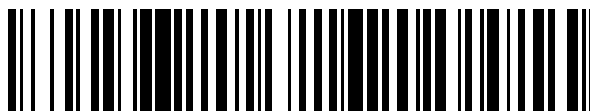


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 022**

51 Int. Cl.:

G02B 27/00 (2006.01)

G02B 27/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.07.2015 PCT/GB2015/052181**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2016 WO16020643**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2015 E 15744327 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 3175280**

54 Título: **Dispositivo guía de ondas óptico difractivo que expande la pupila de salida**

30 Prioridad:

03.08.2014 US 201462032577 P
09.02.2015 GB 201502098

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.05.2018

73 Titular/es:

WAVE OPTICS LTD. (100.0%)
99 Park Drive Milton Park
Oxfordshire OX14 4RY, GB

72 Inventor/es:

GREY, DAVID y
TALUKDAR, SUMANTA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 670 022 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

Dispositivo guía de ondas óptico difractivo que expande la pupila de salida

La invención se refiere a una pantalla de realidad aumentada o una pantalla de visualización frontal. En particular, se refiere a una pantalla en la que la luz de entrada es expandida en dos direcciones ortogonales y es acoplada desde una guía de ondas hacia un observador. Esto puede permitir una expansión física de una imagen en una pantalla de realidad aumentada.

Una pantalla de realidad aumentada permite a un usuario observar su entorno, así como imágenes proyectadas. En aplicaciones militares o de transporte, las imágenes proyectadas pueden superponerse sobre el mundo real percibido por el usuario. Otras aplicaciones para estas pantallas incluyen videojuegos y dispositivos portátiles, tales como gafas.

En una configuración normal, se proporciona una pantalla transparente frente a un usuario de manera que pueda seguir observando el mundo físico. Típicamente, la pantalla de visualización es una guía de ondas de vidrio, y se proporciona un proyector en un lado. La luz desde el proyector es acoplada a la guía de ondas mediante una red de difracción. La luz proyectada es reflejada por completo internamente dentro de la guía de ondas. A continuación, la luz es acoplada desde la guía de ondas mediante otra red de difracción de manera que pueda ser vista por un usuario. El proyector puede proporcionar información y/o imágenes que aumentan la visión de un usuario del mundo físico.

Existe un reto en la producción de pantallas de realidad aumentada de pantalla ancha ya que la luz desde un proyector de entrada debe ser proporcionada a lo largo de toda la anchura de la pantalla (si se desea la realidad aumentada a lo largo de toda la anchura). Una solución es proporcionar un único proyector de entrada y una óptica que pueda expandir el campo de visión a lo largo de la anchura de la pantalla.

Uno de dichos dispositivos se describe en el documento US 6.580.529 que describe una disposición similar a la mostrada en la Figura 1. La Figura 1 es una vista en perspectiva de una guía 2 de ondas que incluye una red 4 de entrada sobre una de sus superficies. Un proyector de entrada puede proporcionar luz de entrada en una dirección que es ortogonal al plano de la guía 2 de ondas. La red 4 de entrada puede difractar la luz de entrada de manera que el primer orden de difracción sea acoplado a la guía 2 de ondas. La luz capturada puede desplazarse en el interior de la guía 2 de ondas por reflexión interna total hacia una segunda red 6, cuyas ranuras están orientadas a 45° con relación a la luz incidente. En cada punto de interacción con la segunda red 6, la luz puede ser transmitida o difractada. La luz que es difractada por la segunda red 6 es girada 90° y el primer orden de difracción se extiende en el interior de la guía 2 de ondas hacia una tercera red 8. La luz que es transmitida inicialmente en la segunda red 6 puede extenderse adicionalmente en el interior de la red 6 antes de ser difractada hacia la tercera red 8. Esto puede proporcionar una expansión unidimensional de la luz incidente, a lo largo de la segunda red 6. Las ranuras de la tercera red 8 están orientadas ortogonalmente a su luz incidente. En cada punto de interacción con la tercera red 8, la luz puede ser transmitida o difractada. La luz transmitida continúa desplazándose en el interior de la guía 8 de ondas por reflexión interna total. La luz que es difractada por la tercera red 8 es acoplada desde la guía 2 de ondas y hacia un observador. Por lo tanto, la tercera red puede proporcionar una expansión unidimensional de la luz en una dirección que es ortogonal a las ranuras de la tercera red. De esta manera, el dispositivo óptico en la Figura 1 puede conseguir una expansión bidimensional de la luz de entrada, donde una primera dimensión de expansión es proporcionada por la segunda red 6 y una segunda dimensión de expansión es proporcionada por la tercera red 8.

Un sistema alternativo se describe en los documentos WO 2008/081070 y EP-B1-1938152, en el que el documento WO 2008/081070 describe un dispositivo similar al mostrado en la Figura 2. La Figura 2 es una vista en perspectiva de una guía 2 de ondas que tiene una primera red 4 y una tercera red 8, que son similares a las de la Figura 1. Hay provista también una red 10 cruzada entre las redes 4, 8 primera y tercera. La red 10 cruzada incluye dos redes superpuestas con ranuras a 90° entre sí. Cuando la luz desde la red 4 de entrada encuentra la red 10 cruzada, es difractada simultáneamente en direcciones opuestas que son mutuamente ortogonales al rayo de luz de entrada, pero que están dentro del plano de la guía 2 de ondas. A continuación, la luz es difractada de nuevo en la red cruzada de manera que pueda extenderse hacia la tercera red 8. De esta manera, la red 10 cruzada puede proporcionar una expansión de la luz de entrada en dos direcciones opuestas.

La luz emitida por la red 10 cruzada se desplaza hacia la tercera red 8. Cuando la luz de entrada encuentra la tercera red 8, es transmitida o difractada. La parte transmitida del rayo se extiende en el interior de la tercera guía 8 de ondas, y la parte difractada del rayo es acoplada desde la guía 2 de ondas hacia el observador. Cualquier parte transmitida del rayo puede ser difractada a continuación desde la guía 2 de ondas por las ranuras posteriores de la red 8. De esta manera, una primera dimensión de expansión es proporcionada por la red 10 cruzada y una segunda dimensión de expansión es proporcionada por la tercera red 8. Para que esto sea efectivo, los períodos de red son seleccionados específicamente para prevenir cualquier desacoplamiento de la luz por la red 10 cruzada. De esta manera, el único desacoplamiento de luz es por la tercera red 8.

Un problema en las disposiciones de las Figuras 1 y 2 se refiere al espacio requerido en la guía de ondas para proporcionar tres regiones separadas con redes de difracción. Estos grandes sistemas ópticos pueden no ser apropiados

para todos los dispositivos. Un problema adicional es que se requiere un gran número de interacciones difractivas. Cada interacción difractiva causa dispersión y, por lo tanto, reduce el contraste en la imagen resultante. Todavía otro problema es que estos dispositivos no son necesariamente apropiados para pantallas a color. Un objeto de la presente invención es superar algunas de estas deficiencias.

5 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo óptico para expandir la luz de entrada en dos dimensiones en una pantalla de realidad aumentada, que comprende: una guía de ondas; un elemento óptico difractivo de entrada configurado para acoplar la luz de entrada a la guía de ondas; y dos elementos ópticos difractivos al menos parcialmente superpuestos uno sobre otro en o sobre la guía de ondas, en el que al menos uno de los dos elementos ópticos difractivos puede actuar como un elemento óptico difractivo de salida que acopla la luz desde la guía de ondas hacia un observador.

10 De esta manera, el dispositivo óptico puede conseguir una expansión bidimensional de una fuente de luz de entrada mientras simultáneamente acopla la luz desde la guía de ondas de manera que pueda ser observada por un usuario. Esto puede permitir un uso más eficiente del espacio en un dispositivo óptico ya que la expansión bidimensional puede ser proporcionada dentro de la misma área de la guía de ondas que el acoplamiento de salida. Esto puede reducir de manera ventajosa el coste de fabricación. El dispositivo puede ofrecer también características ópticas mejoradas. Por ejemplo, el dispositivo puede ofrecer un contraste de fondo mejorado ya que puede conseguirse una expansión bidimensional con un número reducido de interacciones difractivas. Los dos elementos ópticos difractivos pueden superponerse total o parcialmente entre sí en o sobre la guía de ondas.

15 Una ventaja del dispositivo óptico es que la expansión bidimensional y el desacoplamiento simultáneos del rayo pueden proporcionarse con solo dos áreas de la guía de ondas dedicadas a los elementos ópticos difractivos (uno para el elemento óptico difractivo de entrada y otro para los elementos ópticos difractivos superpuestos). Esto puede reducir el tamaño total del dispositivo. Además, puede conseguirse un rendimiento óptico similar con tolerancias reducidas en lo que se refiere a la planitud y la película de sustrato, lo que significa que el dispositivo puede ser fabricado a un menor coste. De manera alternativa, puede conseguirse un mejor rendimiento óptico sin aumentar las tolerancias en la fabricación.

20 En los elementos ópticos difractivos superpuestos, uno de los elementos dirige preferiblemente la luz recibida desde el elemento óptico difractivo de entrada hacia el otro elemento en el par superpuesto. El otro elemento óptico difractivo puede acoplar a continuación la luz desde la guía de ondas y hacia un observador. Preferiblemente, esta es una disposición simétrica de manera que cada uno de entre los elementos ópticos difractivos superpuestos puede dirigir la luz recibida hacia el otro elemento para el acoplamiento de salida.

25 Cada elemento óptico difractivo comprende preferiblemente ranuras y un vector de red en el plano de las ranuras. El vector de red puede estar definido con una dirección que es normal a las ranuras y una magnitud que está relacionada inversamente con el paso de las ranuras. Los elementos ópticos difractivos de entrada y salida respectivamente pueden tener vectores de red con una magnitud sustancialmente igual.

