efectos que se expondrán más en detalle a continuación: el primero es que la imagen recibida de los haces A, C fuera del eje está comprimida; y el segundo es que la eficacia de acoplamiento de la fibra óptica puede verse comprometida si la superficie de recepción de luz de la fibra óptica en sí no es ortogonal al eje longitudinal de la fibra óptica.

En la figura 4 se ilustra una realización alternativa de un dispositivo de formación de imágenes 21 según la presente invención. En esta figura las características correspondientes a las ilustradas en la figura 3 se ilustran mediante los mismos números de referencia. La diferencia entre el dispositivo de formación de imágenes ilustrado en la figura 3 y el ilustrado en la figura 4 reside en que los medios de guiado de luz 15 comprenden múltiples placas frontales 25a, 25b, 25c. En esta realización la superficie a' recibe la luz incidente A, que está acoplada al sensor 14 mediante el elemento 25a, la superficie b' recibe la luz incidente B que está acoplada al sensor 14 mediante elemento 25b y la superficie c recibe la luz incidente C que está acoplada al sensor mediante el elemento 25c.

En esta realización las superficies de recepción a, b, c de las fibras son paralelas a los planos de imagen y ortogonales al eje longitudinal de las fibras ópticas que forman los medios de guiado de luz 15, con lo que se amplía al máximo la eficacia de acoplamiento para los haces A, C fuera del eje. En este caso la imagen recibida por medio de los haces A, C fuera del eje está ampliada en relación con la imagen recibida por medio del haz B.

A continuación se expondrán adicionalmente los detalles de la configuración de las microlentes 12, el sensor 14 y los medios de guiado de luz 15 en las realizaciones preferidas y en otras.

La figura 5a ilustra una disposición de una pluralidad de lentes 31 en una realización de la presente invención. Esta disposición es una configuración de inspiración biológica que es especialmente eficaz para suministrar un gran campo de visión (CdV).

Una lente central 32 está rodeada por cinco lentes 34. Los ejes 33 de cada una de las lentes convergen en un punto central (no mostrado).

Esta configuración puede ser atendida por una matriz de sensores 35, ilustrada esquemáticamente en la figura 5b, que comprende una parte de un icosaedro truncado. Esta forma se encuentra en la construcción de balones de fútbol y moléculas de C_{60} (fullereno esférico) y consiste en un sensor pentagonal central 36 para recibir luz proveniente de la lente 32 rodeada por cinco sensores hexagonales regulares 37 para recibir luz de las lentes 34. Todos los vértices 38 (se han marcado sólo dos por claridad) de esta matriz de sensores 35 se apoyan en una esfera. Sin embargo, tal como se expuso anteriormente, un dispositivo de formación de imágenes según se muestra en la figura 5 es relativamente costoso de construir y en ciertas aplicaciones puede preferirse una solución más rentable económicamente.

Usando óptica de deflexión de haz, tal como una disposición convexa de sensores en ángulo en relación unos con otros tal como se describe anteriormente con referencia a la figura 5b puede ser sustituida convenientemente por un único sensor plano. Un único sensor plano estaría segmentado óptica y electrónicamente con el fin de extraer los datos multiimagen detectados a partir de las lentes 32, 34. Para la geometría de lentes mostrada en la figura 5a, puede usarse un sensor 41 que tiene un patrón segmentado tal como se muestra en la figura 6. El segmento 42 recibe luz de la lente 32 y los segmentos 44 reciben luz de las lentes 34.

La línea de puntos 45 que rodea al patrón segmentado de la figura 6 corresponde a un CdV de 117°, que es cercano a un CdV objeto preferido de 120°. Sin embargo, en general, los sensores disponibles comercialmente son rectangulares (o cuadrados) y dicha disposición representa un uso deficiente de los píxeles disponibles para el sensor. También realiza una extracción y un tratamiento de imágenes posteriores complejos.

Por tanto, en las figuras 7a-7c se ilustra una disposición preferida 51 de lentes. La figura 7a ilustra una vista desde arriba de la disposición de lentes; la figura 7b ilustra una sección transversal de la disposición de lentes a través de la sección X-X de la figura 7a; y la figura 7c ilustra una sección transversal de la red de lentes a través de la sección Y-Y de la figura 7a. En referencia a estas figuras, una lente central 52 está rodeada por cuatro lentes laterales 54 que tienen un eje 53 que converge con el eje 59 de la lente central 52 en un punto D' y que forman un ángulo de 40° con el mismo tal como se ilustra en la figura 7b. La sección transversal forma por tanto una tercera parte de un polígono de nueve lados y esta realización satisface así el requisito de CdV de 120°. La lente central 52 está rodeada también por cuatro lentes de esquina 56 cada una de las cuales tiene un eje 57 que forma un ángulo de 50° con el eje 59 de la lente central 52 y que converge también en un punto D' tal como se ilustra en la figura 7c.

Esta disposición preferida se proyecta más convenientemente en un sensor rectangular o cuadrado, lo que permite el uso de una región de interés (RDI) estándar después del tratamiento basándose en coordenadas x,y.

La figura 8 ilustra un sensor 61 que tiene un patrón de segmentación adecuado para su uso con la disposición de lentes preferida mostrada en las figuras 7a-7c. El segmento central 62 recibe datos de imagen por medio de la lente central 52, los segmentos laterales 64 reciben datos de imagen por medio de lentes laterales 54 y los segmentos de esquina 66 reciben datos de imagen por medio de lentes de esquina 56.

Las lentes de esquina 56 y los segmentos de esquina 66 proporcionan campos de visión triangulares que permiten que se cumpla el requisito de cobertura de π estereorradianes. Sin embargo, el patrón de segmentación mostrado en la figura 8 es esquemático; debido a las propiedades de inversión de las lentes, las imágenes triangulares ocupan

óptimamente las cuatro esquinas del sensor, haciendo así un uso completo del dispositivo.

A continuación se expondrá el sensor 14 usado en la realización preferida de la presente invención. El número total de píxeles requeridos está determinado por el CdV requerido y la resolución angular requerida. Dado un CdV objeto de 120°, la cobertura del ángulo sólido correspondiente es ~π estereorradianes. Para una resolución angular objeto de aproximadamente 2 mrad por píxel, es conveniente usar un sensor que tenga dimensiones de 1.024 x 1.024 píxeles que permita usar una parte central de un sensor disponible comercialmente en el formato SXGA (Super extended Graphics Array) de 1.280 x 1.024 píxeles. En la realización preferida se usa un IBIS5-AE-1300 Cypress™ que también proporciona sensibilidad a 1,064 µm; ventanización programable; alto factor de llenado; gran intervalo dinámico; velocidad de trama de vídeo y obturación global.

El tamaño de píxel del sensor en esta realización preferida es de 6,7 µm, lo que proporciona un área activa para 1.024 x 1.024 píxeles de 6,9 x 6,9 mm.

A continuación se expondrá la lente 12 usada en la realización preferida. Mediante el uso de la ecuación: distancia focal = tamaño de píxel/resolución angular; se observará que la distancia focal deseada de la microlente es 3,3 mm. Sin embargo, en la realización preferida se elige una microlente con una distancia focal ligeramente más corta a expensas de una ligera reducción en la resolución angular con el fin de asegurar un CdV contiguo de segmento a segmento, y de permitir el uso de amortiguadores para reducir la interferencia. La lente usada en la realización preferida es una Lightpath™ 350330 que tiene una distancia focal de 3,1 mm.

Con el fin de determinar una apertura preferida, la lente se modelizó usando datos de constantes asféricas disponibles, y los resultados se proporcionan en la Tabla 1. En este caso se muestra la función de transferencia de modulación (FTM) que puede obtenerse a 75 lp/mm (tamaño de píxel ≡ 6,7 µm) para rayos paralelos al eje de la lente, y en ángulos de campo de 15° y 20° (límite de semiángulo CdV para cada segmento) para dos aperturas de trabajo.

Tabla 1 *Valores de FTM modelizados a una resolución de 75 lp/mm para rayos incidentes de 0°, 15° y 20°, y aperturas completas de 1,0 y 2,0 mm para lente Lightpath moldeada de número de pieza 350330.*

Apertura de trabajo	1,0 mm			2,0 mm		
Ángulo incidente	0°	15°	20°	0°	15°	20°
FTM	0,7	0,50	0,14	0,85	0,25	0,07

Puede observarse que para la apertura más pequeña, puede obtenerse una FTM respetable de 0,5 para un ángulo de campo de 15°. Para la apertura mayor, el FTM se reduciría a 0,25 para este ángulo de campo.

Tal como se predice mediante esta modelización, en la realización preferida la apertura de esta única lente elemental se reduce a 1 mm de diámetro con el fin de proporcionar el rendimiento necesario.

En el futuro puede ser posible aprovechar diseños avanzados de lentes de teléfonos móviles (multielemento) para obtener un rendimiento mejorado fuera del eje para aperturas grandes.

