

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 965**

51 Int. Cl.:

G02B 5/28 (2006.01)

G01J 3/26 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.10.2015 PCT/DE2015/000502**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2016 WO16055046**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2015 E 15797587 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3204802**

54 Título: **Filtro óptico interferométrico selectivo en dirección**

30 Prioridad:

07.10.2014 DE 102014014980

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

17.11.2020

73 Titular/es:

**SENRICS GMBH (100.0%)
Räcknitzhöhe 35
01217 Dresden, DE**

72 Inventor/es:

**LANGNER, MAIK;
FRÖB, HARTMUT;
LYSSENKO, VADIM G.;
SUDZIUS, MARKAS y
LEO, KARL**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 793 965 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

Filtro óptico interferométrico selectivo en dirección

5 La invención se refiere a un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección para dispositivos espectrométricos, también designado a continuación como filtro óptico interferométrico direccional - DIOF.

10 Los sistemas de materiales, que limitan el ángulo de la propagación de la luz, poseen una pluralidad de aplicaciones, entre otros: iluminación de efecto natural, protección de la esfera privada (pantallas), análisis automáticos de imágenes, detectores y fuentes de luz correspondientes, etc.

Las soluciones hasta ahora son complejas en la estructura (p. ej., estructuras 3D fotónicas) o poseen propiedades insuficientes (filmes de protección visual: rango de ángulo -30° , estructura de líneas visible).

15 En general tales propiedades ópticas se pueden reproducir por estructuras ópticas tridimensionales reales, que poseen una banda prohibida para una dirección de propagación determinada y poseen aquí al menos un modo discreto. Típicamente en tales sistemas existen algunos modos discretos en el espacio de momentos. Junto al hecho de que la fabricación de tales estructuras es muy exigente técnicamente y poco rentable, la discretización de los modos en el espacio de momentos limita las posibilidades de aplicación.

20 El documento US 6.130.780 A1 da a conocer un reflector omnidireccional, que presenta una estructura con una superficie y modificación del índice de refracción a lo largo de la dirección perpendicular a la superficie mencionada, así como un procedimiento para su fabricación.

25 En el caso de elección apropiada de los materiales y de la estructura de capa concreta, la estructura de banda óptica provocada por la estructura multicapa descrita conduce a que existe un rango de frecuencias en el que se reflejan casi al 100% los fotones con cualquier ángulo de incidencia de forma independiente de la polarización.

30 No obstante, de forma desventajosa, el documento US 6.130.780 A1 no describe ninguna posibilidad para definir, dentro de la banda o rango de frecuencias reflejadas, un rango estrecho (dirección y frecuencia de la luz) que se deje pasar.

35 El filtro de longitudes de ondas electromagnéticas descrito en el documento US 6.624.945 B2 permite la transmisión de energía electromagnética dentro de un rango de longitudes de onda estrecho con reflexión de la energía electromagnética incidente de otras longitudes de onda adyacentes, donde el filtro mencionado comprende:

40 al menos una región de cavidad como perturbadora, en este sentido una variación de espesor de capa dentro de una pila de capas construida de forma periódica, que está embebida entre al menos dos reflectores, donde al menos uno puede estar configurado conforme a la solicitud US 6.130.780 A1.

45 De forma desventajosa, en este filtro no hay una limitación de dirección para la transmisión de un rango de longitudes de onda estrecho definido fijo, es decir, para cualquier ángulo de incidencia existe un rango de transmisión propio, que es suficiente para la condición de dispersión del filtro. Por tanto, para un modo de acción idéntico puede tener lugar un prefiltrado de la longitud de onda o de la dirección.

50 En el documento US 7.310.454 B2 se muestra otra posibilidad de usar pilas de capas de materiales dieléctricos para el filtrado de distintas longitudes de onda. A este respecto, se colocan dos cristales fotónicos como reflectores alrededor de una así denominada capa de defecto (equivalente a la región de cavidad / punto de perturbación). Los cristales fotónicos se fabrican mediante materiales alternantes de alta y baja refracción, cuyos espesores de capa óptica $d_i = \lambda / n_i$ se corresponden en general respectivamente con $1/4$ de la longitud de onda de diseño. A este respecto d_i caracteriza el espesor de capa físico de la respectiva capa y n_i su índice de refracción. La longitud de onda de diseño define el punto de trabajo deseado del dispositivo, es decir, por ejemplo, la región de máxima reflexión o transmisión.