30 Proporcionando vectores de red de entrada y salida con la misma magnitud, es posible obtener un rayo de salida con las mismas propiedades angulares que el rayo de entrada. De esta manera, el rayo de salida puede ser proporcionado en el mismo ángulo que el rayo de entrada. Esto puede conseguirse en todas las longitudes de onda operativas, lo que significa que el dispositivo puede funcionar de manera efectiva en color (es decir, en un intervalo de longitudes de onda).

35 Una combinación de los vectores de red respectivos del elemento óptico difractivo de entrada y los dos elementos ópticos difractivos puede ser un vector resultante con una magnitud sustancialmente nula. Esta propiedad combinada de las redes significa que la luz de salida puede ser proporcionada sustancialmente sin cambios angulares o cromáticos, lo que puede facilitar el uso del dispositivo en una pantalla de realidad aumentada a color.

40 En algunas disposiciones, el vector resultante puede tener una magnitud pequeña. En general, estas realizaciones son más apropiadas para la luz monocromática, ya que esta disposición produciría normalmente una dispersión cromática, lo cual no es deseable en una pantalla a color.

45 Las ranuras del elemento óptico difractivo pueden ser lineales, y pueden ser formadas mediante grabado o decapado en una superficie de la guía de ondas. De manera alternativa, las ranuras pueden ser formadas mediante variaciones en el índice de refracción, tal como puede encontrarse en un fotopolímero de tipo volumen. Estos pueden ser cambios suaves variables en el índice de refracción o cambios de paso.

50 Los vectores de red de los dos elementos ópticos difractivos pueden subtender ángulos iguales y opuestos al vector de red del elemento óptico difractivo de entrada. De esta manera, los elementos ópticos difractivos superpuestos pueden cruzarse entre sí y pueden estar dispuestos simétricamente con relación al elemento óptico difractivo de entrada. Por lo tanto, la luz desde el elemento óptico difractivo de entrada puede ser difractada simultáneamente en direcciones divergentes por los dos elementos ópticos difractivos. Proporcionando elementos ópticos difractivos con vectores de red

iguales y opuestos, la expansión bidimensional puede ser simétrica, y el desplazamiento angular creado por ambas redes puede ser igual.

5 Los vectores de red del elemento óptico difractivo de entrada y los dos elementos ópticos difractivos pueden tener sustancialmente la misma magnitud. Debido a que una combinación de estos tres vectores tiene una magnitud sustancialmente nula, los vectores pueden ser combinados para crear un triángulo equilátero, de manera que los vectores de red estén a aproximadamente 60° uno con relación al otro. Esta disposición puede permitir una difracción homogénea por los elementos ópticos difractivos cruzados, en direcciones divergentes. A continuación, pueden producirse difracciones subsecuentes idénticas debidas a los elementos ópticos difractivos cruzados con el fin de acoplar la luz desde la guía de ondas. De esta manera, cada uno de los dos elementos ópticos difractivos puede actuar como una red de salida, después
10 de la difracción de la luz por el otro elemento óptico difractivo superpuesto. Esto puede permitir que la luz sea acoplada desde la guía de ondas en la misma orientación que fue introducida. De manera ventajosa, todas las longitudes de onda pueden experimentar el mismo resultado para facilitar una visualización a color.

15 Preferiblemente, la red de entrada está separada de los dos elementos ópticos difractivos. La red de entrada puede acoplar la luz a la guía de ondas y puede desplazarse a través de la guía de ondas bajo reflexión interna total a los otros dos elementos ópticos difractivos.

Preferiblemente, se proporciona un proyector para proyectar luz hacia el elemento óptico difractivo de entrada. El proyector puede ser policromático y puede proporcionarse en una orientación que es transversal al plano de la guía de ondas.

20 La luz proyectada puede ser proporcionada en un primer ángulo con relación al elemento óptico difractivo de entrada y la luz acoplada desde la guía de ondas por el elemento óptico difractivo de salida puede ser proporcionada también en el primer ángulo. De esta manera, la luz de salida puede ser proporcionada sin ningún desplazamiento angular.

Los dos elementos ópticos difractivos superpuestos pueden ser proporcionados en o sobre la guía de ondas en diferentes planos. De esta manera, los elementos ópticos difractivos superpuestos pueden estar separados físicamente uno del otro. Dicha disposición puede ser fabricada fácilmente y puede producir resultados deseables.

25 Los elementos ópticos difractivos pueden ser proporcionados sobre superficies opuestas de la guía de ondas. Pueden ser proporcionados sobre las superficies internas o externas de la guía de ondas, según sea necesario. De manera alternativa, los dos elementos ópticos difractivos pueden ser proporcionados en sustancialmente el mismo plano en la guía de ondas. Esto puede conseguirse usando un cristal fotónico. Los elementos ópticos difractivos pueden ser proporcionados mediante variaciones en la altura de la superficie y/o el índice de refracción en el material del cristal.

30 Según otro aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo óptico difractivo que comprende: un sustrato transmisor de luz; un primer elemento óptico difractivo transportado por el sustrato; un segundo elemento óptico difractivo transportado por el sustrato; en el que el sustrato transmisor de luz tiene dos superficies sustancialmente paralelas en dos dimensiones; el primer elemento óptico difractivo acopla los rayos ópticos desde una fuente de luz y los confina en el interior del sustrato por reflexión interna total; el segundo sustrato óptico difractivo difracta los rayos ópticos en una serie
35 de órdenes en tres dimensiones, de manera que dichos órdenes se difracten en direcciones diferentes (en las dos dimensiones que contienen las superficies principales del sustrato) mientras todavía están bajo reflexiones internas totales, mientras que al menos uno de dichos órdenes se acopla desde la guía de ondas.

40 Según otro aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo óptico difractivo que comprende: un sustrato transmisor de luz; un elemento óptico difractivo transportado por dicho sustrato; en el que el sustrato transmisor de luz tiene dos superficies sustancialmente paralelas en dos dimensiones; dicho único sustrato difractivo acopla los rayos ópticos desde una fuente de luz y los confina en el interior de dicho sustrato mediante reflexión interna total y dicho único elemento óptico difractivo difracta también dichos rayos a una serie de órdenes en tres dimensiones; algunos de dichas órdenes se difractan en diferentes direcciones (en las dos dimensiones que contienen las superficies principales del sustrato) mientras todavía están bajo reflexión interna total, resultando en una replicación bidimensional de dichos rayos, mientras que al
45 menos uno de dichos órdenes se acopla desde la guía de ondas.

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

La Figura 1 es una vista en perspectiva de un dispositivo óptico para expandir un rayo de entrada en dos direcciones ortogonales;

50 La Figura 2 es una vista en perspectiva de otro dispositivo óptico para expandir un rayo de entrada en dos direcciones ortogonales;

La Figura 3 es una vista en perspectiva de un dispositivo óptico en una realización de la presente invención;

- La Figura 4 es una vista superior de las ranuras de una de las redes de difracción en el dispositivo óptico de la Figura 3;
- La Figura 5 es una vista superior de las ranuras de otra red de difracción en el dispositivo óptico de la Figura 3;
- La Figura 6 es una vista superior de las ranuras de todavía otra red de difracción en el dispositivo óptico de la Figura 3;
- La Figura 7 es una vista esquemática del dispositivo óptico en la Figura 3 que muestra los vectores de red;
- 5 La Figura 8 es un ejemplo de algunas trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del dispositivo óptico mostrado en la Figura 3;
- La Figura 9 muestra una combinación de los vectores de red para el dispositivo óptico mostrado en la Figura 3;
- La Figura 10 es una vista superior de una guía de ondas que muestra otro ejemplo de trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del dispositivo óptico mostrado en la Figura 3;
- 10 La Figura 11 es otro ejemplo de algunas trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del dispositivo óptico mostrado en la Figura 3;
- La Figura 12 es una vista superior de una guía de ondas que muestra todavía otro ejemplo de trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del dispositivo óptico mostrado en la Figura 3;
- La Figura 13 es un diagrama que muestra la luz recibida en y difractada por una red de entrada;
- 15 La Figura 14 es un diagrama que muestra la luz recibida en y difractada por una red de salida;
- Las Figuras 15A y B son vistas laterales de una guía de ondas en disposiciones alternativas que muestran redes internas y externas, respectivamente;
- La Figura 16 es una vista esquemática de un cristal fotónico con una estructura reticular triangular para su uso en una realización de la invención;
- 20 La Figura 17 es una vista esquemática que muestra la estructura de la retícula triangular del cristal fotónico mostrado en la Figura 16;
- La Figura 18 es un diagrama que muestra las trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del cristal fotónico mostrado en la Figura 16;
- La Figura 19 es una vista en perspectiva de un par de gafas en una realización de la invención; y
- 25 La Figura 20 es una vista en perspectiva de una pantalla de visualización frontal en una realización de la invención.
- La Figura 3 es una vista en perspectiva de una guía 12 de ondas que incluye tres redes H0, H1, H2 lineales. Las ranuras de la red H0 de entrada están en el plano x-y sobre una primera superficie de la guía 12 de ondas, están orientadas paralelas al eje y, y tienen un paso p de red, tal como se muestra en la Figura 4. La red H1 lineal está separada lateralmente de la red H0 de entrada en el plano x-y y está sobre una segunda superficie de la guía 12 de ondas. Las ranuras de la red H1 están en el plano x-y, están orientadas a 30° con relación al eje x, y tienen un paso p de red, tal como se muestra en la Figura 5. La red H2 lineal está superpuesta sobre H1 en el plano x-y y está sobre la primera superficie de la guía 12 de ondas, opuesta a la red H2. Por lo tanto, las redes H1, H2 cruzadas están separadas por el espesor de la guía 12 de ondas en el eje z. Las ranuras de la red H2 están en el plano x-y, están orientadas a -30° con relación al eje x, y tienen un paso p de red, tal como se muestra en la Figura 6.
- 30 Puede definirse un vector de red para cada una de las redes H0, H1, H2. El vector de red está en el plano de las ranuras de la red y se extiende en una dirección que está en ángulo recto con relación a la dirección de las ranuras. La magnitud del vector viene dada por la expresión, $G = 2\pi/d$, donde d es el paso de la red (es decir, la distancia entre las ranuras adyacentes). La Figura 7 es una vista en planta de la guía 12 de ondas que muestra los vectores G0, G2, G3 de red, que corresponden a las redes H0, H1 y H2, respectivamente. Aunque se representan por separado, es evidente que los vectores G2 y G3 están realmente superpuestos entre sí. Todos los vectores G0/G2/G3 tienen una magnitud igual y están orientados a 60° uno respecto a otro. Tal como se muestra en la Figura 9, los vectores G0, G2, G3 forman un triángulo equilátero cuando se combinan de manera que no producen ningún vector resultante, o un vector resultante que tiene una magnitud pequeña.
- 35 La Figura 8 es un ejemplo de un diagrama de rayos que muestra una trayectoria óptica que puede tomarse a través de la guía 12 de ondas. En esta disposición, un rayo incidente desde un proyector ilumina la red H0 de entrada con luz policromática. El rayo incidente se proporciona desde debajo de la guía 12 de ondas y se extiende en una dirección que es ortogonal al plano de la guía 12 de ondas. La red H0 de entrada difracta el rayo incidente y el primer orden difractivo es
- 40
- 45