Finalmente se expondrán los medios de guiado de luz 15 usados en la realización preferida de la presente invención. Los medios de guiado de luz 15 comprenden una placa frontal de fibra óptica (FOFP) que consiste en un gran número de fibras ópticas densamente empaquetadas que se han fusionado en una placa delgada coherente. Dichas placas frontales tienen uso en aplicaciones que requieren la retransmisión de imágenes desde un plano a otro, y sustituyen comúnmente al vidrio de cubierta de los sensores para tareas de acoplamiento y aplanamiento de campo. Aunque el detector de imagen de la realización preferida está dirigido hacia su uso en el infrarrojo cercano (IRC), también se contemplan dispositivos para infrarrojo de banda ancha y en la región del infrarrojo de onda larga (LWIR). Las placas frontales de fibra óptica en esta región del espectro suponen un reto, pero pueden usarse dispositivos basados en capilares para retransmisión de imágenes, por ejemplo, pueden usarse microcapilares huecos recubiertos con plata. Para la región LWIR, los dispositivos de polímeros constituyen una opción adicional.

La elección del material de la lente también es una consideración importante cuando se actúa en las regiones de IR del espectro. Las lentes hechas de seleniuro de cinc, sulfuro de cinco o vidrio de calcogenuro, en particular, son opciones de material preferidas.

En la realización preferida de la presente invención se usa una placa frontal de fibra óptica con facetas para retransmitir imágenes desde lentes en ángulo al sensor plano.

Es necesario un acoplamiento cercano de la placa frontal a la superficie del sensor no protegida con el fin de mantener una imagen focalizada y es preferible establecer una correspondencia entre la resolución de la placa frontal y la del sensor.

Una solución consiste en elegir un tamaño de núcleo de fibra mucho menor que el píxel del sensor con el fin de reducir al mínimo el efecto del tamaño de núcleo de fibra en la resolución del dispositivo de formación de imágenes. Si la fibra y el píxel tienen un tamaño comparable, se observará un efecto conocido como de tela metálica cuando interfieren las dos distribuciones espaciales, como en un patrón de Moiré. Dicho ruido de patrón fijo puede mitigarse mediante un postratamiento adecuado.

En la realización preferida se usa una placa frontal fabricada por Schott™ que tiene un tamaño de elemento de 6 µm y una apertura numérica (AN) muy elevada de 1,0.

En una realización de la presente invención expuesta anteriormente e ilustrada esquemáticamente en la figura 4, se usa una placa frontal multielemento para asegurarse de que la superficie de recepción de las fibras es paralela a los planos de imagen y ortogonal al eje longitudinal de las fibras ópticas, con lo cual se eleva al máximo la eficacia de acoplamiento para rayos A, C fuera del eje.

En referencia de nuevo a continuación a la figura 3, en la realización preferida se usa una placa frontal de fibra óptica de un único elemento que es más sencilla y más compacta. Sin embargo, seguidamente se expondrá adicionalmente la detección eficaz de los rayos A, C fuera del eje.

En esta realización preferida las imágenes recibidas por medio de los haces A, C fuera del eje se comprimen debido a la deflexión de haz; este hecho se aprovecha en la realización preferida para permitir asignar un área de sensor superior al segmento central, aumentando la resolución angular del segmento central a costa de una resolución más baja angular de los segmentos circundantes.

Las imágenes de los segmentos fuera del eje se comprimen debido a la deflexión de haz por un factor de cos Δf en el que Δf es el ángulo de la faceta de la placa frontal con respecto al plano del sensor.

En referencia de nuevo a continuación a la figura 8, en la realización preferida que tiene un área de sensor total de 1.024 x 1.024 píxeles, el segmento central 62 ocupa 404 x 404 píxeles, los segmentos laterales circundantes 64 ocupan cada uno 310 x 404 y los segmentos de esquina 66 ocupan cada uno 310 x 310 píxeles.

Dado que el CdV de cada segmento es de 40° x 40° el área central tiene una resolución angular incrementada de 1,7 mrad/píxel y los segmentos exteriores una resolución ligeramente disminuida de 2,3 mrad/píxel. Este efecto de multirresolución es similar al que se produce en muchos sistemas biológicos de percepción de imágenes y se conoce como foveación.

Aunque la gran AN de la placa frontal escogida permite que una imagen retransmitida se observe claramente cuando se mira en un ángulo de incidencia de ~75°, cuando la placa frontal está pulida para formar facetas laterales y de esquina la superficie de recepción de luz de cada fibra óptica no es ortogonal al eje longitudinal de las fibras ópticas, y como consecuencia la eficacia de acoplamiento de las fibras ópticas puede reducirse. Esto se debe al hecho de que si las fibras individuales están inclinadas, la desviación del haz en la superficie de la fibra se reduce, y el ángulo de propagación del haz acoplado puede ser inferior al ángulo crítico de la fibra y puede no reflejarse internamente dentro de la fibra.

Preferentemente, en esta realización de la presente invención puede usarse alguna forma de modificación superficial para potenciar la eficacia de acoplamiento de los rayos fuera del eje.

En las figuras 9a, 9b y 9c se muestran tres modificaciones superficiales preferidas.

La figura 9a ilustra una realización que incluye una superficie de difusión 91 fabricada en las facetas en ángulo con el fin de aumentar la extensión angular de los rayos de entrada. El rayo de luz 92 incide sobre una fibra óptica 94 en un ángulo que, debido al extremo inclinado de la fibra, puede acoplarse en un ángulo inferior al ángulo crítico de la fibra óptica 94 y por tanto no ser reflejado internamente. El rayo 92 se dispersa en muchos rayos 93, y entra en la fibra óptica 94 en distintos ángulos algunos de los cuales se reflejarán con éxito.

La figura 9b ilustra una realización en la que los extremos de la fibra están escalonados de manera que la superficie de recepción de luz de la fibra óptica 94 es ortogonal al eje longitudinal de la fibra óptica 94. El rayo 92 será así reflejado internamente con éxito (y por tanto transmitido por la fibra óptica 94).

Existe una dificultad en la fabricación de esta estructura, ya que el mecanizado con herramienta de diamante puede provocar el astillado o la resquebrajadura de la placa frontal. Sin embargo, si la placa frontal está hecha de material polimérico tal como se ha expuesto anteriormente entonces dichas placas pueden ser mecanizadas con herramienta de diamante para proporcionar el perfil 'aterrazado' necesario para potenciar el acoplamiento en fibras sólidas.

La figura 9c ilustra una realización que usa una película delgada prismática comercial 96, por ejemplo, tal como la proporciona 3M™, para la deflexión de un rayo incidente 92 de manera que cuando es desviado adicionalmente por la superficie inclinada de la fibra óptica 94 es superior al ángulo crítico y es reflejado internamente por la fibra óptica.

Se muestra una ilustración de la realización preferida de un paquete final 71 en las figuras 10a, 10b 10c y 10d. En esta realización se mecaniza un paquete en forma de cúpula 71 a partir de una aleación de aluminio.

La figura 10a ilustra una vista desde arriba del paquete, la figura 10b ilustra una sección transversal del paquete a través de la sección X-X de la figura 10a, y la figura 10c ilustra una sección transversal del paquete a través de sección Y-Y de la figura 10a. Se disponen aberturas roscadas 72, 74, 76 para recibir las lentes 52, 54, 56 respectivamente después de introducir cada lente en un tapón de lente roscado 78 mecanizado a partir de Delrin™ (plástico de ingeniería negro), uno de los cuales se ilustra en la figura 10d.

El volumen total de este paquete incluyendo un sensor es inferior a 2 cm^3.

La figura 11 ilustra una realización adicional de la presente invención. En esta realización el dispositivo de formación de imágenes 81 comprende una lente esférica 82 acoplada a un sensor sustancialmente plano 84 por un medio de guiado de luz 85 que tiene un rebaje 86 para recibir una parte del plano de imagen 87 de la lente esférica 82. En una realización de la invención la lente es una lente de gradiente de índice que reduce la aberración esférica y en consecuencia mejora la resolución de la imagen. Esta realización tiene también la ventaja de que se proporciona una respuesta de foveación en un gran campo de visión como consecuencia de la transformación esférica a plana proporcionada por la lente esférica. Los medios de guiado de luz 85 pueden comprender una placa frontal de fibra óptica, o un dispositivo con base de capilares. Una placa frontal de fibra óptica puede fabricarse con vidrio o con material polimérico. La superficie en rebaje 86 puede ser modificada tal como se describe anteriormente con el fin de proporcionar fibras ópticas que tienen una superficie de difusión o una superficie de recepción de luz que es ortogonal al eje longitudinal de la fibra.

Tal como se expuso anteriormente con referencia a la figura 3, en una realización preferida de la presente invención, puede dedicarse una mayor proporción del sensor 14 a detectar y resolver un segmento central de una imagen, representado por el haz B en la figura 3, que para detectar y resolver cada uno de los segmentos circundantes, representados por los haces A y C en particular. Este enfoque multilente para proporcionar una lente con foveación en un dispositivo de formación de imágenes tendrá probablemente numerosas aplicaciones en las que sea necesario mejorar el campo de visión sin incurrir en inconvenientes de aumento de tamaño, peso y coste.

En una aplicación preferida para gafas de visión nocturna con montura en casco (HMNVG), una realización preferida de la presente invención es capaz, con óptica convencional, tanto de aumentar el campo de visión (CdV) como de reducir el peso del sensor en comparación con las técnicas de la técnica anterior. A continuación se expondrá en más detalle un dispositivo preferido de formación de imágenes adecuado para su uso en esta aplicación con referencia a la figura 12.