55 El documento US 2013/0279006 A1 muestra otro filtro de longitudes de onda apilable. El filtro comprende una secuencia de filtros de cavidad simple, que están dispuestos en ambos lados de una ventana óptica. El documento US 2007/0081156 A1 muestra otra disposición de filtros de cavidad simple.

60 En el dispositivo presentado en el documento US 7.810.454 B2 se presenta en una realización un filtro variable, conmutable con acoplamiento perpendicular a través de una fibra de vidrio. Para ello, la capa de defecto se configura a partir de un material excitable eléctricamente, entre otros. El modo de transmisión, es decir, el rango de longitudes de onda estrecho, que puede atravesar casi sin trabas la estructura de filtro dentro de la banda de rechazo óptica reflectante máxima, se puede desplazar de este modo dentro de ciertos límites dentro del espectro electromagnético. En la limitación anterior del rango de longitudes de onda posibles y la dirección (a través de la fibra de vidrio) se puede generar por consiguiente un interruptor óptico eléctricamente controlable. En otra realización, una señal de suma de longitudes de onda definidas de forma discreta se descompone a través de un

sistema de filtros construido diferentemente en sus componentes.

A todas estas realizaciones es común que se debe efectuar una preselección de la señal a filtrar, respecto a la dirección o la longitud de onda.

5 Además, existen escritos, como entre otros el documento US 5.719.989 A, que describen una estructura de capas ideal de un filtro óptico a partir de las capas dieléctricas, que ofrece una elevada transmisión lo más uniforme posible en un rango de longitudes de onda ancho. Para ello es necesario un número elevado de capas (hasta algunos
10 cientos), que se deben aplicar con elevada precisión. Junto al rango de transmisión espectralmente ancho no se lleva a cabo ninguna limitación de dirección según lo esperado en esta estructura.

15 El dispositivo descrito en el documento US 6.859.321 B2 usa una capa de aire como capa de defecto entre los dos reflectores, que están configurados como cristales fotónicos. Dado que los dos reflectores están aplicados respectivamente en un lado de un tipo de condensador de placas, cuya distancia se puede variar mediante atracción electrostática. Dado que la distancia es de algunos μm , dentro del rango de longitudes de onda reflectantes hay una serie total de modos transmitidos. Adicionalmente falta la limitación de dirección.

20 En el documento DE 10 2005 042 952 B3 se usa un microrresonador, es decir, una estructura de dos reflectores y una capa de defecto, para la generación de modulaciones de intensidad de radiación con frecuencias en el rango de THz. El uso de pilas de capas dieléctricas permite a este respecto una fabricación económica y el modo constructivo monolítico un elemento óptico compacto y robusto. La modulación de intensidad se origina a este respecto debido a la anisotropía óptica dentro de la capa de defecto.

25 El documento US 6.115.401 A finalmente describe el uso de un elemento de filtro de pilas de capas dieléctricas para el filtrado de modos resonantes en un resonador láser externo. A este respecto, el filtro aplicado sobre un prisma se inserta de forma ajustable variable (lateral/angular) en la trayectoria de rayo. Aquí también se aprovechan en este sentido las propiedades de dispersión válidas en general de un microrresonador, que en el caso de una longitud de onda dada dentro del rango de longitudes de onda reflejadas se predetermina un ángulo o en el caso de ángulo predeterminado la longitud de onda transmitida, no obstante, no ambos en combinación.
30

35 El documento US 2006/0280512 A1 muestra un filtro de dispersión, en el que se pueden ajustar propiedades de dispersión definidas. El filtro de dispersión comprende una serie de resonadores ópticos. Sin embargo, debido al acoplamiento óptico de los resonadores, un filtro semejante no presenta propiedades de dispersión constantes, ajustables. Para mitigar este efecto, el filtro configurado para la transmisión está diseñado de modo que la superficie límite entre los resonadores, que es la más cercana al punto central del filtro, presenta la reflectividad máxima de todas las superficies límite, y disminuyen gradualmente las reflectividades de las superficies límite restantes a ambos lados del punto central.

40 Una descripción matemática de la dispersión de cuasipartículas en una microcavidad individual y en microcavidades acopladas se puede deducir en Panzarini, G.: "Polariton dispersion and polarisation splitting for quantum well excitons in single and coupled microcavities". Physica Status Solidi a, Vol. 164 (1997), pág. 91-94.