acoplado a la guía 12 de ondas. A continuación, la luz difractada se desplaza en el interior de la guía 12 de ondas por reflexión interna total. A continuación, la luz encuentra la red 10 cruzada e interactúa con las redes H1, H2 cruzadas simultáneamente.

5 La red H1 (con el vector G2) difracta la luz a un orden 0R y un primer orden 1R difractado. El primer orden 1R difractado está a -120° con relación al eje x y todavía está bajo reflexión interna total en la guía 12 de ondas. A continuación, el primer orden 1R difractado encuentra H2 (con el vector G3), que es la otra parte de la red 10 cruzada. En este punto, H2 difracta también la luz a un orden cero y un primer orden difractado. El orden cero continúa desplazándose en el interior de la guía 12 de ondas, y el primer orden difractado es acoplado desde la guía 12 de ondas a lo largo del eje z hacia un observador. El ángulo en el que la luz es emitida desde la guía 12 de ondas en este ejemplo es el mismo que el ángulo en el que la luz incide sobre la guía 12 de ondas desde el proyector.

10 La Figura 10 es otra vista del diagrama de rayos mostrado en la Figura 8. Es evidente, a partir de la Figura 10, que la luz incidente sobre la red cruzada puede ser difractada en una pluralidad de posiciones diferentes en el interior de la guía de ondas por la red H1. Esto es debido a que, en cada punto de interacción, la luz puede ser difractada al orden cero o al primer orden difractado. De esta manera, el rayo de entrada puede ser expandido en una primera dirección. La luz que es difractada al primer orden por la red H1 encuentra a continuación la red H2 donde es difractada al orden cero o al primer orden. Esto puede permitir que la luz de entrada sea expandida en una segunda dirección, que es ortogonal a las ranuras de H2. De esta manera, los órdenes de acoplamiento de salida pueden ser proporcionados a través de un área bidimensional por la red H2. Esto puede permitir que una expansión bidimensional y un acoplamiento de salida de la luz sean proporcionados juntos en un área física pequeña.

15 La Figura 11 es otro ejemplo de un diagrama de rayos que muestra una trayectoria óptica que puede tomarse a través de la guía 12 de ondas. En esta disposición, la luz desde la red H0 de entrada encuentra la red 10 cruzada e interactúa con la red H2 (con el vector G3). La red H2 difracta la luz al orden cero 0R y a un primer orden 1R difractado. El primer orden 1R difractado está a $+120^\circ$ con relación al eje x y todavía está bajo reflexión interna total en la guía 12 de ondas. El primer orden 1R difractado encuentra a continuación H1, que es la otra parte de la red 10 cruzada. En este punto, H1 acopla la luz hacia arriba desde la guía 12 de ondas y hacia un observador. El ángulo al que se emite la luz desde la guía 12 de ondas en este ejemplo es el mismo que el ángulo en el que incide la luz sobre la guía 12 de ondas.

20 La Figura 12 es otra vista del diagrama de rayos mostrado en la Figura 11. Puede apreciarse que esta disposición de redes puede expandir el rayo de entrada con el fin de llenar una pantalla bidimensional. Por supuesto, la luz sigue la trayectoria mostrada en la Figura 10 simultáneamente con la trayectoria mostrada en la Figura 12, lo que proporciona una expansión uniforme del rayo de entrada sobre un área bidimensional.

25 En este ejemplo, la luz ha encontrado tres redes de difracción con vectores G0, G2 y G3. La secuencia de difracción puede ser G0/G2/G3 o G0/G3/G2. Cada uno de estos vectores tiene la misma magnitud. Tal como se muestra en la Figura 9, si los vectores se suman entre sí, entonces se obtiene un diagrama vectorial en la forma de un triángulo equilátero, que tiene la misma posición inicial y final. La física de las redes de difracción dicta que esta disposición proporciona un rayo de salida con las mismas propiedades angulares y cromáticas que el rayo de entrada.

30 La Figura 13 es un diagrama que muestra la luz siendo difractada en la red H0 de entrada. En esta situación, se proporciona un rayo de entrada con un ángulo θ_{in} de incidencia con relación al eje z y un ángulo ϕ_{in} de incidencia con relación al eje x. A continuación, este rayo de entrada es difractado por la red H0 de entrada y es capturado por la guía 12 de ondas.

35 La Figura 14 es un diagrama que muestra la luz siendo difractada en la red de salida. En este ejemplo, la red de salida podría ser H1 o H2, dependiendo de la trayectoria tomada por la luz a través de la guía 12 de ondas. Tal como puede verse, la luz es recibida en la red de salida desde la reflexión interna total en el interior de la guía 12 de ondas, y es emitida a un ángulo θ_{out} de incidencia con relación al eje z y ϕ_{out} con relación al eje x, donde $\theta_{out} = \theta_{in}$ y $\phi_{in} = \phi_{out}$. Estas relaciones se aplican independientemente de la longitud de onda, lo que significa que no hay desplazamiento angular o cromático en una pantalla a color.

40 La Figura 15A es una vista lateral de la guía 12 de ondas, intercalada entre dos placas 14, 16 de vidrio. En esta disposición, las redes 17 se proporcionan sobre las superficies de las placas 14, 16 de vidrio y la guía 12 de ondas es ensamblada a estas placas 14, 16 con una capa delgada de cemento óptico. De esta manera, las redes 17 se proporcionan sobre las superficies internas de las placas 14, 16 de vidrio. La Figura 15B es una vista lateral de la guía 12 de ondas en una configuración alternativa en la que las redes 17 están provistas directamente sobre sus superficies. De esta manera, las redes 17 pueden ser proporcionadas sobre las superficies externas de la guía 12 de ondas.

45 En otra realización, la red 10 cruzada puede ser reemplazada por un cristal fotónico. Un cristal fotónico es un material en el que un índice de refracción variable produce un patrón regular. En este ejemplo, el cristal fotónico tiene la forma de una red triangular. Un cristal fotónico bidimensional tiene nanoestructuras periódicas en direcciones ortogonales. En este ejemplo, el cristal fotónico tiene la forma de una red triangular equilátera. La Figura 16 es una vista superior de un

cristal 19 fotónico que tiene pilares 20 circulares que tienen un índice de refracción aumentado con relación a la guía 12 de ondas. Los pilares 20 están dispuestos en un patrón regular y todos están provistos en el mismo plano x-y. La Figura 17 muestra tres de los pilares 20 circulares. Los pilares están separados por una distancia e, que corresponde a una distancia p a lo largo del eje x o del eje y.

5 La disposición regular de los pilares crea un número de redes de difracción o elementos ópticos difractivos efectivos. En particular, es posible definir una red H1 con pilares 20 alineados a lo largo del eje y con filas adyacentes de pilares 20 separadas por una distancia p. La red H2 está dispuesta con las filas 20 de pilares en un ángulo de +30° con relación al eje x, con filas adyacentes separadas por una distancia p. Finalmente, la red H3 está dispuesta con filas 20 de pilares en un ángulo de -30° con relación al eje x, con filas adyacentes separadas por una distancia p. Cabe señalar que las redes
10 H1 y H2 tienen las mismas propiedades que las redes correspondientes en la realización de red cruzada mostrada en la Figura 3.