En referencia a la figura 12, se proporciona una vista en sección transversal a través de un dispositivo multilente de formación de imágenes 120 dispuesto para segmentar un campo de visión (CdV) requerido de 80° en una serie de sectores más pequeños, cada uno dirigido por su propia lente. En el dispositivo de formación de imágenes 120, se proporciona una lente central 121 para focalizar un sector de aproximadamente 20° del CdV requerido de 80° en una región central 122 de una placa frontal de fibra óptica con facetas 123. Una disposición de lentes 124 rodea a la lente central 121, siendo cada lente 124 de una distancia focal menor que la lente central 121 de manera que focalice un sector periférico de aproximadamente 30° del CdV de 80° en la faceta inclinada respectiva 125 de la placa frontal de fibra óptica 123. Se prefiere una disposición de lentes correspondiente a la descrita anteriormente con referencia a la figura 7a. La placa frontal de fibra óptica con facetas 123 dirige los planos de imagen con diferente inclinación de cada una de las lentes 121, 124 a regiones respectivas de un fotocátodo plano de un intensificador de imagen 126.

En esta disposición preferida, una región central 127 del intensificador de imagen 126, que recibe luz de la lente central 121 a través de la región central 122 de la placa frontal de fibra óptica 123, comprende aproximadamente la mitad de la apertura disponible del intensificador de imagen 126. Reservando una mayor proporción de la apertura disponible del intensificador de imagen 126, y con ello de los píxeles disponibles en un CCD (no mostrado en la figura 12) acoplado al intensificador de imagen 126, para el sector central de 20° del CdV que para los sectores periféricos de 30°, esta disposición proporciona una cierta cantidad de foveación a través de la apertura del dispositivo de formación de imágenes 120. En el ojo humano tiene lugar una variación en la resolución angular a lo largo del CdV, con lo que la foveación en un dispositivo de formación de imágenes aplicada a gafas de visión nocturna debería parecerle a un usuario relativamente natural.

En el ejemplo en particular del dispositivo de formación de imágenes 120 en el que la salida del intensificador de imagen 126 puede acoplarse directamente a un CCD de 2/3" y alta resolución (1.360 x 1.024 píxel) tal como el suministrado por ejemplo por Sony según la referencia de producto ICX286, puede obtenerse una resolución de aproximadamente 0,5 mrad/píxel en el sector central de 20° en el CdV requerido mientras que en cada uno de los sectores periféricos de 30°, la resolución se reduce a aproximadamente 1,5 mrad/píxel. Esta opción presupone que el intensificador de imagen 126 empleado es capaz de establecer una correspondencia con la resolución ofrecida por la elección del CCD.

Los autores de la invención han establecido que, usando la tecnología actual de intensificadores, la resolución de imagen no puede mantenerse en un CdV grande sin incurrir en penalizaciones de aumento de peso y de tamaño. En cambio, a largo plazo, la introducción de una nueva tecnología de intensificadores puede avanzar hacia el suministro de un dispositivo de formación de imágenes ligero y de bajo coste que mantiene la resolución en todo el CdV completo requerido, a corto plazo, la óptica convencional puede sustituirse por sistemas más novedosos tales como el dispositivo de formación de imágenes 120 en esta realización preferida de la presente invención. En este dispositivo de formación de imágenes 120 preferido, el número de píxeles disponibles se usa mejor mediante el uso de foveación para ampliar el CdV en un dispositivo de formación de imágenes 120 ligero y de bajo coste que es adecuado en particular para gafas de visión nocturna.

Una imagen detectada directamente en la salida del intensificador de imagen 126 se distorsionará debido a los diferentes aumentos en las distintas vistas en sectores proporcionadas a lo largo de la apertura del dispositivo de formación de imágenes 120. Sin embargo, usando una disposición tal como se muestra en la figura 13, estas distorsiones pueden corregirse para proporcionar un único nivel de aumento a lo largo del CdV para la presentación ante un usuario, en particular en una aplicación de gafas de visión nocturna.

En referencia a la figura 13, el dispositivo de formación de imágenes 120 se muestra acoplado con un procesador de imágenes 130 dispuesto para trasladar la escala y la distribución de imagen de partes de las imágenes detectadas desde las diferentes regiones del intensificador de imagen de manera que cuando se visualicen en paneles de visualización respectivos en diferentes inclinaciones 131, 132, por ejemplo en gafas de visión nocturna, los sectores central y periféricos del CdV se presenten con el mismo aumento y la misma orientación.

El uso de múltiples lentes permite una mayor flexibilidad en el diseño de un dispositivo de formación de imágenes con respecto a los ejemplos de lente única; por ejemplo los recientes e importantes avances en las lentes de las cámaras digitales podrían aprovecharse para proporcionar autoenfoque y, adicionalmente para la lente central 121, una capacidad de zoom, a la vez que mantienen la visión periférica. Sin embargo, un inconveniente percibido en este enfoque de lentes múltiples es una abrupta discontinuidad en la resolución entre los sectores central y periféricos, que podría causar problemas en cuanto a los factores humanos.

En una realización preferida adicional de la presente invención, se proporciona un dispositivo de formación de imágenes que se basa en una lente esférica acoplada a una placa frontal de fibra óptica en bisel. Este es conceptualmente más sencillo que el sistema de lentes múltiples descrito anteriormente con referencia a la figura 12 y se describirá a continuación con referencia a la figura 14.

En referencia a la figura 14, se muestra un dispositivo de formación de imágenes 140 en sección transversal para comprender una lente esférica 141 que tiene un índice de refracción uniforme n = 2, colocado en contacto con una placa frontal de fibra óptica en bisel 142 que tiene una superficie curvada esféricamente 143. La superficie de imagen de una lente esférica 141 con índice de refracción 2 es coincidente con la superficie de la lente. Por tanto, la lente 141 puede colocarse en contacto directo con la superficie de forma correspondiente 143 de la placa frontal de fibra óptica en bisel 142 de manera que una imagen focalizada se canalice por las fibras en la placa frontal de fibra óptica 142 al fotocátodo plano de un intensificador de imagen 144. Ventajosamente, no existen huecos de aire entre la lente 141 y la placa frontal de fibra óptica en bisel 142, lo que permite obtener un dispositivo de formación de imágenes 140 robusto. Sin embargo, la lente 141 es fija tanto en enfoque como en distancia focal.

En una realización preferida, puede usarse una lente esférica de gradiente de índice (GRIN) en un dispositivo de formación de imágenes que se describirá a continuación con referencia a la figura 15.

En referencia a la figura 15, se muestra un dispositivo de formación de imágenes 150 en sección transversal que comprende una lente esférica GRIN 151 colocada a una distancia fija de una superficie curvada esféricamente 152 de una placa frontal de fibra óptica en bisel 153 de manera que la superficie focal de la lente 151 coincida con la superficie curvada esféricamente 152. La imagen focalizada se canaliza hacia el fotocátodo plano de un intensificador de imagen 154 por la placa frontal de fibra óptica 153. El uso de la lente GRIN 151 mejoraría el rendimiento óptico en la lente esférica de índice de refracción uniforme del dispositivo de formación de imágenes 140. Sin embargo, en principio, es probable que las lentes de menor índice de refracción tengan menos peso y sean más económicas.

El grado de foveación alcanzado en los dispositivos de formación de imágenes preferidos de la presente invención, en particular, depende de la curvatura de la superficie de la lente y del bisel de la placa frontal de fibra óptica. En la figura 16 se muestran dos posibles configuraciones de lente/bisel para realizaciones preferidas de la presente invención.

En referencia a la figura 16a y la figura 16b, se muestran dos dispositivos de formación de imágenes 160, 165 en sección transversal que tienen lentes esféricas 161, 166 colocadas respectivamente en contacto con una superficie esférica 162, 167 de una placa frontal de fibra óptica en biseles diferentes 163, 168 que a su vez canaliza una imagen focalizada en un intensificador de imagen plano 164, 169 respectivamente. No mostrada explícitamente en la

figura 16, la lente 161 se coloca cerca de la parte superior del bisel en la placa frontal de fibra óptica 163 en la que las fibras ópticas son colimadas y confluyen con la superficie esférica 162 en paralelo con un eje central del bisel. Sin embargo, la lente 166 se coloca en una posición inferior en el bisel en la que las fibras ópticas confluyen con la superficie esférica 167 en un ángulo con respecto a un eje central del bisel. A continuación se analizará en detalle el efecto de los diferentes biseles con referencia a la figura 17 en la que pueden verse más claramente los distintos ángulos.

En referencia a la figura 17a, las fibras en la placa frontal de fibra óptica 163 de la figura 16a están colimadas y existe sólo una pequeña variación (~un pequeño porcentaje) en el diámetro de la fibra entre el centro y el borde de la cara de entrada de la fibra 162. En esta configuración, el principal factor de foveación es debido al ángulo θ (que es igual al ángulo de campo en esta configuración) entre la cara de entrada de la fibra esférica 16 y la dirección de la fibra. Este factor, *f*, viene dado por:

$$f = \frac{1}{\cos\theta}$$

y es aproximadamente igual a 1,3 en el borde de un CdV de 80° (θ = 40°). Este valor es bastante moderado y no proporcionaría el grado de foveación necesario para hacer el mejor uso de los píxeles disponibles. Con el fin de aumentar *f*, la interfaz lente/bisel está situada preferentemente en una posición en la que las fibras no están colimadas sino que varían en dirección según el ángulo de campo θ. La máxima variación tiene lugar cuando la lente está integrada a medio camino en la región en bisel, tal como se muestra en la figura 17b. En este caso, el factor de foveación viene dado por:

$$f = \frac{1}{\cos(\theta + \phi)}$$

en la que ϕ es el ángulo de la dirección de la fibra con respecto al eje central del bisel en un ángulo de campo de θ. Para un valor típico de aumento del bisel m = 3 y un diámetro de lente igual a 1,04 veces el del extremo ancho del bisel original, el valor máximo de μ ($\theta_{máx}$) es los 40° requeridos. El valor de ϕ depende de θ, m y la longitud del bisel.

