

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 771**

51 Int. Cl.:

F21V 8/00 (2006.01)

G02B 27/01 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2020** **PCT/EP2020/052484**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2020** **WO20157308**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2020** **E 20703424 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2024** **EP 3918249**

54 Título: **Guía de ondas funcionalizada para un sistema detector**

30 Prioridad:

01.02.2019 DE 102019102605

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

18.11.2024

73 Titular/es:

CARL ZEISS JENA GMBH (100.0%)
Carl-Zeiss-Promenade 10
07745 Jena, DE

72 Inventor/es:

KLEINDIENST, ROMAN;
VOJTISEK, PETR;
ERLER, CHRISTOPH;
JUNGHANS, MARC;
THOMAE, DANIEL;
RIETHMÜLLER, MIRKO;
BURKHARDT, MATTHIAS;
GATTO, ALEXANDRE y
LÜTZ, ANDREAS

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 987 771 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

Guía de ondas funcionalizada para un sistema detector

- 5 La presente invención se refiere a una guía de ondas funcionalizada para un sistema detector con las características del preámbulo de la reivindicación 1.

El documento US 2016/139402 A1 describe una guía de ondas funcionalizada del tipo mencionado al principio. Los documentos US 2018/275350 A1, WO 2013/033274 A1 y DE 10 2010 041 349 A1 describen en cada caso una guía de ondas funcionalizada.

Las superficies transparentes de vidrio o plástico, como las ventanas o los parabrisas de los coches, presentan un cuerpo de base transparente y, por regla general, únicamente se utilizan para proteger a las personas o los objetos de influencias ambientales como el viento, la temperatura, las partículas o la radiación.

15 Existe un interés creciente en proporcionar un cuerpo base transparente que proporcione una funcionalidad óptica adicional.

Por lo tanto, el objetivo de la invención es proporcionar un cuerpo base transparente con funcionalidad óptica adicional.

20 La invención se define en las reivindicaciones independientes. Diseños ventajosos se indican en las reivindicaciones dependientes.

En la guía de ondas funcionalizada de acuerdo con la invención, en el cuerpo base transparente está prevista o configurada una zona de acoplamiento parcialmente transparente y una zona de desacoplamiento separada de la misma en una primera dirección. La zona de acoplamiento parcialmente transparente puede presentar una estructura de difracción que mantenga la transparencia de la zona de acoplamiento en un amplio intervalo de ángulos y longitudes de onda durante la visualización normal. Esto significa que sólo una parte de la radiación que incide en la cara anterior del cuerpo base transparente puede desviarse mediante la zona de acoplamiento transparente, de modo que la parte desviada se propaga como radiación acoplada en el cuerpo base por reflexión hasta la zona de desacoplamiento y llega a la zona de desacoplamiento.

La transparencia de la zona de acoplamiento depende a este respecto de la eficiencia del acoplamiento de radiación. A medida que aumenta la eficiencia de acoplamiento, también disminuye la transparencia en la zona de acoplamiento de la guía de ondas funcionalizada. Para maximizar la transparencia, el acoplamiento de la radiación a través de la estructura de difracción (en particular, el al menos un holograma de volumen), por ejemplo, puede ser lo suficientemente eficaz como para garantizar que llegue suficiente potencia de radiación a la zona de desacoplamiento. La zona de acoplamiento parcialmente transparente puede estar configurada de modo que la eficiencia de acoplamiento sea, por ejemplo, del 2 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 % o 50 %. En particular, la eficiencia de acoplamiento puede situarse en el intervalo del 2 % y el 50 %, de modo que la transparencia de la zona de acoplamiento esté situada en el intervalo del 50 % y el 98 %. La(s) zona(es) de acoplamiento de los ejemplos de realización adicionales también pueden presentar tales eficiencias de acoplamiento o tales propiedades transmisivas.

45 La zona de acoplamiento transparente está configurada preferentemente de forma que la desviación de la parte desviada de la radiación que incide en la cara anterior del cuerpo base transparente se produzca como una desviación pura, libre de una función óptica de formación de imágenes (por ejemplo, libre de un efecto de enfoque).

En particular, las reflexiones pueden ser reflexiones internas totales en la cara anterior y/o posterior del cuerpo base transparente. Sin embargo, también es posible que estén previstas capas o revestimientos reflectantes o capas o revestimientos parcialmente reflectantes para este fin.

Las caras anterior y posterior del cuerpo parcialmente transparente pueden estar configuradas como superficies planas. Por ejemplo, el cuerpo base parcialmente transparente puede estar configurado como una placa plana paralela.

Sin embargo, también es posible que la cara anterior y/o la cara posterior estén configuradas curvas.

60 El cuerpo base parcialmente transparente puede ser de vidrio y/o plástico. Puede ser de una sola pieza o presentar una estructura multicapa.

En particular, el cuerpo base transparente puede ser transparente para la radiación o la luz desde el intervalo de longitudes de onda visibles. Además, puede haber una transparencia para el infrarrojo cercano y/o el intervalo infrarrojo.

65 La zona de desacoplamiento del cuerpo base transparente puede desviar al menos una porción de la radiación

acoplada que incide sobre ella de manera que la porción desviada salga del cuerpo base. Esto se hace preferentemente a través de la cara anterior o posterior del cuerpo base transparente.

La zona de desacoplamiento puede estar configurada parcialmente transparente. En particular, la eficiencia de desacoplamiento de la zona de desacoplamiento puede ser, por ejemplo, del 2 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 % o 50 %. En particular, la eficiencia de desacoplamiento de la zona de desacoplamiento puede situarse en el intervalo del 2 % y el 50 %, de modo que la transparencia de la zona de desacoplamiento esté situada en el intervalo del 50 % y el 98 %. La(s) zona(es) de desacoplamiento de los otros ejemplos de realización también pueden presentar tales eficiencias de desacoplamiento o tales propiedades transmisivas.

La configuración parcialmente transparente es ventajosa, por ejemplo, si la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento están configuradas como estructuras de difracción (por ejemplo, como hologramas de volumen). En este caso, la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento pueden estar configuradas en una sola lámina, por ejemplo, lo que resulta ventajoso desde el punto de vista de la fabricación.

Sin embargo, también es posible que la zona de desacoplamiento presente una eficiencia de desacoplamiento máxima. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante la vaporización de aluminio (preferentemente completa)

La zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento pueden estar configuradas de manera que no tengan una función de formación de imágenes óptica además de la desviación. Sin embargo, también es posible que la zona de acoplamiento y/o la zona de desacoplamiento proporcionen una función de formación de imágenes óptica adicionalmente a la desviación y produzcan así una formación de imágenes óptica. Por ejemplo, la función de formación de imágenes óptica puede realizar la función de una lente convergente o divergente, un espejo cóncavo o convexo, en donde las superficies curvadas (centradas o descentradas) pueden ser superficies esféricamente curvadas o asféricamente curvadas.

La estructura de difracción de la zona de acoplamiento puede realizarse como una estructura de difracción enterrada, como una estructura de difracción entre dos sustratos o como una estructura de difracción configurada en la cara anterior o posterior.

Además, la zona de desacoplamiento puede presentar una estructura de difracción. La estructura de difracción de la zona de desacoplamiento puede estar configurada como una estructura de difracción enterrada o como una estructura de difracción en la cara anterior o posterior.

Puede estar previsto un holograma de volumen reflectante o transmisivo como estructura de difracción de la zona de acoplamiento o de la zona de desacoplamiento. También es posible que la estructura de difracción de la zona de desacoplamiento o de acoplamiento sea una rejilla en relieve transmisiva o reflectante.

La zona de desacoplamiento puede comprender además un área de espejo, un prisma y/o una estructura de Fresnel reflectante o transmisiva. Estas variantes pueden estar previstas como alternativa a la estructura de difracción o adicionalmente a la estructura de difracción de la zona de desacoplamiento.

Además, se proporciona un sistema detector con una guía de ondas funcionalizada de acuerdo con la invención (incluyendo todos los perfeccionamientos). El sistema detector, también denominado en lo sucesivo sistema de detección, puede presentar un detector sobre el que incide la parte de la radiación desviada por la zona de desacoplamiento. El detector puede conectarse a la cara anterior o posterior del cuerpo base. En particular, puede haber una conexión directa. El detector puede ser un sensor de imagen digital (por ejemplo, un sensor CCD o un sensor CMOS), un conjunto de detectores o, por ejemplo, una célula solar.

Además, el sistema detector puede estar configurado de forma que al menos un elemento óptico de formación de imágenes esté dispuesto en la zona entre el detector y la cara anterior o posterior. El al menos un elemento óptico de formación de imágenes puede estar configurado, por ejemplo, como un objetivo, un objetivo refractivo o un objetivo de cámara refractivo. También es posible que la zona entre el detector y la cara anterior o posterior esté libre de elementos de formación de imágenes ópticos. En otras palabras, la radiación desacoplada de la zona de desacoplamiento incide en el detector sin haber pasado por otros elementos de formación de imágenes ópticos. En este caso, es ventajoso que la zona de desacoplamiento presente una propiedad de formación de imágenes óptica adicionalmente a la desviación.

La guía de ondas funcionalizada puede estar configurada de manera que realice una formación de imágenes infinita-infinita. Sin embargo, también es posible que realice una formación de imágenes finita-infinita, una formación de imágenes infinita-finita o una formación de imágenes finita-finita.

Por supuesto, el sistema detector también puede estar configurado de forma que al menos un elemento óptico de formación de imágenes esté dispuesto entre el detector y la cara anterior o trasera. El al menos un elemento óptico de formación de imágenes se utiliza en particular para guiar la parte de la radiación desviada por la zona de desacoplamiento y puede, por ejemplo, estar configurado como una lente. El al menos un elemento óptico de formación

de imágenes puede estar configurado, por ejemplo, como un objetivo, un objetivo refractivo o un objetivo de cámara refractivo.

En la guía de ondas funcionalizada, la extensión de la zona de acoplamiento en una segunda dirección transversal a la primera dirección puede ser mayor que la extensión de la zona de desacoplamiento en la segunda dirección. Por extensión (o, por ejemplo, anchura) de la zona de acoplamiento se entiende en este caso, en particular, la extensión efectivamente utilizada o la extensión ópticamente utilizada de acuerdo con lo previsto. Se trata, por ejemplo, de la extensión de la sección de la zona de acoplamiento desde la que la radiación desviada incide en el sistema detector. Por extensión (o, por ejemplo, anchura) de la zona de desacoplamiento se entiende en este caso, en particular, la extensión efectivamente utilizada o la extensión ópticamente utilizada de acuerdo con lo previsto. Se trata, por ejemplo, de la extensión de la sección de la zona de desacoplamiento desde la que la radiación desviada incide en el sistema detector.

Además, la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento pueden disponerse centradas entre sí en la segunda dirección.

Sin embargo, también es posible que la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento estén dispuestas descentradas entre sí en la segunda dirección.

Pueden estar previstas varias zonas de desacoplamiento dispuestas una junto a otra en la segunda dirección. Al menos una de las zonas de desacoplamiento puede presentar adicionalmente la función de deflexión transversal a la primera dirección.

Puede realizarse un ajuste del campo de visión (en lo sucesivo denominado "*Field of View*" o "FoV") de la guía de ondas funcionalizada al FoV del detector (o del detector con el al menos un elemento óptico de formación de imágenes, p. ej. un objetivo). En particular, esto puede lograrse ajustando la distancia entre la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento a lo largo de la primera dirección y la extensión de la zona de acoplamiento transversal a la primera dirección y la extensión de la zona de desacoplamiento transversal a la primera dirección. El FoV del detector (o del detector con al menos un elemento óptico de formación de imágenes) puede adaptarse al FoV de la guía de ondas funcionalizada adaptando la distancia focal del objetivo y/o el tamaño del detector. Preferentemente, el FoV de la guía de ondas funcionalizada corresponde al FoV del detector (o del detector con el al menos un elemento óptico de formación de imágenes). Esto puede lograrse ajustando específicamente el FoV de la guía de ondas funcionalizada y/o ajustando específicamente el FoV del detector (o del detector con el al menos un elemento óptico de formación de imágenes).

Se proporciona además una guía de ondas funcionalizada para un sistema de iluminación y/o proyección, presentando la guía de ondas un cuerpo base transparente con una cara anterior y una cara posterior. En principio, el cuerpo base transparente puede estar configurado y perfeccionado del mismo modo que el cuerpo base transparente de la guía de ondas funcionalizada para el sistema detector.

Así, el cuerpo base puede presentar una zona de acoplamiento y una zona de desacoplamiento separadas entre sí en una primera dirección, en donde la zona de acoplamiento desvía al menos una parte de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen del sistema de iluminación y/o proyección y que incide en la zona de acoplamiento de manera que la parte desviada se propaga en el cuerpo base como radiación acoplada por reflexión hacia la zona de desacoplamiento e incide en la zona de desacoplamiento. La zona de desacoplamiento puede comprender una estructura, por ejemplo, una estructura de difracción, que desvía la radiación acoplada que incide sobre ella de tal manera que la parte desviada emerge del cuerpo base a través de la cara anterior y cara posterior. La estructura de difracción puede adaptarse a las longitudes de onda de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen de forma que se refleje la mayor cantidad posible de radiación. No obstante, la estructura de difracción puede seguir presentando la transparencia deseada, por ejemplo, al mirar a través de ella. También es posible que la estructura de difracción sólo desvíe parte de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen.

La estructura de la zona de desacoplamiento puede ser una estructura de difracción transmisiva o reflectante, un holograma de volumen transmisivo o reflectante, un área de espejo, un prisma o una rejilla en relieve transmisiva o reflectante.

Esto proporciona una zona de desacoplamiento que es transparente. La extensión de la zona de desacoplamiento en una segunda dirección transversal a la primera puede ser mayor que la extensión de la zona de acoplamiento en la segunda dirección.

Se proporciona además un sistema de iluminación y/o proyección con una guía de ondas funcionalizada para dicho sistema de iluminación y/o proyección, en donde está prevista adicionalmente una fuente de luz y/o imagen, cuya luz incide sobre la zona de acoplamiento.

En la guía de ondas funcionalizada para un sistema detector, la zona de acoplamiento puede comprender al menos dos hologramas de volumen, que desvían en cada caso sólo una parte de la radiación procedente de un objeto a

detectar y que incide en la cara anterior, de tal manera que la parte desviada se propaga como radiación acoplada en el cuerpo base por reflexión hacia la zona de desacoplamiento e incide en la zona de desacoplamiento. Los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento pueden diferir en que su función de desviación presenta propiedades angulares espectrales diferentes. Esto significa que se pueden desviar diferentes longitudes de onda con el mismo ángulo de incidencia. La zona de desacoplamiento desvía al menos una parte de la radiación acoplada que incide sobre ella, de modo que la parte desviada emerge del cuerpo base (preferentemente por la cara anterior o posterior) para incidir sobre el sistema detector.

Con una guía de ondas de este tipo, se pueden transmitir más colores, ya que los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento presentan diferentes propiedades angulares espectrales y, por tanto, desvían diferentes longitudes de onda en los mismos ángulos de incidencia para que formen parte de la radiación acoplada en el cuerpo base.

Los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento pueden disponerse contiguos (con o sin distancia entre sí), en particular pueden disponerse contiguos en la primera dirección. Sin embargo, también es posible que los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento estén dispuestos unos encima de otros o unos sobre otros (es decir, preferentemente en una dirección de apilamiento que sea transversal a la primera dirección y transversal a la segunda dirección), de modo que prácticamente haya una pila de capas de hologramas de volumen. Alternativa o adicionalmente, las funciones de algunos o todos los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento pueden implementarse en un único holograma de volumen. Este tipo de aplicación también se denomina multiplexación. Estos posibles diseños de la zona de acoplamiento pueden preverse en todos los ejemplos de realización descritas.

La zona de desacoplamiento puede presentar un holograma de volumen asociado para cada holograma de volumen de la zona de acoplamiento, que proporciona la misma propiedad angular espectral durante la desviación que el correspondiente holograma de volumen de la zona de acoplamiento. Esto permite compensar la dispersión de los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento.

Los hologramas de volumen de la zona de desacoplamiento pueden disponerse contiguos (con o sin distancia entre sí), en particular pueden disponerse contiguos en la primera dirección. Sin embargo, también es posible que los hologramas de volumen de la zona de desacoplamiento estén dispuestos unos encima de otros o unos sobre otros (es decir, preferentemente en una dirección de apilamiento que sea transversal a la primera dirección y transversal a la segunda dirección), de modo que prácticamente haya una pila de capas de hologramas de volumen. Alternativa o adicionalmente, las funciones de algunos o todos los hologramas de volumen de la zona de desacoplamiento pueden implementarse en un único holograma de volumen. Este tipo de aplicación también se denomina multiplexación. Estos posibles diseños de la zona de desacoplamiento pueden preverse en todos los ejemplos de realización descritas.

Los hologramas de volumen de la zona de acoplamiento pueden estar configurados como hologramas de volumen reflectantes o transmisivos. Lo mismo se cumple para los hologramas de volumen de la zona de desacoplamiento.

La zona de acoplamiento puede presentar al menos o exactamente 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, hasta 40, hasta 50 o hasta 100 (o cualquier valor entre 1 y 100) hologramas de volumen.

En la guía de ondas funcionalizada para un sistema detector, la zona de acoplamiento puede presentar varias estructuras de acoplamiento de difracción contiguas en la primera dirección y que se diferencian por presentar diferentes campos de visión horizontales en un plano que está abarcado por una perpendicular en la cara anterior y una segunda dirección transversal a la primera dirección, de tal manera que desvían la radiación de los diferentes campos de visión horizontales hacia la zona de desacoplamiento.

Esto permite grabar un mayor campo de visión horizontal y dirigirlo a un detector.

Las estructuras de difracción de acoplamiento pueden estar configuradas de manera que desvían la radiación de los diferentes campos de visión horizontales hacia la zona de desacoplamiento.

Esto permite grabar un mayor campo de visión horizontal y dirigirlo a un detector.

Las estructuras de acoplamiento de difracción pueden estar diseñadas de manera que codifiquen la radiación de los diferentes campos de visión horizontales durante la desviación mediante diferentes longitudes de onda desviadas, de manera que el desacoplamiento y/o la detección sean posibles selectivamente para los diferentes campos de visión horizontales.

La zona de desacoplamiento puede presentar una estructura de desacoplamiento de difracción asociada para la estructura de acoplamiento de difracción, que desvía selectivamente la radiación con longitudes de onda de la estructura de acoplamiento de difracción asociada.

Las estructuras de desacoplamiento de difracción pueden desviar la radiación de las estructuras de acoplamiento asociadas de manera que incidan localmente en diferentes áreas de un sistema detector.

Puede estar previsto un filtro de color para al menos una zona localmente diferente del detector, que sólo guía el intervalo de longitud de onda correspondiente hacia el detector.

5 Las estructuras de acoplamiento de difracción pueden estar configuradas de manera que codifiquen la radiación de los diferentes intervalos angulares de desviación, de forma que el desacoplamiento y/o la detección sean posibles selectivamente para los diferentes campos de visión horizontales.

10 La zona de acoplamiento puede presentar un diafragma de sombreado con una estructura laminar delante de cada estructura de acoplamiento de difracción, que define un campo de visión vertical diferente para cada estructura de acoplamiento de difracción en un plano abarcado por una perpendicular en la cara anterior y la primera dirección.

15 La zona de desacoplamiento puede presentar una estructura de desacoplamiento de difracción asociada para cada estructura de difracción de acoplamiento, que desvía selectivamente la radiación de los diferentes intervalos angulares de desviación de las estructuras de acoplamiento de difracción asociadas. Las estructuras de desacoplamiento de difracción pueden disponerse contiguas a la primera dirección.

Las estructuras de desacoplamiento de difracción en cada caso pueden estar configuradas como holograma de volumen reflectante o transmisivo.

20 La guía de ondas funcionalizada para un sistema detector puede estar configurada o perfeccionarse de manera que la zona de acoplamiento presente al menos dos estructuras de acoplamiento de difracción diferentes a lo largo de la segunda dirección, que se diferencian en que presentan un componente de desviación diferente en la segunda dirección.

25 El resultado es una mayor eficiencia en la utilización de la radiación acoplada.

El componente de desviación en la segunda dirección puede seleccionarse para cada una de las estructuras de acoplamiento de difracción, que están desplazadas a lo largo de la segunda dirección hacia la zona de desacoplamiento de manera que el desplazamiento existente se compense para la radiación acoplada.

30 La zona de desacoplamiento puede estar configurada de manera que desvíe la radiación acoplada por las diferentes estructuras de acoplamiento de difracción en el mismo intervalo angular.

35 La guía de ondas funcionalizada para un sistema detector puede estar configurada o perfeccionada de manera que la zona de acoplamiento comprende una rejilla en relieve de acoplamiento y la zona de desacoplamiento comprende una rejilla en relieve de desacoplamiento.

40 En particular, la rejilla en relieve de acoplamiento y la rejilla en relieve de desacoplamiento pueden tener el mismo periodo de rejilla.

La guía de ondas funcionalizada también puede estar configurada como pantalla con un cuerpo base transparente. En este caso, el cuerpo base transparente puede formar parte de una pantalla.

45 Por ejemplo, la pantalla puede ser la pantalla de un dispositivo portátil (como un teléfono inteligente o un ordenador portátil), una pantalla fija o cualquier otra pantalla instalada en un vehículo de motor, por ejemplo.

La zona de desacoplamiento puede disponerse más cerca del borde del cuerpo base a lo largo de la primera dirección que la zona de acoplamiento.

50 Además, la zona de acoplamiento puede disponerse en la cara posterior.

Además, la pantalla puede presentar una capa emisora de luz dispuesta en la cara posterior del cuerpo base, y la zona de acoplamiento puede estar dispuesta entre el cuerpo base y la capa emisora de luz.

55 El sensor de imagen puede estar dispuesto en la cara posterior del cuerpo base en una zona que sirve como zona de visualización de la pantalla y que se oscurece durante la grabación mediante el sensor de imagen.

La pantalla puede presentar una cámara adicional que captura el objeto, en donde la captura de la cámara se utiliza para volver a colorear una captura del objeto utilizando el sensor de imagen.

60 La pantalla puede presentar una capa emisora de luz dispuesta en la parte posterior del cuerpo base, que genera una imagen real. Para ello, la capa emisora de luz puede presentar, por ejemplo, píxeles emisores de luz. En este caso, la imagen real se genera en el plano de los píxeles. Los píxeles pueden presentar en cada caso un ángulo de radiación de al menos 50°, 60°, 70°, 80°, 90°, 100°, 110°, 120°, 130°, 140°, 150°, 160°, 170° hasta menos de 180°.

65 Dado que esta capa emisora de luz pixelada está dispuesta en la parte posterior del cuerpo base, la luz emitida por

los píxeles se transmite a través del cuerpo base y llega a un espectador.

Para evitar que la luz emitida por la capa emisora de luz sea difractada por la estructura de difracción de la zona de acoplamiento y, por tanto, no llegue al espectador, la estructura de difracción de la zona de acoplamiento puede diseñarse de tal manera que sólo la luz con una polarización determinada sea difractada y, por tanto, guiada en el cuerpo base (o guía de ondas). La luz emitida por la capa emisora de luz puede presentar entonces una polarización ineficiente para la estructura de difracción de la zona de acoplamiento y puede transmitirse sin perturbaciones a través de la estructura de difracción de la zona de acoplamiento. Por lo tanto, la capa emisora de luz ya no constituye una fuente de luz falsa y ya no es necesario oscurecer o poner en blanco la capa emisora de luz pixelada en la parte de la zona de acoplamiento para evitar el acoplamiento de luz falsa durante la grabación mediante el sensor de imagen.

Las posibilidades para una polarización definida incluirían pantallas LCD o la aplicación de una película de polarización entre la capa emisora de luz y el cuerpo base.

La guía de ondas funcionalizada (o sistema detector descrito) puede estar formada o perfeccionada para proporcionarse como una luna funcionalizada (o sistema detector) para un vehículo. El vehículo puede ser un vehículo de motor, un camión, un aparato volador, un vehículo motorizado o no motorizado o cualquier otro vehículo. La luna puede ser cualquier luna del vehículo como, por ejemplo, el parabrisas, una luna lateral o una luna trasera. En particular, se pueden proporcionar varias lunas (o sistemas detectores) para un vehículo. Pueden utilizarse, por ejemplo, para detectar la posición de una persona o un objeto en el interior del vehículo. Además, se proporciona un vehículo con una o más lunas funcionalizadas de este tipo (o con uno o más sistemas detectores).

La zona de desacoplamiento puede disponerse más cerca del borde del cuerpo base a lo largo de la primera dirección que la zona de acoplamiento.

La luna funcionalizada de este modo puede utilizarse en un sistema detector (o sistema de detección), que puede configurarse y perfeccionarse del modo descrito. En particular, puede estar previsto un detector sobre el que incide la parte de la radiación desviada por la zona de desacoplamiento. El sistema de detección puede presentar al menos un elemento óptico de formación de imágenes entre la zona de desacoplamiento y el detector. El al menos un elemento óptico de formación de imágenes puede estar configurado, por ejemplo, como un objetivo, un objetivo refractivo o un objetivo de cámara refractivo.

El cuerpo base puede presentar una zona de acoplamiento adicional y una zona de desacoplamiento adicional separadas entre sí en la primera dirección, en donde la zona de acoplamiento adicional desvía al menos una parte de la radiación procedente de una fuente de luz o de imagen y que incide en la zona de acoplamiento adicional de manera que la parte desviada se propaga como radiación acoplada adicional en el cuerpo base por reflexión hacia la zona de desacoplamiento adicional e incide en la zona de desacoplamiento adicional. La zona de desacoplamiento adicional puede comprender una estructura, como una estructura de difracción, que desvía la radiación adicional acoplada que incide sobre ella, de modo que la parte desviada sale del cuerpo base por la cara anterior o posterior para proporcionar la iluminación y/o proyección deseada. La estructura de difracción puede adaptarse a las longitudes de onda de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen de forma que se refleje la mayor cantidad posible de radiación. No obstante, la estructura de difracción puede seguir presentando la transparencia deseada, por ejemplo, al mirar a través de ella. También es posible que la estructura de difracción sólo desvíe parte de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen.