45 La invención tiene el objeto de especificar un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección, que esté configurado apropiadamente de manera que represente un filtro compacto, fabricable en mayores cantidades de forma sencilla, que en función de la estructura seleccionada concretamente refleje completamente una señal de luz espectralmente de banda ancha (algunos cientos de nm) y solo dentro de un rango de ángulos (5° a 10°) limitado ajustable permita que pase una banda de longitudes de onda estrecha espectralmente (2 nm a 5 nm). En una fuente de luz puntual, el rango de longitudes de onda transmitidas describe en el espacio según la estructura seleccionada del filtro una envolvente cónica con ángulo de apertura definido exactamente hasta el caso límite 0° .
50

55 El objeto de la invención se consigue por un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección, que comprende al menos una disposición de dos estructuras fotónicas unidimensionales configuradas estratificadas, donde cada una de las dos estructuras contiene una capa de defecto, donde cada estructura fotónica posee una función de dispersión f_1 , f_2 en el espacio de energía - momento E , k_x , k_y , donde k_x y k_y representan las componentes de momento de fotones transmitidos de las estructuras fotónicas para una energía definida E en el espacio de energía - momento E , k_x , k_y , donde ambas estructuras fotónicas presentan superficies límite opuestas que presentan una distancia plano paralela entre sí, donde las dos estructuras fotónicas están desacopladas entre sí, donde según la parte característica de la reivindicación 1 se cruzan o se cortan las funciones de dispersión f_1 , f_2 de ambas estructuras fotónicas en el espacio de energía - momento E , k_x , k_y y generan una intersección A de los rayos de luz
60 de ondas sobre las superficies de las funciones de dispersión f_1 , f_2 con una energía determinada E , donde un rayo de luz de la intersección A de ondas contiene ondas seleccionadas de forma selectiva por el filtro con un ángulo, mientras que otras ondas se reflejan por el filtro con otros ángulos.

65 A la distancia plano paralela entre las superficies límite opuestas se puede situar opcionalmente una pieza distanciadora o un medio, p. ej., en forma de una cámara de aire o cojín de aire, que está en contacto con las superficies límite de las estructuras fotónicas. La distancia plano paralela entre las superficies límite en el medio

gaseoso se puede generar, p. ej., mediante espaciadores.

El filtro según la invención puede comprender dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas, donde las dos estructuras presentan respectivamente al menos dos capas de espejo reflectantes y donde las dos capas de espejo de una estructura fotónica están conectadas entre sí mediante al menos una capa de defecto y una pieza distanciadora o medio, que conecta las dos estructuras fotónicas de forma plano paralela a una distancia fija y las desacopla de forma coherente, donde las parábolas de dispersión provocadas por las dos estructuras fotónicas para modos resonantes satisfacen en general $k_{x1}^2 + k_{y1}^2 = \text{const}_1$, donde k_{x1} y k_{y1} designan las componentes de momento de fotones transmitidos para la primera estructura de capas, y $k_{x2}^2 + k_{y2}^2 = \text{const}_2$, donde k_{x2} y k_{y2} designan las componentes de momento de fotones transmitidos para la segunda estructura de capas, donde las funciones $k_{x1}^2 + k_{y1}^2 = \text{const}_1$ y $k_{x2}^2 + k_{y2}^2 = \text{const}_2$ para una energía seleccionada E dan una región de intersección A de las regiones de parábola - una región de intersección de ángulos (de forma equivalente $\text{const}_1 = \text{const}_2$), en la que una trayectoria de rayo A en el caso de ondas que inciden con un ángulo presenta ondas dejadas pasar de forma selectiva en dirección a través del filtro.

El filtro óptico interferométrico selectivo en dirección designa en el sentido de la invención un elemento constructivo / dispositivo en una pieza, que permite seleccionar de un continuo de banda ancha de la radiación electromagnético dentro del rango de UV/VIS a IR un rango estrecho de pocos nm, que puede atravesar casi sin trabas el elemento constructivo al encontrarse dentro de un rango angular estrecho de 5° - 10° , mientras que el resto del espectro se refleja casi completamente de forma omnidireccional.

A este respecto, el principio activo es interferométrico, es decir, las propiedades ópticas (transmisión / reflexión, comportamiento de fases) del dispositivo se originan a partir de la superposición múltiple de ondas parciales y su aniquilación y amplificación mutua parcial.