Cuando la luz desde la red H0 de entrada incide sobre el cristal 19 fotónico, experimenta múltiples difracciones simultáneas por los diversos elementos ópticos difractivos. La Figura 18 es un diagrama que muestra las trayectorias ópticas que pueden tomarse a través del cristal fotónico. La luz es recibida en el cristal fotónico en el punto A, donde puede experimentar simultáneamente difracción en cuatro órdenes. Primero, la luz es difractada a un orden cero a0, que es una continuación de la propagación de la luz incidente. El orden cero puede continuar experimentando interacciones adicionales con el cristal fotónico en los puntos B y C. En segundo lugar, la luz es difractada a un primer orden de difracción ae por la red H1. Este rayo de luz ae es acoplado fuera de la guía 12 de ondas en una dirección positiva a lo largo del eje z, hacia un observador. La orientación de la ranura y el paso de la red H1 son iguales a los de la red H0. De esta manera, los efectos de dispersión angular y cromática de la difracción se cancelan debido a los efectos conjugados de las redes H0 y H1. De esta manera, el rayo ae de luz es proporcionado con las mismas propiedades angulares y cromáticas que la luz que incide sobre H0 desde el proyector. En tercer lugar, la luz es difractada a un primer orden a1 difractado por el componente de red H2. El rayo a1 es difractado a +60° con relación al eje x, y este rayo de luz continúa para interactuar adicionalmente con el cristal fotónico en el punto D. El rayo a1 difractado es efectivamente el mismo que la luz difractada por la red H2 cruzada, tal como se explica con referencia a la Figura 12. En cuarto lugar, la luz es difractada a un primer orden a2 difractado por el componente de red H1. Este rayo de luz puede interactuar con la red H2 en el punto F. En cada punto en el cristal fotónico, la luz puede realizar estas cuatro interacciones difractivas separadas. De esta manera, la luz puede ser acoplada desde la guía de ondas en cada punto, y aun así la luz puede continuar expandiéndose en el interior de la guía 12 de ondas en dos dimensiones. La simetría del cristal fotónico significa que cada rayo de salida tiene las mismas propiedades angulares y cromáticas que el rayo de entrada, lo que significa que puede usarse una fuente de luz policromática (así como una fuente monocromática) como el rayo de entrada con esta disposición de cristal fotónico.

El número de trayectorias ópticas descritas ha sido limitado en aras de la brevedad. Sin embargo, será evidente para un lector con conocimientos que serían posibles un gran número de trayectorias ópticas, todas las cuales producirían órdenes de acoplamiento de salida que permiten la creación de una imagen de realidad aumentada. Además, la forma de la estructura circular usada en este ejemplo de la implementación del cristal fotónico tiene solo propósitos ilustrativos: las personas con conocimientos en la técnica comprenderán que existen un gran número de formas de estructura adecuadas.

El cristal fotónico puede permitir una expansión simultánea y rápida de la luz en dos dimensiones de manera que la luz de entrada pueda llenar una pantalla de visualización bidimensional. Esto puede permitir una pantalla ultra-compacta, ya que el tamaño de la guía de ondas puede mantenerse en un mínimo debido a la expansión bidimensional del rayo.

La Figura 19 muestra un par de gafas 40. Los oculares 44 son guías de onda que incluyen redes cruzadas o cristales fotónicos frente a los ojos de un usuario. En este ejemplo, la red 42 de entrada está provista en el puente de las gafas 40. De esta manera, la luz puede ser proyectada sobre la red de entrada y puede ser dirigida hacia los oculares 44. Las redes cruzadas o cristales fotónicos están en el interior de los oculares y expanden la luz en dos dimensiones y pueden acoplarla desde la guía de ondas hacia los ojos del usuario.

La Figura 20 muestra otro ejemplo en el que se proporciona una pantalla 50 de visualización frontal frente a un usuario. Las redes cruzadas o el cristal fotónico se proporcionan en una guía 52 de ondas en la pantalla de visualización frontal. Se proporciona una red 54 de entrada en la parte superior de la pantalla y las redes cruzadas o el cristal fotónico en la guía 52 de ondas permiten una expansión bidimensional rápida de la imagen y un acoplamiento hacia fuera de la luz hacia un observador.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo óptico para expandir una luz de entrada en dos dimensiones en una pantalla de realidad aumentada, que comprende:
- una guía (12) de ondas;
- 5 un elemento óptico difractivo de entrada configurado para acoplar luz de entrada a la guía de ondas; y
- dos elementos (17; H1; H2) ópticos difractivos superpuestos completamente uno sobre el otro en o sobre la guía de ondas, en el que cada uno de los dos elementos ópticos difractivos está configurado para recibir luz desde el elemento óptico difractivo de entrada y acoplarla hacia el otro elemento óptico difractivo que, a continuación, puede actuar como un elemento óptico difractivo de salida que proporciona órdenes de
- 10 acoplamiento hacia fuera hacia un espectador.
2. Dispositivo óptico según la reivindicación 1, en el que cada elemento (17; H0; H1; H2) óptico difractivo comprende ranuras y un vector de red en el plano de las ranuras, que tiene una dirección que es normal a las ranuras y una magnitud que está relacionada inversamente con el paso de las ranuras, en el que los elementos ópticos difractivos de entrada y de salida respectivamente tienen vectores de red con una magnitud
- 15 sustancialmente igual.
3. Dispositivo óptico según la reivindicación 2, en el que una combinación de los vectores (G0; G2; G3) de red respectivos del elemento (17; H0) óptico difractivo de entrada y los dos elementos (17; H1; H2) ópticos difractivos es un vector resultante con una magnitud sustancialmente nula.
4. Dispositivo óptico según la reivindicación 3, en el que los vectores de red de los dos elementos (G2; G3) ópticos difractivos subtienden ángulos iguales y opuestos al vector de red del elemento (G0) óptico difractivo de entrada.
- 20 5. Dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que los vectores de red del elemento (G0) óptico difractivo de entrada y los dos elementos (G2; G3) ópticos difractivos tienen sustancialmente la misma magnitud.
6. Dispositivo óptico según la reivindicación 5, en el que los vectores de red del elemento (G0) óptico difractivo de entrada y los dos elementos (G2; G3) difractivos ópticos pueden ser combinados en un triángulo que es sustancialmente equilátero.
- 25 7. Dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la red (17; H0) de entrada está separada de los dos elementos (17; H1; H2) ópticos difractivos.
8. Dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un proyector configurado para proyectar luz hacia el elemento (17; 42; 54) óptico difractivo de entrada.
- 30 9. Dispositivo óptico según la reivindicación 8, en el que la luz proyectada es proporcionada en un primer ángulo con relación al elemento (17; 42; 54) óptico difractivo de entrada y en el que la luz acoplada desde la guía (12) de ondas por el elemento óptico difractivo de salida es proporcionada también en el primer ángulo.
10. Dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los dos elementos (17) ópticos difractivos superpuestos se proporcionan en o sobre la guía de ondas en planos diferentes.
- 35 11. Dispositivo óptico según la reivindicación 10, en el que los elementos (17) ópticos difractivos están provistos sobre superficies opuestas de la guía (12) de ondas.
12. Dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que al menos dos elementos (17) ópticos difractivos están provistos en sustancialmente el mismo plano en la guía (12) de ondas.
- 40 13. Dispositivo óptico según la reivindicación 12, en el que se proporcionan al menos dos elementos ópticos difractivos en un cristal (19) fotónico.