La estructura de la zona de desacoplamiento adicional puede ser una estructura de difracción transmisiva o reflectante, un holograma de volumen transmisivo o reflectante, un área de espejo, un prisma o una rejilla en relieve transmisiva o reflectante.

Esto proporciona una luna que presenta dos funcionalidades ópticas adicionales.

La radiación acoplada y la radiación acoplada adicional pueden, por ejemplo, propagarse en direcciones opuestas al menos en secciones en la misma zona en el cuerpo base. Esto significa que se utiliza el mismo canal de transmisión en distintas direcciones.

Por supuesto, la radiación acoplada y la radiación acoplada adicional también pueden propagarse completamente en diferentes zonas en el cuerpo base.

La zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento adicional pueden estar configuradas, al menos parcialmente, en la misma zona del cuerpo base. Por ejemplo, pueden estar configuradas juntas de manera integrada, pueden estar configuradas apiladas unas sobre otras y/o pueden solaparse parcialmente.

Además, es posible que la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento adicional estén configuradas en zonas diferentes del cuerpo base.

Además, la guía de ondas funcionalizada puede estar configurada o perfeccionada como una luna funcionalizada para

- iluminación y/o proyección, presentando el cuerpo base una zona de acoplamiento y una zona de desacoplamiento distanciadas entre sí en una primera dirección. La zona de acoplamiento desvía al menos una parte de la radiación procedente de una fuente de luz o de imagen y que incide en la zona de acoplamiento, de forma que la parte desviada se propaga como radiación acoplada en el cuerpo base por reflexión hacia la zona de desacoplamiento e incide en la zona de desacoplamiento. La zona de desacoplamiento puede comprender una estructura, como una estructura de difracción, que desvía la radiación acoplada que incide sobre ella, de modo que la parte desviada sale del cuerpo base (preferentemente por la cara anterior o posterior) para proporcionar la iluminación y/o proyección deseada. La estructura de difracción de la zona de desacoplamiento es preferentemente parcialmente transparente. La estructura de difracción puede adaptarse a las longitudes de onda de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen de forma que se refleje la mayor cantidad posible de radiación. No obstante, la estructura de difracción puede seguir presentando la transparencia deseada, por ejemplo, al mirar a través de ella. También es posible que la estructura de difracción sólo desvíe parte de la radiación procedente de la fuente de luz o de imagen.
- La estructura de la zona de desacoplamiento puede ser una estructura de difracción transmisiva o reflectante, un holograma de volumen transmisivo o reflectante, un área de espejo, un prisma o una rejilla en relieve transmisiva o reflectante.
- Además, la primera zona de acoplamiento para la detección puede presentar una extensión horizontal mayor que la primera zona de desacoplamiento para detección, y la segunda zona de desacoplamiento para proyección y/o iluminación puede presentar una extensión horizontal mayor y una extensión vertical mayor que la segunda zona de acoplamiento para proyección y/o iluminación.
- En la zona superior visible del cuerpo base transparente se puede encontrar una franja holográfica para la detección (no se requiere replicación de la pupila) y un área holográfica para la proyección y/o iluminación, pudiendo presentar el área holográfica, por regla general, en dirección horizontal y vertical, una extensión horizontal y vertical mayor para el posicionamiento de los ojos que la segunda zona de acoplamiento en la zona no visible del cuerpo base transparente.
- La primera zona de acoplamiento y la segunda zona de desacoplamiento pueden estar situadas en una zona visible del cuerpo base transparente (en particular si la guía de ondas funcionalizada forma parte de un sistema detector y de un sistema de iluminación y/o proyección).
- Se proporciona además un sistema de iluminación y/o proyección con una luna funcionalizada para iluminación y/o proyección. El sistema de iluminación y/o proyección también puede presentar una fuente de luz o de imagen.
- La guía de ondas funcionalizada puede estar configurada o perfeccionada de manera que sea adecuada no sólo para un sistema detector, sino también para un sistema de iluminación y/o proyección. Para ello, el cuerpo base puede presentar una segunda zona de desacoplamiento que desvía al menos una parte de la luz procedente de una fuente luminosa o de imagen que incide en la segunda zona de desacoplamiento como radiación de iluminación, de tal manera que la parte desviada se utiliza para la iluminación y/o la proyección.
- La segunda zona de desacoplamiento puede configurarse y perfeccionarse del mismo modo que la zona de desacoplamiento descrita anteriormente o la primera zona de desacoplamiento.
- La guía de ondas puede estar perfeccionada de manera que el cuerpo base presente una segunda zona de acoplamiento, que desvía la luz de la fuente de luz o de imagen de manera que la luz reflejada en el cuerpo base se propaga a través de reflexiones a la segunda zona de desacoplamiento e incide en ella.
- Alternativa o adicionalmente, la luz procedente de la fuente de luz o de imagen puede incidir sobre el cuerpo base como un haz libre y, por tanto, sobre la segunda zona de desacoplamiento, de modo que no sea guiada en el cuerpo base por reflexión.
- Se proporciona además un sistema de detección y un sistema de iluminación y/o proyección que comprende una guía de ondas funcionalizada para un sistema detector y un sistema de iluminación y/o proyección. El sistema puede presentar la fuente de luz o de imagen.
- Las diferentes configuraciones descritas de la guía de ondas funcionalizada, la pantalla funcionalizada y la luna funcionalizada pueden combinarse entre sí en la medida en que sea técnicamente factible. También es posible intercambiar grupos de características individuales entre sí.
- El sistema de detección de acuerdo con la invención puede estar configurado como una cámara (por ejemplo, cámara digital o videocámara).
- Se entiende que las características mencionadas anteriormente y las que aún se explicarán a continuación no solo pueden utilizarse en las combinaciones indicadas, sino también en otras combinaciones o individualmente sin abandonar el marco de la presente invención.

- La invención se explica con más detalle a continuación mediante ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que también revelan características esenciales para la invención. Estos ejemplos de realización son únicamente ilustrativos y no deben interpretarse como restrictivos. Por ejemplo, la descripción de un ejemplo de realización con una pluralidad de elementos o componentes no debe interpretarse en el sentido de que todos estos elementos o componentes sean necesarios para la implementación. Más bien, otros ejemplos de realización pueden incluir elementos y componentes alternativos, menos elementos o componentes, o elementos o componentes adicionales. Los elementos o componentes de diferentes ejemplos de realización pueden combinarse entre sí, a menos que se especifique lo contrario. Las modificaciones y variaciones descritas para uno de los ejemplos de realización también pueden ser aplicables a otros ejemplos de realización. Para evitar repeticiones, los elementos idénticos o correspondientes en las diferentes figuras se etiquetan con los mismos símbolos de referencia y no se explican más de una vez. En las figuras, muestran:
- 5 figura 1 una vista lateral de una forma de realización del sistema detector de acuerdo con la invención;
 - 15 la figura 2 es una vista superior de la guía de ondas 1 de la figura 1;
 - figura 3 una vista de la guía de ondas 1 desde arriba;
 - 20 figura 4 es una representación esquemática de la eficiencia de deflexión espectralmente resuelta y dependiente del ángulo del holograma de volumen reflectante de la zona de acoplamiento 4;
 - figura 5 es una representación esquemática de la eficacia de deflexión para tres ángulos de incidencia diferentes en función de la longitud de onda;
 - 25 figura 6 una representación en sección ampliada de una vista lateral para explicar el promediado sobre un intervalo angular definido causado por los píxeles del detector;
 - 30 figuras 7A-7C vistas superiores de la guía de ondas para explicar diferentes relaciones de anchura entre las zonas de acoplamiento y de desacoplamiento;
 - figura 7D una vista desde arriba para explicar la posible restricción del campo de visión horizontal en un sistema detector 2 con objetivo 1;
 - 35 figuras 8A y 8B otros ejemplos de realización de la guía de ondas 1 de acuerdo con la invención;
 - figura 8C una vista lateral ampliada de la zona de desacoplamiento de la guía de ondas 1 para ilustrar una posible reducción del campo de visión vertical;
 - 40 figuras 9A y 9B representación para explicar la producción de un holograma de volumen para la zona de acoplamiento;
 - figura 10 una vista superior de la guía de ondas de acuerdo con un ejemplo de realización adicional;
 - 45 figuras 11A-F vistas laterales de la zona de acoplamiento de la guía de ondas de la figura 10;
 - figura 12 una representación esquemática de la eficiencia de deflexión resuelta espectralmente y dependiente del ángulo de la zona de acoplamiento de acuerdo con la figura 10;
 - 50 figuras 13A-13C muestra esquemáticamente la eficiencia de deflexión de diferentes ángulos de incidencia en función de la longitud de onda;
 - figuras 14A-F vistas laterales esquemáticas para explicar la zona de desacoplamiento de la guía de ondas de acuerdo con la figura 10;
 - 55 figura 15 representación esquemática de la eficiencia de deflexión resuelta espectralmente y dependiente del ángulo para la zona de acoplamiento de una guía de ondas con 40 hologramas de volumen diferentes;
 - 60 figura 16 una vista superior de una guía de ondas de acuerdo con la invención de acuerdo con un ejemplo de realización adicional;
 - figura 17 una vista desde arriba de la guía de ondas de la figura 16;
 - 65 figuras 18A, 18B vistas laterales de la zona de acoplamiento para explicar el funcionamiento de la guía de ondas de acuerdo con las figuras 16 y 17;

	las figuras 19A-19C	muestran esquemáticamente el ángulo de incidencia y la eficiencia dependiente del espectro de los hologramas de volumen de acoplamiento desplazados lateralmente entre sí de la guía de ondas de acuerdo con la figura 16;
5	figura 20	muestra esquemáticamente el espectro dependiente del ángulo espectral de los hologramas de desacoplamiento de la forma de realización de acuerdo con la figura 16, incluido el filtrado espectral;
10	figuras 21 y 22	vistas superiores de dos guías de ondas 1 diferentes para explicar un ejemplo de realización adicional;
	figura 23	una vista lateral de otra forma de realización de la guía de ondas de acuerdo con la invención;
15	figura 24	una representación esquemática del espectro de transmisión geométrico de la guía de ondas de acuerdo con la figura 23;
	figura 25	una vista lateral ampliada de la zona de desacoplamiento de la guía de ondas de la figura 23;
20	figura 26	una representación esquemática del espectro de transmisión geométrico con viñeteado mediante la pupila de entrada del sistema detector;
	la figura 27	muestra esquemáticamente una sección transversal simulada a través de un periodo de rejilla de la rejilla de acoplamiento enterrada de la guía de ondas de acuerdo con la figura 23;
25	la figura 28	muestra esquemáticamente la eficiencia de difracción de la rejilla en relieve en función de la longitud de onda;
	la figura 29	muestra la vista superior de otro ejemplo de realización;
30	la figura 30	muestra una vista lateral del ejemplo de realización de acuerdo con la figura 29;
	la figura 31	muestra un ejemplo de realización adicional;
35	la figura 32	muestra la vista lateral de la figura 31;
	la figura 33	muestra una representación esquemática de un sistema óptico;
40	la figura 34	muestra el sistema óptico de acuerdo con la figura 33 con una guía de ondas de acuerdo con la invención;
	la figura 35	muestra un ejemplo de realización adicional de la guía de ondas de acuerdo con la invención, que puede utilizarse en particular para la proyección y/o iluminación;
45	la figura 36	muestra una vista lateral de la guía de ondas de la figura 35;
	la figura 37	muestra la vista desde arriba de la guía de ondas de la figura 35.
	las figuras 38-40	muestran esquemáticamente la iluminación o proyección con una guía de ondas;
50	las figuras 41A-41C	muestran la iluminación o proyección en la que hay una trayectoria de rayos libre desde la fuente de luz/iluminación hasta la zona de desacoplamiento, por lo que la zona de desacoplamiento se utiliza de forma reflectante;
55	las figuras 42A-42C	muestran la disposición correspondiente de acuerdo con las figuras 41A-41C cuando la zona de desacoplamiento se utiliza de manera transmisiva;
	las figuras 43A-43C	muestran una variante de la combinación de detección con proyección o iluminación;
60	las figuras 44A-44C	muestran una variante adicional de la combinación de detección con proyección o iluminación;
	las figuras 44D-44F	muestran una variante adicional de la combinación de detección con iluminación o proyección;
	la figura 45	muestra un ejemplo de realización en el que la guía de ondas se utiliza en un microscopio;
65	las figuras 46-46D	muestran ejemplos de realización de la integración de la guía de ondas o de la configuración de

la guía de ondas en un parabrisas de un vehículo, y

las figuras 47A-47C muestran variantes de la integración de la guía de ondas de acuerdo con la invención en una ventanilla lateral de un turismo.

5 Las vistas de acuerdo con las figuras 1 a 3 muestran una forma de realización de la guía de ondas 1 de acuerdo con la invención junto con un sistema detector 2 con el fin de realizar una cámara 3.

10 La guía de ondas 1 comprende una zona de acoplamiento 4 y una zona de desacoplamiento 5 separada de esta y, como se muestra en las figuras 1 a 3, puede estar configurada por una placa plano-paralela 6 con una cara anterior plana 7 y una cara posterior plana 8. La placa plano-paralela 6, que también puede denominarse cuerpo base 6, está fabricada con un material transparente, como vidrio o plástico.

15 El sistema detector 2 y la parte inferior de la placa 6 con la zona de desacoplamiento 5 pueden estar dispuestos en una carcasa G, que sólo se muestra esquemáticamente en la figura 1, de modo que un usuario no pueda reconocer a primera vista que se trata de una cámara 3.

20 Con la cámara 3, un objeto 9 puede reproducirse en imágenes de forma que los haces luminosos L1, L2, L3 que emanan del objeto 9 entren en la placa 6 a través de la cara anterior 7 y se desvíen desde la zona de acoplamiento 4 de forma que incidan en la cara anterior 7 con un ángulo tal que se produzca una reflexión interna total. De este modo, los haces luminosos L1, L2 y L3 se guían mediante reflexión interna total en la cara anterior 7 y cara posterior 8 hacia la zona de desacoplamiento 5, lo que provoca una desviación en la dirección de la cara anterior 7, de modo que los haces luminosos L1 - L3 emergen de la placa a través de la cara anterior 7. De este modo, los haces luminosos L1 - L3 se propagan en la guía de ondas 1 a lo largo de una primera dirección R1 (en este caso dirección y) desde la zona de acoplamiento hasta la zona de desacoplamiento 4, 5.

Mediante un objetivo 10 del sistema detector 2, los haces luminosos L1 - L3 se enfocan entonces sobre un detector 11 del sistema detector 2, de modo que el mediante detector 11 puede grabarse la imagen deseada del objeto 9.

30 La zona de acoplamiento 4 está configurada como holograma de volumen reflectante, que presenta una selectividad de longitud de onda dependiente del ángulo de incidencia, de modo que tiene una gran transparencia para un amplio intervalo de ángulos y longitudes de onda (como indica el haz luminoso transmitido L1' en la figura 1); otros haces luminosos transmitidos no se dibujan para simplificar la ilustración). Esto significa que sólo una parte de los haces luminosos L1 - L3 que emanan del objeto 9 y que inciden en la zona de acoplamiento 4 se desvíen de la manera descrita. Otros haces luminosos procedentes del objeto 9 se propagan a través de la zona de acoplamiento 4 y salen de la placa 6 por la cara posterior 8. Por lo tanto, la zona de acoplamiento 4 puede describirse como parcialmente transparente.

40 La figura 4 muestra esquemáticamente la eficiencia de deflexión resuelta espectralmente y dependiente del ángulo para el holograma de volumen reflectante de la zona de acoplamiento 4 en función del ángulo de incidencia del haz luminoso correspondiente, en donde la longitud de onda en μm se traza a lo largo del eje x y el ángulo de incidencia en $^\circ$ a lo largo del eje y. La figura 5 muestra la eficiencia de deflexión para los ángulos de incidencia $+20^\circ$, 0° y -20° , estando trazada la longitud de onda en nm a lo largo del eje x y la eficiencia a lo largo del eje y.

45 Las figuras 4 y 5 muestran que el holograma de volumen reflectante de la zona de acoplamiento 4 desvía la radiación del intervalo espectral de 392 nm a 398 nm ($\lambda_{\text{central}} = 395 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$) con alta eficiencia para un ángulo de incidencia de -20° y la acopla así a la placa plana-paralela 6. Para ángulos de incidencia de 0° , la alta eficiencia está presente para el intervalo espectral de 528 nm a 536 nm ($\lambda_{\text{central}} = 532 \text{ nm} \pm 4 \text{ nm}$) y para el ángulo de incidencia de $+20^\circ$ hay una alta eficiencia de acoplamiento para el intervalo espectral de 600 nm a 610 nm ($\lambda_{\text{central}} = 605 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$).

50 Dado que la guía de ondas 1 de acuerdo con las figuras 1 a 3 está configurada de manera que ni la zona de acoplamiento 4 ni la zona de desacoplamiento 5 presentan una función de formación de imágenes, se presenta una configuración infinita-infinita de la guía de ondas 1. También puede decirse que la guía de ondas 1 realiza una formación de imágenes infinita-infinita. Como resultado, la eficiencia de deflexión espectral y dependiente del ángulo del holograma de volumen reflectante de la zona de acoplamiento 4 significa que cada ángulo de campo (y, por tanto, cada punto del objeto reproducido 9) después del acoplamiento mediante la zona de acoplamiento 4 consiste sólo en un pequeño intervalo espectral, como se explica con referencia a las figuras 4 y 5. Esto da lugar a una distribución angular resuelta espectralmente, que en última instancia conduce a una imagen con un gradiente espectral (o gradiente de color) en el detector 11. Los haces luminosos L1 - L3 desacoplados por medio de la zona de desacoplamiento 5 se desacoplan así con un espectro angular, que se convierte en una distribución espacial en el detector 11 por medio del objetivo 10. El detector 11 puede ser un detector CCD o un detector CMOS, por ejemplo.

65 Dado que la zona de acoplamiento 4 presenta el holograma de volumen reflectante, el acoplamiento por medio del holograma de volumen reflectante conduce a una dispersión dentro del rango espectral acoplado para cada ángulo. Si la zona de desacoplamiento 5 presenta un holograma de volumen reflectante configurado del mismo modo que la zona de acoplamiento 4, se compensa la dispersión causada por la zona de acoplamiento 4 y todos los componentes

espectrales se desvían hacia el ángulo correspondiente.

Como alternativa a la configuración infinita-infinita descrita de la guía de ondas 1, la zona de acoplamiento 4 y/o la zona de desacoplamiento 5 pueden, por ejemplo, presentar una función de formación de imágenes en forma de función de lente o función de espejo cóncavo. De este modo, con la guía de ondas 1 pueden realizarse configuraciones de formación de imágenes finitas-infinitas, infinitas-finitas o finitas-finitas. En la zona de acoplamiento 4, por ejemplo, esto se puede utilizar para captar un objeto 9 que esté situado tan cerca de la guía de ondas 1 que ya no se pueda suponer que el objeto está infinitamente lejos. En la zona de desacoplamiento 5, la implementación de dicha función de lente o espejo cóncavo permite convertir directamente el espectro angular desacoplado en una distribución espacial en el plano focal de dicha función de lente o espejo implementada. En este caso, el objetivo 9 puede omitirse, por ejemplo. En este caso, puede decirse que el sistema detector 2 presenta el detector 11 y la función de lente y/o espejo cóncavo de la zona de desacoplamiento 5. Dado que el objetivo 10 puede omitirse, el detector 11 puede colocarse y/o fijarse directamente en la cara anterior 7 de la guía de ondas 1, por ejemplo, con lo que puede alcanzarse un grado de integración muy elevado, un volumen mínimo y un alto grado de robustez.

Como ya se ha explicado, la distribución angular resuelta espectralmente tras el desacoplamiento por medio de la zona de desacoplamiento 5 se convierte en una distribución espacial en el detector 11 utilizando el objetivo 10 o una función de formación de imágenes integrada en la zona de desacoplamiento 5. Dicho detector 11 presenta una discretización en forma de píxeles. De acuerdo con la representación de la figura 6, en la que el sistema de guía de ondas desplegado se muestra en el lado del detector, cada píxel PX promedia a este respecto sobre un intervalo angular definido, que viene dado por el tamaño de píxel PG, su distancia desde el eje óptico A_P y la distancia focal F_{AK} del objetivo 10 o la función de formación de imágenes de la zona de desacoplamiento 5.

De acuerdo con las ilustraciones de las figuras 4 y 5, la integración a lo largo de un intervalo espectral también está asociada con la grabación de un intervalo angular. El ancho de banda espectral viene dado a este respecto por el ángulo máximo (α_2 , figura 4) y el ángulo mínimo (α_1 , figura 4) registrados por un píxel, que pueden calcularse del siguiente modo:

$$\alpha_{1,n} = \operatorname{atan}\left(\frac{PG \cdot 0,5 + (n-1) \cdot PG}{f}\right)$$

$$\alpha_{2,n} = \operatorname{atan}\left(\frac{PG \cdot 0,5 + n \cdot PG}{f}\right)$$

donde n es el número del píxel respectivo ($0 \rightarrow$ sobre el eje óptico, $n < 0 \rightarrow$ por debajo del eje óptico, $n > 0 \rightarrow$ por encima del eje óptico), PG es el tamaño del píxel y f es la distancia focal del sistema óptico.

Con la ayuda de estos ángulos críticos, el ancho de banda sobre el que se integra cada píxel puede calcularse basándose en la teoría de ondas acopladas de Kogelnik, por ejemplo. El espectro total detectado por un píxel se compone, por tanto, de los espectros dentro del intervalo angular detectado, lo que da lugar a ensanchamientos de los espectros representados mostrados en la figura 5. En el caso límite de que el detector 11 conste de un solo píxel al que se transfieran todos los intervalos angulares, se grabaría información de imagen con todos los componentes espectrales.

Mientras que la posición de la pupila (apertura limitadora del haz o lugar donde se cruzan los rayos principales de todos los ángulos de campo) en la configuración infinita-infinita de la guía de ondas 1 viene determinada por la relación entre la anchura B1 (extensión transversal a la primera dirección R1 a lo largo de una segunda dirección R2, que en este caso corresponde a la dirección x) de la zona de acoplamiento 4 (figura 2) con respecto a la anchura B2 de la zona de desacoplamiento 5, el campo de visión de la guía de ondas 1 en la dirección R2 depende adicionalmente de la distancia D de la zona de acoplamiento 4 con respecto a la zona de desacoplamiento 5 a lo largo de la dirección de propagación R1 o de la primera dirección R1 en la guía de ondas 1.

Por supuesto, las dimensiones o medidas de la zona de acoplamiento 4 y de la zona de desacoplamiento 5 pueden restringirse mediante aperturas. En este caso siempre se parte de la dimensión ópticamente utilizada o de la anchura ópticamente utilizada. En lo sucesivo a esta se les denomina también anchuras efectivas.

Las figuras 7A, 7B y 7C muestran tres relaciones de anchura fundamentalmente diferentes de la zona de acoplamiento con respecto a la zona de desacoplamiento 4, 5. Al analizar la posición de pupila, sólo se tienen en cuenta los ángulos de campo no viñeteados.

De la figura 7A se desprende que para la relación $B1/B2 > 1$, la zona de desacoplamiento 5 de la guía de ondas 1 actúa como una pupila. Esto significa que todos los ángulos están presentes en cada punto de la zona de desacoplamiento 5.

En el caso especial $B1/B2 = 1$ (figura 7B), únicamente el ángulo de campo central se propaga sin viñeteado a través

de la guía de ondas 1. En este caso, tanto la zona de acoplamiento 4 como la zona de desacoplamiento 5 forman la pupila.

Con una relación $B1/B2 < 1$ (figura 7C), la zona de acoplamiento 4 es la pupila de la guía de ondas 1, de modo que en cada lugar de la zona de desacoplamiento 5 están presentes y se desacoplan diferentes intervalos angulares.

Además, puede hacerse una distinción fundamental entre un campo de visión (en lo sucesivo también denominado FoV) de la guía de ondas 1 y un campo de visión (en lo sucesivo también denominado FoV) del sistema detector 2. El menor de los dos campos de visión (o los dos FoV) determina a este respecto el campo de visión del sistema global.

El FoV horizontal (en la dirección x) registrado y por la guía de ondas 1 y de nuevo desacoplado en la configuración infinita-infinita de la guía de ondas 1 viene determinado por las anchuras $B1$, $B2$ de la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5, así como su distancia D entre sí (independientemente de si la pupila está situada en la zona de acoplamiento 4 y/o la zona de desacoplamiento 5). El FoV del sistema detector 2 viene dado en una primera aproximación por la distancia focal del objetivo 10 (o la función de lente contenida en la zona de desacoplamiento 5) y por el tamaño del detector 11 en la dirección del FoV horizontal.

Idealmente, el FoV de la guía de ondas 1 y del sistema detector 2 es idéntico. El resultado es una resolución óptima en todo el FoV de la guía de ondas 1. Mientras el FoV del sistema detector 2 sea mayor que el FoV de la guía de ondas 1, el FoV horizontal del sistema global vendrá dado por la anchura de la zona de acoplamiento 4, la anchura de la zona de desacoplamiento 5 y la distancia D entre la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5. De este modo, se graba todo el FoV. Sin embargo, se presenta una resolución reducida. En caso de que el FoV horizontal del sistema detector 2 sea menor que el FoV de la guía de ondas 1, el FoV del sistema global estará limitado por el FoV del sistema detector. Esto lleva a la ventaja de una mayor resolución, en donde sólo se graba una parte del FoV de la guía de ondas 1. Cuando se utiliza el objetivo 10, en determinadas circunstancias puede suceder que la distancia del sistema detector 2 de la guía de ondas 1 restrinja el FoV, ya que los intervalos angulares exteriores no pueden grabarse mediante el objetivo 10, como se indica en la figura 7D.