Según la invención, las estructuras fotónicas designan una disposición de los materiales, metamateriales o microestructuras, regulares la mayoría de las veces al menos por secciones, o que presentan una periodicidad espacial / geométrica y que interactúan con fotones. Estos pueden existir de forma natural (p. ej.: alas de mariposa) o generarse de forma artificial (p. ej.: capas antirreflexión en gafas). Una característica típica es la variación de una propiedad (p. ej.: índice de refracción óptico) a lo largo de al menos una dirección espacial en el orden de magnitud de la longitud de onda de la luz, es decir, algunas decenas o centenas de nm.

Dado que gracias a la regularidad / periodicidad se produce una analogía para el tratamiento de estructuras de cristales en la teoría del cuerpo sólido, las estructuras fotónicas se designan también como cristales fotónicos. A este respecto, la dimensionalidad caracteriza el número de direcciones espaciales, que poseen variaciones efectivas de forma fotónica, es decir, un cristal fotónico unidimensional solo está provisto en una dirección espacial (p. ej., hacia arriba) con una modificación del índice de refracción, mientras que las otras dos direcciones espaciales (en el plano) no presentan una variación.

Las estructuras estratificadas en el sentido de la invención designan una sucesión de capas de materiales conectadas entre sí (p. ej.: óxidos metálicos, metales, polímeros, moléculas orgánicas, etc.), que poseen respectivamente una extensión plana de pocos mm^2 hasta varios cientos de cm^2 y un espesor constante en el orden de magnitud de pocas decenas de nm hasta algunas centenas de nm, donde entre respectivamente dos materiales se origina exactamente una superficie límite, cuya extensión se desvía de ella de forma no esencial. Las superficies límite sucesivas en una estructura fotónica con más de dos capas son plano paralelas entre sí. Las capas también se designan como filmes debido a la relación de tamaño de sus extensiones.

Los procedimientos de fabricación para estos filmes pueden ser todos los procedimientos del estado de la técnica, como p. ej., sublimación en vacío, procedimiento de pulverización, procedimiento de centrifugación, métodos de inmersión.

Una capa de espejo reflectante en el sentido de la invención representa una estructura fotónica de alta reflexión, también como espejo dieléctrico, en el que a través de los efectos de interferencia se refleja completamente una fracción elevada de radiación (casi 100%) dentro de una banda ancha espectralmente (algunas decenas de nm - algunas centenas de nm). A diferencia de espejos metálicos, el rendimiento es casi el 100%, dado que en general no se absorbe ninguna o casi ninguna radiación. Un espejo dieléctrico configurado de forma sencilla se compone de una sucesión alternante de capas de los materiales transparentes para el rango de longitudes de onda observado, que se diferencian entre sí en su respectivo índice de refracción. En el espectro visible estos son, por ejemplo, los materiales de dióxido de silicio ($n_{\text{SiO}_2} = 1,46$) y dióxido de titanio ($n_{\text{TiO}_2} = 2,4 - 2,6$), que se ajustan a respectivamente un espesor óptico $n \times d$ de un cuarto de la longitud de onda a reflejar como máximo. Con un número de aproximadamente siete a nueve pares de capas alternantes se pueden obtener valores de reflexión >99%. Para adaptaciones de la relación de reflexión concreta en un rango espectral ancho de más de varios cientos de nm se pueden añadir capas o pilas de capas adicionales con desviaciones de espesores de capa calculados exactamente.

La capa de defecto en el sentido de la invención designa una perturbación dentro del cristal fotónico. Un cristal ideal

5 posee una estructura espacial que se repite regular y periódicamente. Una perturbación de la periodicidad se designa como defecto, transmitido a una estructura de capa existe así, p. ej., una perturbación de la disposición regular del material y/o espesor. Esta perturbación puede comprender, por ejemplo, en el caso de un espejo dieléctrico descrito como arriba la sustitución de una capa del espesor óptico de un cuarto de la longitud de onda por una tal con la mitad de la longitud de onda.

10 Una pieza distanciadora o un medio en el sentido de la invención designa tanto un cuerpo sólido con al menos dos lados configurados de forma plana, orientados de forma plano paralela entre sí, que son suficientemente transparentes para la longitud de onda de luz a filtrar, esto pueden ser, por ejemplo, placas de vidrio, capas de polímeros, placas de semiconductores entre otros. Por otro lado, también se puede situar un medio gaseoso o líquido entre las dos estructuras fotónicas, en cuanto estas poseen una distancia fija plano paralela entre sí. Esto se puede implementar, por ejemplo, mediante espaciadores introducidos de forma regular.