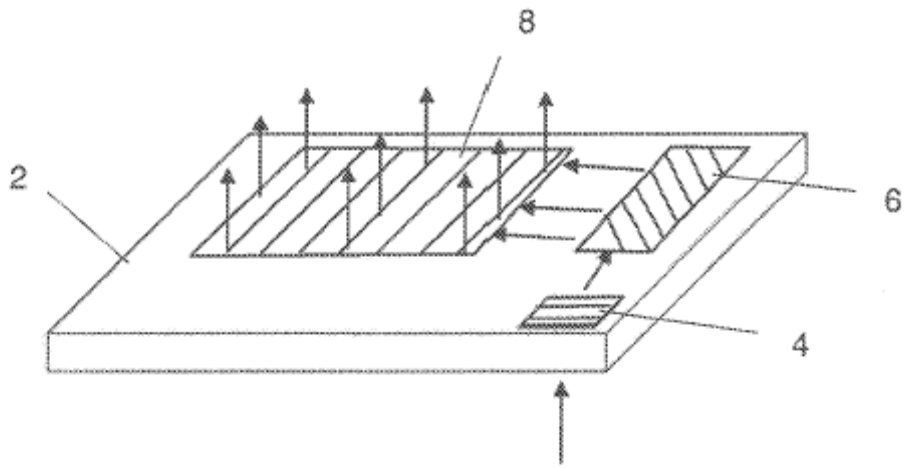


FIG.1

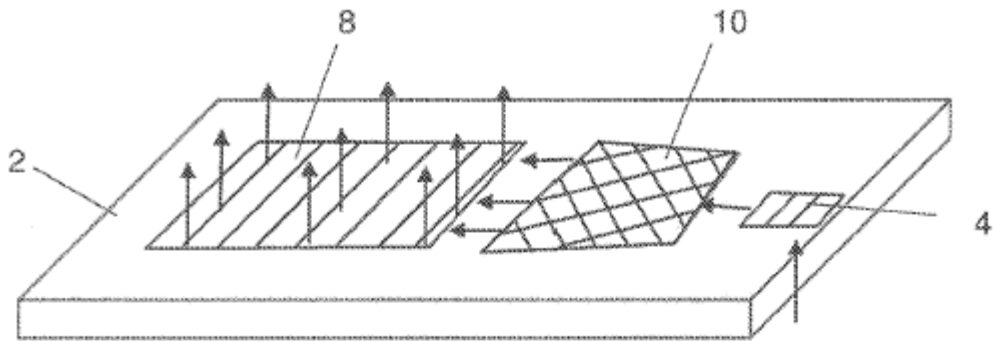


FIG.2

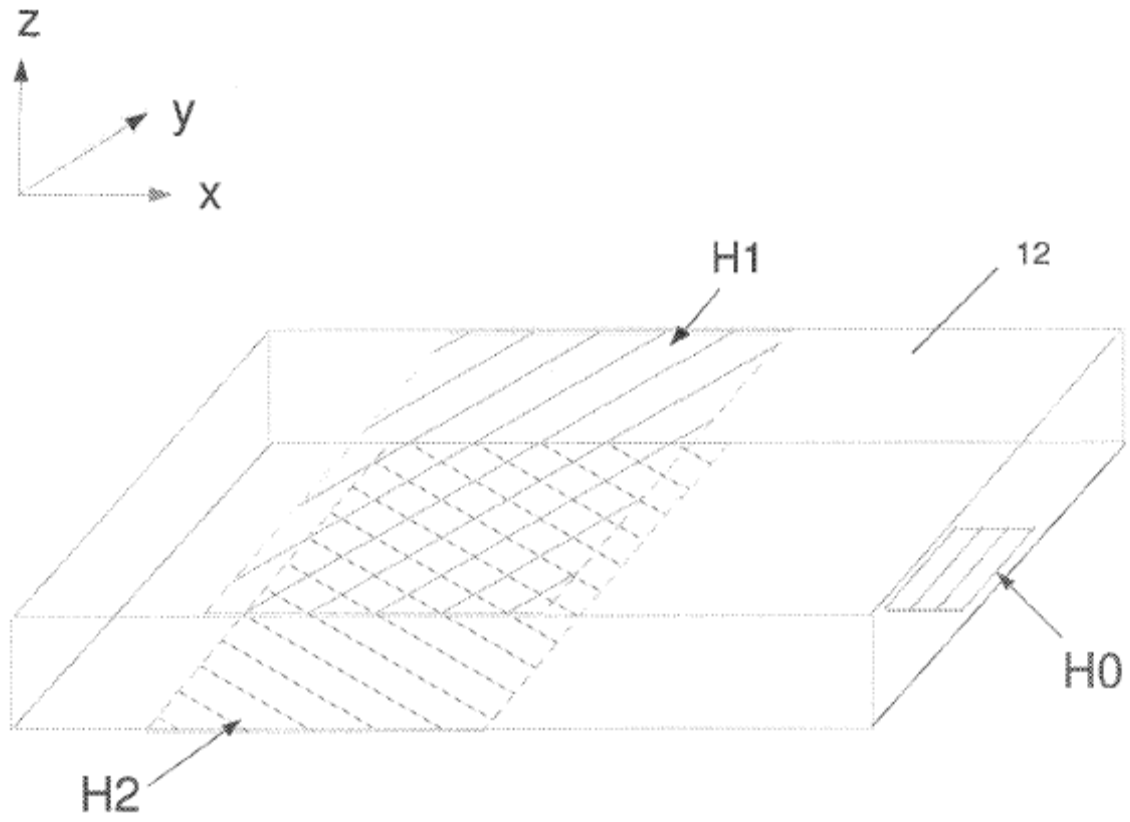


FIG.3

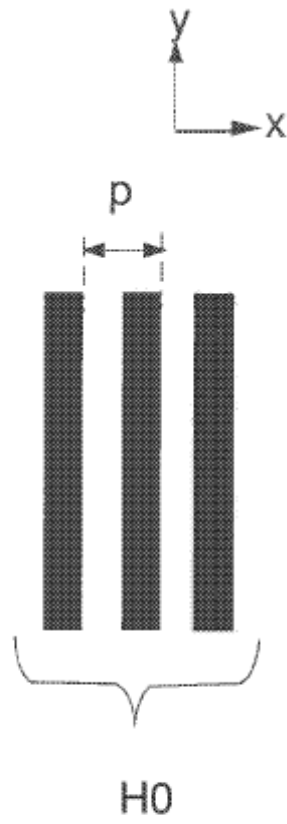


FIG.4

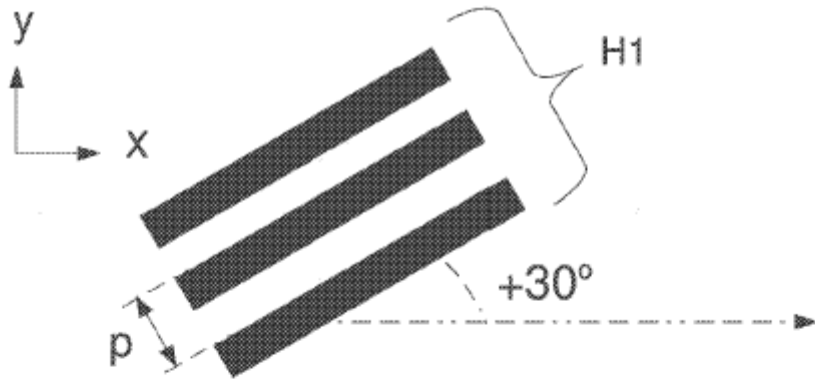


FIG.5

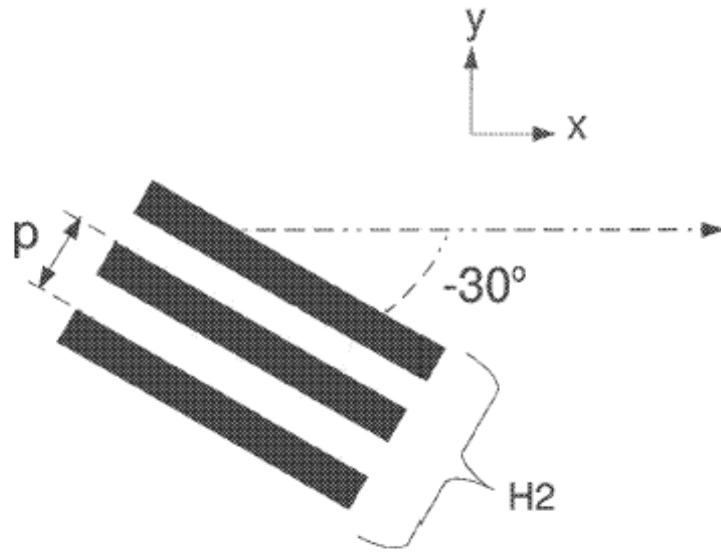