El valor máximo ($\theta_{máx} + \phi_{máx}$) que puede tomar es 90° cuando la dirección de la fibra fuera tangencial a la superficie de la lente; se encontraría por tanto cuando $\phi_{máx}$ tuviera un valor de 50°. Un límite más práctico se fijaría en $\phi_{máx} = \theta_{máx}$ = 40°, con el resultado de un factor de foveación de ~5,8 en el borde del campo. Si se supone que ϕ varía linealmente con la distancia radial desde el eje central del bisel, entonces $\Phi \approx \theta$ es una buena aproximación. En consecuencia, $f = \frac{1}{\cos 2\theta}$ y este efecto de foveación se ilustra en la figura 18 en la que los ángulos mostrados son ángulos de campo. En este ejemplo, la longitud del bisel, L, y su diámetro máximo, Dt, definen $\phi_{máx}$, es decir:

$$\phi_{máx} = \text{sen}^{-1}\left[\frac{6LD_t}{D_t^2 + 9L^2}\right]$$

Para un valor de $\phi_{máx}$ = 40°, L = 0,9 D. Este es de nuevo un valor práctico para un bisel comercial.

La resolución angular $\frac{d\theta}{dN}$ en la que 2N es el número total de píxeles en el CdV horizontal, viene dada por:

$$\frac{d\theta}{dN} = k / \cos 2\theta$$

en la que k es una constante.

$$\therefore N = (1/k)\int_0^{40º} \cos 2\theta \cdot d\theta$$

$$= (1/2k)\,\text{sen}\,80º$$

Para el sensor de CCD de Sony referido anteriormente, N = 1.360/2 = 680, lo que proporciona $k = 7{,}2 \cdot 10^{-4}$. En el

eje ($\theta = 0$), la resolución angular es por tanto 0,72 mrad, y a $\theta = 40°$ se ha reducido a 4,2 mrad. En gráficos comparados de resolución angular en función del ángulo de campo para las realizaciones de lentes múltiples y de lente esférica de la presente invención, se ha encontrado que para un pequeño sacrificio en la resolución en el eje comparado con el caso de lentes múltiples, la lente esférica proporciona una resolución superior a 1 mrad/píxel para CdV por encima de 40°, y al mismo tiempo elimina todos los cambios pronunciados en la resolución.

En el caso en que deban usarse realizaciones preferidas de la presente invención descritas con referencia a las figuras 12 a 18 para la formación de imágenes a longitudes de onda de IR, entonces para estas realizaciones deben aplicarse placas frontales de fibra óptica capilares y lentes compatibles con IR, en particular, tal como se describe anteriormente.

Se apreciará que algunas características de la invención que, con fines de claridad, se describen en el contexto de realizaciones separadas, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. De modo inverso, varias características de la invención que, por brevedad, se describen en el contexto de una única realización, pueden también proporcionarse por separado, o en cualquier combinación adecuada.

Debe reconocerse que es posible introducir diversas alteraciones, modificaciones y/o añadidos en las construcciones y disposiciones de las partes descritas anteriormente sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de formación de imágenes (11; 120) para proporcionar un gran campo de visión, que comprende:

una pluralidad de lentes (12; 124, 121) dispuestas de manera que los ejes de dos o más de las lentes convergen;

un sensor sustancialmente plano (14; 130) que tiene una pluralidad de píxeles;

medios de guiado de luz (15); que comprenden una pluralidad de guías de luz para dirigir la luz recibida por medio de dicha pluralidad de lentes hacia dicho sensor, comprendiendo dichos medios de guiado de luz una o más placas frontales de fibra óptica (15);

en el que dichos medios de guiado de luz tienen una forma que permite dirigir luz de manera que la luz que proviene de una región central en un campo de visión del dispositivo de formación de imágenes es detectada por dicho sensor con una resolución angular por píxel diferente que para la luz que proviene de regiones periféricas en el campo de visión,

y en el que los medios de guiado de luz están provistos de facetas (a, b, c; 125, 122) de manera que cada faceta recibe luz de una lente correspondiente,

y en el que algunas facetas (a, c; 125) están inclinadas con respecto al sensor plano, de manera que la luz incidente que proviene de una lente correspondiente puede ser focalizada en una faceta inclinada respectiva,

y en el que cualquier superficie de la placa frontal (15) con una superficie inclinada que no es ortogonal al eje longitudinal de las fibras ópticas que forman la placa frontal tiene dicha superficie inclinada modificada (91, 96) con el fin de facilitar el guiado de la luz de entrada.

2. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que dichos medios de guiado de luz comprenden una única placa frontal de fibra óptica.

3. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 2, en el que dicha superficie inclinada es modificada proporcionando una superficie de difusión en la superficie de las guías de luz.

4. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 2, en el que dicha superficie inclinada es modificada proporcionando una superficie escalonada de manera que cada fibra óptica tiene una superficie de recepción de luz que es ortogonal al eje de la fibra.

5. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 2, en el que dicha superficie inclinada es modificada proporcionando una película delgada prismática en la superficie de las guías de luz.

6. Un dispositivo de formación de imágenes según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las lentes están dispuestas para proporcionar un campo de visión sustancialmente de π estereorradianes.

7. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 6 en el que nueve lentes están dispuestas en una matriz de tres por tres de manera que una sección transversal de la red de lentes es igual a la tercera parte de un polígono regular de nueve lados.

8. Un dispositivo de formación de imágenes según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sensor está segmentado, y la luz es guiada desde las lentes de manera que se obtiene una resolución más elevada cerca del centro del sensor y se obtiene una resolución más baja cerca de la periferia del sensor.

9. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que dicha al menos una lente es una lente esférica y en el que dichos medios de guiado de luz comprenden una pluralidad de guías de luz dispuestas para formar una placa que tiene un rebaje curvado, estando el rebaje dispuesto para recibir una parte del plano de imagen de dicha lente, y para acoplar la luz recibida en dicho plano de imagen a dicho sensor.

10. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 9, en el que dicha lente es una lente de gradiente de índice.

11. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 9 ó 10, en el que los medios de guiado de luz comprenden una placa frontal de fibra óptica en bisel, en el que el grado de foveación en el dispositivo de formación de imágenes está determinado por el ángulo de bisel en la placa frontal de fibra óptica en el rebaje curvado.

12. Un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 11, en el que el rebaje curvado es modificado de manera que cada fibra óptica tiene una superficie de difusión o una superficie de recepción de luz que es ortogonal al eje longitudinal de la fibra.

13. Un dispositivo de formación de imágenes según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el tamaño de cada guía de luz es sustancialmente igual o inferior al tamaño de píxel del sensor.