15 Una parábola de dispersión en el sentido de la invención designa la descripción del desarrollo de la relación de dispersión de las estructuras fotónicas descritas arriba con la capa de defecto. En general, la relación de dispersión describe la relación entre la energía (frecuencia / longitud de onda) y el momento de los fotones (ergo su dirección). Mientras que los fotones libres de interacción en el vacío son una recta linealmente ascendente (en el caso de fijación de una componente de momento en el espacio $E-k_x-k_y$ un cono), la estructura fotónica con capa de defecto provoca una forma de parábola.

20 Un modo resonante en el sentido de la invención designa una vibración propia de la estructura fotónica, provocada por la capa de defecto. Se expresa, por ejemplo, mediante una transmisión elevada de banda estrecha y se puede ajustar espectralmente entre otros por la extensión espacial y composición de la capa de defecto. Una estructura fotónica puede poseer más de un modo resonante, en general estos se ajustan con la planificación e implementación de la estructura, de modo que se sitúan espectralmente de forma central en el rango que reflejan de forma máxima los espejos dieléctricos.

25 Para cada dirección de observación por debajo de las condiciones de reflexión total en una capa límite, un modo resonante se desplaza hacia energías más elevadas conforme a la relación de dispersión.

30 Se origina una región de intersección de las regiones de parábola en el sentido de la invención porque las funciones de dispersión f_2 de la segunda estructura fotónica y f_1 de la primera estructura fotónica están configuradas de modo que f_2 describe una parábola más abierta en el espacio de energía - momento $E-k_x-k_y$, cuyo vértice se sitúa energéticamente por encima del vértice de f_1 o coincide con este. La distancia debe ser seleccionada de modo que la región de intersección de las componentes de impulso de los fotones se sitúe todavía por debajo de las condiciones para la reflexión total. En el caso límite de la coincidencia del vértice f_1 con vértice f_2 se deduce que ambas estructuras fotónicas transmiten la luz que incide de forma perpendicular, pero la luz que incide oblicuamente no satisface f_1 o f_2 y por consiguiente se refleja.

40 En una configuración del medio como capa distanciadora en forma de capa, la capa distanciadora está dispuesta entre las capas límite opuestas de las dos estructuras fotónicas, que están colocadas en los dos lados de superficie opuestos de la pieza distanciadora en forma de capa.

45 Puede estar presente al menos un sustrato que está en contacto plano con al menos una de las estructuras fotónicas.

La pieza distanciadora puede representar igualmente una capa.

50 La estructura fotónica unidimensional configurada estratificada se compone de al menos dos capas de material dieléctricas dispuestas de forma alternante y que representan capas de espejo dieléctricas reflectantes, donde las capas de material tienen distintas propiedades dieléctricas sobre todo el espectro de trabajo del filtro, donde el espesor D de las capas de material está configurado de manera que provocan una banda de rechazo óptica alrededor de un modo de filtro predeterminado.

55 Una estructura fotónica unidimensional configurada estratificada en forma de un cristal fotónico tiene al menos una capa de defecto, que produce una amplificación de un modo de filtro predefinido, donde una capa de defecto se sitúa entre dos espejos dieléctricos, que están configuradas como capa de material dieléctrica con índice de refracción predeterminado.

60 La capa de defecto puede presentar tanto un espesor óptico fijado d o un espesor óptico variable d .

Las capas de defecto dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas pueden poseer diferentes índices de refracción.

65 Los espesores ópticos d de las capas de defecto dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas pueden tener el mismo espesor óptico con d o diferenciarse por un múltiplo entero de una semilongitud de onda o

estar configurados de forma divergente de estos valores.

5 La pieza distanciadora o medio como configurador de una distancia plano paralela entre las dos estructuras fotónicas es transparente ópticamente en el estado de la frecuencia de resonancia del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección y presenta un espesor óptico D_D . El espesor óptico D_D controla el mecanismo de acoplamiento de ambas estructuras fotónicas. Para el caso de que es claramente menor que la longitud de coherencia de un haz de rayos de luz incidente (LEDs: algunas decenas de μm , láser: mm- km) del lado de la fuente de luz, que se analiza por el filtro, ambas estructuras fotónicas están acopladas de forma coherente y actúan como un sistema fotónico complejo individual. Esto conduce típicamente a un modo DIOF doblemente degenerado y propaga la resonancia 10 espectral y dependiente de la dirección. De este modo se reduce el efecto de filtrado del sistema. Si el espesor óptico D_D es mayor que la longitud de coherencia del haz de luz incidente, que satisface las condiciones de resonancia de ambas estructuras fotónicas, las dos estructuras fotónicas están desacopladas entre sí y actúan como dos sistemas independientes. Para las simulaciones y los resultados de medición mostrados se adopta el último caso.