Un ajuste deseado del FoV de la guía de ondas 1 al FoV del sistema detector 2 puede realizarse adaptando $B1$, $B2$ y D . La adaptación deseada del FoV del sistema detector 2 al FoV de la guía de ondas 1 puede realizarse adaptando la longitud focal de la lente y/o el tamaño del detector.

Como ya se ha explicado, la posición de la pupila de la guía de ondas 1 queda establecida por la relación entre la anchura $B1$ de la zona de acoplamiento 4 y la anchura $B2$ de la zona de desacoplamiento 5. Como resultado, cambia la forma de la distribución angular en la zona de desacoplamiento 5. Esto da lugar a propiedades ventajosas para determinadas disposiciones y aplicaciones.

En el caso de $B1/B2 > 1$, la zona de desacoplamiento 5 forma la pupila de la guía de ondas 1. Al observar todos los haces de rayos no viñeteados, todos los ángulos de campo están presentes en cada punto de la zona de desacoplamiento 5. Como resultado, todos los ángulos de campo, es decir, el FoV completo de la guía de ondas 1, pueden grabarse con un solo sistema detector 2 con un FoV suficientemente grande y como pupila de entrada suficientemente grande. Para conseguir un gran FoV de la guía de ondas 1, es ventajoso configurar la zona de acoplamiento 4 sea más ancha que la zona de desacoplamiento 5. También es ventajosa una distancia pequeña entre la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5.

En la representación de acuerdo con la figura 7A, se ha supuesto que existe una disposición simétrica horizontal de la zona de acoplamiento 4 y de la zona de desacoplamiento 5, lo que da como resultado un FoV simétrico de la guía de ondas 1. Sin embargo, es posible desplazar la zona de desacoplamiento 5 lateralmente (en la dirección x), como se indica en la figura 8A. Esto también provoca un desplazamiento del FoV horizontal. Sin una corrección correspondiente de la zona de desacoplamiento 5, esta distribución angular con el correspondiente desplazamiento se genera también con un desplazamiento en el detector 11. Esto podría provocar que se superara el FoV del sistema detector 2 y se restringiera el FoV global. Esto puede modificarse implementando una función de deflexión adicional (como un prisma, un espejo inclinado, una rejilla lineal, etc.) en la zona de desacoplamiento 5. Esto permite compensar (o simetrizar) el desplazamiento del espectro angular desacoplado y ajustar el FoV de desacoplamiento al FoV del sistema detector 2. Alternativamente, también es posible inclinar el sistema detector 2 en función del desplazamiento angular. Cuando no sólo está prevista una zona de desacoplamiento desplazada 5, sino varias zonas de desacoplamiento 5_1 , 5_2 una al lado de la otra, incluyendo una compensación correspondiente y un sistema de detección adaptado 2, se puede generar un FoV horizontal ampliado compuesto por varios FoV individuales (figura 8B).

Con este diseño, se puede conseguir el caso límite en el que la anchura de todas las zonas de desacoplamiento 5 juntas sea igual a la anchura de la zona de acoplamiento 4. No obstante, es esencial que cada zona de desacoplamiento 5 deba considerarse por separado en relación con la zona de acoplamiento 4. Mientras la relación de la anchura $B1/B2$ sea > 1 para cada zona de desacoplamiento 5 individual, cada zona de desacoplamiento 5 sigue siendo la pupila del sistema, de modo que las relaciones descritas siguen siendo válidas.

Las relaciones descritas en el ejemplo de la posición de pupila horizontal y el FoV horizontal también pueden aplicarse a la posición de pupila vertical y el FoV vertical, debiendo tenerse en cuenta el plegado de la trayectoria de los rayos en esta dirección. En la dirección vertical, sin embargo, surgen las siguientes particularidades, en donde también se consideran haces de rayos viñeteados.

El FoV vertical registrado por un hipotético sistema de guía de ondas infinitamente extendido y reenviado al área de desacoplamiento viene dado por el ángulo crítico de reflexión total dentro de la guía de ondas 1 y el ángulo de propagación inferior a 90° con respecto a la perpendicular del área límite de la guía de ondas o la cara frontal 7 y la cara posterior 8 en el caso de la configuración infinita-infinita de la guía de ondas 1. Sin embargo, en el caso de guías de ondas 1 realistas y de extensión finita, debe realizarse un ángulo de propagación inferior a 80° con respecto a la perpendicular de la cara anterior 7 o de la cara posterior 8 para garantizar que los haces de rayos L1 - L3 se propagan desde un amplio intervalo angular hasta la zona de desacoplamiento 5 y no la sobrepasan. Para un índice de refracción habitual de 1,5, un intervalo angular de entre 40° y 80° con respecto a la perpendicular de la cara anterior 7 o posterior 8 se extiende así en la guía de ondas 1 y se desacopla de nuevo por la zona de desacoplamiento 5.

Al igual que el FoV horizontal, el FoV vertical del sistema global (guía de ondas 1 junto con el sistema detector 2) también puede estar limitado por el FoV vertical del sistema detector 2. La sensibilidad espectral del detector 11 también puede tener un efecto limitador en el FoV vertical como resultado del intervalo angular acoplado y de nuevo desacoplado dividido espectralmente. Si, por ejemplo, el detector 11 no es receptivo a la radiación de onda especialmente larga y/o corta, se reduce la extensión efectiva del detector 11 y, por tanto, el FoV vertical del sistema detector 2 (figura 8C).

En los ejemplos de realización descritos, la imagen en el detector presenta el gradiente de color descrito, de modo que no puede reenviarse y capturarse ninguna imagen con color saturado por medio de la guía de ondas 1.

Los hologramas de volumen reflectantes descritos para la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5 pueden producirse, por ejemplo, al iluminarse un material holográfico de volumen fotosensible 12, integrado en la guía de ondas 1 con una onda de referencia 13 con la longitud de onda de 532 nm que incide sobre la cara anterior 7 con un ángulo de incidencia de 0° y una onda de señal 14 con la misma longitud de onda que incide sobre la cara posterior 8 con un ángulo de incidencia de 60° , como se muestra en la figura 9A, en donde la onda de referencia 13 y la onda de señal 14 proceden del mismo láser, de modo que se crea un campo de interferencia o volumen de interferencia sobre el material holográfico de volumen fotosensible y pueden configurarse en él las correspondientes modificaciones del índice de refracción.

Pueden utilizarse materiales holográficos de volumen fotosensibles como vidrios fotosensibles, gelatinas dicromatadas o fotopolímeros. Pueden aplicarse a una película de PC (película de policarbonato), por ejemplo, y exponerse de manera correspondiente. A continuación, la película puede laminarse sobre un sustrato para la guía de ondas 1 a fin de producir la guía de ondas 1. Por ejemplo, la lámina a este respecto sólo puede laminarse en la zona de la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5. Alternativamente es posible laminar toda el área de guía de ondas, en donde únicamente la función de acoplamiento y desacoplamiento correspondiente quede expuesta en las zonas de acoplamiento y desacoplamiento. Para proteger los hologramas de volumen, tiene sentido aplicar un sustrato adicional al holograma de volumen laminado. De este modo, se realiza una pila de capas con la siguiente estructura básica: sustrato transparente, capa de masilla o adhesiva, holograma de volumen, capa de masilla o adhesiva, sustrato transparente

Debido a la dependencia del ángulo espectral ya descrita, el intervalo espectral de $605 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ se desvía de una onda plana incidente W1 (figura 9B), que incide en el holograma de volumen reflectante en el material con un ángulo de $+20^\circ$, hacia la cara anterior 7 de tal manera que la onda desviada W1 incide en la cara anterior 7 con un ángulo β_1 de aproximadamente 40° . Para el resto de las longitudes de onda de la onda plana W1, el holograma de volumen reflectante de la zona de acoplamiento 4 es transparente.

Con una onda plana W2 que incide en el holograma de volumen reflectante con un ángulo de 0° , las longitudes de onda del intervalo de $532 \text{ nm} \pm 4 \text{ nm}$ se reflejan de tal manera que inciden en la cara anterior 7 con un ángulo β_2 de aproximadamente 60° . Las restantes longitudes de onda de la onda plana W2 atraviesan el holograma de volumen reflectante, de modo que el holograma de volumen reflectante es transparente para estas longitudes de onda de la onda plana W2.

A partir de una onda plana W3, que incide en el holograma de volumen reflectante en el material con un ángulo de -20° , las longitudes de onda de $395 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$ se reflejan hacia la cara anterior de manera que inciden en ella con un ángulo β_3 de aproximadamente 80° . Las longitudes de onda restantes de la onda plana W3 atraviesan el holograma de volumen reflectante, de modo que el holograma de volumen reflectante es transparente para estas longitudes de onda.

Para realizar la transmisión de información angular (información de imagen desde el infinito) a través de la guía de ondas 1 en un intervalo espectral lo más amplio posible, el espectro dependiente del ángulo mostrado en la figura 4 puede mejorarse haciendo que la zona de acoplamiento 4 tenga no sólo un holograma de volumen reflectante, sino

varios hologramas de volumen reflectantes 4_1 , 4_2 , 4_s , 4_4 y 4_5 dispuestos unos debajo de otros, como se muestra en la figura 10 y en la figura 11A-F. Los hologramas de volumen 4_1 - 4_s se diferencian en que presentan diferentes selectividades angulares espectrales, por lo que los hologramas de volumen 4_1 - 4_s reflejan diferentes longitudes de onda con el mismo ángulo de incidencia. Debido a esta selectividad angular, la radiación que se acopla en la guía de ondas 1 mediante reflexión, por ejemplo mediante el holograma de volumen 4_1 hacia la cara anterior 7, no se ve influida (o sólo ligeramente) por los hologramas subyacentes 4_2 - 4_s , de modo que la radiación acoplada puede propagarse (en gran medida) sin influencia hasta la zona de desacoplamiento 5.

Los hologramas 4_1 - 4_s también pueden disponerse unos encima de otros en la dirección z , de modo que se cree una pila de capas en la guía de ondas. También es posible implementar las funciones de los cinco hologramas en un solo holograma (u holograma de volumen), lo que también se conoce como multiplexación.

Las diferentes propiedades angulares espectrales se pueden conseguir, por ejemplo, utilizando diferentes longitudes de onda para la onda de referencia 12 y la onda de señal 13 con el mismo ajuste de ángulo que en la figura 9A. Alternativamente, es posible utilizar las mismas longitudes de onda para todos los hologramas de volumen 4_1 - 4_s , variando convenientemente el ángulo de incidencia de la onda de referencia 12 y de la onda de señal 13.

Los hologramas de volumen reflectante 4_1 - 4_5 se grabaron con la configuración de exposición de acuerdo con la figura 9A a diferentes longitudes de onda. La longitud de onda de exposición para el holograma de volumen fue de 4_1 900 nm (negro), para el holograma de volumen 4_2 660 nm (rojo), para el holograma de volumen 4_s 532 nm (verde), para el holograma de volumen 4_4 400 nm (azul) y para el holograma de volumen 4_5 370 nm (violeta).

En la figura 11B-11F, el acoplamiento del intervalo angular se muestra esquemáticamente mediante el ángulo mínimo de -20° , el ángulo máximo de $+20^\circ$ y el ángulo central de incidencia de 0° para cada uno de los hologramas de volumen 4_1 - 4_s . A este respecto, a 0° , cada holograma de volumen reflectante 4_1 - 4_s desvía y acopla en cada caso el intervalo espectral en torno a la longitud de onda central con la que se realizó la exposición del holograma de volumen reflectante respectivo 4_1 - 4_s .

La figura 12 muestra el espectro global simulado que se acopla en la guía de ondas 1 por los cinco hologramas de volumen reflectantes 4_1 - 4_s de la misma manera que en la figura 4. Por consiguiente, cada holograma de volumen reflectante 4_1 - 4_s contribuye en cada ángulo de incidencia con un intervalo espectral diferente. Al observar la totalidad de todos los hologramas de volumen reflectante 4_1 - 4_s , se aumenta así el ancho de banda espectral en los ángulos individuales y, en última instancia, se garantiza una creación de imágenes de banda ancha en todos los ángulos de incidencia.

Además, la figura 12 muestra el desplazamiento del espectro acoplado en la dirección de longitudes de onda más cortas con el aumento del ángulo de incidencia y el desplazamiento del espectro acoplado en la dirección de longitudes de onda más largas para ángulos de incidencia decrecientes.

La figura 13A muestra un ejemplo del espectro acoplado con el ángulo de incidencia de 0° . La figura 13B muestra el espectro correspondiente para el ángulo de incidencia de $+20^\circ$ y el espectro acoplado para el ángulo de incidencia de -20° se representa en la figura 13C. En todas las representaciones de acuerdo con las figuras 13A - 13C, la longitud de onda en μm se representa a lo largo del eje x y la eficiencia de acoplamiento en el intervalo de 0 (sin acoplamiento) a 1 (acoplamiento completo) se representa a lo largo del eje y . Una comparación con la representación de acuerdo con la figura 5 muestra que, en comparación con un único holograma de volumen reflectante, se produce una exploración significativamente mejorada del espectro acoplado debido al uso de un mayor número (cinco hologramas de volumen reflectantes en comparación con un holograma de volumen reflectante) de hologramas de volumen grabados específicamente.

La figura 14 muestra los correspondientes hologramas de volumen reflectantes 5_1 - 5_s para el desacoplamiento. La altura total de los hologramas de volumen reflectantes 5_1 - 5_s se selecciona preferentemente para que sea similar a la pupila de entrada 14 del sistema detector 2, a fin de poder detectar la mayor cantidad de luz posible.

Al igual que en el caso de los hologramas de acoplamiento, los hologramas de volumen 5_1 - 5_s también pueden disponerse unos encima de otros en la dirección z para su desacoplamiento, de modo que se cree una pila de capas en la guía de ondas. También es posible implementar las funciones de los cinco hologramas en un solo holograma u holograma de volumen, lo que también se conoce como multiplexación.

Por ejemplo, para poder acoplar un espectro casi continuo en la guía de ondas 1 en cualquier ángulo, garantizando así la transmisión de información de imagen con color saturado, pueden disponerse cuarenta hologramas de volumen reflectante específicamente expuestos, unos encima de otros. En la figura 15 se muestra una simulación correspondiente del espectro de acoplamiento dependiente del ángulo. Las longitudes de onda de exposición para grabar los hologramas de volumen reflectante individuales según la configuración de exposición de la figura 9A pueden, por ejemplo, seleccionarse como sigue, indicándose en cada caso la longitud de onda en nm: 358, 368, 378, 389, 400, 411, 421, 432, 443, 454, 464, 474, 487, 498, 509, 519, 532, 544, 556, 568, 583, 598, 613, 629, 645, 662, 679, 696, 715, 735, 755, 775, 795, 815, 835, 855, 875, 896, 917 y 940.

Alternativamente, los hologramas de volumen reflectante también pueden grabarse a una longitud de onda y ángulos de exposición adaptados de la onda de referencia y de señal 12, 13.

5 Después de la propagación de la radiación en la guía de ondas 1 a la zona de desacoplamiento 5, todos los ángulos y el espectro completo están presentes por regla general en un área relativamente grande en cada lugar de esta zona de desacoplamiento 5 extendida. El desacoplamiento puede realizarse entonces, como se ha descrito anteriormente, con los correspondientes hologramas de volumen reflectantes. Preferentemente, se generan los mismos cuarenta hologramas de volumen que están presentes en la zona de acoplamiento 4.

10 Sin embargo, dado que la zona de desacoplamiento 5 a menudo no tiene que ser transparente en absoluto, cualquier otro tipo de desacoplamiento de la radiación propagada a la zona de desacoplamiento 5 también es posible. Por ejemplo, un área de espejo inclinada, un prisma, rejillas metalizadas, rejillas de transmisión y/o estructuras Fresnel multiorden pueden utilizarse en transmisión o reflexión. El uso de superficies ópticas no transparentes es posible en este punto de la guía de ondas 1, ya que de todos modos debe preverse un detector 11 no transparente.

15 Esta posibilidad de configurar la zona de desacoplamiento 5 se cumple también, naturalmente, en los ejemplos de realización ya descritos y en los ejemplos de realización aún por describir.

20 El área de espejo inclinada, la estructura Fresnel multiorden en reflexión o transmisión presentan un alto nivel de eficiencia de manera ventajosa y no introducen ninguna dispersión adicional durante la desviación. Sin embargo, tampoco conducen a una compensación de dispersión. Las rejillas metalizadas y las rejillas de transmisión para el desacoplamiento pueden realizar la corrección de dispersión deseada. Sin embargo, presentan una eficiencia más baja. Un prisma presenta una alta eficiencia, pero puede tener el inconveniente de reforzar la dispersión. En la configuración de los hologramas de volumen reflectante, la corrección de la dispersión deseada se presenta de forma ventajosa, ya que cada canal de longitud de onda se desacopla mediante un holograma de volumen reflectante independiente. Sin embargo, se presenta una eficiencia relativamente baja porque el área de la zona de desacoplamiento 5 debe dividirse por el número de hologramas de volumen reflectantes individuales.

30 Las figuras 16 a 18B muestran un ejemplo de realización de la guía de ondas 1 en la que se amplía el FoV horizontal (es decir, el FoV en el plano x-z). Se supone a este respecto que el FoV del sistema detector 2 no restringe el FoV de la guía de ondas 1.

35 La zona de acoplamiento 4 comprende tres hologramas de volumen reflectante de igual anchura 4_1 , 4_2 y 4_s , que están dispuestos unos encima de otros (en la dirección y) y que cubren diferentes intervalos angulares en el plano x-z y, por tanto, diferentes campos de visión horizontales, como se muestra en particular en el espacio angular en la vista desde arriba en la figura 17.

40 Como alternativa a la disposición de los hologramas 4_1 , 4_2 y 4_3 unos encima de otros en la dirección y, también pueden disponerse unos encima de otros en la dirección z, de modo que se forme una pila de capas en la guía de ondas. También es posible implementar las funciones holográficas individuales de los tres hologramas en un solo holograma (u holograma de volumen), lo que también se conoce como multiplexación.

45 Por ejemplo, el segundo holograma de volumen reflectante 4_2 puede cubrir el intervalo angular $\gamma_0 \pm \gamma_1$ en el plano x-z y, por tanto, un campo de visión central para $\gamma_0 = 0$. El campo de visión central viene dado a este respecto, por ejemplo, por la anchura del segundo holograma de volumen 4_2 , la anchura del segundo holograma de desacoplamiento 5_2 asignado correspondientemente y por la distancia entre los dos hologramas de volumen 4_2 , 5_2 .

50 En comparación con el segundo holograma de volumen reflectante 4_2 , el primer holograma de volumen reflectante 4_1 presenta una función de deflexión unidimensional adicional en la dirección horizontal (en el plano x-z). El campo de visión horizontal asignado al primer holograma de volumen 4_1 se desplaza así en la cantidad de la función de deflexión impresa (desplazamiento angular) en el intervalo angular $\gamma_0 - 2 \cdot \gamma_1 \pm \gamma_1$. Una función de deflexión impuesta correspondiente para el tercer holograma de volumen reflectante 4_s conduce a un campo de visión horizontal de $\gamma_0 + 2 \cdot \gamma_1 \pm \gamma_1$. Esto significa que se puede transmitir un FoV horizontal diferente con cada holograma de volumen $4_1 - 4_s$ en combinación con el correspondiente holograma de volumen $5_1 - 5_s$ para el desacoplamiento. La cantidad y la dirección de la función de deflexión marcada en cada caso (desplazamiento angular) pueden utilizarse para influir específicamente en el FoV total. Por ejemplo, se pueden generar FoV totales simétricos o asimétricos, así como FoV con FoV parciales solapados o espacios entre los FoV parciales.

60 Para conseguir el mayor FoV horizontal posible, simétrico y sin espacios de acuerdo con la figura 17, las funciones de deflexión implementadas deben seleccionarse según la regulación de la sección anterior de tal manera que las áreas angulares colinden entre sí y se solapan lo menos posible.

65 En el ejemplo de realización descrito en este caso, todos los intervalos angulares horizontales se propagan en el mismo canal horizontal después del acoplamiento, como se indica en la figura 16. Esto también es necesario para garantizar la detección con un solo sistema de detección 2. Si todos los hologramas de acoplamiento $4_1 - 4_s$ se graban

de forma idéntica, excepto la función de deflexión, también se produce una superposición en la dirección vertical, como se muestra en correspondencia con la figura 18A. Por tanto, tras el desacoplamiento, todos los FoV horizontales se superpondrían en el detector 11. Para diferenciar los intervalos angulares horizontales individuales, el ejemplo de realización descrito en este caso prevé una codificación de los intervalos angulares horizontales en un número correspondiente de intervalos angulares verticales, como se muestra en la figura 18B. Se ha procurado a este respecto en este caso que la zona de acoplamiento 4 siga siendo transparente en un amplio intervalo de ángulos y longitudes de onda al mirar normalmente a través de ella. La codificación de los intervalos angulares horizontales en intervalos angulares verticales puede llevarse a cabo de manera que los hologramas de volumen reflectantes 4_1 a 4_s estén configurados de manera que se desvíen en diferentes intervalos angulares de propagación verticales dentro de la guía de ondas 1. Para ello pueden utilizarse hologramas de volumen reflectante con las correspondientes propiedades de deflexión. Alternativamente, delante de cada holograma de volumen reflectante 4_1 - 4_s , puede aplicarse una estructura laminar (almas) no mostrada para restringir el FoV vertical respectivo. Sin embargo, esto limita considerablemente la transparencia en la zona de acoplamiento 4.

Con esta diferenciación de los diferentes intervalos angulares de propagación verticales, la radiación de cada holograma de volumen de acoplamiento 4_1 - 4_3 y por lo tanto también cada FoV horizontal se propaga en un FoV vertical diferente. Tras el desacoplamiento, los distintos FoV verticales se convierten en distribuciones adyacentes superpuestas lateralmente en el detector 11. Esto permite grabar un FoV horizontal ampliado, en donde el FoV vertical se reduce en el factor de ampliación del FoV horizontal.

En una variante alternativa, puede utilizarse la separación espectral del lado del detector y dependiente del ángulo del FoV horizontal codificado en el FoV vertical, que se explica con más detalle a continuación.

Si cada FoV horizontal se acopla con un holograma de volumen configurado igual excepto por la función de deflexión (desplazamiento angular), cada FoV horizontal se propaga en el mismo intervalo angular vertical e intervalo espectral a través de la guía de ondas 1. El resultado para cada FoV horizontal es aproximadamente, por ejemplo, el espectro dependiente del ángulo de incidencia mostrado en la figura 4. La separación en el lado del detector ya no es posible.

Alternativamente, sin embargo, cada FoV horizontal puede acoplarse con un holograma de volumen específico en diferentes direcciones en la guía de ondas 1, en donde cada holograma de volumen 4_1 - 4_3 se grabó en una configuración diferente (ángulo de exposición y/o longitud de onda).

Las figuras 19A, 19B y 19C muestran las eficiencias dependientes del ángulo de incidencia y del espectro de los hologramas de volumen de acoplamiento desplazados lateralmente 4_1 , 4_2 y 4_3 (figura 18B). En el siguiente análisis, se supone que el intervalo angular acoplado verticalmente está limitado a $\pm 20^\circ$ debido a la reflexión total en la guía de ondas. Además, el detector 11 presenta únicamente una sensibilidad espectral de 400 nm a 700 nm. Por supuesto, el procedimiento también puede aplicarse a otros intervalos angulares verticales y sensibilidades de detector.

Como se muestra en la figura 19B, el primer holograma de volumen 4_1 acopla un ángulo de incidencia de entre $6,67^\circ$ y 20° en un rango espectral de entre 400 nm y 440 nm en la guía de ondas 1. A diferencia del primer holograma de volumen 4_1 , el segundo holograma de volumen 4_2 acopla en la guía de ondas 1 radiación procedente de todo el intervalo de ángulo de incidencia en un espectro de 400 nm a 650 nm. El tercer holograma de volumen 4_s acoplará el ángulo de incidencia comprendido entre $-6,67^\circ$ y -20° en un intervalo espectral de 565 nm a 700 nm en la guía de ondas 1. Así, cada campo de visión horizontal se acopla a la guía de ondas 1 mediante un holograma de volumen especial 4_1 - 4_s con propiedades diferentes. Estas propiedades se utilizan tras el desacoplamiento para separar el FoV horizontal.

Los hologramas 4_1 , 4_2 y 4_3 también pueden disponerse unos encima de otros en la dirección z, de modo que se cree una pila de capas en la guía de ondas. También es posible implementar las funciones holográficas individuales de los tres hologramas en un solo holograma (u holograma de volumen), lo que también se conoce como multiplexación.

En la zona de desacoplamiento 5, es de esperar que el espectro angular espectral acoplado por todos los hologramas de volumen de acoplamiento 4_1 - 4_3 esté presente en cada punto. En la zona de desacoplamiento 5, los hologramas de volumen 5_1 , 5_2 , 5_s con un comportamiento idéntico al del acoplamiento vertical están dispuestos lateralmente desplazados unos encima de otros. Cada uno de estos hologramas 5_1 - 5_s asegura entonces que la radiación acoplada por el correspondiente holograma de volumen de acoplamiento 4_1 - 4_s se desacople con la distribución angular espectral representada en las figuras 19A - 19C de manera correspondiente.

Al igual que en la zona de acoplamiento, los hologramas 5_1 , 5_2 , 5_s pueden disponerse alternativamente unos encima de otros en la dirección z, de modo que se forme una pila de capas en la guía de ondas. También es posible implementar las funciones holográficas individuales de los tres hologramas en un solo holograma (u holograma de volumen), lo que también se conoce como multiplexación.