FIG.6

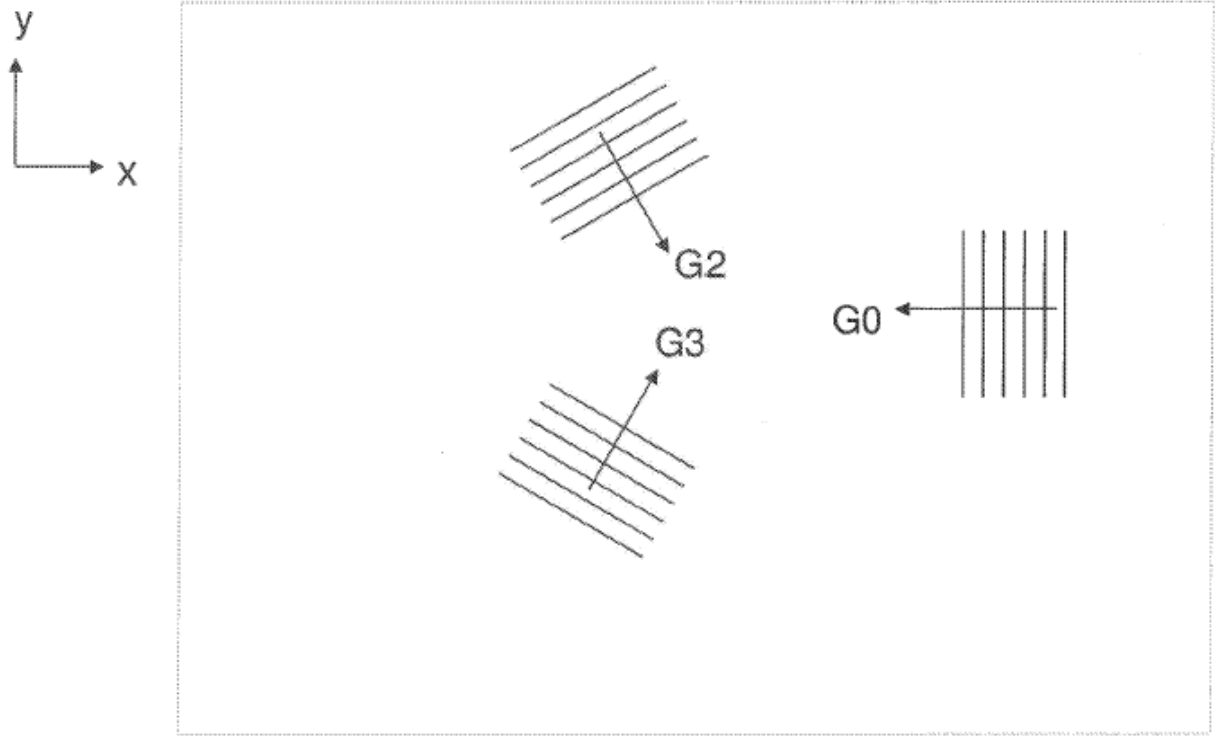


FIG.7

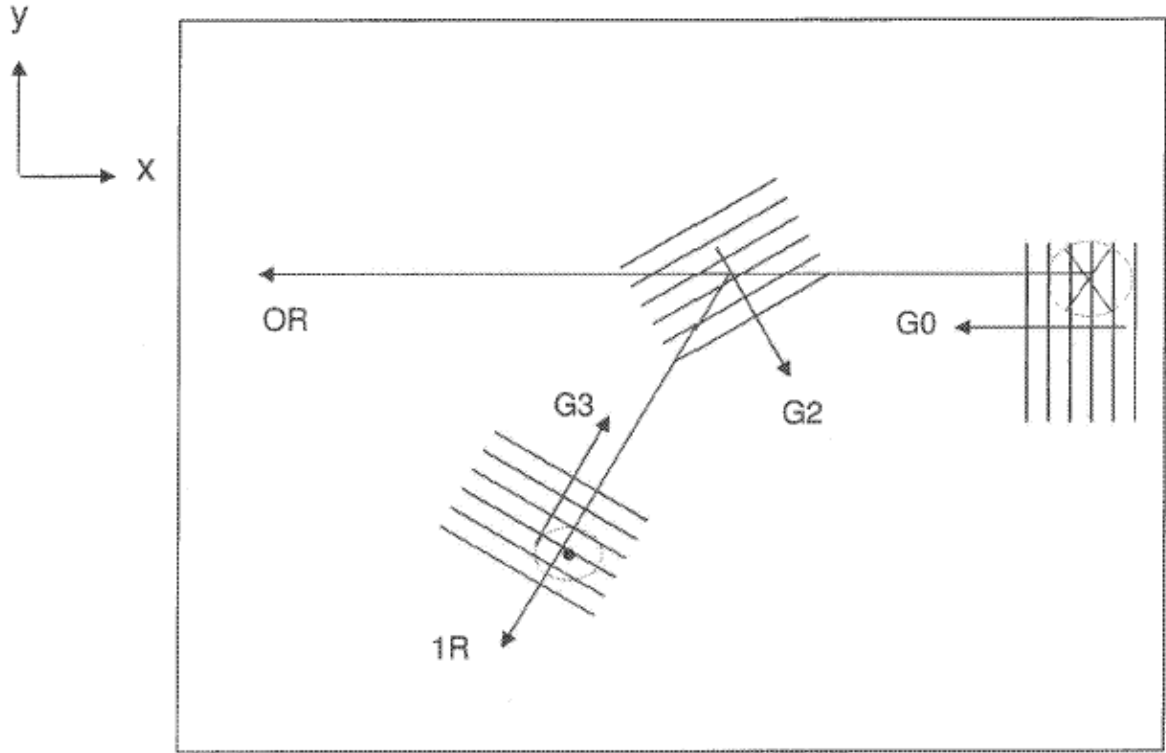


FIG.8

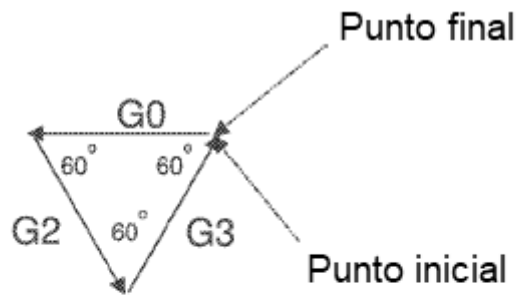


FIG.9

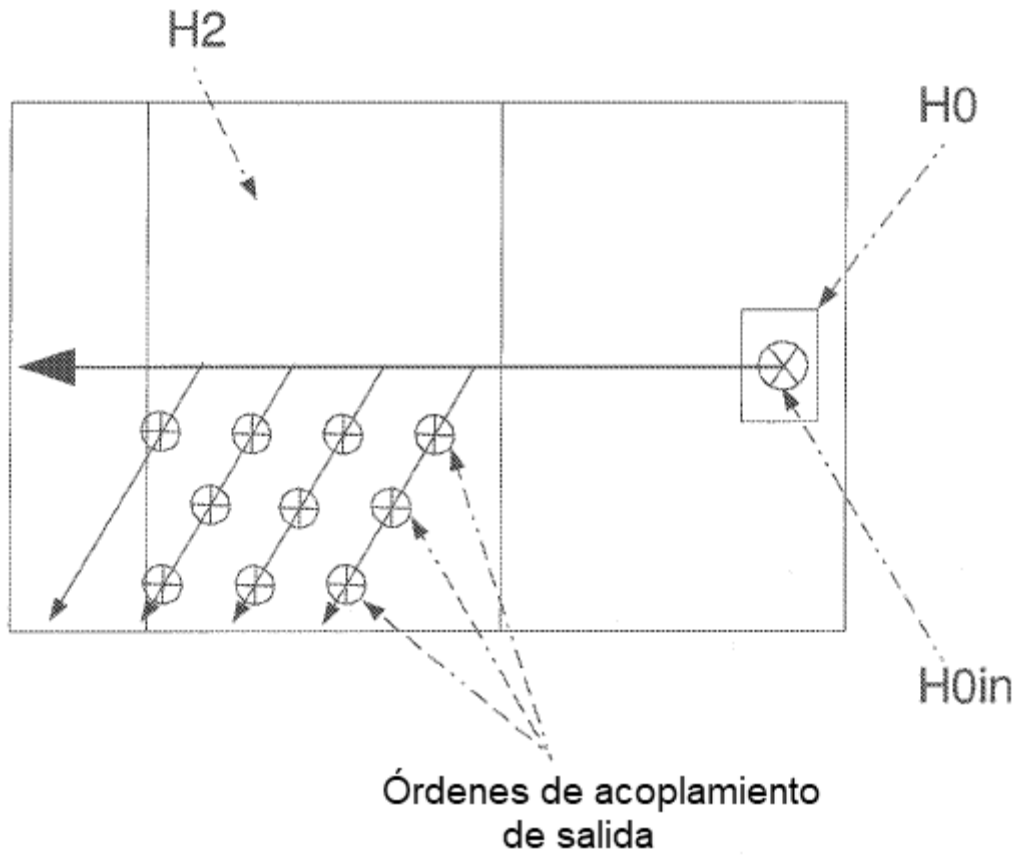


FIG.10

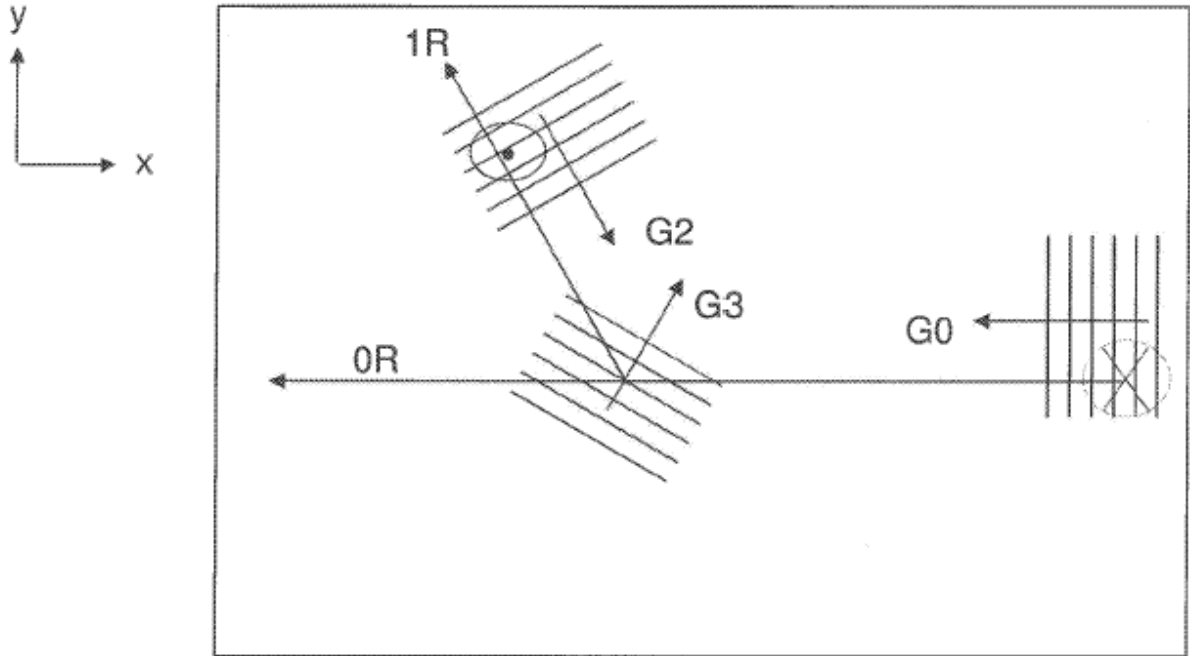