15 La pieza distanciadora en forma de capa puede tener propiedades mecánicas, que garantizan un modo de trabajo predeterminado del filtro, donde la pieza distanciadora está montada como un sustrato transparente para ambas estructuras fotónicas, que están fijados respectivamente a ambos lados de superficie de la pieza distanciadora.

20 El sustrato es ópticamente transparente en el estado de la frecuencia de resonancia del modo de filtro predeterminado, respecto al /según el que puede estar fabricado o fijado el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección.

25 A un dispositivo con el filtro óptico interferométrico selectivo de dirección según la parte caracterizadora de la reivindicación 12 pertenece al menos una fuente de luz o un detector, entre los que está dispuesto el filtro óptico interferométrico selectivo de dirección, donde el filtro óptico interferométrico selectivo de dirección está configurado de manera que hay

30 ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro,

ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro,

35 ondas fotónicas no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro,

ondas fotónicas no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro,

40 ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada antes de la interacción con el filtro, y

45 ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada después de la interacción con el filtro.

50 Como antecedentes está el aprovechamiento de los efectos interferométricos de al menos dos estructuras fotónicas conectadas a través de una pieza distanciadora en forma de cristales fotónicos. A este respecto se aprovecha que un cristal fotónico posee una banda de longitudes de onda transparente (modo) con una transmisión dependiente de la dirección (dispersión), cuyo desarrollo depende tanto de la estructura específica como también de los materiales usados y sus propiedades ópticas. Si ahora se combinan cristales fotónicos con diferentes relaciones de dispersión, entonces mediante la aniquilación mutua de la señal transmitida en el caso de no concordancia / falta de superposición de ambas relaciones de dispersión se consigue que el filtro solo sea transparente en un rango angular estrecho y en un rango de longitudes de onda estrecho, es decir, en el punto de cruce de los desarrollos de la 55 dispersión. Todas las otras direcciones y rangos espectrales se reflejan de vuelta en la dirección de la fuente de luz emisora.

60 Usando el filtro según la invención, un dispositivo detector se puede componer al menos de un fotodetector de gran superficie y el filtro según la invención, donde el filtro está aplicado directamente sobre la superficie del fotodetector o también está fijado sobre el fotodetector y el filtro se sitúa entre un medio emisor de fotones y el fotodetector.

65 Las estructuras fotónicas están configuradas de manera que poseen relaciones de dispersión similares, dependientes del ángulo, pero poseen velocidades de propagación diferentes simultáneamente en el plano perpendicularmente a las normales al filtro. La frecuencia límite de ambas estructuras fotónicas (la frecuencia resonante más baja del sistema) se determina mediante el espesor de la capa de defecto y su índice de refracción. En el otro lado, la propagación de la componente de dirección en el plano depende de la intensidad del retardo de

fase en el entorno de la capa de defecto. Esto se puede controlar mediante el control exacto de la estructura de capa óptica y la elección de los materiales.

5 De este modo, el filtro se comporta como una estructura fotónica tridimensional configurada de forma real, aunque no hay estructuras en el plano y también falta una ampliación adicional del campo electromagnético en el interior.

Perfeccionamientos y configuraciones adicionales de la invención están indicados en otras reivindicaciones dependientes.

10 La invención se explica más en detalle mediante los ejemplos de realización por medio de varios dibujos.

Se muestra:

15 la figura 1, una representación esquemática del principio de trabajo de un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección según la invención,

la figura 2, una representación esquemática en vista lateral del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección según la invención,

20 la figura 3, representaciones según la fig. 3a de la relación entre regiones diferentes de una dispersión de ángulo y según la fig. 3b de trayectorias de rayo en un filtro en un caso general, cuando las dependencias de la dispersión (funciones de dispersión f_1 , f_2) de estructuras fotónicas unidimensionales se sitúan en $k_x^2 + k_y^2 = \text{const.}$,

25 la figura 4, representaciones según la fig. 4a de la relación entre regiones diferentes de la dispersión de ángulo y según la fig. 4b de trayectorias de rayo en un filtro en un caso especial, cuando las dependencias de la dispersión de ambas estructuras fotónicas unidimensionales se sitúan en $k_x^2 + k_y^2 = 0$,