Después del desacoplamiento, se realiza la separación de todo el campo para que los diferentes FoV horizontales puedan detectarse individualmente. Para ello, el área de detector 11 del detector se divide primero verticalmente. Cada porción de área corresponde a este respecto a un intervalo angular vertical. A este respecto, el número de porciones

de área (intervalos angulares verticales) es idéntico al número de FoV horizontales diferentes. Normalmente, el área de detector (intervalo angular vertical total) se subdivide en porciones de área de igual tamaño (también es posible subdividirla en porciones de área de diferentes tamaños). Sin embargo, de acuerdo con la figura 19C, la superposición espectral se produce como resultado del comportamiento típico en los hologramas de volumen de reflexión dentro de los intervalos angulares individuales, de modo que, en última instancia, se superpondrían diferentes FoV horizontales con los mismos FoV verticales. Para evitarlo, pueden preverse filtros espectrales para cada zona parcial del detector 11, es decir, para cada intervalo angular parcial vertical, que realicen una supresión de componentes espectrales no deseados en un intervalo angular correspondiente. Como resultado, los distintos FoV horizontales pueden asignarse claramente a distintas zonas del detector (es decir, intervalos angulares verticales/FoV). Como resultado, se realiza una clara asignación de los diferentes FoV horizontales a los diferentes FoV verticales, como se muestra en la figura 18b.

Como alternativa al uso de filtros espectrales, también es posible utilizar hologramas de volumen de desacoplamiento especiales que únicamente realizan un desacoplamiento en el intervalo espectral requerido.

Tras aplicar los filtros espectrales o utilizar los hologramas de volumen de desacoplamiento adaptados espectralmente, se obtiene el espectro dependiente del ángulo mostrado en la figura 20. Esto significa que ya no se superponen diferentes FoV horizontales, lo que da lugar a una asignación clara del FoV horizontal al FoV vertical correspondiente.

De este modo, se aumenta el FoV horizontal detectable. Sin embargo, esto también conlleva una reducción del FoV vertical.

La ventaja de la codificación espectral descrita del FoV horizontal en el FoV vertical comparada con la codificación angular del FoV horizontal en el FoV vertical es principalmente la mayor transparencia en un amplio intervalo angular y espectral con transparencia normal a través de la zona de acoplamiento 4.

Una desventaja de la codificación espectral consiste en que cada FoV horizontal registra una banda espectral diferente y la información puede perderse si, por ejemplo, en un determinado FoV horizontal no se produce radiación, o muy poca radiación, en el intervalo espectral correspondiente. Este déficit puede compensarse fijando varias zonas de desacoplamiento con espectros de acoplamiento desplazados espectralmente para los distintos FoV horizontales. Sin embargo, también se requiere un número correspondiente de sistemas detectores 2.

Los siguientes aspectos deben tenerse en cuenta en el diseño general del sistema global de la guía de ondas 1 y en el diseño de los hologramas de volumen de acoplamiento y desacoplamiento en particular:

Para realizar n FoV horizontales diferentes, se necesitan n hologramas de volumen de acoplamiento y desacoplamiento diferentes y n intervalos angulares (zonas de detector) que incluyan las correspondientes funciones de filtro de banda o de borde. N intervalos angulares horizontales se convierten en n intervalos angulares verticales.

Los gradientes de eficiencia individuales de los hologramas de volumen no deben presentar solapamientos espectrales dentro del mismo intervalo angular, ya que de lo contrario la separación espectral del FoV vertical y por lo tanto también del FoV horizontal ya no es posible. A pesar del filtrado espectral, los componentes de radiación de diferentes FoV horizontales se superpondrían.

Para absorber la mayor cantidad posible de potencia de radiación, cada holograma de volumen debe diseñarse de forma que se cubra el mayor intervalo espectral posible en el intervalo angular cubierto en cada caso. Sin embargo, a este respecto también hay que tener en cuenta la sensibilidad espectral del detector. Al comparar los gradientes de eficiencia dependientes del ángulo y de la longitud de onda en las figuras 19B y 19C, queda claro que en el intervalo angular entre $+6,67^\circ$ y $+20^\circ$, únicamente se utiliza un ancho de banda de radiación de 40 nm. Optimizando el diseño del holograma de volumen en consecuencia, sería posible aumentar este ancho de banda y acoplar así una potencia de radiación potencialmente mayor. En contraste con el intervalo angular entre $+6,67^\circ$ y $+20^\circ$, en el intervalo angular entre $-6,67^\circ$ y -20° se acopla un rango espectral de 135 nm.

La subdivisión del FoV horizontal está acoplada a las propiedades espectrales del holograma de volumen. Normalmente, todos los FoV parciales verticales tienen el mismo tamaño. En función de la aplicación, también pueden realizarse distintos tamaños del FoV vertical para los distintos FoV horizontales. Esto requiere un diseño adecuado de los hologramas de volumen en combinación con el filtrado delante de las zonas de detector individuales.

La figura 21 muestra un ejemplo de realización de la guía de ondas 1 en la que la zona de acoplamiento 4 es más ancha que la zona de desacoplamiento 5 y la zona de acoplamiento 4 se realiza mediante un holograma de volumen reflectante. La zona de desacoplamiento 5 también puede presentar un holograma de volumen reflectante. El FoV viene determinado a este respecto por el tamaño de estas áreas y la distancia entre ellas. En el ejemplo de realización descrito en relación con la figura 22, se supone que el FoV del sistema detector 2 no restringe el FoV de la guía de ondas 11.

El enfoque de acuerdo con la figura 22 para aumentar la eficiencia de detección prevé subdividir la zona de

acoplamiento 4 verticalmente (a lo largo de la segunda dirección) en tres subáreas de acoplamiento 4_1 , 4_2 y 4_3 . Mientras que el área de acoplamiento central (o el holograma de volumen reflectante central 4_1) únicamente contiene una función para desviar la radiación en la primera dirección (sólo en la dirección y sin componente x) hacia la zona de desacoplamiento 5, en la subárea de acoplamiento derecha 4_2 se integra adicionalmente una función de deflexión horizontal (o un componente x de la deflexión) a lo largo de la segunda dirección (hacia el holograma de volumen reflectante central 4_1), como se indica esquemáticamente en la figura 22. Una función de deflexión horizontal correspondiente a lo largo de la segunda dirección (hacia el holograma de volumen central 4_1) también está integrada en la sub-área de acoplamiento izquierda 4_3 .

Sin esta función de deflexión, el FoV para la zona de acoplamiento 4_2 y la zona de desacoplamiento 5 resultaría de los tamaños de las áreas, su distancia y el descentramiento (a lo largo de la segunda dirección) del área de acoplamiento 4_2 con respecto a la zona de desacoplamiento 5 (lo mismo se aplicaría a la combinación del área de acoplamiento izquierda 4_3 y de la zona de desacoplamiento). Este FoV tiene un desplazamiento angular con respecto al FoV central (dado por el área acoplamiento central 4_1 y el área de desacoplamiento 5). En total, esto resulta en un aumento del FoV, que viene dado por la anchura total de las dos áreas de acoplamiento.

Integrando la función de desviación descrita en las dos superficies de acoplamiento laterales 4_2 y 4_3 , se puede compensar el desplazamiento angular descrito. El holograma de volumen de acoplamiento descentrado 4_2 , 4_3 en combinación con el holograma de volumen de desacoplamiento 5 cubre entonces el mismo FoV que el holograma de volumen de acoplamiento central 4_1 . Sin embargo, la radiación emitida por el holograma de volumen de acoplamiento descentrado 4_2 , 4_3 se propaga entonces en la dirección horizontal en la guía de ondas con un desplazamiento angular horizontal y se acopla fuera de la guía de ondas 1 con ella. Por consiguiente se presenta el mismo FoV uno al lado del otro tras el desacoplamiento. Utilizando un sistema detector 2 con un FoV suficientemente grande, se pueden grabar estos FoV idénticos contiguos. Esto aumenta la potencia de radiación detectada para el FoV horizontal, pero no la densidad de potencia relevante para la relación señal/ruido.

Para ello, el área de desacoplamiento 5 se diseña con ayuda de hologramas de volumen de tal manera que desacopla la radiación acoplada por el holograma de volumen de acoplamiento central 4_1 y la radiación acoplada por los hologramas de volumen de acoplamiento descentrados 4_2 , 4_3 en el mismo intervalo angular.

Esto se consigue gracias a que la zona de desacoplamiento 5 presenta diferentes funciones de desacoplamiento expuestas. A este respecto cada función de desacoplamiento sólo es eficaz para la radiación del correspondiente holograma de volumen de acoplamiento $4_1 - 4_3$ (selectividad angular del holograma de volumen), de modo que, en última instancia, la radiación que se propaga desde diferentes direcciones sobre la zona de desacoplamiento 5 se desacopla en el intervalo angular idéntico mediante la función de desacoplamiento correspondiente. La intensidad de la selectividad angular puede ajustarse mediante el grosor y la modulación del índice de refracción del material holográfico volumétrico y la configuración de la exposición.

Una de estas funciones corresponde a la función de desacoplamiento original y garantiza únicamente el desacoplamiento vertical de la radiación. Todas las demás funciones implementadas presentan una selectividad angular especial y adaptada, de modo que sólo son eficaces para un intervalo angular horizontal en torno al respectivo desplazamiento angular horizontal, que se propagan desde el área de acoplamiento 4_2 , 4_3 descentrada correspondiente en dirección al área de desacoplamiento 5. Adicionalmente a la función de desacoplamiento vertical, esta función de desacoplamiento incluye una compensación del desplazamiento angular horizontal, de modo que el FoV generado por las áreas de acoplamiento descentradas 4_2 , 4_3 se superpone al FoV generado por el área de acoplamiento 4_1 centrada. Como resultado, aumenta la densidad de potencia dentro del FoV y por consiguiente se mejora la relación señal/ruido.

El procedimiento descrito en este caso también puede denominarse reducción de la pupila en sentido óptico (cf. replicación de la pupila o expansión de la pupila en imagen = camino óptico inverso). De este modo, en la zona de acoplamiento 4 y la potencia puede acumularse en una gran área y desacoplarse en una pequeña área en la zona de desacoplamiento 5. Esto permite realizar una zona de acoplamiento 4 con una eficiencia muy baja y, por tanto, una transmisión elevada. Esto permite grabar la información de imagen con alta intensidad luminosa a través de un área de acoplamiento 4 con la mayor transmisión posible.

Por otra parte, la zona de acoplamiento puede, por ejemplo, realizarse también con una transmisión apenas aceptable, es decir, con una alta eficiencia de acoplamiento, a fin de concentrar la mayor potencia de radiación posible en una zona de desacoplamiento muy pequeña. Por ejemplo, se podría instalar una célula solar muy pequeña en la zona de desacoplamiento para convertir la energía de radiación en energía eléctrica. También es posible que el desacoplamiento tenga lugar en un conjunto de detectores.

La implementación de diferentes funciones de desacoplamiento es posible con material de holografía de volumen suficientemente grueso con una modificación del índice de refracción suficientemente alta. Esta implementación de diferentes funciones en una sola área holográfica también se denomina multiplexación de funciones. Alternativamente, las funciones de desacoplamiento individuales también pueden visualizarse en varias películas holográficas de volumen apiladas unas sobre otras.

Cabe señalar que esto va acompañado de un acoplamiento espectral dependiente del ángulo en la dirección horizontal, así como en la dirección vertical y, por lo tanto, también da lugar a un gradiente espectral dependiente del ángulo en la dirección horizontal. Sin embargo, dado que la información espectral se pierde de todos modos debido a la distribución espectral en la dirección vertical, este gradiente de color no representa una desventaja significativa del procedimiento.

Sin embargo, como puede verse en la figura 22, el aumento de la eficiencia con la subdivisión vertical de la zona de acoplamiento 4 se asocia con una reducción del FoV horizontal, mientras que la anchura del área de acoplamiento sigue siendo la misma. Esta desventaja puede compensarse mediante una combinación con la variante de acuerdo con las figuras 16 a 18, aunque esto resulta en una reducción del FoV vertical.

Si, por el contrario, se realiza una subdivisión horizontal del área de acoplamiento de la figura 21 de acuerdo con la figura 16, se puede ampliar el FoV original de un solo holograma de volumen de acoplamiento (figura 21). Sin embargo, con un área de holograma de volumen de acoplamiento constante, no se consigue en este sentido un aumento global de la potencia de radiación acoplada. Sin embargo, si se aumenta el área de cada holograma de volumen de acoplamiento, se puede mejorar la eficiencia del sistema mediante el proceso descrito anteriormente.

En principio, los hologramas de volumen de acoplamiento pueden distribuirse libremente en la guía de ondas 1. A continuación, debe tenerse en cuenta el efecto sobre el FoV respectivo en relación con el holograma de volumen de acoplamiento y una corrección correspondientemente adaptada de los intervalos angulares desacoplados.

La figura 23 muestra un ejemplo de realización en el que está configurada una rejilla en relieve tanto en la zona de acoplamiento 4 como en la zona de desacoplamiento 5. Las reglas para definir el periodo de rejilla son esencialmente las mismas que para un holograma de volumen. Se necesita un ángulo de difracción para el que esté garantizada la reflexión total en la guía de ondas 1. Además, las rejillas simétricas se utilizan ventajosamente para un acoplamiento y desacoplamiento. Además, si se desea, puede aplicarse opcionalmente una función de formación de imágenes a la rejilla de acoplamiento y/o a la rejilla de desacoplamiento. De este modo, incluso los objetos distanciados a sólo 50 cm de la guía de ondas 1, por ejemplo, pueden reproducirse con nitidez.

La ventaja de configurar las rejillas de acoplamiento y desacoplamiento como estructuras en relieve en comparación con los hologramas de volumen es la menor selectividad angular y de longitud de onda. Como ya se ha descrito, cuando se utilizan hologramas de volumen, un ángulo de observación está vinculado a un intervalo limitado de longitudes de onda. Sin la realización según la figura 11, los espacios en el espectro de iluminación provocan ángulos de observación verticales muertos. Estos fallos pueden evitarse gracias a la mayor aceptación de la longitud de onda y de ángulo de las estructuras en relieve.

La rejilla de acoplamiento 20 puede moldearse, por ejemplo, sobre el área derecha 21 de la placa izquierda 22 con el grosor d_1 de la figura 23 utilizando una resina epoxi o un polímero de curado UV. Los polímeros típicos presentan a este respecto índices de refracción n de alrededor de 1,5.

A continuación, la rejilla de acoplamiento 20 se recubre con una fina capa dieléctrica 23 altamente refractiva. Los índices de refracción típicos son $n > 2,0$. Por ejemplo, se pueden utilizar valores entre 10 y 100 nm como grosor para la capa 23. A este respecto es ventajoso en particular recubrir no sólo la rejilla de acoplamiento 20, sino toda la placa izquierda 22 con la fina capa altamente refractiva 23 para conseguir una impresión de transmisión uniforme en toda el área.

A continuación la segunda placa 24 (con un grosor d_2) se pega a la rejilla de acoplamiento 20 y a la placa asociada 22 con un grosor d_1 utilizando una resina epoxi o un polímero de curado UV. La rejilla en relieve de acoplamiento 20 queda así enterrada en el sustrato, formado por las dos placas 22 y 24, y actúa como una rejilla de reflexión 20 con eficiencias de difracción de entre el 5 % y el 20 % debido a su fina capa altamente refractiva.

Para la rejilla de desacoplamiento 25, se utiliza una rejilla del mismo número de línea (periodo de rejilla) que, sin embargo, se moldea en la superficie exterior 7 de la placa izquierda 22 o en la superficie exterior 8 de la segunda placa 24. En el ejemplo de realización mostrado en la figura 23, la rejilla de desacoplamiento 25 está moldeada en la cara anterior 7. Esta rejilla 25 se metaliza con aluminio tras el moldeo para conseguir una elevada eficiencia de desacoplamiento. En este caso, pueden alcanzarse valores de eficiencia en torno al 50 % en un amplio espectro de longitudes de onda y ángulos.

La guía de ondas 1 con la rejilla de acoplamiento 20 y la rejilla de desacoplamiento 25 tiene dos diafragmas, ya que los bordes de la rejilla de acoplamiento 20 y los bordes de la rejilla de desacoplamiento 25 actúan en cada caso como un diafragma que corta la trayectoria de los rayos. En la ilustración de acuerdo con la figura 23, sólo se muestra un haz de rayos para exactamente una longitud de onda. Otras longitudes de onda que emanan del mismo punto objeto son desviadas por la rejilla de acoplamiento 20 hacia otros ángulos de la guía de ondas 1. Esta relación entre la longitud de onda y el ángulo de propagación en la guía de ondas 1 es continua, aunque no lineal.

Así, en el caso de guías de ondas largas 1 con muchas (por ejemplo, 10, 20, etc.) reflexiones, existe la posibilidad de que el área de la rejilla de acoplamiento 20 (vista en sección vertical) caiga exactamente sobre la rejilla de desacoplamiento 25. Así se transmite mucha luz. Sin embargo, también es posible que el diafragma de la rejilla de acoplamiento 20 se visualice sólo una vez por debajo y una vez por encima de la rejilla de desacoplamiento 25, de modo que no se desacopla luz en la rejilla de desacoplamiento 25.

El espectro transmitido se divide así en zonas eficientes e ineficientes, que se alternan casi periódicamente. En la figura 24 se muestra un espectro de transmisión determinado de forma puramente geométrica, en donde la longitud de onda en nm se representa gráficamente a lo largo del eje x y la eficiencia de transmisión entre 0 (no hay transmisión de la luz que incide en la rejilla de acoplamiento 20) y 1 (toda la luz que incide en la rejilla de acoplamiento 20 se desacopla a través de la rejilla de desacoplamiento 25, despreciando la eficiencia de difracción de la rejilla) se representa gráficamente a lo largo del eje y. Esta eficiencia de transmisión se muestra para un ángulo de incidencia de -15° , que cubre el intervalo de longitudes de onda de 400 a 530 nm (línea discontinua), para un ángulo de incidencia de 0° , que cubre el intervalo de longitudes de onda de 440 a 645 nm (línea continua), y para un ángulo de incidencia de $+15^\circ$, que cubre el intervalo de longitudes de onda de 555 nm a 690 nm (línea de puntos). A este respecto, los límites espectrales resultan, por una parte, de la condición para la reflexión interna total y, por otra, del ángulo de desviación tras el acoplamiento, bajo el cual apenas se incide en la rejilla de salida (sin reflexión interna total en las superficies). Esto demuestra que el intervalo espectral transmitido se desplaza con el ángulo de incidencia. El intervalo espectral transmitido es mayor a medida que aumenta el índice de refracción de la guía de ondas 1.

La figura 25 muestra esquemáticamente el viñeteado causado por la pupila de entrada EP del sistema detector 2. Esto significa que algunos de los rayos desacoplados no pueden incidir en el detector 11, lo que da lugar a un espectro de transmisión determinado geoméricamente, como se muestra esquemáticamente en la figura 26. La ilustración de la figura 26 corresponde a la ilustración de la figura 24. Como era de esperar, este viñeteado da lugar a espectros de transmisión más pobres para los ángulos de incidencia -15° y $+15^\circ$.

La rejilla de acoplamiento 20 puede diseñarse como una rejilla en diente de sierra, es decir, la forma del perfil de cada período de la rejilla sigue al menos aproximadamente una forma de diente de sierra. La figura 27 muestra una sección transversal simulada a través de un período de rejilla de la rejilla de acoplamiento enterrada, en la que se supuso un ligero redondeo del perfil para la rejilla. La extensión lateral de 0 a 430 nm se traza a lo largo del eje x y la sección de perfil en el intervalo de 0 a 300 nm se traza a lo largo del eje y, lo que resulta en un grosor de capa de aproximadamente 60 nm con una profundidad de blaze de aproximadamente 120 nm. Utilizando una estructura de este tipo, es posible acoplar un amplio intervalo de longitudes de onda en la guía de ondas 1 con una eficiencia aproximada del 10 al 15 %. La eficiencia de difracción resultante a este respecto (reflectancia) se representa en la figura 28 para el intervalo de longitudes de onda de 400 a 650 nm (que se traza a lo largo del eje x). Las curvas RE0 y RM0 muestran la reflectancia para la reflexión de orden cero para el campo polarizado en s (RE) y el campo polarizado en p (RM). Las curvas RM1 y RE1 muestran la reflectancia para el menos primer orden de difracción para el campo polarizado en s (RE) y el campo polarizado p (RM).

Se puede utilizar una forma de perfil similar a la de la figura 27 para la rejilla de desacoplamiento 25. En este caso, sin embargo, se utiliza un revestimiento metálico en lugar del dieléctrico de alta refracción.

Las figuras 29 y 30 muestran un ejemplo de realización en el que la guía de ondas 1 está integrada en un equipo de visualización o una pantalla 30. La pantalla 30 puede ser una pantalla de un dispositivo móvil de consumo (como un teléfono móvil o un ordenador portátil). También puede ser la pantalla de un ordenador fijo.

Como puede observarse en las ilustraciones de las figuras 29 y 30, la zona de acoplamiento 4 está configurada en la cara posterior 8 con el holograma de volumen reflectante que provoca una desviación de rayos de manera que los haces desviados se guían dentro de la pantalla mediante, por ejemplo, reflexión interna total hasta que chocan con la zona de desacoplamiento 5 con el holograma de volumen de desacoplamiento que provoca una desviación en la dirección del sensor de cámara 11. La imagen captada de este modo es prácticamente una vista frontal del usuario B, que en ese momento está mirando a la zona de acoplamiento 4. La imagen corresponde, por tanto, a una grabación con un sensor de cámara situado en la zona de la zona de acoplamiento 4. La solución de acuerdo con las figuras 29 y 30 puede describirse, por tanto, como un sensor de imagen transparente que se integra en la pantalla sin perjudicar la función de visualización de la pantalla. Esto permite capturar imágenes o secuencias de imágenes en la ubicación de la pantalla 30, realizando así una vista frontal de la escena que va a reproducirse.

Esta propiedad puede utilizarse ventajosamente, por ejemplo, para aplicaciones como la videotelefonía o la captura de autorretratos (los llamados *selfies*) ya que la línea de visión del usuario B hacia la pantalla coincide con el centro de la imagen capturada por la cámara. Esto significa que ambos interlocutores pueden mantener casi contacto visual durante las videollamadas, por ejemplo, lo que antes no era posible porque las cámaras correspondientes siempre estaban integradas en el borde de la pantalla. Este contacto visual conduce a una experiencia de conversación más natural y envolvente. Al hacerse un autorretrato, por ejemplo, el usuario puede seguir la previsualización en directo de la imagen que va a tomar sin tener que apartar la vista de la cámara y dirigirla hacia la pantalla.

Adicionalmente a la función de desviación, la rejilla de desacoplamiento 5 puede presentar una función de formación

de imágenes, por ejemplo, de modo que no se requieran ópticas adicionales delante del sensor de cámara 11. Esto maximiza el grado de integración de la cámara en la pantalla 30.

Debido a la pronunciada selectividad de longitud de onda y de ángulo de la eficiencia de difracción típica de los hologramas de volumen y a la posibilidad de personalizar la eficiencia de difracción, la parte de la pantalla 30 cubierta por la rejilla de acoplamiento parece en gran medida transparente y el contenido mostrado en la pantalla permanece visible para el espectador. Por un lado, la eficiencia de la rejilla de acoplamiento 4 debe ser lo suficientemente alta como para permitir que el sensor de la cámara 11 capte la imagen. Por otra parte, la eficiencia de la rejilla de acoplamiento debe ser tan baja que se mantenga la transparencia y no se produzcan efectos molestos para el espectador. La transparencia resultante del holograma de volumen aplicado en la zona de acoplamiento depende, por tanto, también de la sensibilidad lumínica del sensor de cámara 11 utilizado.

En la configuración más sencilla de la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5 de acuerdo con la forma de realización de las figuras 1 a 3, se transmite un intervalo de longitudes de onda diferente al detector 11 o al sensor de cámara 11 para cada ángulo, de modo que se produce una imagen con un gradiente de color vertical. A continuación, esta imagen puede convertirse en una imagen monocroma. Para obtener una imagen multicolor natural, por ejemplo, la imagen monocroma puede volver a colorearse en tiempo real utilizando la información de imagen grabada por otra cámara frontal. De este modo, se puede proporcionar una imagen natural a través de la función de cámara implementada con holografía de volumen con la ventaja antes mencionada de la vista frontal.

Alternativamente, la funcionalidad de color de la función de cámara implementada con holografía de volumen puede implementarse de acuerdo con el ejemplo de realización de las figuras 10 a 15. Esto eliminaría la necesidad de una cámara frontal adicional y el coloreado posterior.

En el ejemplo de realización mostrado en las figuras 29 y 30, se ha supuesto que la zona de desacoplamiento 5 y el sensor de cámara 11 están situados debajo de una zona de no visualización 31 de la pantalla 30, ya que de lo contrario la luz emitida por la pantalla también caería sobre el sensor de cámara 11. Esto interferiría en la captura de la imagen.

Sin embargo, si se utiliza una pantalla 30 que es transparente cuando está inactiva, el sensor de la cámara también puede disponerse por debajo del área realmente utilizada por la pantalla, como se muestra en el ejemplo de realización de acuerdo con las figuras 31 y 32.

Cuando se captura una imagen, la zona correspondiente de la pantalla 30 se oscurece para que sólo la luz procedente de la zona de desacoplamiento 5 incida sobre el sensor de cámara 11. De este modo, la pantalla 30 puede utilizarse completamente para la visualización cuando la función de cámara no está activada. Si la función de cámara está activada, sólo se oscurece una parte de la pantalla 30. Por tanto, el área de visualización sólo se restringe cuando es necesario y únicamente cerca del borde.

En una pluralidad de aplicaciones, se puede generar un valor añadido considerable si se puede introducir radiación adicional en los canales de haz de un sistema óptico y/o se puede detectar radiación sin influir significativamente en la funcionalidad óptica real del sistema óptico. En la detección de radiaciones, la radiación se refleja fuera de la trayectoria de los rayos en un punto adecuado y se dirige hacia un sensor. Cuando se introduce radiación en el sistema, se utiliza el camino óptico opuesto y se introducen componentes de radiación adicionales. Puede utilizarse, por ejemplo, para iluminar el espacio del objeto o para añadir información adicional.