FIG.11

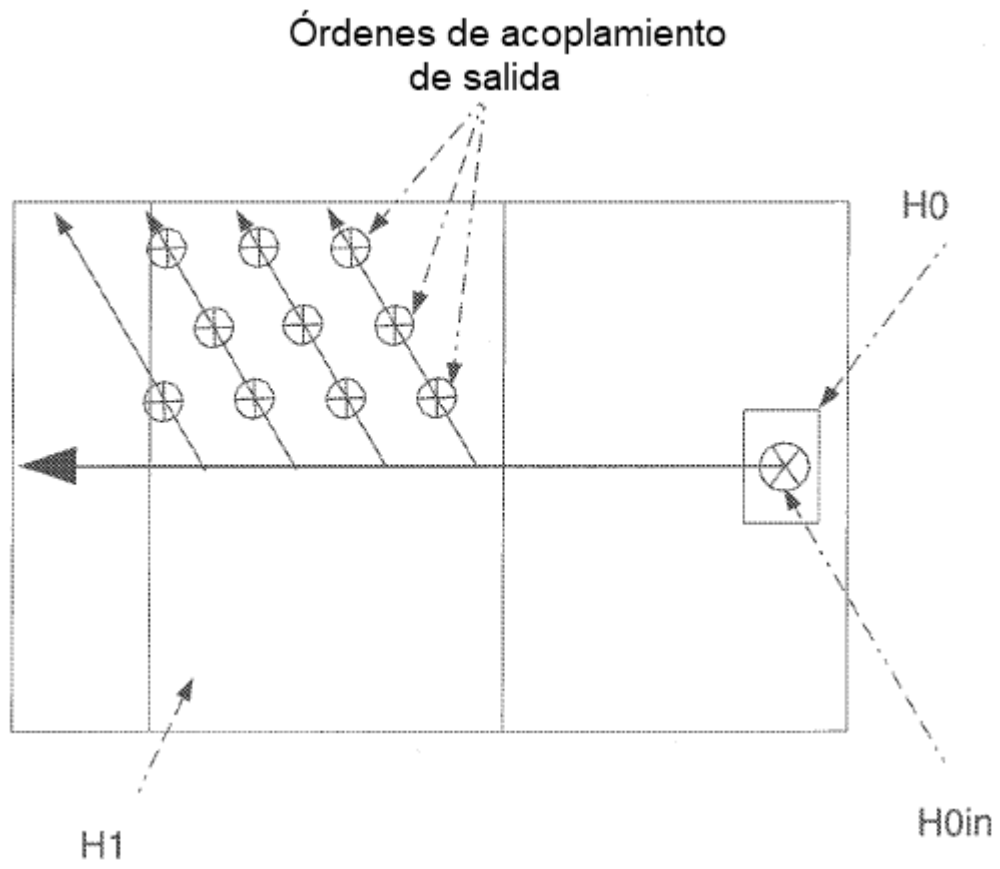


FIG.12

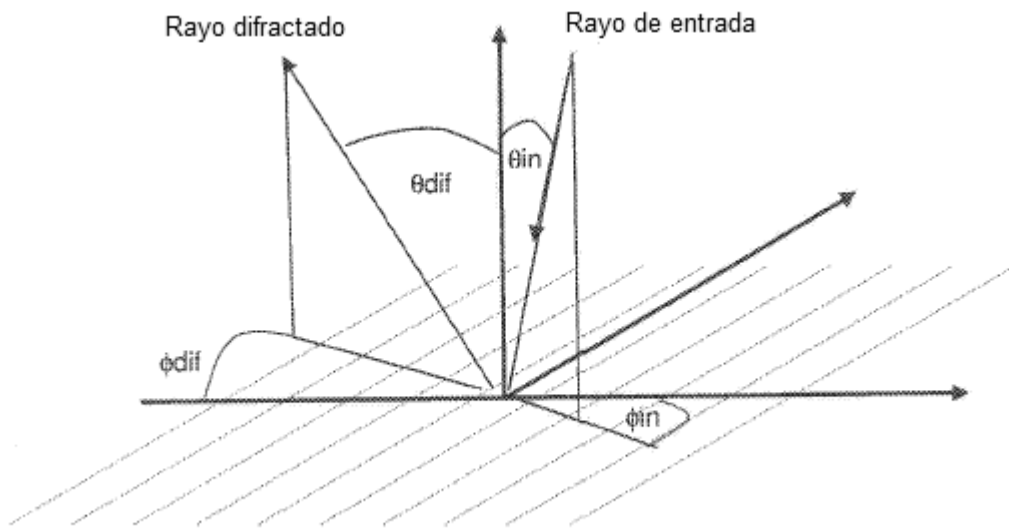


FIG.13

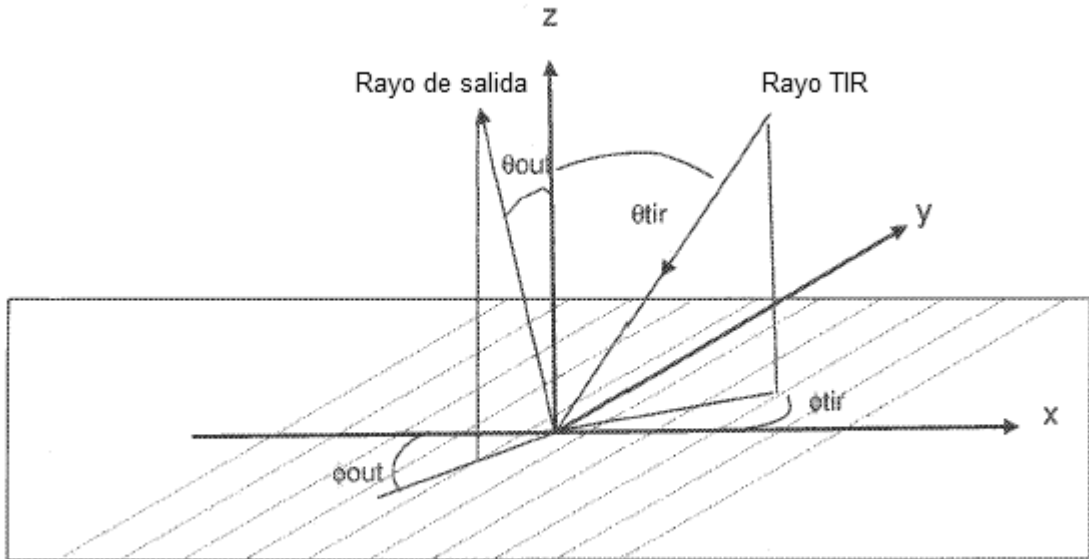


FIG.14

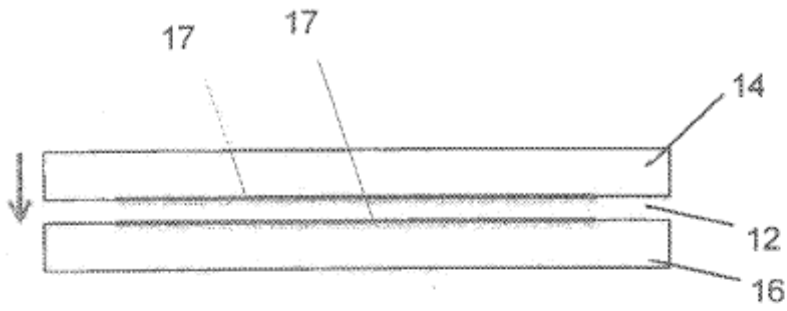


FIG. 15A

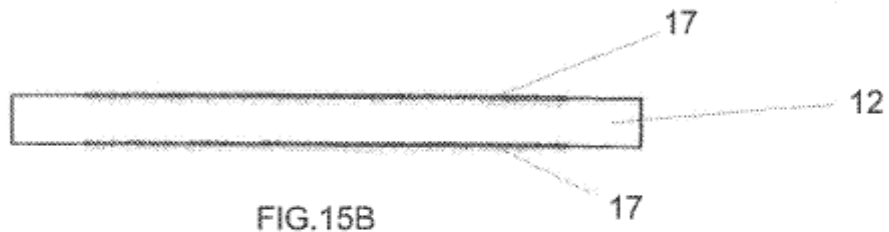


FIG. 15B