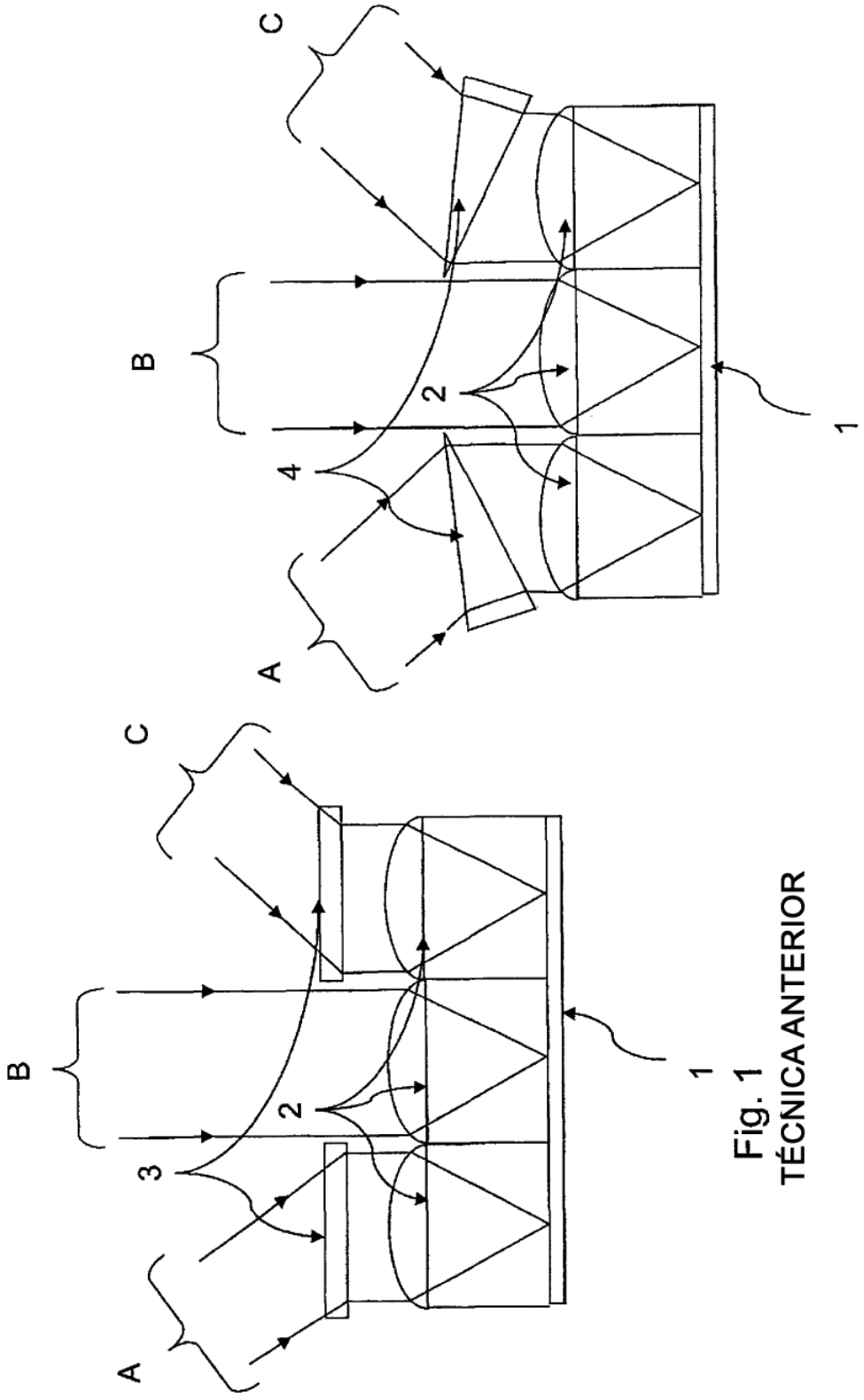


Fig. 1
TÉCNICA ANTERIOR

Fig. 2
TÉCNICA ANTERIOR

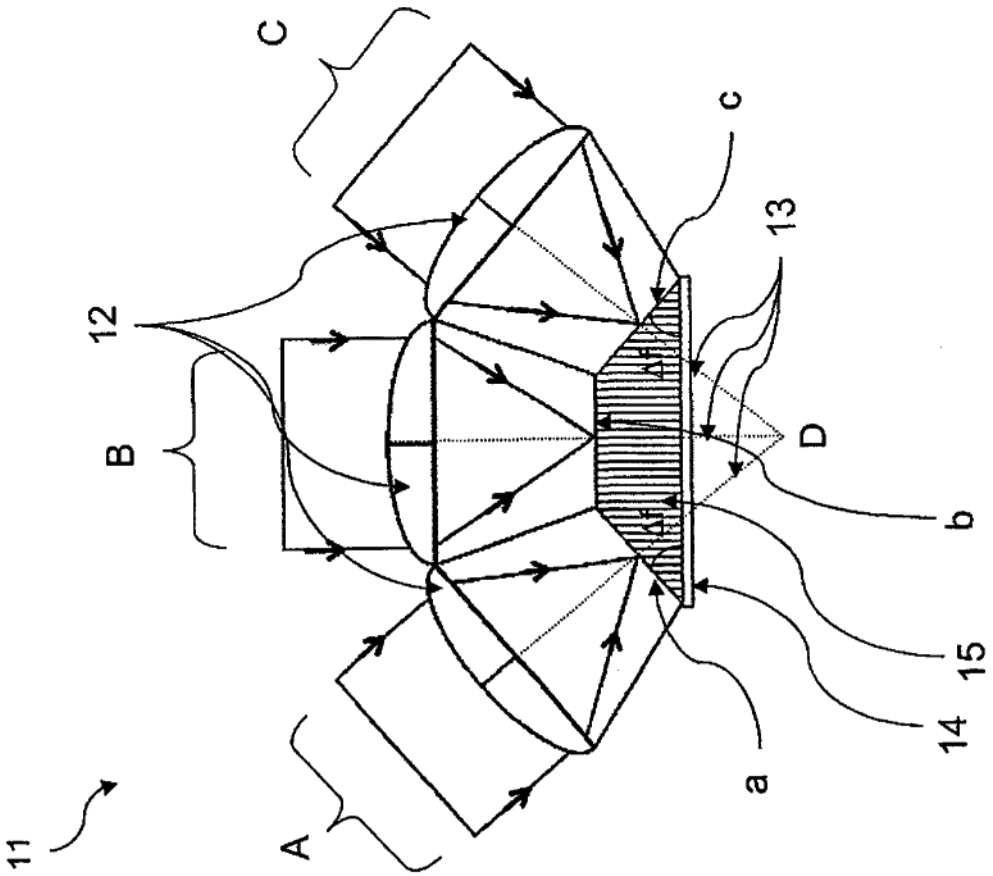


Fig. 3

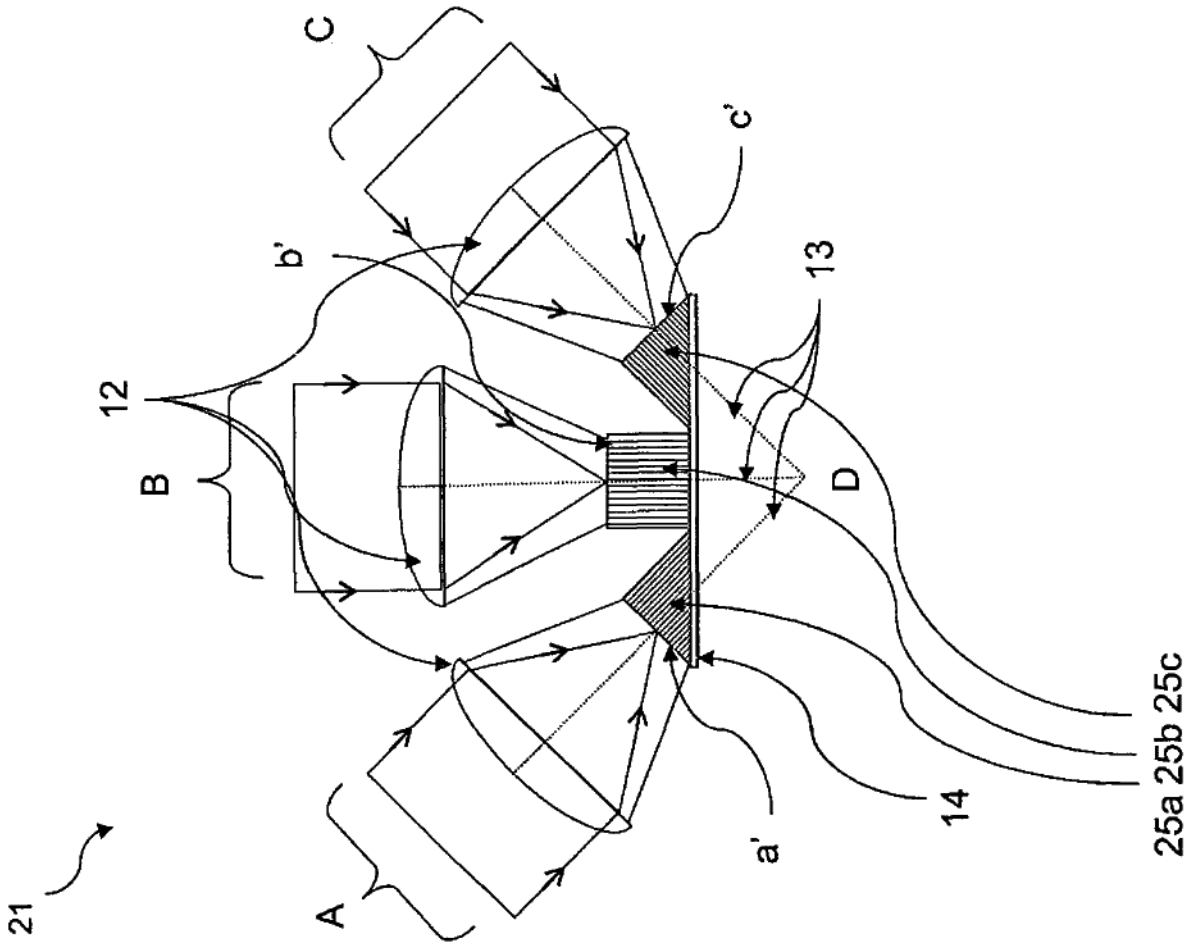


Fig. 4

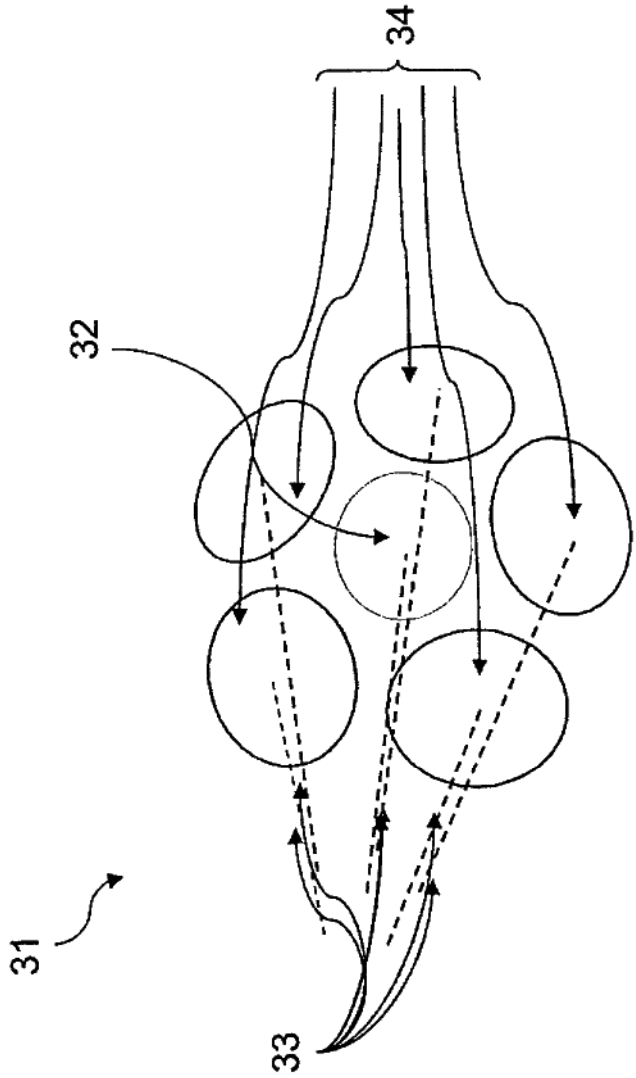


Fig. 5a

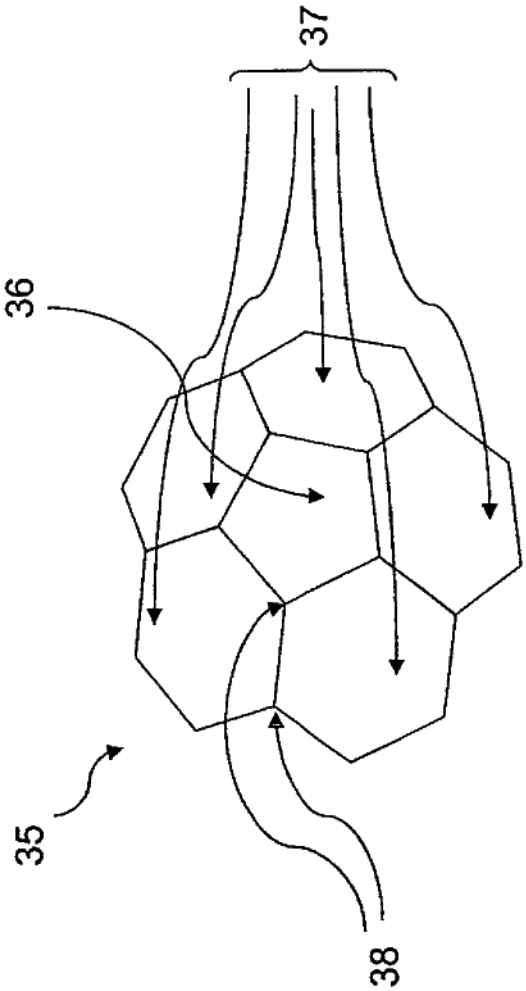


Fig 5b

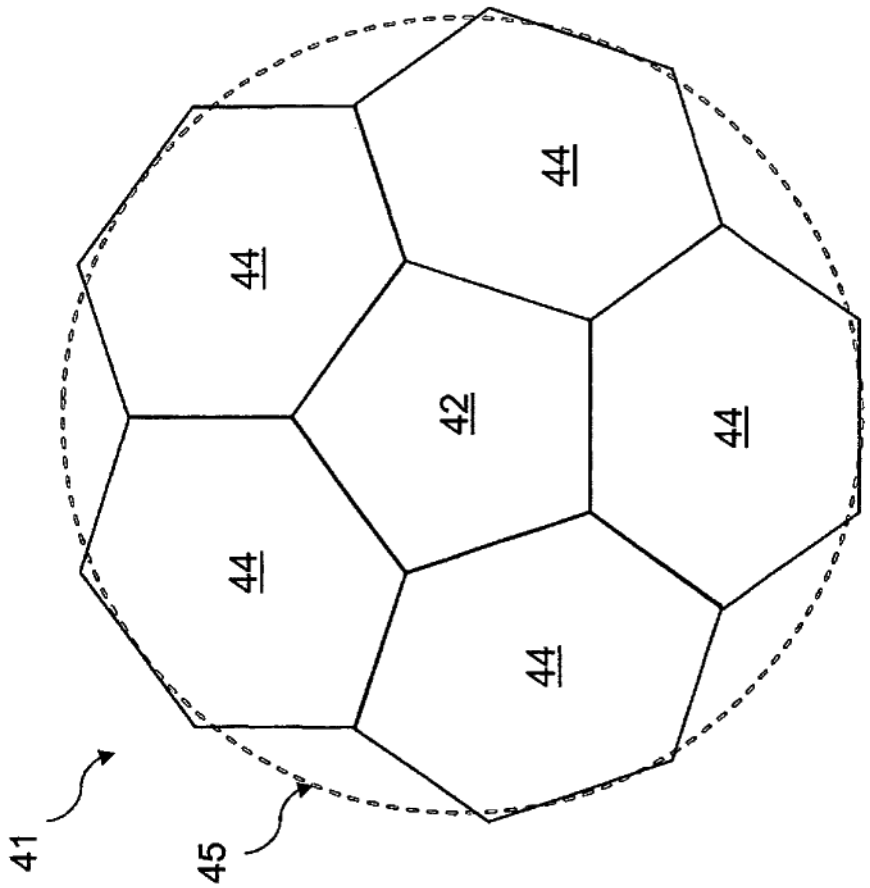


Fig. 6