De manera conocida, se utilizan sustratos 40 parcialmente metalizados para este fin, como se muestra esquemáticamente en la figura 33, donde se muestran esquemáticamente dos lentes 41 y 42 para el sistema óptico. Es el llamado principio del combinador. Sin embargo, esto requiere un espacio constructivo suficiente en el sistema óptico, que viene dado por el tamaño del sustrato inclinado 40 o el diámetro de rayo proyectado en el punto de reflexión. Además, la introducción y detección de la radiación en el mismo punto de la trayectoria de los rayos sólo es posible con gran esfuerzo (revestimientos especiales, óptica compleja para la superposición de la radiación).

También en este caso puede utilizarse la guía de ondas 1 de acuerdo con la invención descrita anteriormente, que permite la introducción y/o detección de radiación con bajos requisitos de espacio constructivo, como se muestra esquemáticamente en la figura 34.

Adicionalmente a la entrada y detección de la radiación, el enfoque también ofrece la posibilidad de ejercer una influencia específica sobre las propiedades espectrales de la radiación reflejada de entrada o de salida mediante filtrado. Gracias a la gran transparencia de la guía de ondas 1, estos componentes multifuncionales pueden utilizarse en casi cualquier lugar de un sistema óptico (si es necesario, también en el eje óptico). Además, las propiedades físicas especiales de los hologramas de volumen permiten implementar estas funciones casi en la misma posición.

Estos sistemas ópticos incluyen sistemas ópticos técnicos, así como superficies transparentes como ventanas, lunas de automóviles, etc. En la mayoría de los casos, reflejar la información hacia dentro o hacia fuera a través de un sustrato inclinado y parcialmente metalizado no es una solución aceptable. Sin embargo, el principio de la guía de ondas 1 descrita permite implementar estas funcionalidades directamente en el propio sustrato transparente (ventanas,

lunas de automóviles, etc.), sin influir significativamente en la transparencia, es decir, en la trayectoria original de los rayos. Esto da lugar a aplicaciones completamente nuevas para superficies que normalmente sirven únicamente para proteger a personas u objetos de influencias ambientales como el viento, la temperatura, las partículas o la radiación.

5 El principio descrito de la guía de ondas 1 también puede utilizarse para iluminación y/o proyección. Para ello, el camino óptico en la guía de ondas 1 se utiliza en dirección opuesta y en lugar del detector se utiliza una fuente de luz estática o dinámica (o una fuente de imagen correspondientemente iluminada). La zona de desacoplamiento anterior se convierte así en la zona de acoplamiento 4 y la zona de acoplamiento anterior se convierte en la zona de desacoplamiento 5, como se muestra en las figuras 35, 36 y 37. La radiación procedente de la fuente de luz 32 se
10 acopla a la guía de ondas 1 a través de la zona de acoplamiento 4 y se guía en ella hasta la zona de desacoplamiento 5, a través de la cual se realiza el desacoplamiento a la sala o a un sistema óptico dispuesto aguas bajo de manera correspondiente.

Desde un punto de vista físico, no existen diferencias fundamentales entre la proyección y la iluminación, ya que en
15 ambos casos la radiación se proporciona por regla general de una forma predeterminada (distribución angular y/o espacial) en el espacio o en la trayectoria de los rayos. La iluminación de un objeto se muestra esquemáticamente en la figura 38. La figura 39 muestra esquemáticamente la proyección de una imagen virtual para un espectador B. La figura 40 muestra esquemáticamente la proyección de una imagen real (en este caso la letra F). La proyección de una imagen real es idéntica a la iluminación.

20 Dado que la zona de acoplamiento 4 y la zona de desacoplamiento 5 pueden realizarse con hologramas de volumen (preferentemente hologramas de volumen reflectantes), pueden realizarse fuentes de luz casi transparentes o dispositivos de proyección casi transparentes debido a la alta selectividad de longitud de onda y ángulo de los hologramas de volumen. A este respecto puede conseguir una alta eficiencia de transferencia del acoplamiento al
25 desacoplamiento, la generación de una característica de radiación definida (es decir, distribución angular o espacial) y las composiciones espectrales deseadas.

Para el sistema de detección, la extensión del área de acoplamiento y desacoplamiento 4,5 puede adaptarse al FoV
30 requerido en la dirección horizontal. En la dirección vertical (o en la primera dirección), el tamaño de las áreas viene dado por el tamaño de la abertura del sistema de detección. Para conseguir un FoV ampliado, es preferible seleccionar una mayor extensión del área de acoplamiento 4 en la dirección horizontal (o en la segunda dirección) que la extensión del área de desacoplamiento 5. Se crea una banda de acoplamiento.

Para un sistema de proyección, se prefiere la replicación 2D de la pupila para proporcionar la información de la imagen
35 o la iluminación sobre un área extendida (eyebow). A este respecto la pupila, que se acopla al sustrato, se reproduce en las direcciones horizontal y vertical. El área de desacoplamiento es, por tanto, un área cuya extensión difiere en dirección horizontal y vertical de la extensión del área de acoplamiento (lo que constituye una diferencia con respecto al sistema de detección descrito anteriormente).

40 Cuando el sistema de detección y proyección está conectado, en el intervalo visible de la guía de ondas se encuentran por tanto la zona de acoplamiento de la detección con las expansiones descritas anteriormente y la zona de desacoplamiento de la proyección con las expansiones descritas anteriormente.

45 Por supuesto, también pueden asignarse funciones ópticas de formación de imágenes a las zonas de acoplamiento y/o desacoplamiento 4, 5 en la guía de ondas 1 para proyección y/o iluminación. De este modo, pueden realizarse configuraciones finitas-infinitas, infinitas-finitas, finitas-finitas o infinitas-infinitas de la guía de ondas 1. Esto permite influir específicamente en la propagación de la radiación y la distribución angular y/o la distribución en un lugar definido durante el acoplamiento y/o el desacoplamiento. Adicionalmente o en lugar de funciones de ópticas de formación de
50 imágenes en forma de funciones de lente y/o espejo cóncavo, por ejemplo, también pueden incorporarse a las áreas de acoplamiento y/o desacoplamiento funciones difusoras o de transformación de rayos, que también pueden utilizarse para influir específicamente en la propagación de la radiación.

Al igual que en la configuración de detección, el tamaño efectivo en el área de acoplamiento y desacoplamiento 4, 5
55 también tiene una influencia considerable en el intervalo angular transportado, aceptado o emitido por la guía de ondas funcionalizada 1.

Como fuente de luz 32 pueden utilizarse ledes, láseres, etc. y como fuentes de imagen pueden utilizarse pantallas
(por ejemplo, pantallas DMD, pantallas LCD, etc.). El uso de fuentes de luz dinámicas o de fuentes de imagen
60 dinámicas puede generar distribuciones angulares o espaciales temporalmente variables. Esto permite, por ejemplo, implantar soluciones de iluminación adaptables en los microscopios o introducir información variable (contenido de imagen virtual o real) en las trayectorias de los rayos.

Como alternativa a la solución basada en guía de ondas, también pueden realizarse funciones de iluminación y/o
65 proyección con alta transparencia en un amplio rango de ángulos y longitudes con visión transparente normal en una estructura de rayos libre basada en hologramas de volumen de reflexión de acuerdo con las figuras 41A, 41B y 41C o basándose en hologramas de volumen de transmisión de acuerdo con las figuras 42A, 42B y 42C.

Como ya se ha explicado varias veces, los hologramas de volumen presentan una sensibilidad espectral dependiente del ángulo. Como resultado de esta propiedad, la radiación dentro de un intervalo de longitud de onda definido sigue siendo desviándose en un ángulo determinado y sigue acoplándose en la guía de ondas 1, por ejemplo. Aunque este efecto es bastante desventajoso para aplicaciones generales de detección e iluminación, también puede utilizarse ventajosamente para aplicaciones de detección o iluminación espectrales por ejemplo.

En el campo de la iluminación, este comportamiento del holograma de volumen puede utilizarse para filtrar un intervalo espectral definido en el caso de radiación incidente dirigida. Por ejemplo, se pueden realizar fuentes de luz de banda estrecha con coherencia parcial que, a diferencia de los láseres, son adecuadas en particular para la proyección holográfica de contenidos de imágenes virtuales o reales. Con radiación convergente o divergente, es posible influir en el espectro de longitud de onda desviado por el holograma de volumen con hologramas de volumen registrado adecuadamente mediante la distribución angular que se presenta en el holograma de volumen.

La sensibilidad espectral dependiente del ángulo del holograma de volumen también puede utilizarse para aplicaciones de detección. De acuerdo con la eficiencia simulada dependiente del espectro y del ángulo de incidencia, de acuerdo con la figura 4, un rango espectral diferente se desvía eficientemente para cada ángulo de incidencia y, por ejemplo, se acopla verticalmente en una guía de ondas 1. En la configuración más sencilla de la cámara, como se muestra en las figuras 1 a 3, se utiliza un holograma de volumen de desacoplamiento 5 correspondiente al holograma de volumen de acoplamiento 4, que garantiza el desacoplamiento de los ángulos que se propagan en la guía de ondas 1, en donde cada ángulo consiste en un intervalo espectral definido debido al filtrado o acoplamiento. A continuación, la distribución angular se convierte mediante una función de formación de imágenes en el holograma de volumen de desacoplamiento 5 o mediante un objetivo en una distribución espacial en el detector 11, por lo que cada lugar en la dirección vertical corresponde a un intervalo espectral definido. Un barrido angular en dirección vertical y la detección sincrónica de la intensidad en el detector 11 permiten determinar en paralelo la información espectral dependiente del ángulo en dirección horizontal.

Un sistema de este tipo puede fijarse, por ejemplo, a la parte inferior de una aeronave. Conociendo el sistema de detección 2, la velocidad aerodinámica y la posición de la aeronave, puede determinarse la información espectral sobre la zona sobrevolada, en donde los datos se graban horizontalmente en paralelo.

En los ejemplos de realización descritos hasta ahora, se han presentado posibilidades para la funcionalización de superficies transparentes, en donde se puede mantener una alta transparencia de estas superficies en un amplio intervalo de ángulos y longitudes de onda con una transparencia normal. A este respecto, la radiación en la zona transparente con hologramas volumétricos especiales 4 se acopla a la guía de ondas 1 en el caso de la detección y se desacopla de la guía de ondas 1 en el caso de la iluminación/proyección. La propagación entre esta área de detección o emisión transparente se basa en la reflexión interna total dentro del sustrato o guía de ondas. Sin embargo, una reflexión también es posible gracias a un revestimiento reflectante adecuado. La electrónica óptica (detectores y fuentes de control) puede entonces instalarse en una posición ventajosa en términos de diseño o función. Esto significa que la posición de la detección o emisión de radiación ya no está vinculada a la posición de la optoelectrónica.

La gran transparencia de las funciones descritas introducidas en términos de holografía de volumen permite realizarlas casi en el mismo lugar, ya que las funciones no se influyen mutuamente, o lo hacen muy poco, si los hologramas de volumen están diseñados adecuadamente.

En la práctica, esto puede realizarse, por ejemplo, instalando los hologramas de volumen en los que se implementan las funciones individuales unos encima de otros (como una pila). Alternativamente (si la modificación máxima del índice de refracción del material holográfico de volumen es suficientemente grande), también pueden exponerse varias funciones ópticas en un holograma de volumen. La transparencia de la guía de ondas funcionalizada 1 se mantiene a este respecto si los hologramas de volumen 4, 5 están diseñados adecuadamente. En combinación con el transporte de rayos basado en guías de ondas y la forma constructiva pequeña asociada a este, se pueden crear superficies transparentes altamente funcionalizadas como, por ejemplo, ventanas. Por otra parte, el enfoque permite ampliar considerablemente la funcionalidad de los sistemas ópticos mediante una intervención relativamente pequeña en la trayectoria de los rayos.

La figura 43D muestra un ejemplo de funcionalización de una ventana 40, en la que la función de iluminación (figura 43A), la función de detección (figura 43B) y la función de proyección (figura 43C) se introducen mediante holografía de volumen y el transporte de radiación se implementa sobre la base de guías de ondas. Los diferentes hologramas de volumen para la zona de acoplamiento y la zona de desacoplamiento se diferencian por el índice: 4_1 , 4_2 , etc., 5_1 , 5_2 , etc.

Alternativamente, las funciones individuales también pueden ser implementadas sin basarse en una guía de ondas (es decir, utilizando enfoques de propagación de rayo libre).

En la figura 44A esto se muestra esquemáticamente para la iluminación, en la figura 44B para la detección y en la figura 44C para la proyección. Sin embargo, la ventaja de espacio de construcción generada por la línea de ondas

vuelve a perderse (al menos parcialmente) en estos ejemplos de realización. Las figuras 44A - 44C muestran las realizaciones descritas con las respectivas configuraciones de rayo libre con hologramas de volumen de reflexión. En las figuras 44D, 44E y 44F se muestra junto con hologramas de volumen de transmisión. Todas las funciones que no se realizan mediante la propagación de rayos libre se implementan en las figuras 44A - 44F basándose en guías de ondas.

La ampliación de la funcionalidad de un sistema óptico se muestra en la figura 45 utilizando el ejemplo de iluminación y detección en un microscopio 45 con el fin de capturar una visión general de la muestra. En este caso, la radiación se acopla en una guía de ondas 1 y se guía hasta el área de desacoplamiento 5 de holografía de volumen, que a continuación garantiza que la radiación se desacople en el espacio de proyecto (portamuestras 46). La radiación dispersada por la muestra 47 se acopla a continuación a la guía de ondas 1 mediante otro holograma de volumen 4', que se encarga de transportar la radiación al detector 11.

Si el sistema de iluminación del microscopio 45 está diseñado de manera correspondiente, el sistema basado en guía de ondas 1 puede, por ejemplo, permanecer en la trayectoria de los rayos como buscador de muestras sin interferir con la trayectoria de los rayos de iluminación de luz transmitida. Como alternativa a la disposición mostrada en la figura 45, el sistema de iluminación y formación de imágenes basado en la guía de ondas (guía de ondas 1) también puede montarse por encima de la muestra 47. Sin embargo, por regla general, el espacio de construcción entre el objetivo 48 del microscopio 45 y la muestra 47 está muy restringido en los microscopios.

En ambas variantes, el hecho de que la iluminación y la detección estén situadas en el mismo lugar y en el eje óptico del microscopio 45 tiene un efecto positivo en la funcionalidad global del sistema. Gracias a la iluminación vertical de la muestra 47 y a la detección vertical de la radiación, se puede conseguir una eficiencia relativamente alta (potencia de detección / potencia de iluminación). Al mismo tiempo, se proporciona una función de proyección. En los sistemas ópticos convencionales, esto sólo puede conseguirse con mucho esfuerzo y/o espacio de construcción. En el caso de la ventana funcionalizada 40 o de la guía de ondas funcionalizada 1, una propiedad comparable sólo sería posible con fuentes de radiación y detectores transparentes.

Las configuraciones descritas de la guía de ondas 1 pueden utilizarse en el ámbito de los vehículos (por ejemplo, automóviles, camiones, motocicletas, etc.).

Cada vez se instalan más sistemas de proyección óptica, como cámaras, tanto en el interior como en el exterior de los vehículos, con el fin de vigilar y observar el entorno exterior y el interior. Con la transformación del control puramente manual del vehículo por el ser humano a través de la conducción asistida hasta llegar a la autónoma, cabe suponer que en el futuro se utilizarán detectores cada vez más potentes en los automóviles para garantizar una tecnología de sensores completa y segura. Sin embargo, estas no deben obstaculizar los requisitos estéticos, en particular en el sector de la automoción. Lo ideal es que los sensores no sean visibles para el cliente o el observador del coche.

Actualmente se están integrando sistemas de detección óptica en zonas no transparentes, como la columna B. De este modo, sólo queda una pequeña abertura para la lente. Para aumentar la libertad del diseño y ofrecer a los ocupantes una mejor visión del exterior, en el futuro se reducirán las zonas no transparentes de la carrocería. Los sensores basados en enfoques convencionales que deben instalarse en determinadas zonas ya no pueden integrarse de forma casi invisible. Este fenómeno ya se observa en los sistemas ópticos de reconocimiento de señales de tráfico y de carriles, que deben instalarse obligatoriamente en la zona superior central del parabrisas para obtener datos de medición correctos. Cuando se utilizan sistemas ópticos clásicos, se crea una zona no transparente en el parabrisas que puede restringir la visión del conductor y repercutir negativamente en el aspecto del coche. Con la guía de ondas descrita, en el futuro todas las lunas de los coches podrán equiparse con áreas de detector sin que ello afecte significativamente a la transparencia. La radiación puede acoplarse a este respecto a la luna desde la zona de acoplamiento prevista en la luna y transportarse a través de guías de ondas hasta el detector, que puede estar situado en una zona no transparente del coche.

En las figuras 46A, 46B, 46C y 46D se representan esquemáticamente diferentes variantes de realización de la guía de ondas 1 en el parabrisas 50 de un vehículo de motor 51. La zona de acoplamiento 4 puede colocarse en el lugar deseado del parabrisas 50, ya que no afecta significativamente a la transparencia del parabrisas en este punto. La radiación acoplada a través de la zona de acoplamiento 4 se guía entonces a través de los reflejos en el parabrisas 50 hasta la zona de desacoplamiento 5, que puede situarse en una zona que ya no se utilice para la visión transparente. El sistema detector 2 (no representado) también puede estar posicionado en esta zona.

En la variante mostrada de acuerdo con la figura 46A, la zona de desacoplamiento 5 se encuentra en la zona del techo del coche. En la variante mostrada de acuerdo con la figura 46B, la zona de desacoplamiento se encuentra en la zona del capó del motor o del salpicadero. Por supuesto, también es posible el acoplamiento lateral, como se muestra en las figuras 46C y 46D, de modo que la zona de desacoplamiento 5 se sitúe entonces en la zona de la columna A derecha (figura 46C) o izquierda (figura 46D), por ejemplo. De este modo, el parabrisas 50 (o cualquier otra área transparente) puede funcionalizarse con ayuda de estructuras holográficas (de volumen) y/o estructuras en relieve microópticas para no influir significativamente en la transparencia de esta área durante la vista transparente normal

en un amplio intervalo de ondas y ángulos. Con la implementación funcional descrita, la radiación procedente del entorno o del interior del vehículo de motor se acopla al parabrisas 50. Esta sirve entonces de guía de ondas y garantiza la propagación de la radiación hasta la zona de desacoplamiento, que a su vez desacopla la radiación sobre el sistema detector 2, por ejemplo, mediante reflexión total. Esto significa que la superficie esencialmente transparente del parabrisas puede utilizarse como área de detección, mientras que el detector 11 puede instalarse en una posición ventajosa en términos de diseño y/o función. Como resultado, la posición de la detección de la radiación o del registro de la radiación ya no está ligada a la posición del detector 11. Esto es ventajoso en particular si la detección de la radiación debe llevarse a cabo forzosamente en un lugar específico, que sin embargo debe tener al mismo tiempo un alto nivel de transparencia.

El sistema de guía de ondas descrito en relación con las figuras 46A - 46D también puede emplearse en el camino óptico inverso para iluminar un espacio objeto o para propósitos de proyección. En esta configuración, la radiación emitida por una fuente estática o dinámica (por ejemplo, fuente de luz y/o fuente de imagen) se acopla a la guía de ondas, es decir, a la luna 50, a través de la zona de desacoplamiento, que ahora sirve como zona de acoplamiento y que está situada en la zona no transparente del vehículo, y se desacopla de nuevo con la ayuda de la zona de acoplamiento 4, que ahora sirve como zona de desacoplamiento y que está situada en la zona transparente.

Por supuesto, también es posible combinar la detección descrita y la proyección o iluminación descrita y, a continuación, configurar las zonas de acoplamiento y desacoplamiento dispuestas en la zona transparente del parabrisas una cerca de la otra o una encima de la otra, como ya se ha descrito. La detección optimizada puede lograrse adaptando específicamente la iluminación a la detección, en particular en función del espectro y del ángulo.

En la estructura más sencilla de la guía de ondas 1 (configuración infinita-infinita, grabada en una longitud de onda), debe tenerse en cuenta que sólo una determinada banda espectral se acopla en la guía de ondas en la dirección de plegado/guía de ondas en cada ángulo y finalmente se desacopla de nuevo. Si las zonas de acoplamiento y desacoplamiento 4, 5 están dispuestas una encima de la otra, por ejemplo, como se muestra en las figuras 46A y 46B, se produce un gradiente de color dependiente del ángulo o de la ubicación en relación con la carretera en la dirección vertical. Cuando la disposición se gira $\pm 90^\circ$ (como se muestra en las figuras 46C y 46D), el gradiente de color se dirige en dirección horizontal (es decir, paralelo a la carretera). Por consiguiente, la alineación de la zona de acoplamiento con la zona de desacoplamiento 4, 5 debe seleccionarse cuidadosamente en función de la tarea correspondiente. A este respecto deben tenerse en cuenta las diferentes características del FoV de las dos direcciones perpendiculares entre sí (dadas por la relación de tamaño y la distancia de la zona de acoplamiento a la de desacoplamiento 4, 5 y la sensibilidad espectral del detector).

Además, la inclinación de la luna respectiva 50 y la posición esperada del objeto que va a detectarse deben considerarse a la hora de diseñar la zona de acoplamiento. Por ejemplo, al observar al conductor con ayuda de la zona de acoplamiento 4 introducida en el parabrisas, debe introducirse un desplazamiento angular del FoV vertical en forma de una función de deflexión correspondiente, de modo que el eje óptico en la dirección vertical coincida aproximadamente con la zona de la cara del conductor y no se detecte, por ejemplo, el torso del conductor. Esto significa que mediante el diseño especial de la zona de acoplamiento 4 puede realizarse una adaptación al objeto que va a esperarse y a su proyección. La misma relación se aplica al uso del sistema de guía de ondas como iluminación. En este caso, la zona de desacoplamiento 5 debe adaptarse a la iluminación deseada del espacio de objeto.

La configuración descrita en relación con las figuras 10 a 15 para proporcionar una funcionalidad RGB es ventajosa para los sensores del sector de la automoción a fin de evitar fallos de detección en intervalos angulares individuales debido a la ausencia de componentes espectrales. De este modo se garantiza que en un intervalo espectral definido (idealmente, la sensibilidad espectral del detector) pueda detectarse una señal en cada ángulo. Además, la seguridad contra fallos de detección debidos a la insensibilidad espectral de la zona de acoplamiento 4 también puede aumentarse implementando las zonas de acoplamiento y desacoplamiento 4, 5 con ayuda de las estructuras en relieve superficial descritas.

La variante de la guía de ondas descrita en relación con las figuras 16 a 20 para aumentar el FoV horizontal, en la que el FoV horizontal se aumenta mediante la codificación en el FoV vertical, puede utilizarse ventajosamente en el sector de la automoción, ya que en este caso a menudo se requiere un FoV horizontal significativamente mayor que el FoV vertical.

La variante descrita en relación con las figuras 21 y 22 para aumentar la eficiencia de detección puede utilizarse ventajosamente en el sector de la automoción, ya que se dispone de grandes superficies en forma de lunas para la zona de acoplamiento 4. De este modo, se puede dirigir la máxima potencia posible del haz hacia el sistema detector 2 y también es posible grabar información de la imagen en condiciones de iluminación deficientes.

Además, también es posible acoplar radiación fuera del rango espectral visual, por ejemplo radiación del infrarrojo cercano. Por lo tanto, si se utiliza un sistema detector debidamente adecuado, es posible grabar información de imagen en condiciones de iluminación deficientes para el ser humano.

Como se describe en relación con las figuras 33 a 45, las guías de ondas funcionalizadas 1 pueden funcionalizarse

no sólo para absorber radiación, sino también para iluminar el espacio objeto o para proyección. Para ello, se utiliza el camino óptico opuesta a la de las disposiciones de detección descritas que utilizan la guía de ondas 1. De este modo, el exterior y/o el interior del vehículo pueden iluminarse específicamente para garantizar una detección fiable incluso en condiciones de escasa iluminación. Por ejemplo, pueden evitarse los fallos de detección en intervalos angulares individuales, que pueden producirse en la realización más sencilla de la guía de ondas 1 si faltan intervalos espectrales individuales. La iluminación artificial y la sensibilidad espectral dependiente del ángulo del área de acoplamiento deben adaptarse entre sí a este respecto.

En el caso de los parabrisas 50 y las lunas traseras de los vehículos de motor, existe ya hoy en día una necesidad especialmente elevada de diseñar superficies de detección situadas en lugares definidos lo más transparentes posible y de trasladar los correspondientes detectores o sistemas de detección 2 en zonas no transparentes dentro de la carrocería. Esto permite al conductor tener una visión libre y, al mismo tiempo, integrar sensores ópticos para los sistemas de asistencia al conductor, lo que puede aumentar la seguridad vial. Además de la detección en la zona exterior, la funcionalización descrita anteriormente también permite grabar información de imagen en el interior del vehículo. Con las secuencias de imágenes obtenidas de este modo en combinación con procesamientos de datos pueden implementarse otros sistemas de seguridad, como el reconocimiento de fatiga o el control de los gestos. También es posible identificar de este modo al conductor y/o a los pasajeros sin una abertura visible para una cámara

Al igual que en el parabrisas y la luna trasera, las superficies de desacoplamiento y los detectores también pueden alojarse en las zonas de encuadre de la carrocería de las lunas laterales fijas. También en este caso, la funcionalización adicional puede utilizarse para grabar información de imagen en las zonas interiores y exteriores sin afectar esencialmente a la transparencia de la superficie.

También es posible integrar varios sistemas de detección en diferentes lunas de un vehículo. De este modo, la posición de personas y objetos en el espacio puede determinarse del mismo modo que con un sistema de coordenadas tridimensional (palabra clave: tomografía y, por tanto, medición desde varias perspectivas).