FIG. 15 A & B

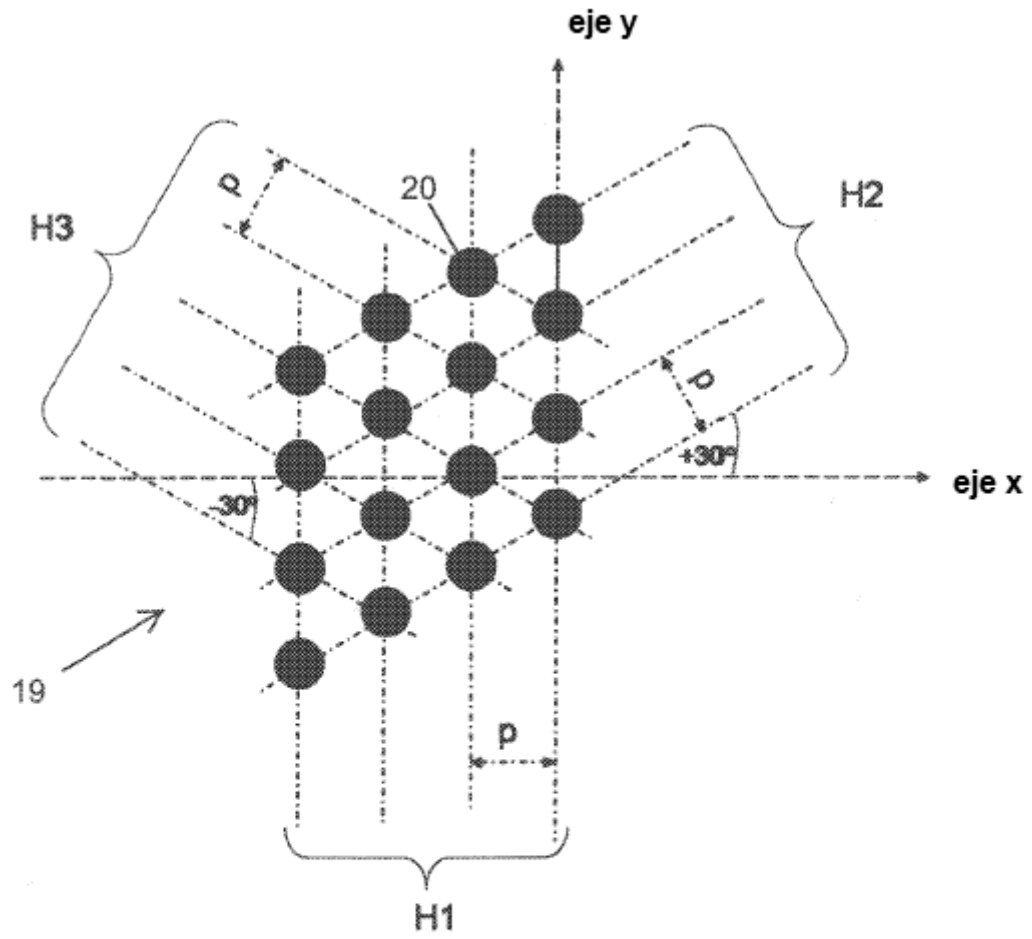


FIG. 16

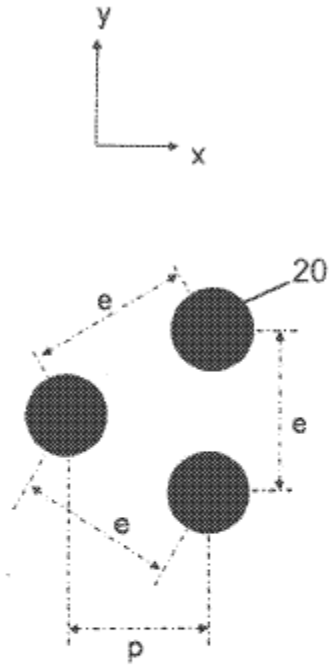
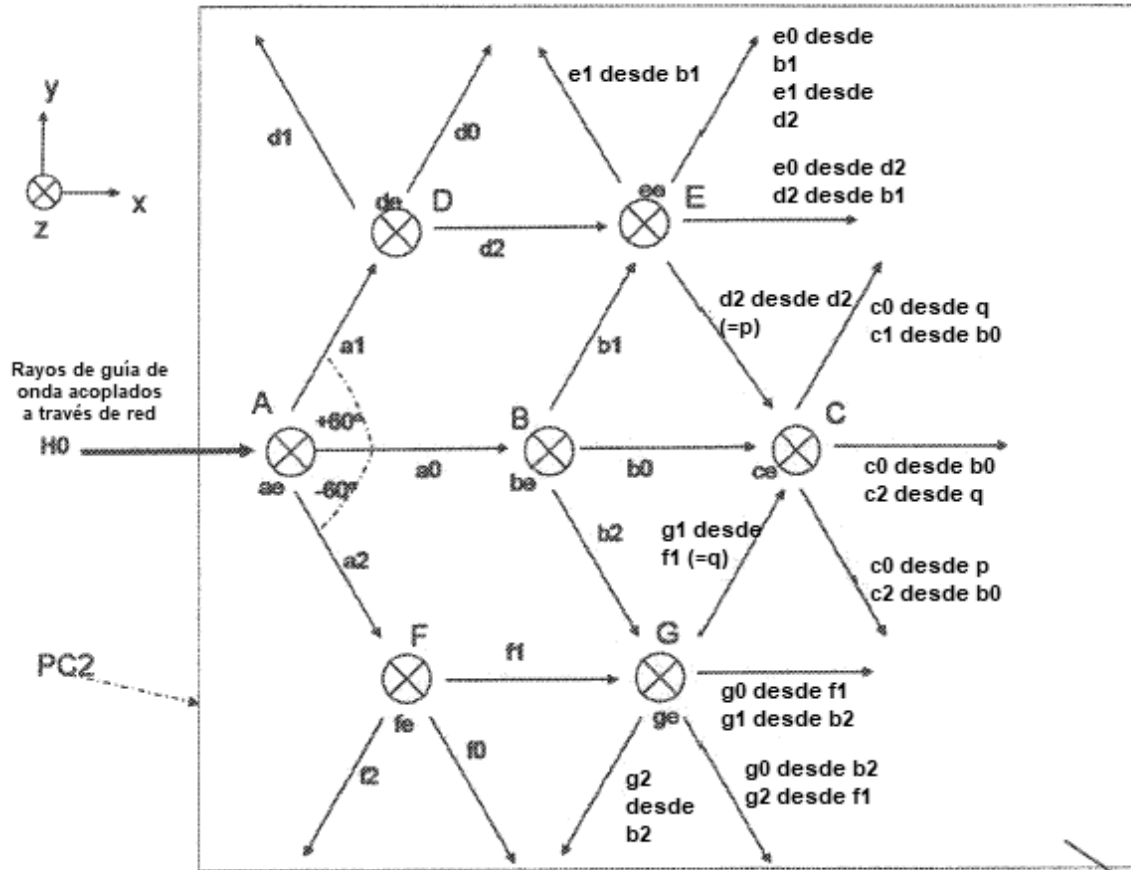


FIG. 17



12

FIG. 18

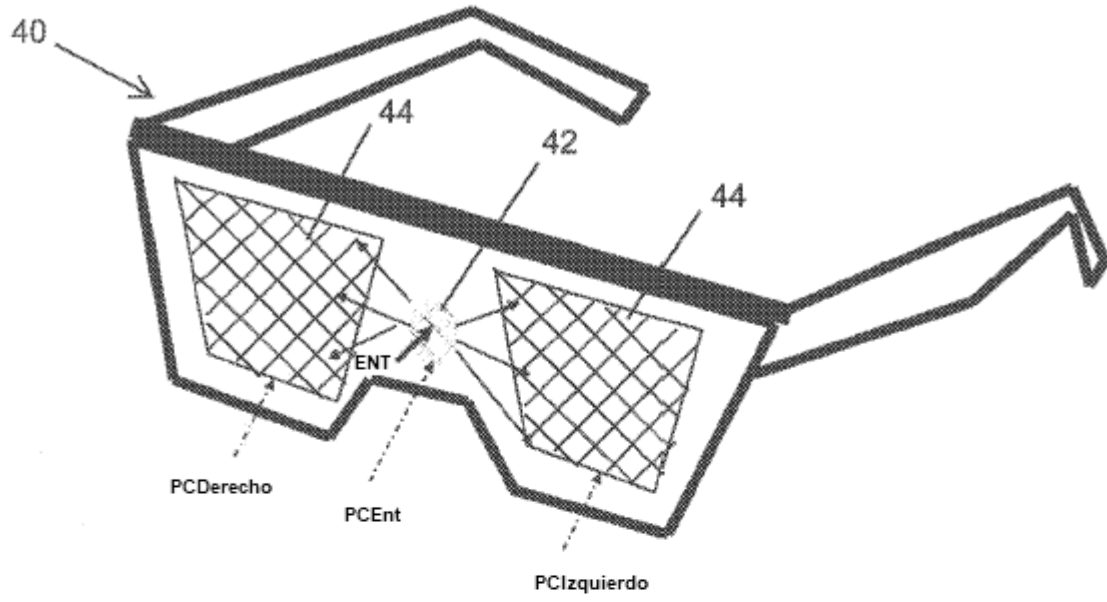


FIG. 19

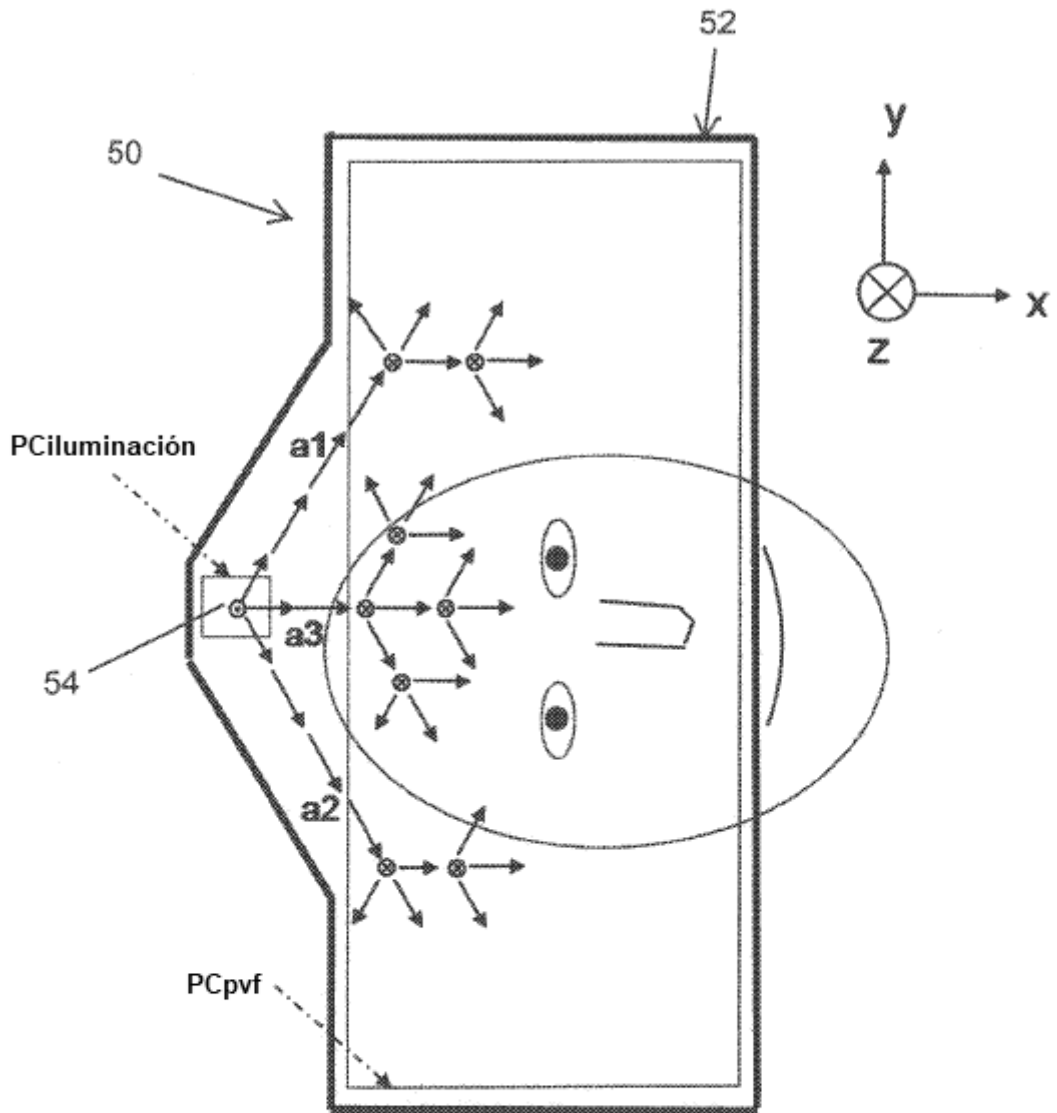


FIG.20