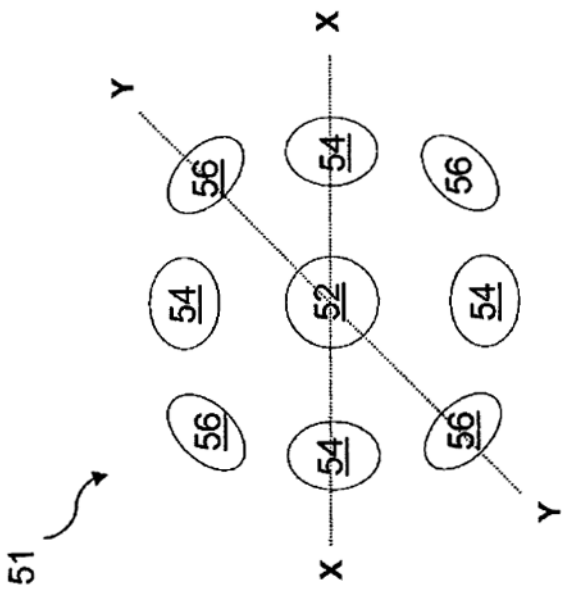


Fig. 7a

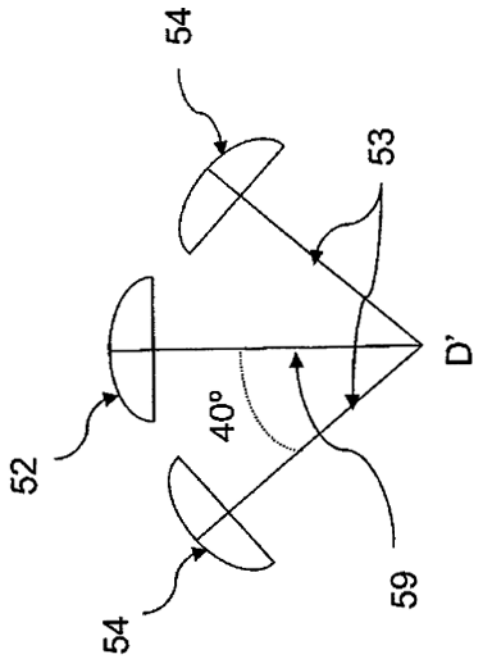


Fig. 7b

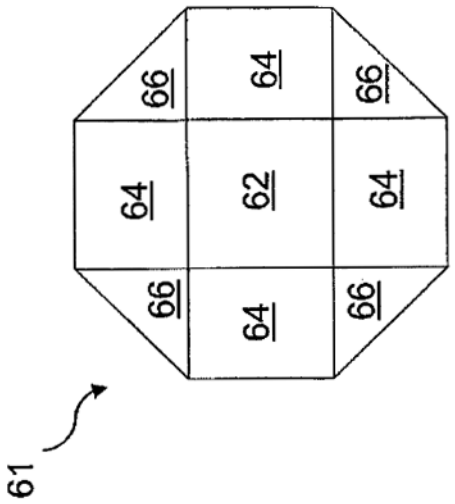


Fig. 8

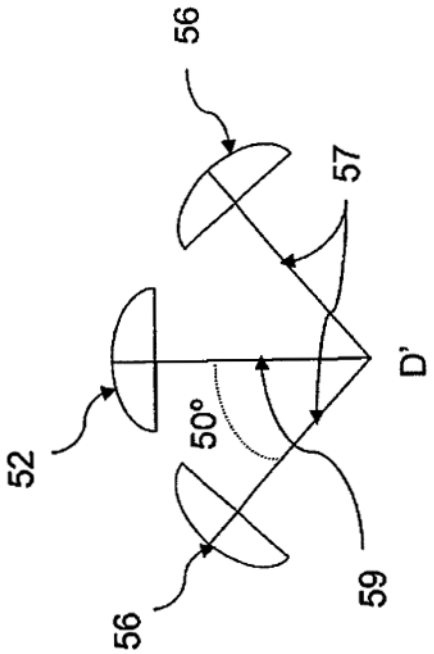


Fig. 7c

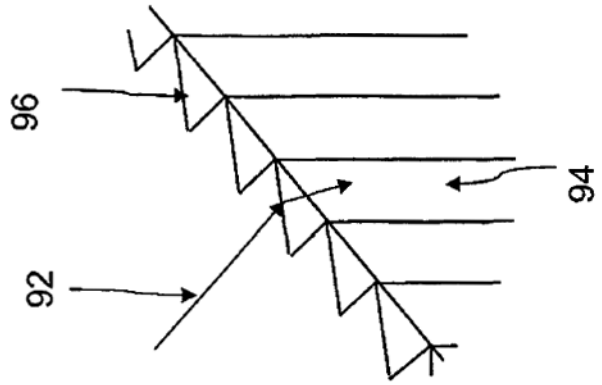


Fig. 9c

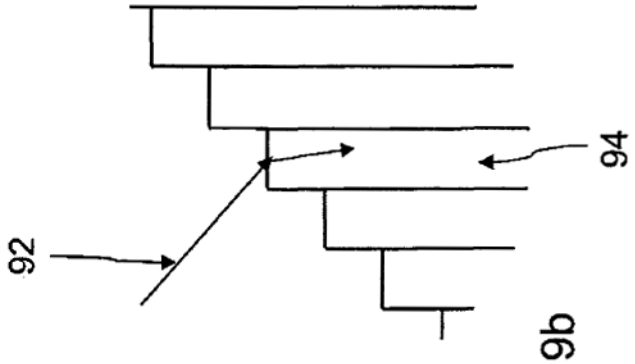


Fig. 9b

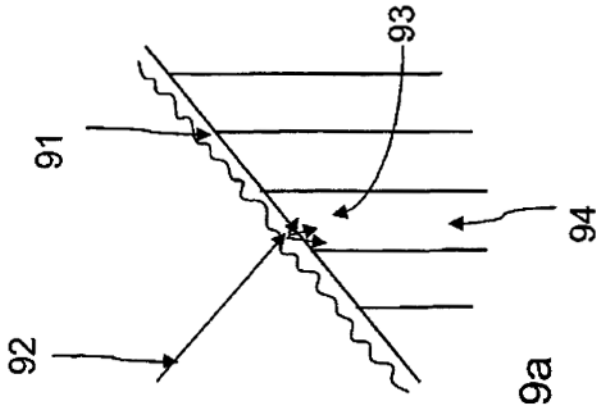


Fig. 9a