La disposición de las áreas funcionalizadas y del detector también puede trasladarse al diseño de la iluminación. Sin embargo, a este respecto el área de desacoplamiento, es decir, el área emisora, se encuentra en la zona transparente y el área de acoplamiento, incluida la fuente de radiación, se encuentra en la zona no transparente.

Si el sistema de detección y/o iluminación está adecuadamente diseñado, el área de desacoplamiento del sistema de iluminación puede coincidir con el área de acoplamiento del sistema de detección.

En comparación con las lunas fijas, la disposición del área de desacoplamiento en el caso de las lunas móviles se selecciona preferentemente de modo que esté situada en zonas que no estén dentro de la carrocería o no dentro de una zona no transparente, incluso durante o después del desplazamiento. Además, el sistema de detección debe estar firmemente conectado a la luna móvil para garantizar la función de detección durante o después del desplazamiento. Las figuras 47A - 47C muestran diversas disposiciones de las zonas de acoplamiento y desacoplamiento utilizando el ejemplo de una luna lateral móvil.

REIVINDICACIONES

1. Guía de ondas funcionalizada para un sistema detector,

- 5 en donde la guía de ondas (1) presenta un cuerpo base transparente (6) con una cara anterior (7) y una cara posterior (8),
 en donde el cuerpo base (6) presenta una zona de acoplamiento (4) parcialmente transparente y una zona de desacoplamiento (5) separada de ella en una primera dirección (R1),
 en donde la zona de acoplamiento (4) desvía sólo una parte de la radiación procedente de un objeto que va a detectarse y que incide en la cara anterior (7), de modo que la parte desviada se propaga como radiación acoplada
 10 en el cuerpo base (6) mediante reflexiones hasta la zona de desacoplamiento (5) e incide en la zona de desacoplamiento (5),
 en donde la zona de desacoplamiento (5) desvía al menos una parte de la radiación acoplada que incide sobre ella, de manera que la parte desviada sale del cuerpo base (6) a través de la cara anterior (7) o posterior (8) para incidir en
 15 el sistema detector (2),
 en donde
 la zona de acoplamiento (4) presenta varias estructuras de acoplamiento de difracción que se diferencian en que presentan diferentes campos de visión horizontales en un plano que se extiende por una perpendicular a la cara anterior y una segunda dirección transversal a la primera dirección, de modo que desvían radiación procedente de los
 20 diferentes campos de visión horizontales hacia la zona de desacoplamiento (5), y
caracterizada por que
 las estructuras de acoplamiento de difracción están configuradas de manera que codifican la radiación de los diferentes campos de visión horizontales durante la desviación mediante diferentes longitudes de onda desviadas, de modo que el desacoplamiento y/o la detección son posibles selectivamente para los distintos campos de visión horizontales.
 25
2. Guía de ondas según la reivindicación 1, en donde la zona de desacoplamiento (5) presenta una estructura de desacoplamiento de difracción asociada para cada estructura de acoplamiento de difracción que desvía la radiación selectiva con longitudes de onda de la estructura de acoplamiento de difracción asociada.
- 30 3. Guía de ondas según la reivindicación 2, en donde las estructuras de desacoplamiento de difracción desvían la radiación de las estructuras de acoplamiento asociadas de manera que inciden en zonas localmente diferentes de un detector (11) del sistema de detección.
- 35 4. Guía de ondas según la reivindicación 3, en la que está previsto un filtro de color para al menos una zona localmente diferente del detector, que sólo conduce el intervalo de longitud de onda correspondiente al detector.
5. Guía de ondas según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las estructuras de acoplamiento de difracción están dispuestas contiguas en la primera dirección (R1) transversalmente a la primera dirección (R1) y están dispuestas unas sobre otras transversalmente a la segunda dirección (R2), o están configuradas como una única
 40 estructura de acoplamiento de difracción que proporciona los diferentes campos de visión horizontales.
6. Guía de ondas según una de las reivindicaciones 2 a 4, en donde las estructuras de acoplamiento de difracción están dispuestas contiguas en la primera dirección (R1), transversalmente a la primera dirección y están dispuestas unas sobre otras transversalmente a la segunda dirección o están configuradas como estructura de acoplamiento de difracción individual que proporciona los diferentes campos de visión horizontales, y en donde las estructuras de
 45 desacoplamiento de difracción están dispuestas contiguas en la primera dirección (R1), transversalmente a la primera dirección (R1) y están dispuestas unas sobre otras transversalmente a la segunda dirección (R2) o están configuradas como estructura de desacoplamiento de difracción individual que provoca la desviación selectiva de la radiación.
- 50 7. Guía de ondas según una de las reivindicaciones 2 a 4, en donde las estructuras de desacoplamiento de difracción están dispuestas contiguas en la primera dirección (R1).
8. Guía de ondas según una de las reivindicaciones 2 a 4 o 7, en donde las estructuras de desacoplamiento de difracción están configuradas en cada caso como holograma de volumen reflectante o transmisivo.
 55
9. Guía de ondas según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la extensión de la zona de acoplamiento (4) en la segunda dirección (R2) es mayor que la extensión de la zona de desacoplamiento (5) en la segunda dirección (R2),
 y/o en donde las estructuras de acoplamiento de difracción están configuradas en cada caso como un holograma de
 60 volumen reflectante o transmisivo.
10. Guía de ondas según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona de acoplamiento (4) y/o la zona de desacoplamiento (5) presentan una función de formación de imágenes óptica adicionalmente a la desviación del haz, y/o en donde las estructuras de acoplamiento de difracción transmiten una parte de la radiación procedente del objeto que va a detectarse y que incide en la cara anterior (7) de tal manera que sale del cuerpo base a través de la cara
 65 posterior (8).

11. Guía de ondas según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona de desacoplamiento (5) comprende un área de espejo, un prisma, una rejilla en relieve reflectante, una rejilla en relieve transmisiva, una estructura de Fresnel reflectante o una estructura de Fresnel transmisiva.
- 5 12. Sistema detector con una guía de ondas funcionalizada según una de las reivindicaciones anteriores.
13. Sistema detector según la reivindicación 12, en donde el sistema detector presenta un detector sobre el que incide la parte de la radiación desviada por la zona de desacoplamiento.
- 10 14. Sistema detector según la reivindicación 13, en donde el detector (11) está conectado con la cara anterior o posterior (7, 8) del cuerpo base (6), y/o en donde no está dispuesto ningún elemento óptico de formación de imágenes separado entre el detector (11) y la cara anterior o posterior (7, 8).
- 15 15. Sistema detector según la reivindicación 13, en donde al menos un elemento óptico de formación de imágenes está dispuesto entre el cuerpo base (6) y el detector (6).

Fig. 1

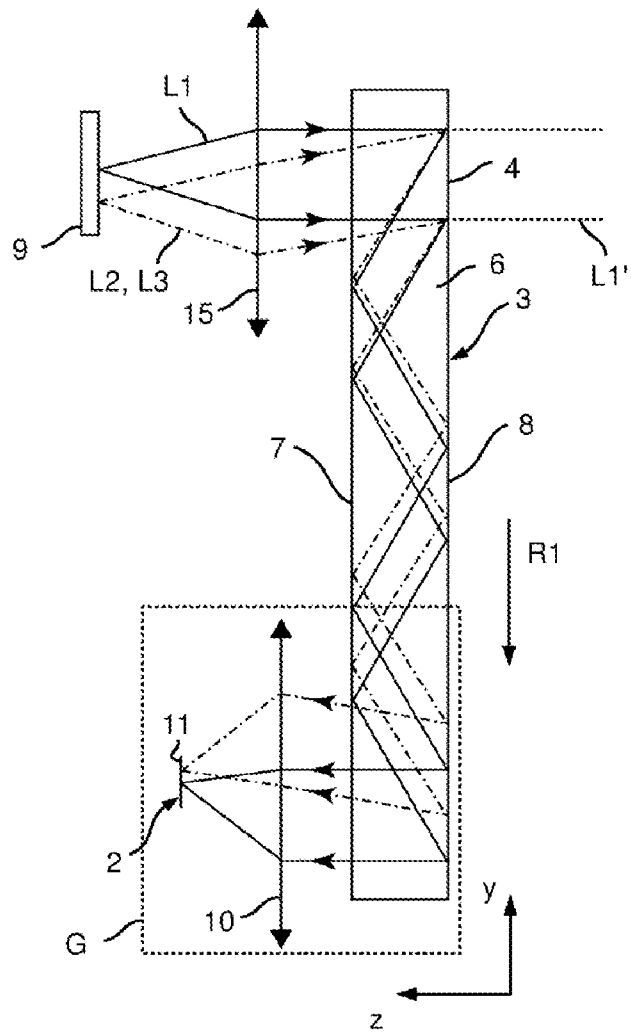


Fig. 2

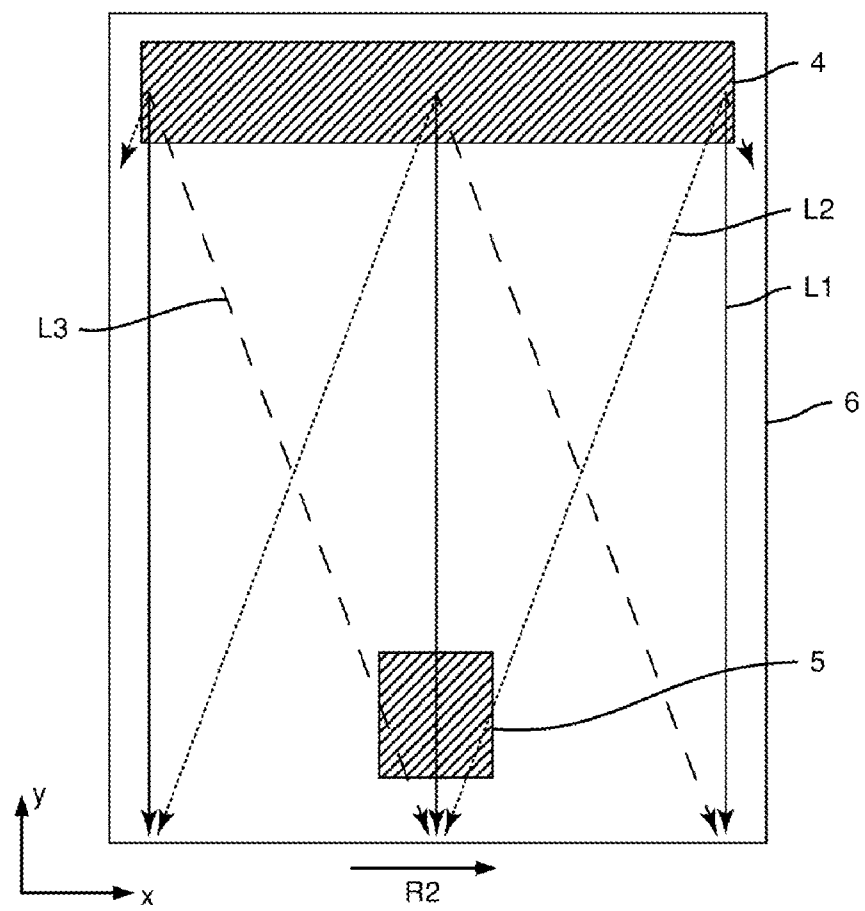


Fig. 3

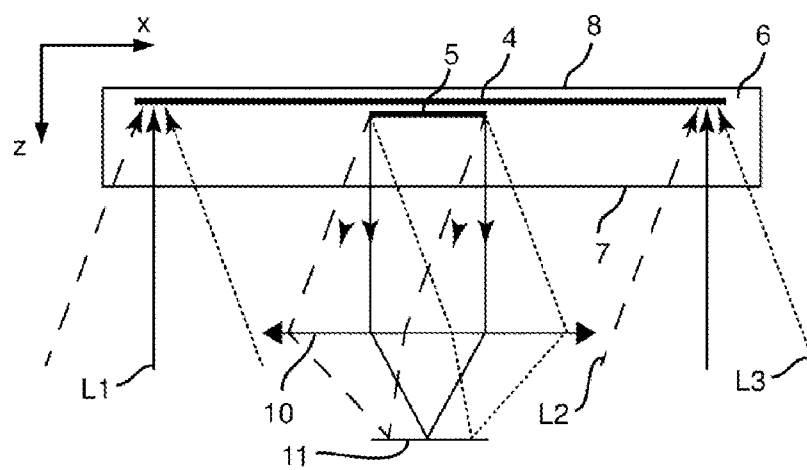


Fig. 4

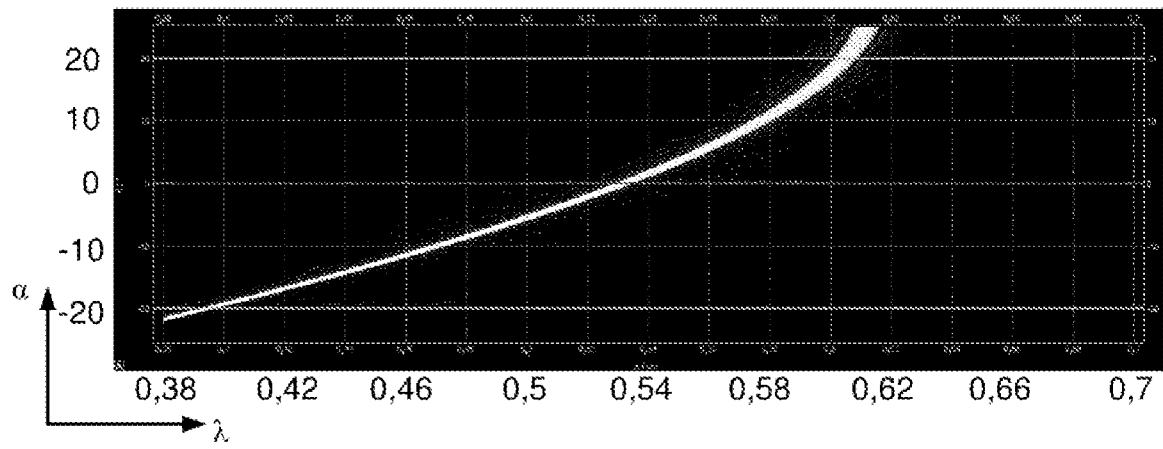


Fig. 5

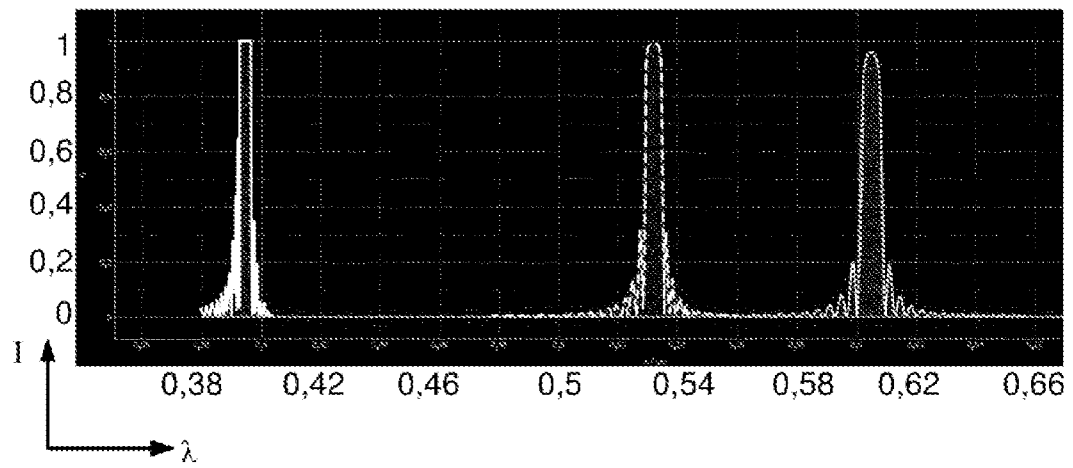
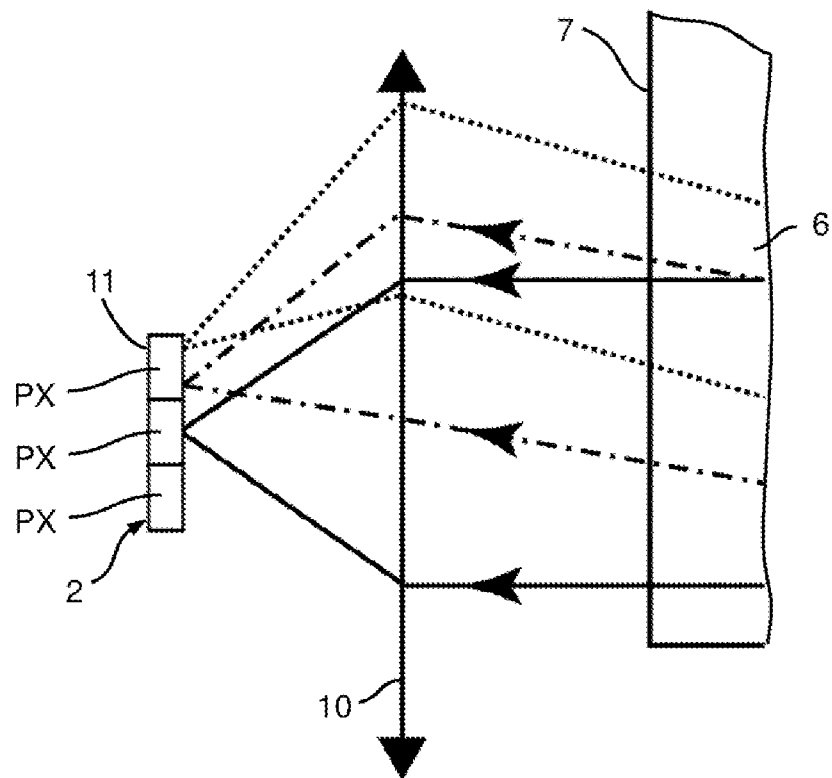