30 la figura 5, una transmisión calculada del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección para luz polarizada como una función de la energía de los fotones y del ángulo de propagación en el aire, donde el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección está configurado de manera que su modo de resonancia se sitúa en el medio de la banda de rechazo fotónica del espejo y presenta un ángulo de detección limitado de doce grados,

35 la figura 6, una transmisión calculada del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección para luz polarizada como una función de la energía de los fotones y del ángulo de propagación en el aire, donde el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección está configurado de manera que su modo de resonancia se sitúa en aproximadamente cuarenta grados y tiene un rango de ángulos de detección de aproximadamente cuatro grados,

40 la figura 7, una representación de una función espectral con resolución angular, que se mide con estructuras de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ y se basa en el filtro, donde el filtro está configurado de manera que muestra un máximo de transmisión de resonancia en el caso de veinticinco grados con un ángulo de aceptación de diez grados y se amortigua fuertemente con todos los otros ángulos, y

45 la figura 8, una representación de una función espectral con resolución angular, que se mide con estructuras de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ y se basa en el filtro, donde el filtro está configurado de manera que muestra un máximo de transmisión de resonancia en el caso de cero grados con un ángulo de aceptación de veinte grados y se amortigua fuertemente con ángulos más elevados.

A continuación, se observan en conjunto las fig. 1, fig. 2, fig. 3 y fig. 4. En la fig. 1 en un ejemplo de realización según la invención se muestra un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30, p. ej., para un dispositivo 50 espectrométrico 1, cuyo principio de trabajo está representado esquemáticamente en la fig. 1. El filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 para dispositivos espectrométricos comprende al menos una disposición de dos estructuras fotónicas unidimensionales configuradas estratificadas 36, 37, donde cada una de las dos estructuras 36, 37 contiene una capa de defecto 32, 34, donde cada estructura fotónica 36, 37 posee una función de dispersión 25a (f_1), 25b (f_2) en el espacio de energía E , k_x , k_y representado en la fig. 3, donde k_x y k_y representan las componentes de momento de los fotones transmitidos de las estructuras fotónicas 36, 37 para una energía 55 determinada (frecuencia / longitud de onda) E en el espacio de energía - momento E , k_x , k_y , donde ambas estructuras fotónicas 36, 37 presentan superficies límite opuestas 42, 43, que presentan entre sí una distancia plano paralela D_p .

60 Según la invención, las funciones de dispersión 25a (f_1), 25b (f_2) representadas en la fig. 3 de ambas estructuras fotónicas 36, 37 se cruzan o se cortan en el espacio de energía - momento E , k_x , k_y , y una intersección A de rayos de luz de ondas se genera sobre la superficie de las funciones de dispersión 25a (f_1), 25b (f_2) con una energía determinada E , donde un rayo de luz a partir de la intersección A de ondas contiene ondas 11a, 11b seleccionadas de forma selectiva a través del filtro 30 con un ángulo, mientras que otras ondas 13a, 13b se reflejan por el filtro 30 65 con otros ángulos.

Al dispositivo 1 representado en la fig. 1 con el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 pertenece una fuente de luz 10a y un detector 10b, entre los que está dispuesto al menos un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30.

5 El filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 está configurado de manera que hay

ondas fotónicas 11a resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro 30,

10 ondas fotónicas 11b resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro 30,

ondas fotónicas 12a no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro 30,

15 ondas fotónicas 12b no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro 30,

20 ondas fotónicas 13a resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada antes de la interacción con el filtro 30, y

ondas fotónicas 13b resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada después de la interacción con el filtro 30.

25 Solo el rayo de fotones 11 a que incide perpendicularmente desde la fuente de luz 10a sobre el filtro 30, cargado con energía específica y provisto con una dirección de propagación predeterminada, se deja pasar a través del filtro 30. Todos los otros rayos de fotones, incluso aquellos rayos de fotones 13a, que tienen la misma energía que los rayos de fotones 11a dejados pasar, pero se propagan de forma inclinada respecto a la superficie de entrada 40 en diferente dirección, se reflejan por el filtro 30 como ondas 13b de vuelta en la dirección hacia la fuente de luz 10a.

30 La estructura del filtro 30 según la invención está representada a modo de ejemplo esquemáticamente en la fig. 2.

35 El filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 en la fig. 2 comprende al menos una disposición de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas 36, 37, donde la una estructura 36 contiene al menos dos capas de espejo reflectantes 31a, 31b y la otra estructura 37 al menos dos espejos reflectantes 31c, 31d, una pieza distanciadora 33 en forma de capa con un espesor de la distancia D_D para la conexión de las dos estructuras fotónicas 36, 37, que están en contacto conectándose de forma opuesta con los lados de superficie 38, 39 de la pieza distanciadora 33.