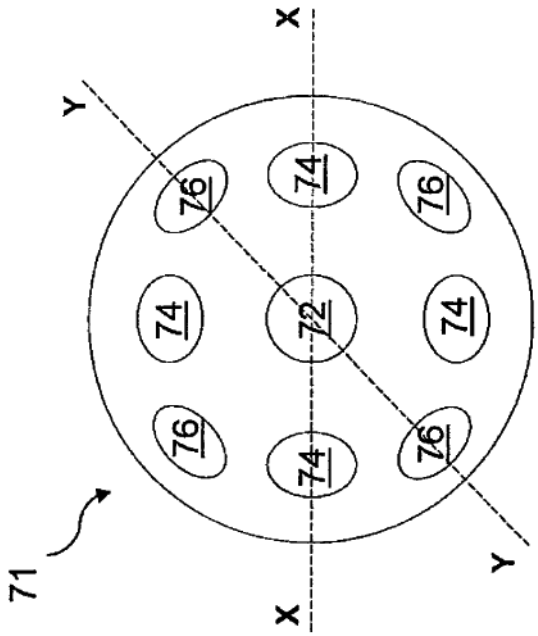


Fig. 10a

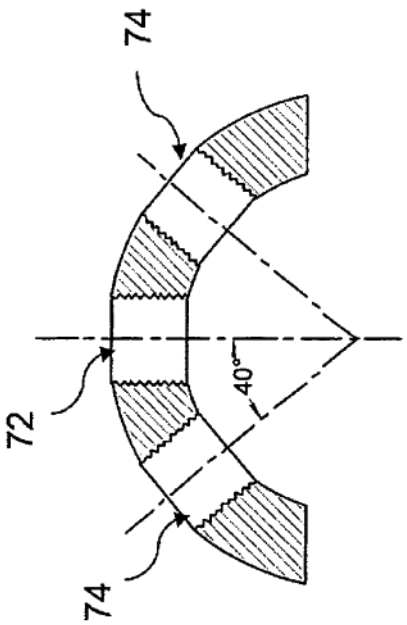


Fig. 10b

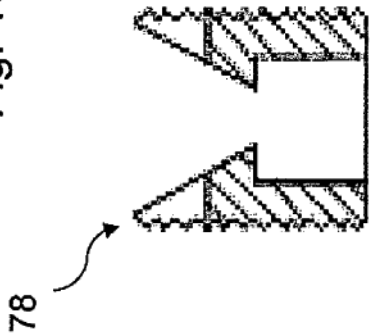


Fig. 10d

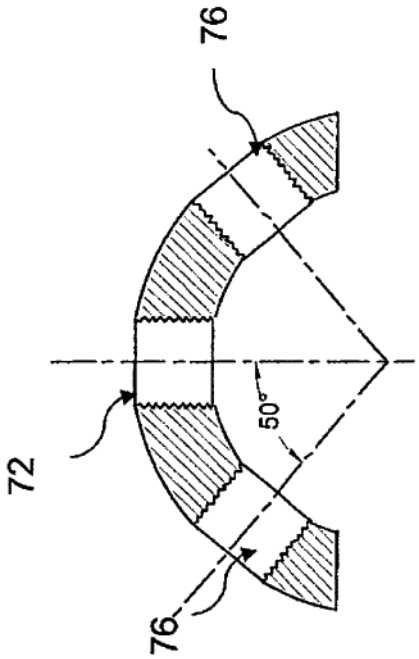


Fig. 10c

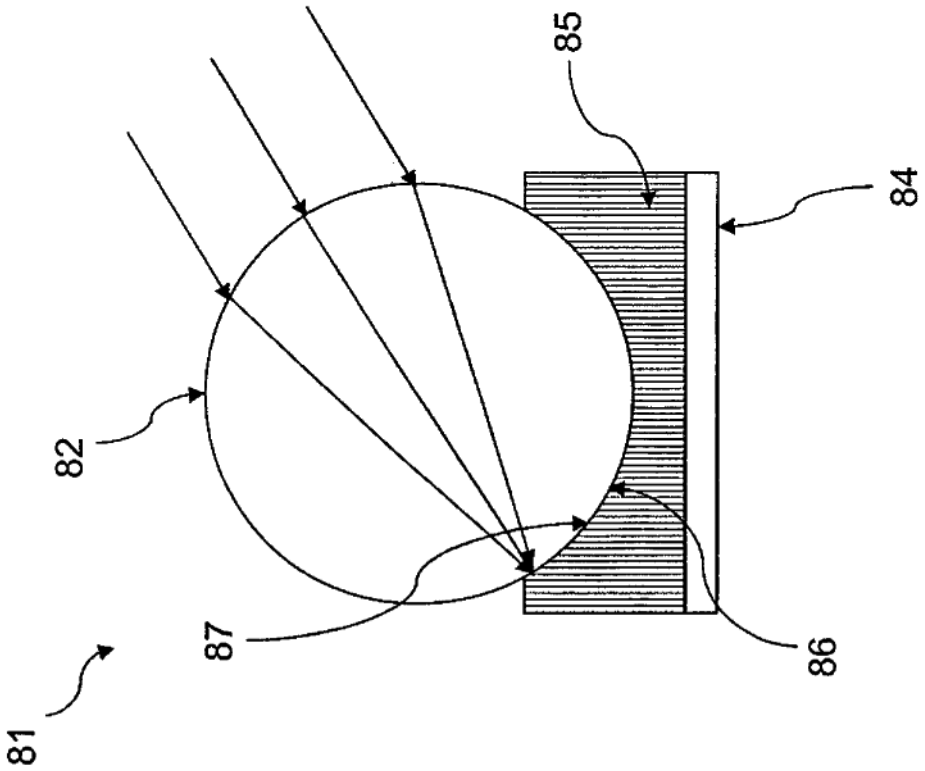


Fig. 11

Fig.13.

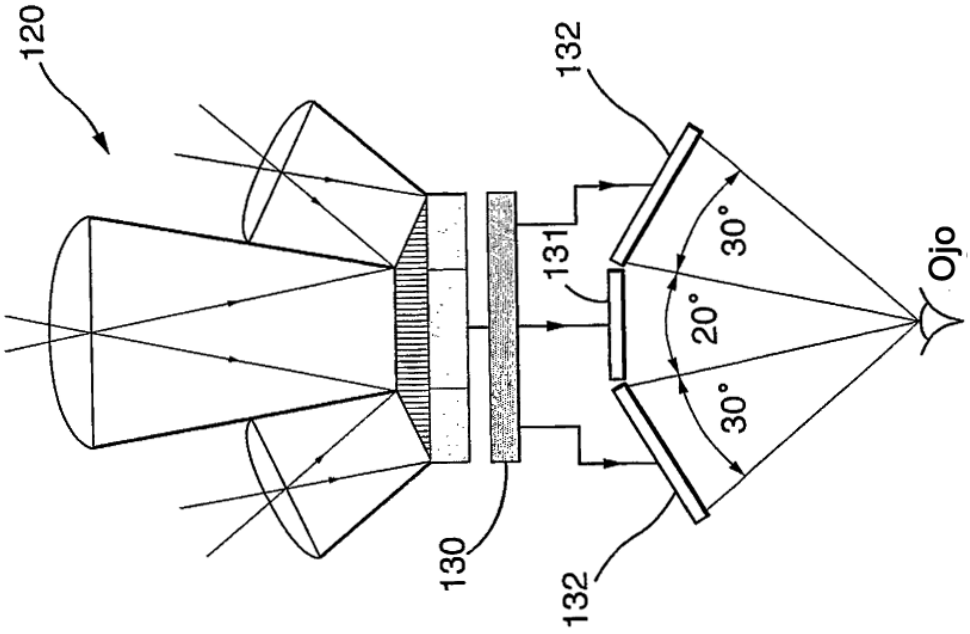

120
132
131
130
132
30°
20°
30°
Ojo

Fig.12.