Fig. 6



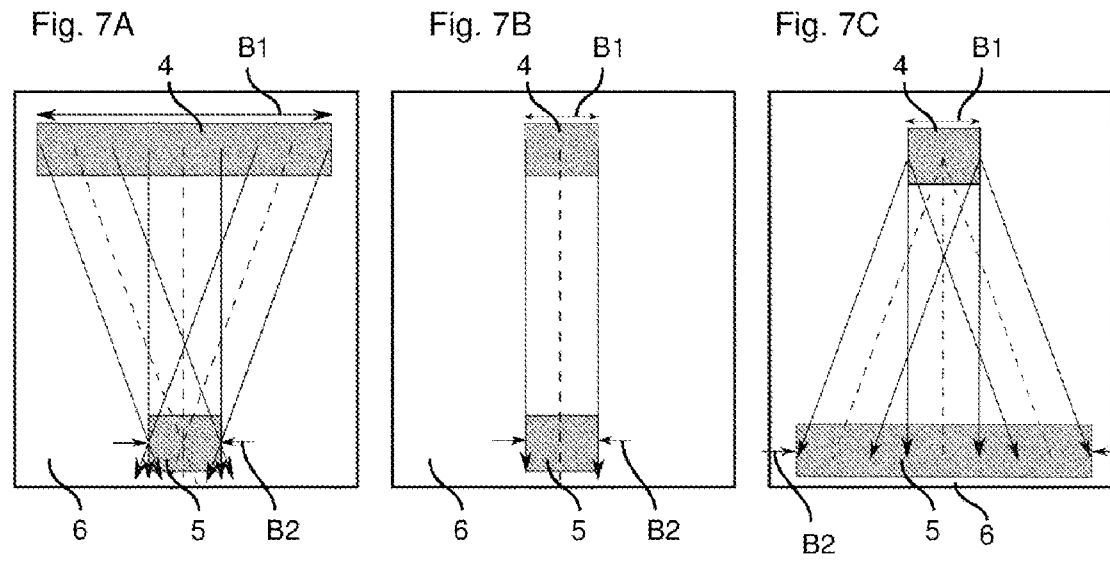


Fig. 7D

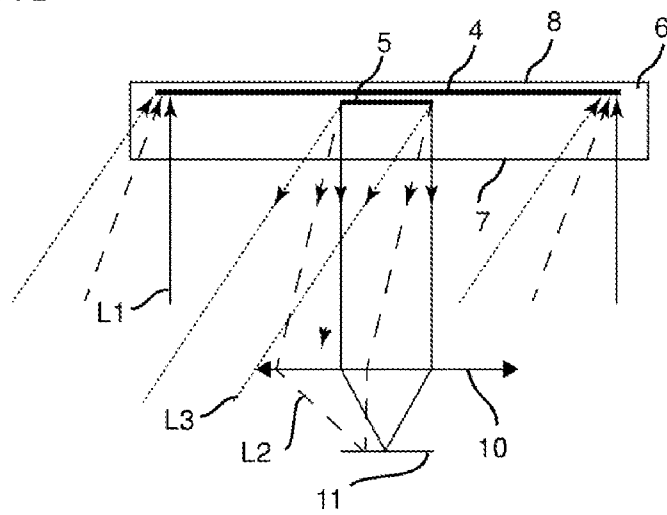


Fig. 8A

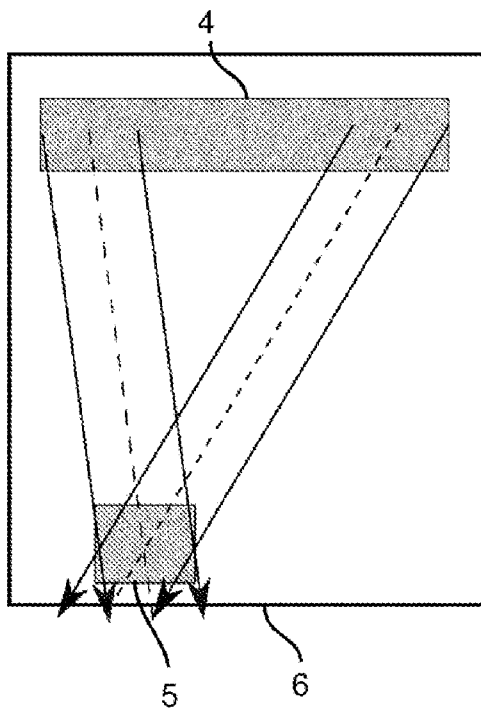


Fig. 8B

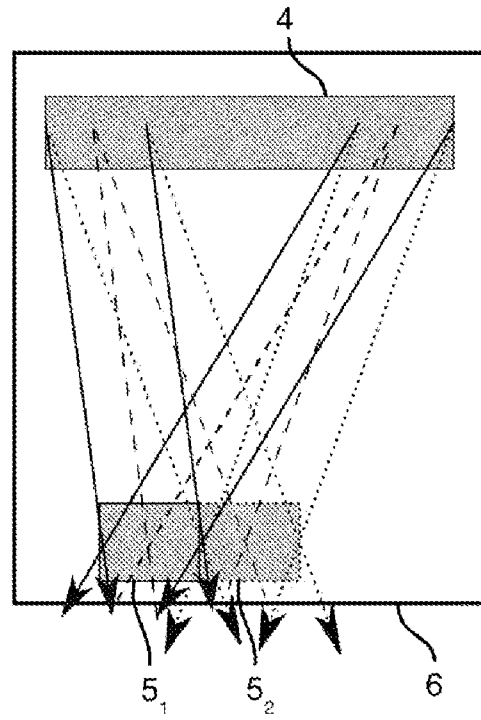


Fig. 8C

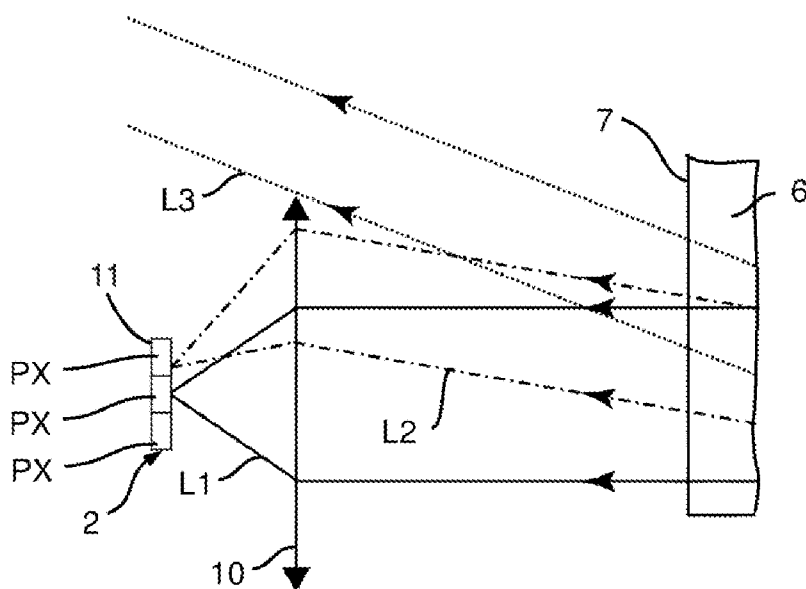


Fig. 9A

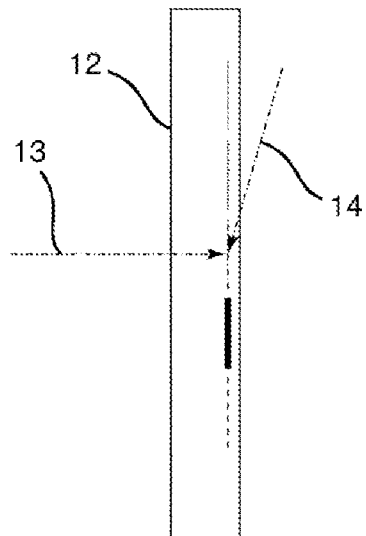


Fig. 9B

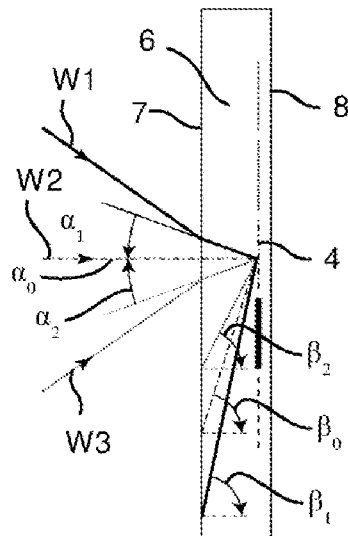


Fig. 10

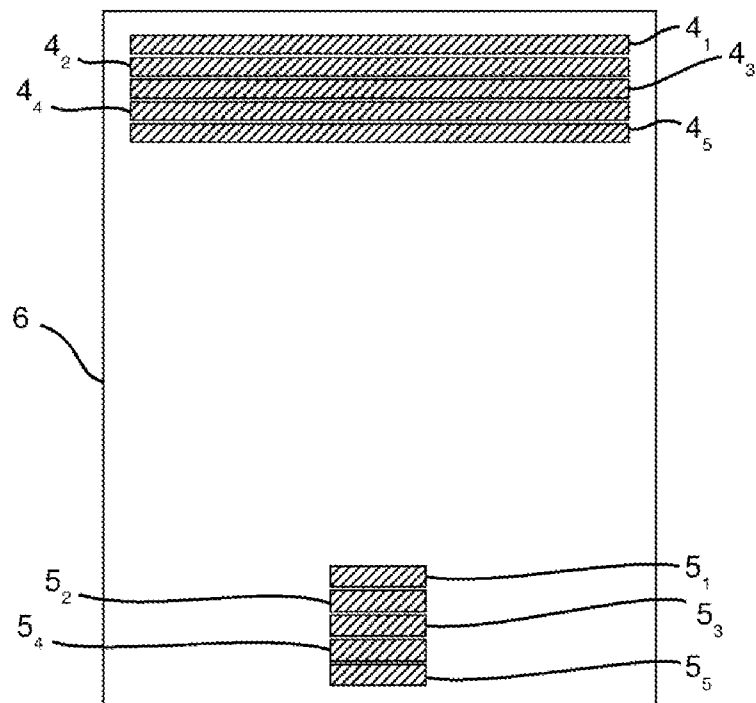


Fig. 11A

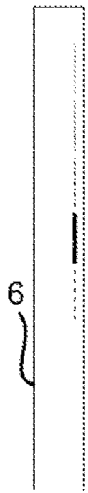


Fig. 11B

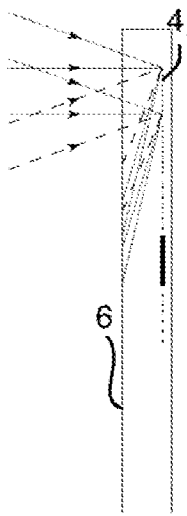


Fig. 11C

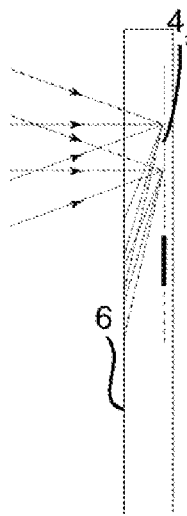


Fig. 11D

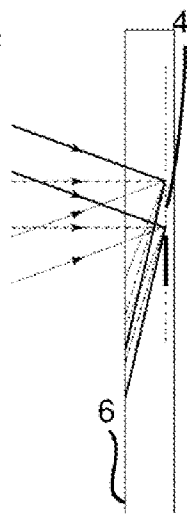


Fig. 11E

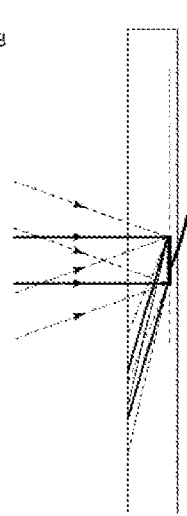


Fig. 11F

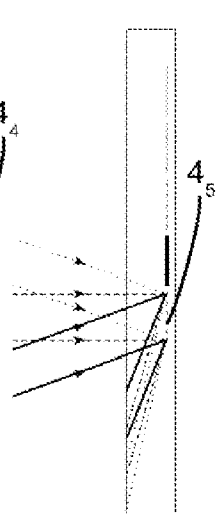


Fig. 12

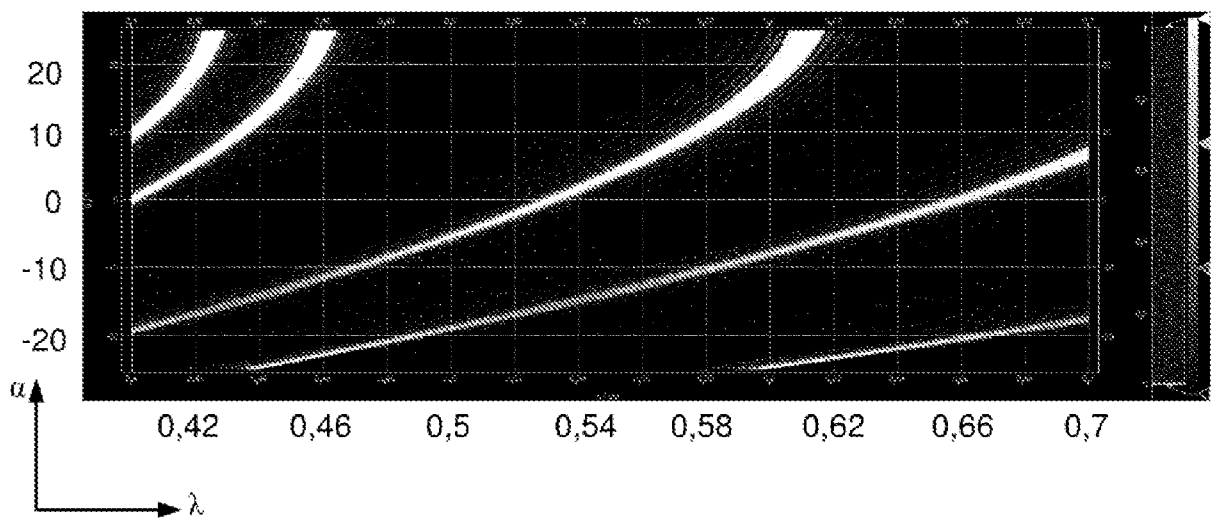


Fig. 13A

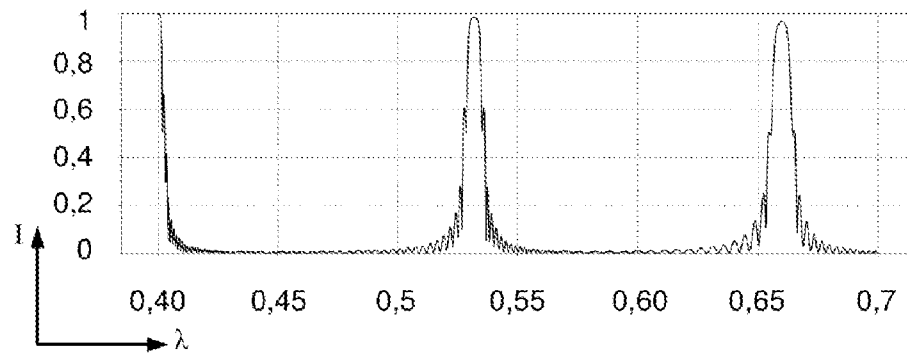


Fig. 13B

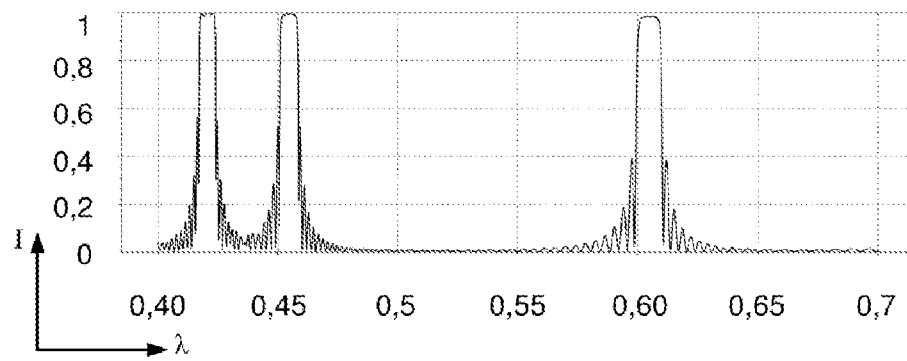


Fig. 13C

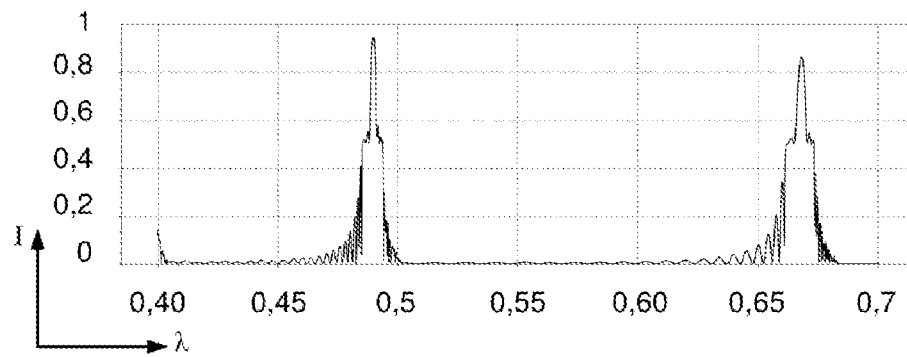


Fig. 14A

Fig. 14C

Fig. 14E

Fig. 14B

Fig. 14D

Fig. 14F

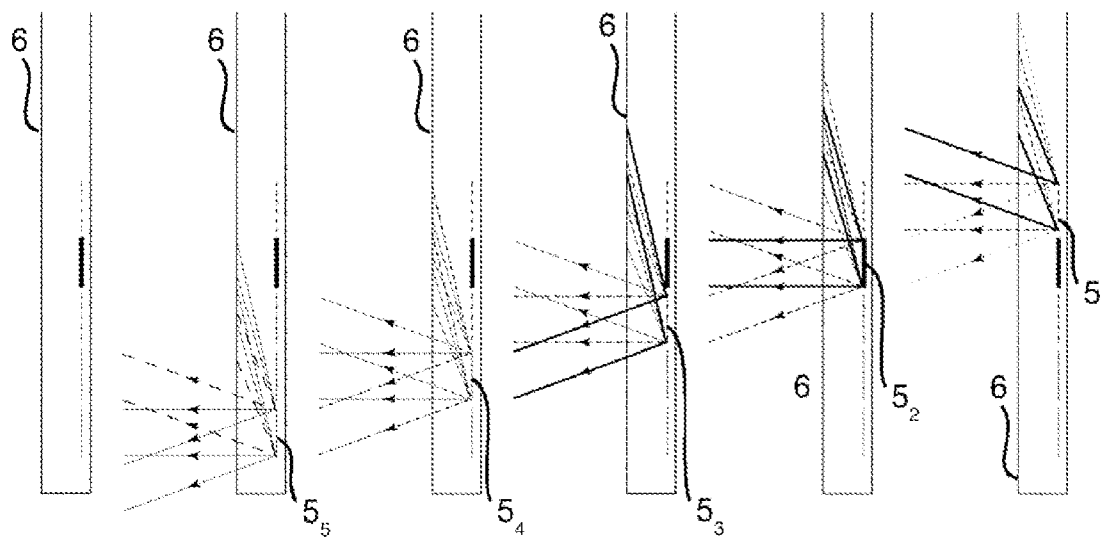


Fig. 15

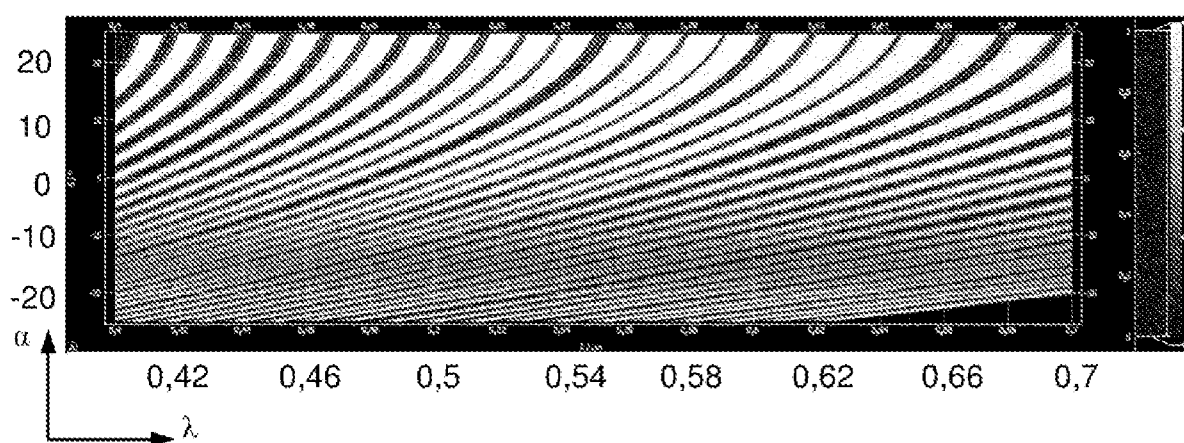


Fig. 16

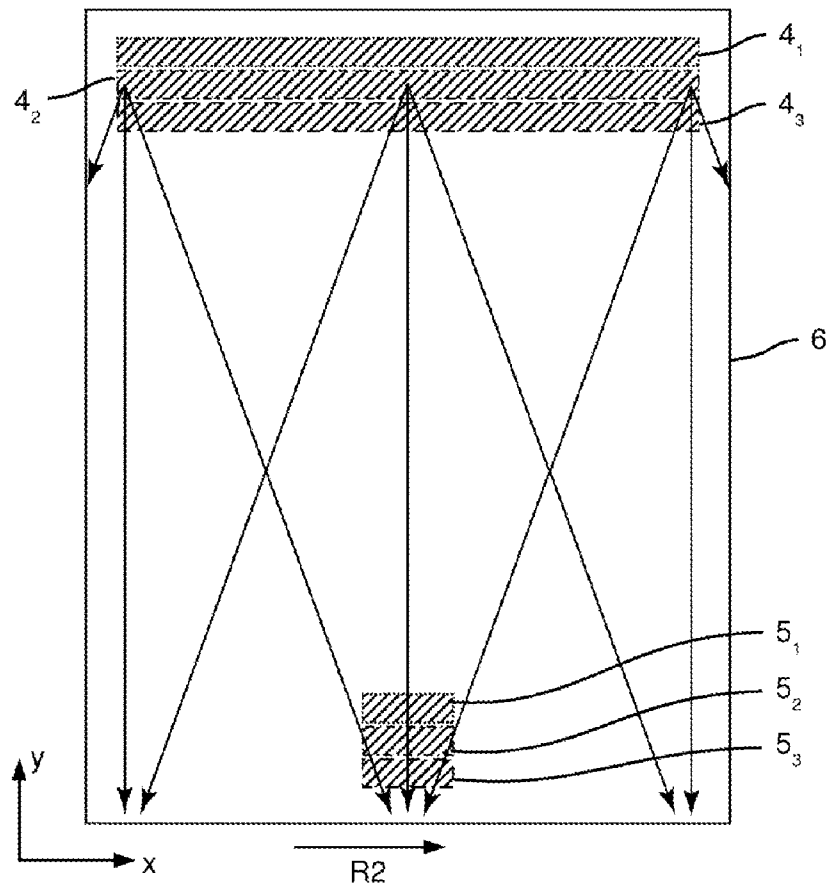


Fig. 17

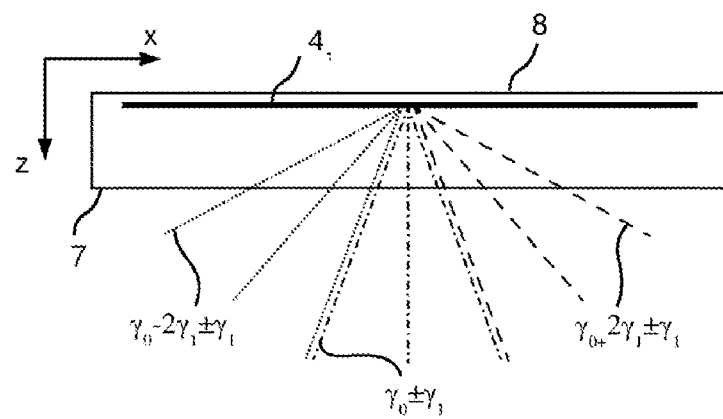


Fig. 18A

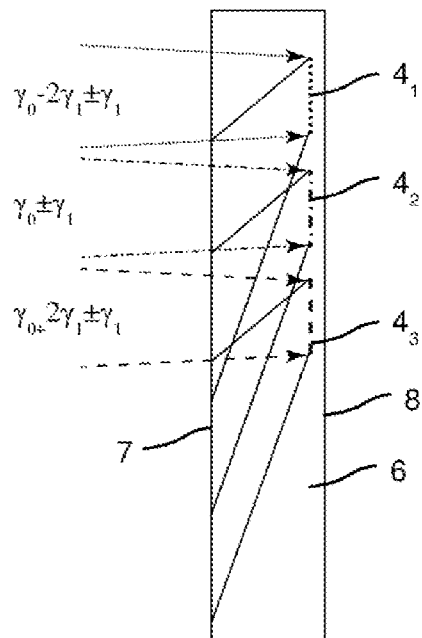


Fig. 18B

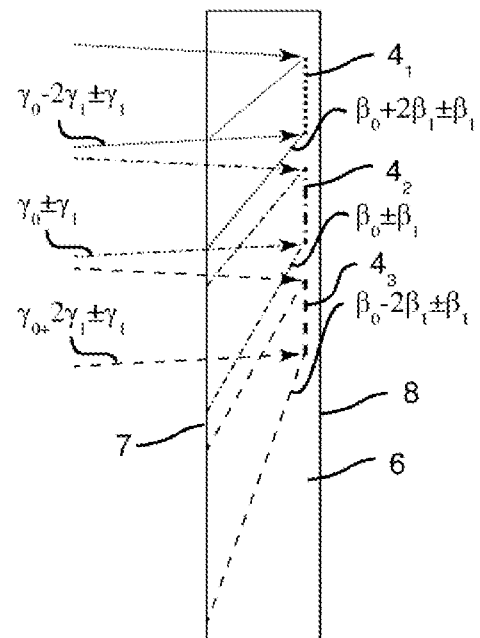


Fig. 19A

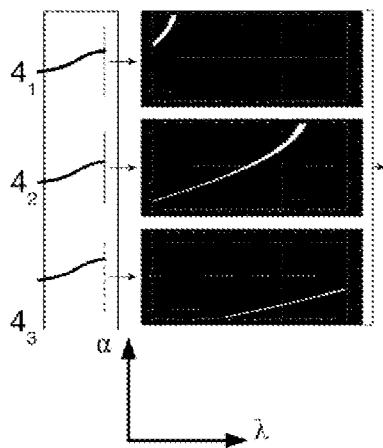


Fig. 19B

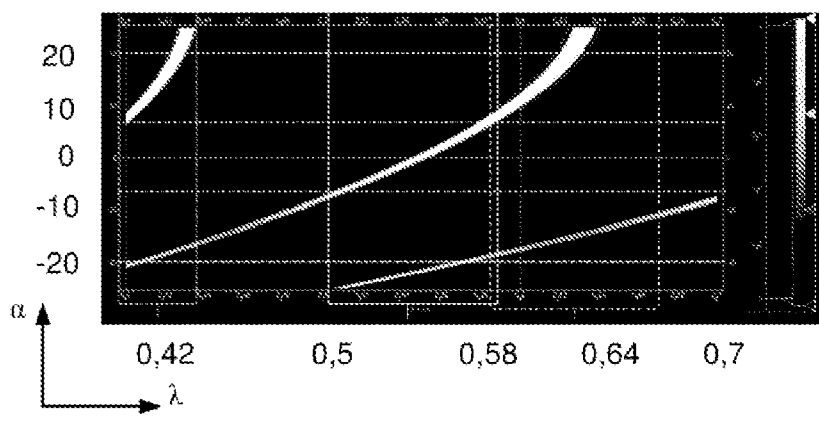


Fig. 19C

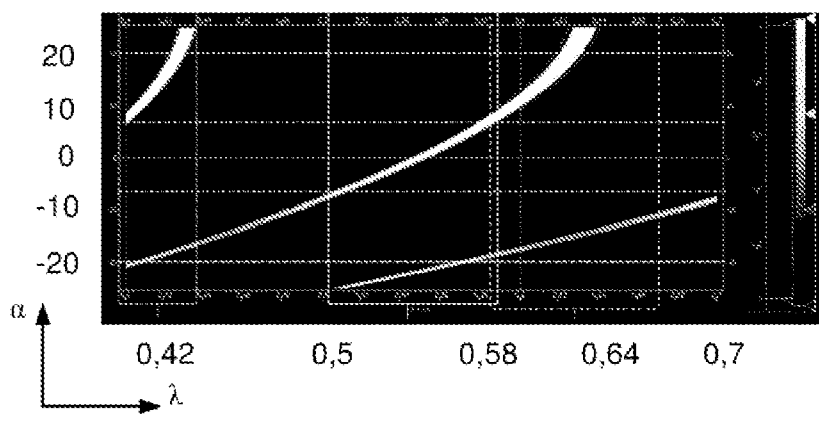


Fig. 20

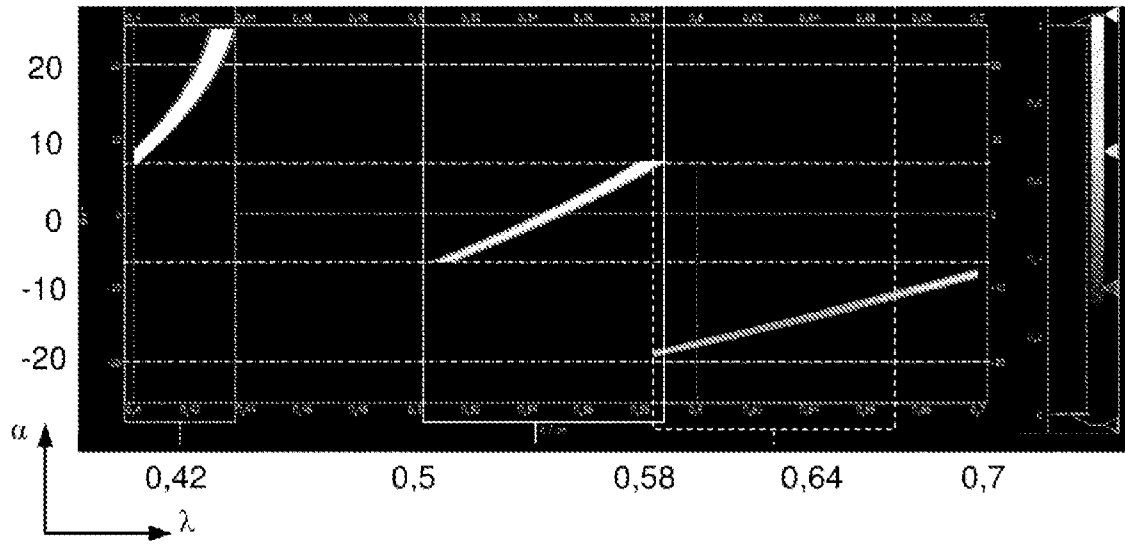


Fig. 21

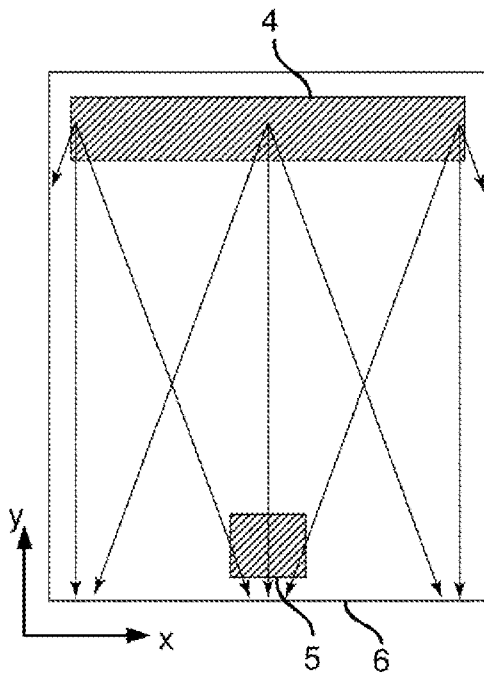


Fig. 22

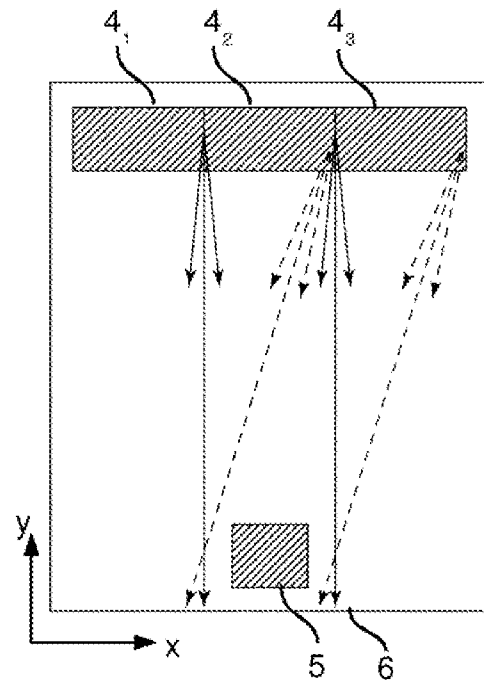


Fig. 23

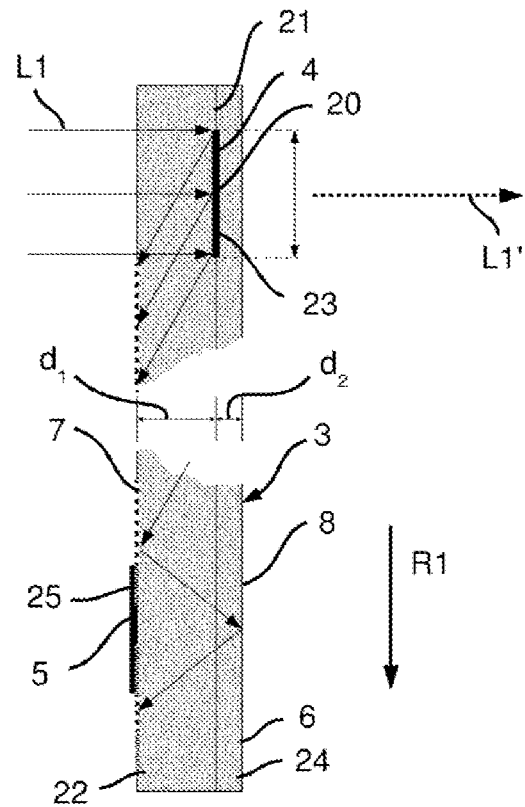


Fig. 24

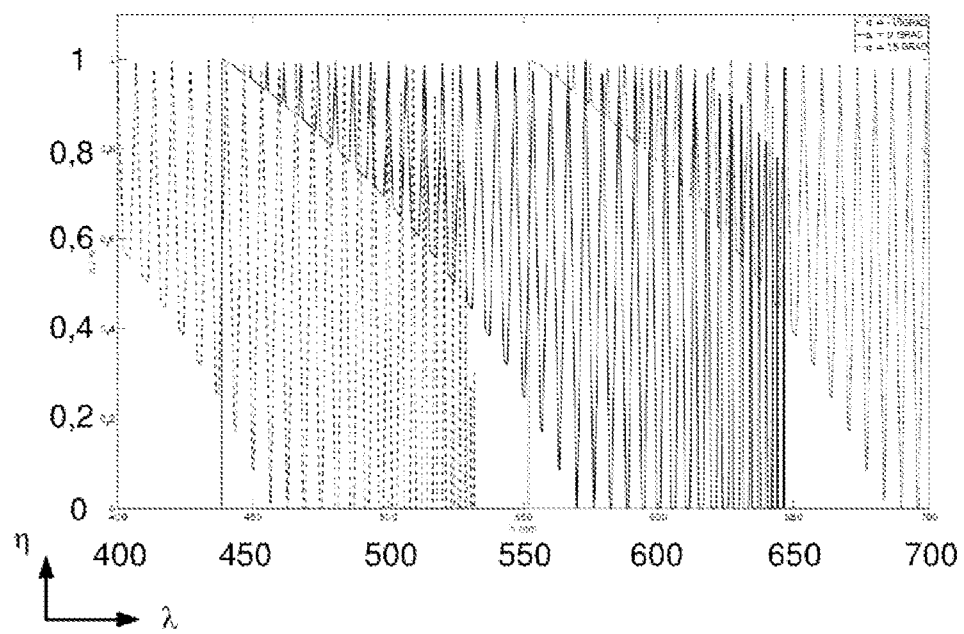


Fig. 25

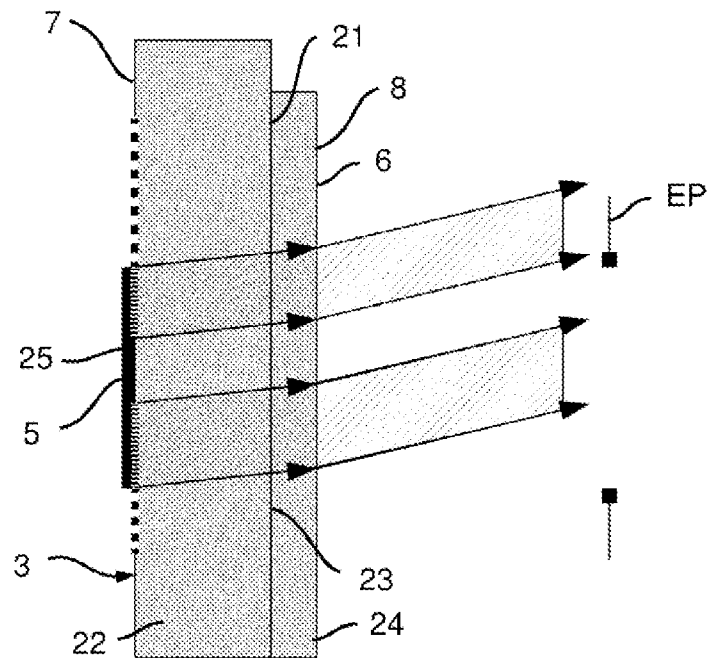


Fig. 26

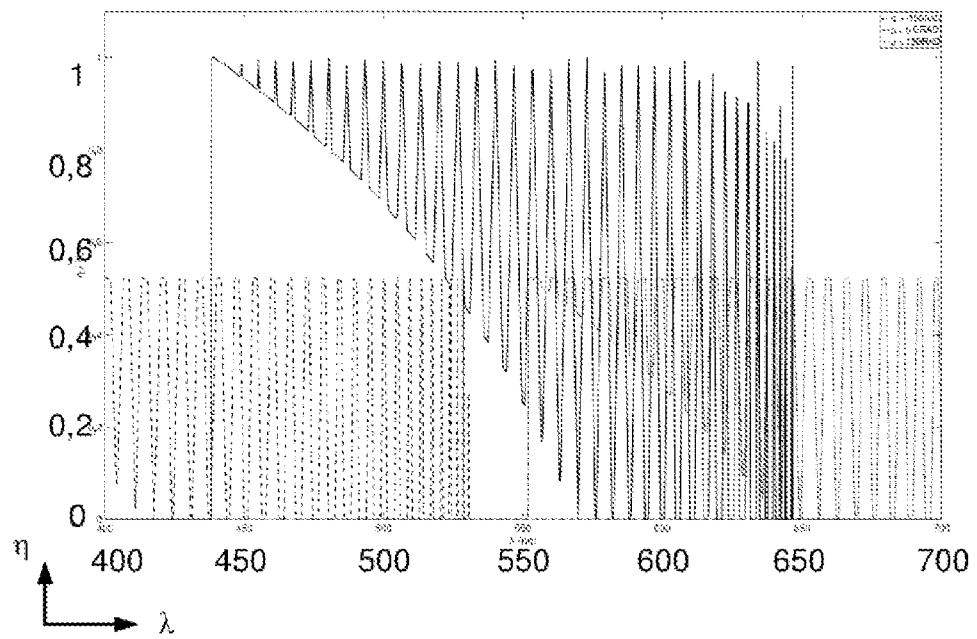


Fig. 27

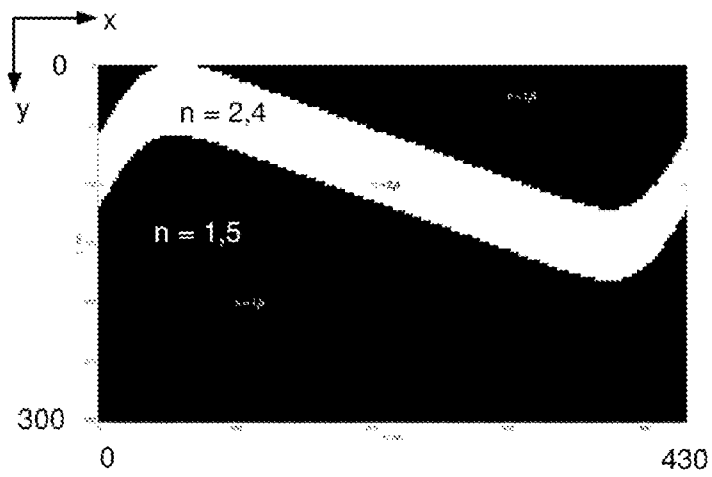


Fig. 28

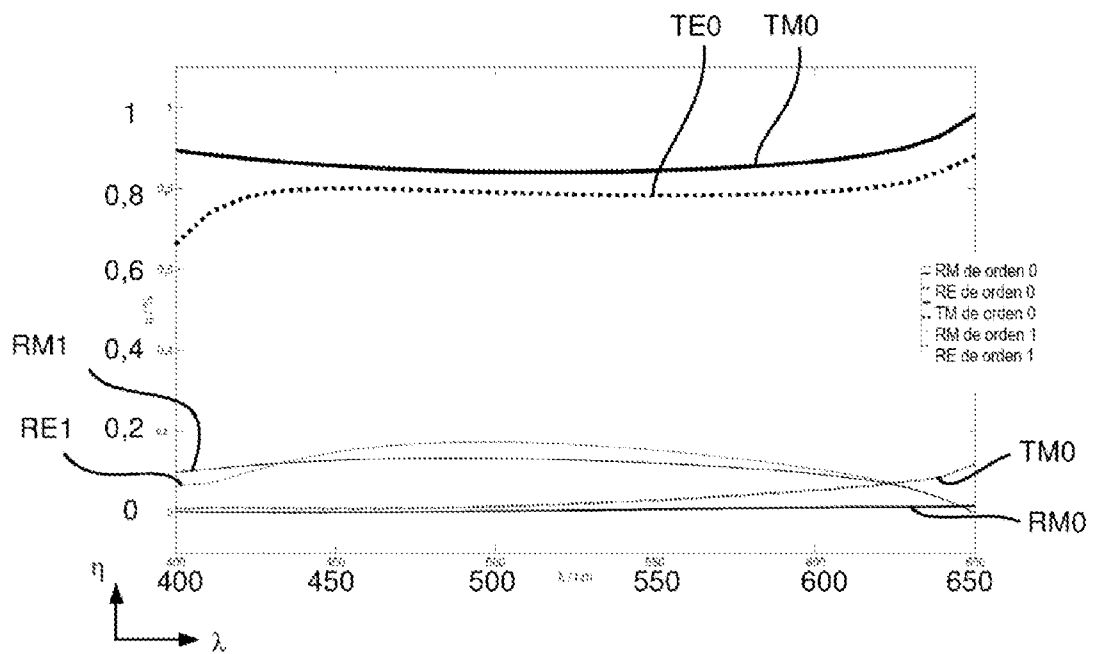


Fig. 29

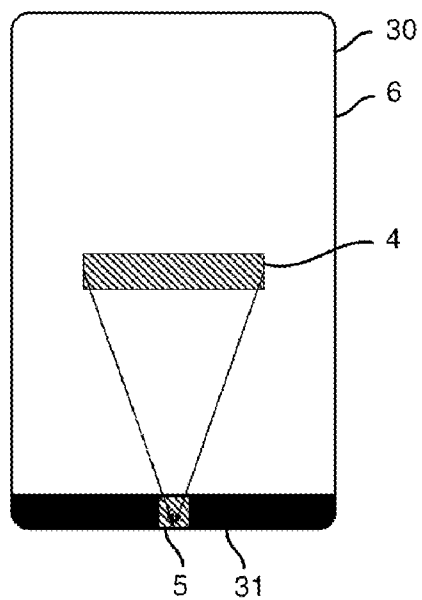


Fig. 30

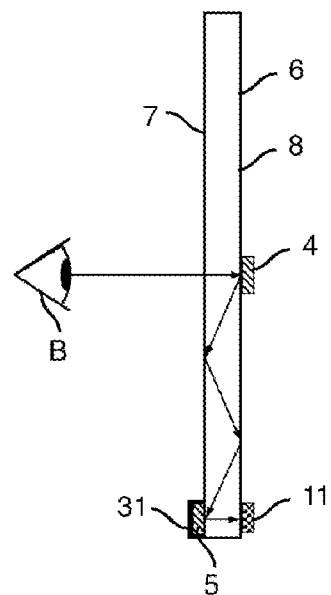


Fig. 31

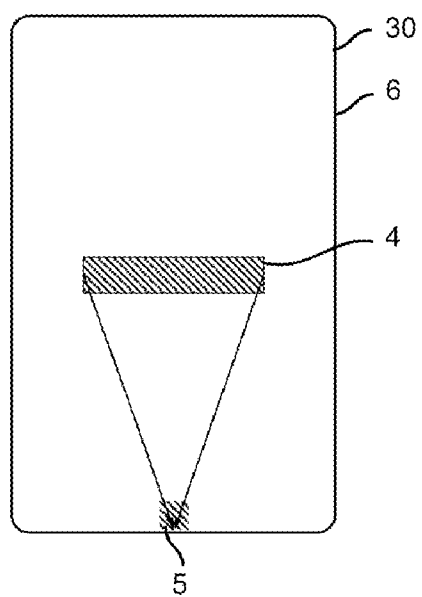


Fig. 32

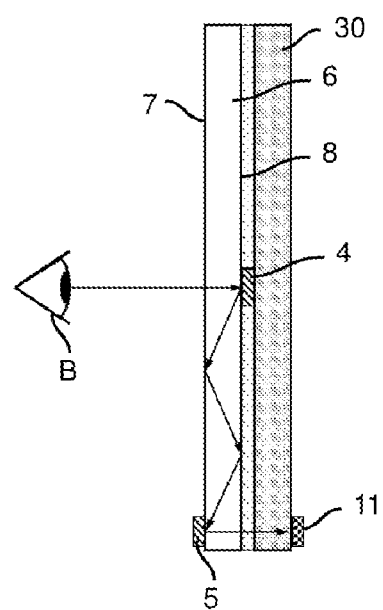


Fig. 33

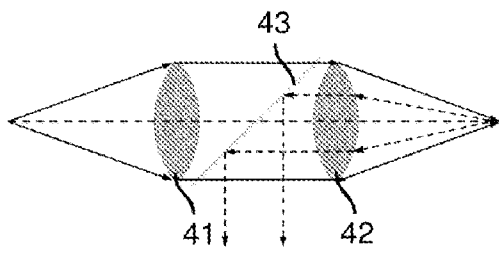


Fig. 34

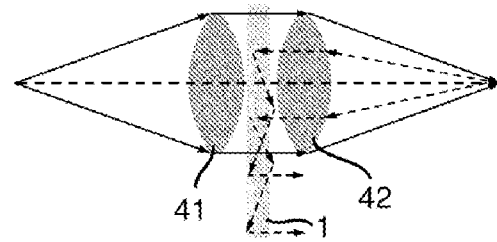


Fig. 35

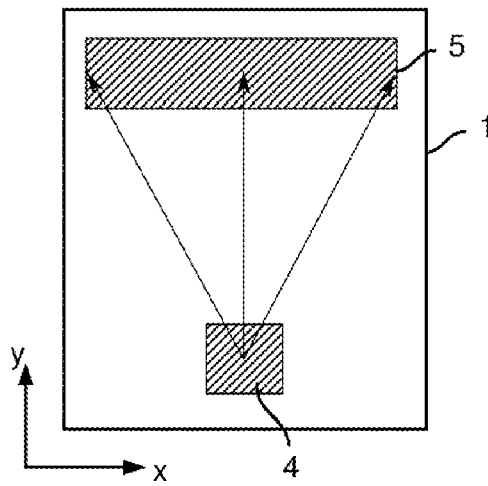


Fig. 36

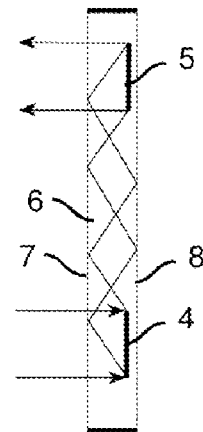


Fig. 37

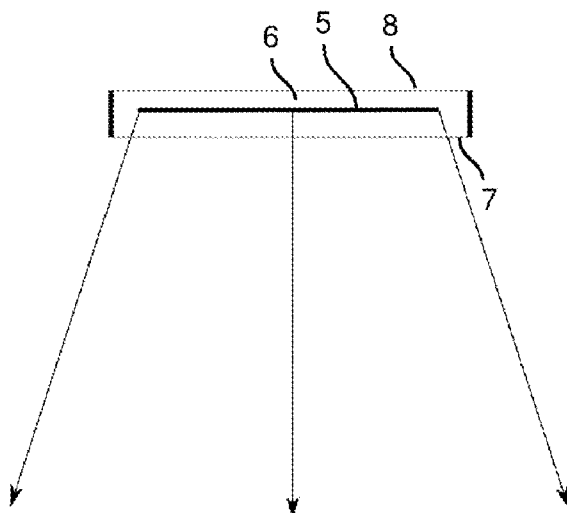


Fig. 38

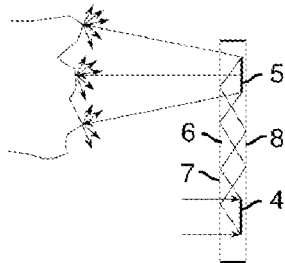


Fig. 39

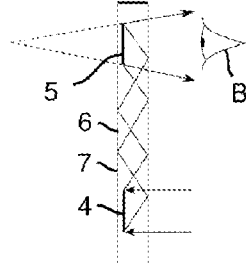


Fig. 40

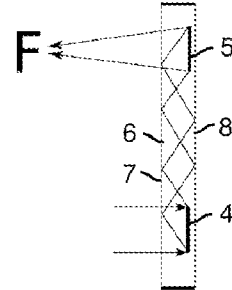


Fig. 41A

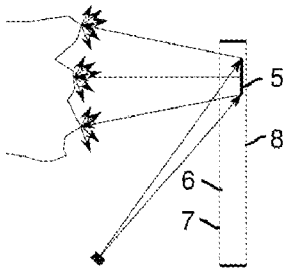


Fig. 41B

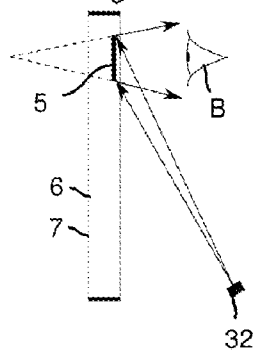


Fig. 41C

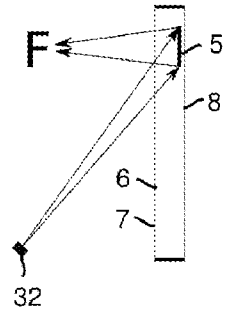


Fig. 42A

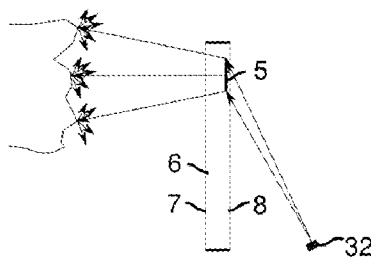


Fig. 42B

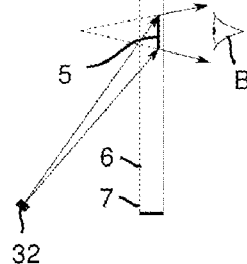


Fig. 42C

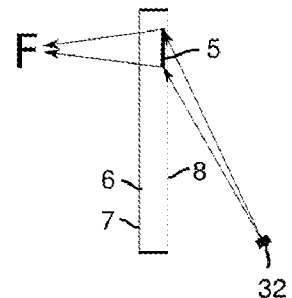


Fig. 43A

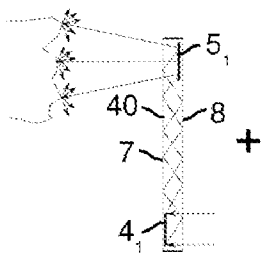


Fig. 43B

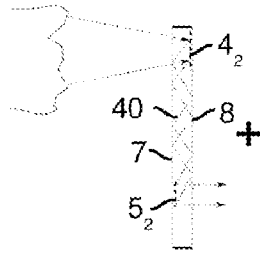


Fig. 43C

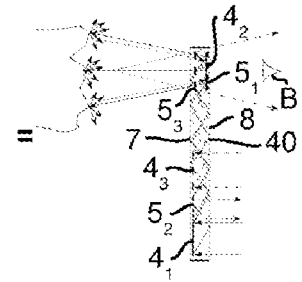


Fig. 44A

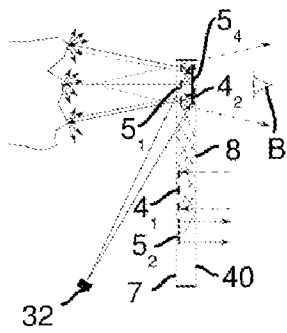


Fig. 44B

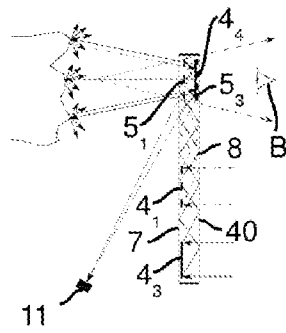


Fig. 44C

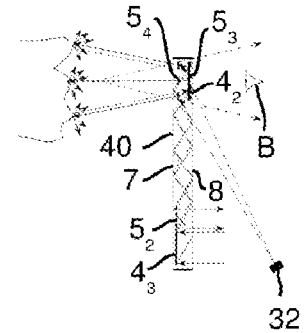


Fig. 44D

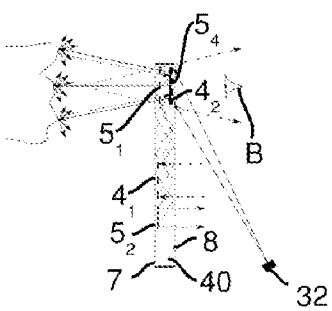


Fig. 44E

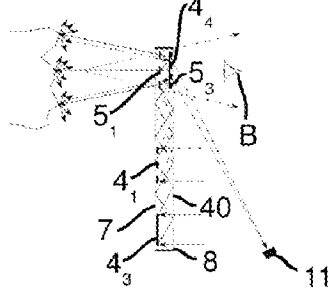


Fig. 44F

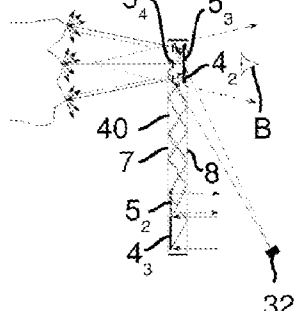


Fig. 45

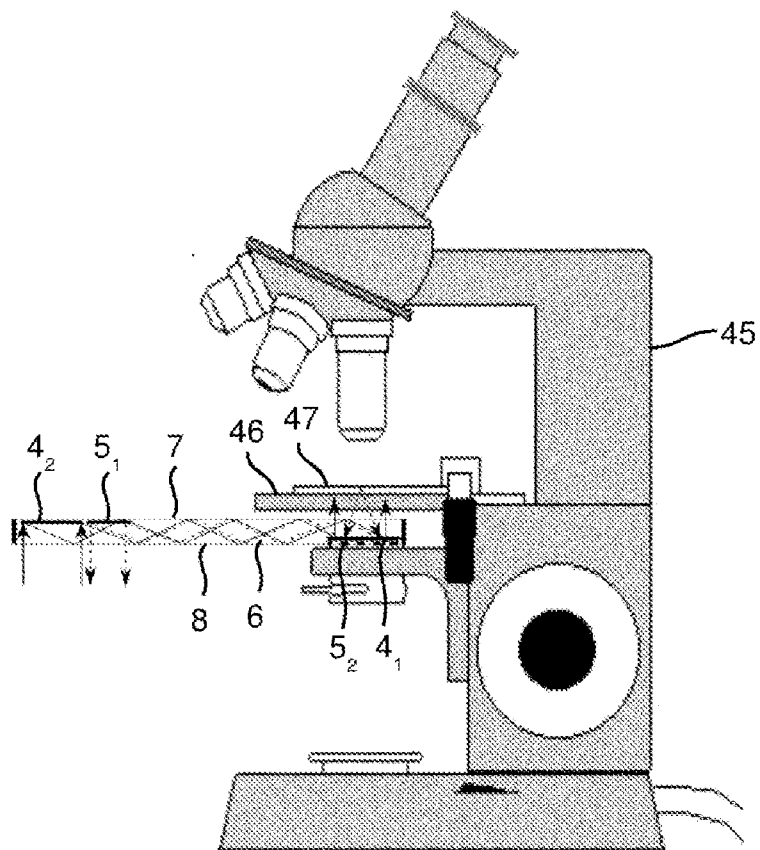


Fig. 46A

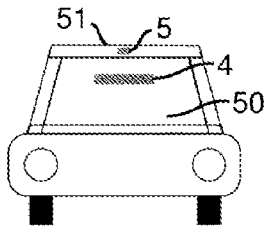


Fig. 46B

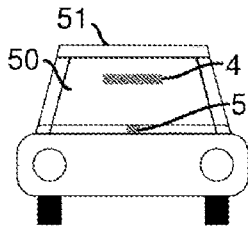


Fig. 46C

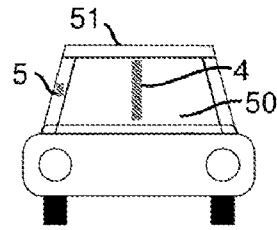


Fig. 46D

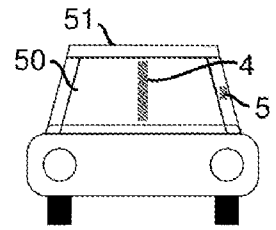


Fig. 47A

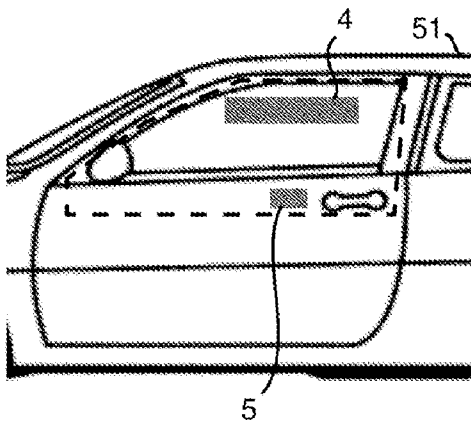


Fig. 47B

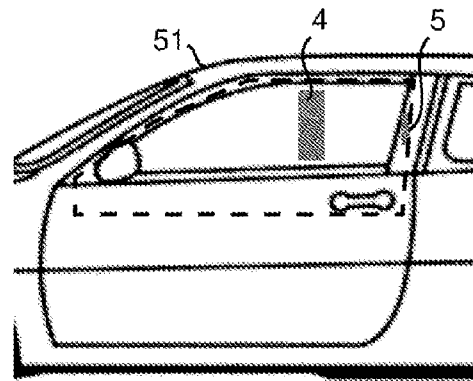


Fig. 47C