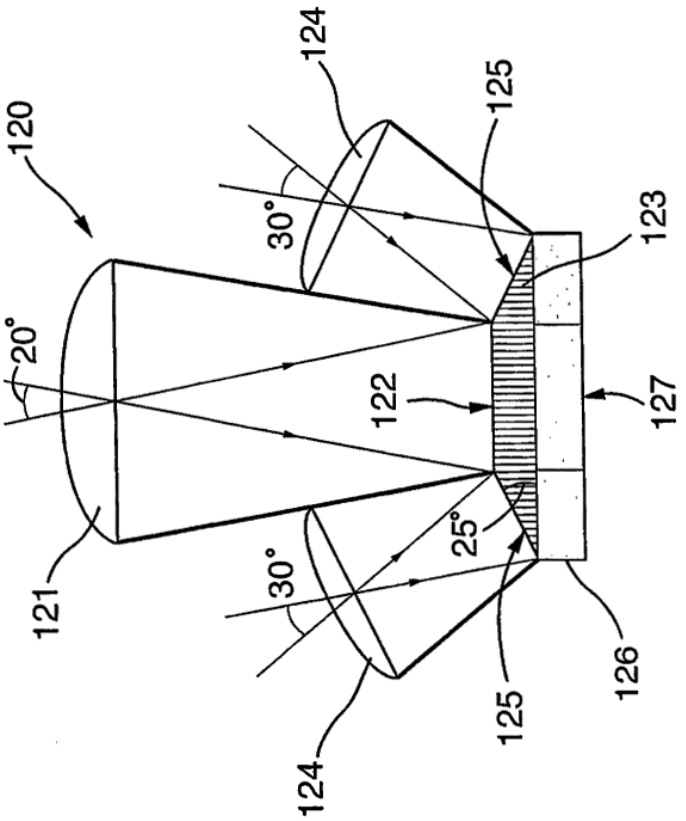

120
124
125
123
30°
20°
122
127
25°
30°
121
125
126
124

Fig.14.

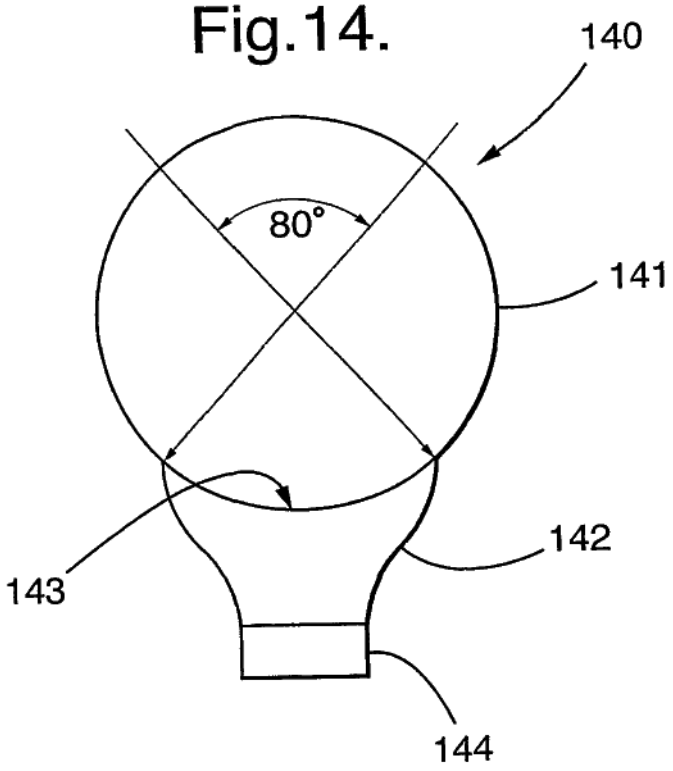


Fig.15.

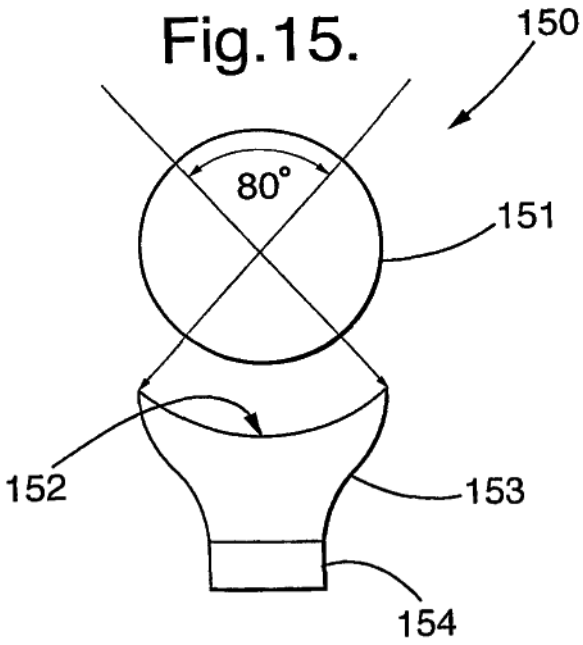


Fig.16a.

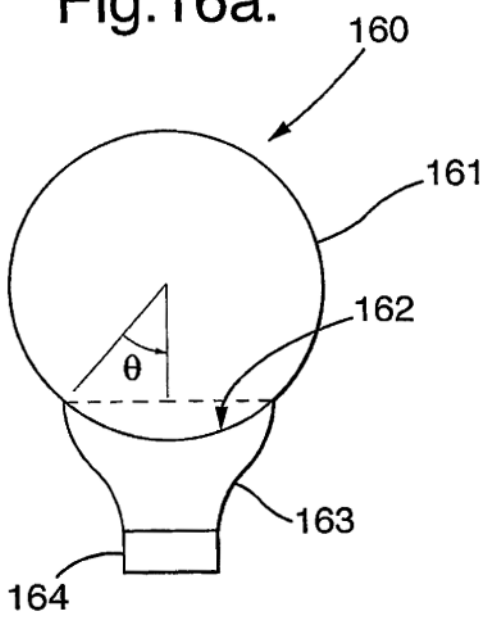


Fig.16b.

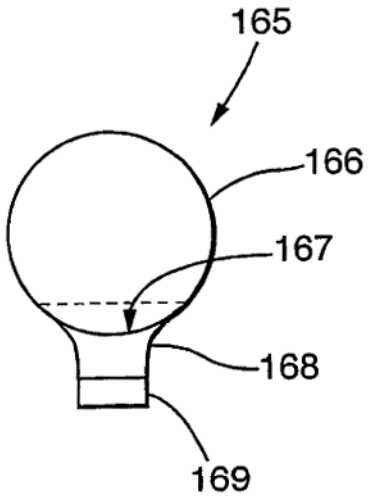


Fig.17a.

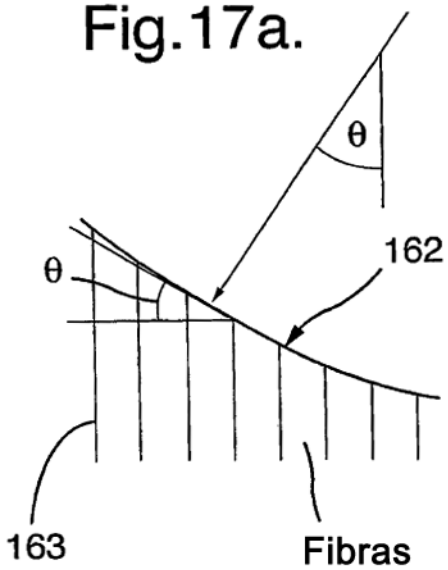


Fig.17b.

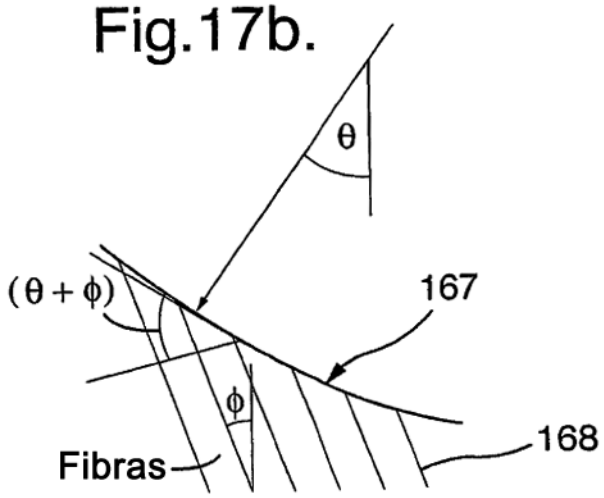


Fig.18.