40 Opcionalmente puede estar colocado un sustrato 35 que está en contacto directo con la estructura fotónica 37 en su superficie exterior 41.

45 En la fig. 2 está representado por consiguiente una estructura fotónica unidimensional configurada estratificada 36, 37, que se compone de al menos dos capas 31a, 31b; 31c, 31d dispuestas en alternancia y que representan espejos dieléctricos reflectantes, donde entre las capas de espejo 31a y 31b, así como entre las capas de espejo 31c y 31d está dispuesta respectivamente una capa de defecto 32, 34, donde las capas de espejo 31a, 31b y 31c, 31d tienen distintas propiedades dieléctricas con diferente índice de refracción sobre todo el espectro de trabajo del filtro 30 y donde el espesor D de las capas de espejo 31a, 31b y 31c, 31d está configurado de manera que estas provocan un aumento de una banda de rechazo 52 (véanse las fig. 5, 6, 7, 8) alrededor de un modo de filtro 60 (véanse las fig. 5, 6, 7, 8).

50 Las estructuras fotónicas unidimensionales configuradas estratificadas 36, 37 en la fig. 2 tienen la capa de defecto 32, 34, que produce una amplificación del modo de filtro predeterminado 60 (véanse las fig. 5, 6, 7, 8), donde una capa de defecto 32, 34 se sitúa respectivamente entre las dos capas de espejo dieléctricas 31a, 31b y 31c, 31d, donde las capas de espejo 31a, 31b y 31c, 31d están configuradas respectivamente como capa de material dieléctrico con índice de refracción predeterminado.

La capa de defecto 32, 34 puede presentar tanto un espesor óptico fijado d o un espesor óptico variable d .

60 Las capas de defecto 32, 34 insertadas pueden poseer dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas 36, 37 diferentes índices de refracción.

65 Los espesores ópticos d de las capas de defecto 32, 34 dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas 36, 37 pueden tener el mismo espesor óptico con d o se pueden diferenciar por un múltiplo entero de una semilongitud de onda o estar configurados de forma divergente (poco porcentaje) de estos valores. En la fig. 2, p. ej., las capas de defecto 32 y 34 presentan respectivamente diferentes espesores d_{32} y d_{34} .

La pieza distanciadora 33 entre las dos estructuras fotónicas 36, 37 es ópticamente transparente en el estado de la frecuencia de resonancia del filtro 30 y puede tener un espesor óptico D_D mayor que la longitud de coherencia del haz de rayos de luz 11a incidente desde el lado de la fuente de luz 10a, que se analiza por el filtro 30.

5 El sustrato 35 es ópticamente transparente en el estado de la frecuencia de resonancia del modo de filtro predeterminado 60, respecto al /según el que se fabrica o fija el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30. El sustrato 35 no se requiere forzosamente, pero puede servir como soporte estabilizador del filtro 30.

10 La pieza distanciadora 33 tiene propiedades mecánicas, que garantizan un modo de trabajo predeterminado del filtro 30, y está montada como un sustrato transparente para ambas estructuras fotónicas 36, 37, que están fijadas respectivamente a dos lados de superficie 38, 39 de la pieza distanciadora 33.

A continuación, se explica más en detalle el modo de funcionamiento:

15 para implementar el filtro 30 se usa una disposición de estructuras fotónicas 36, 37 en forma de dos cristales fotónicos unidimensionales de gran superficie, donde ambas contienen una capa de defecto 32, 34 que puede representar respectivamente una capa de vacantes. En ambas estructuras 36, 37, el campo electromagnético E está configurado de forma amortiguada según la fig. 3 y 4 a lo largo de una dirección espacial perpendicularmente a las capas de espejo 31a, 31b y 31c, 31d y el modo de filtro predeterminado fundamental 60 (véanse las fig. 5, 6, 7, 8) es el comienzo del continuo del modo de fotones con una dispersión en el plano de vacantes.

20 Sin embargo, en función de la disposición especial de los cristales fotónicos unidimensionales 36, 37, los vectores de propagación de plano interiores, correspondientes pueden mostrar el comportamiento diferente como una función de un ángulo de propagación exterior y conducen a diferentes relaciones de dispersión respecto al modo de filtro predeterminado fundamental 60 (véanse la fig. 5, 6, 7, 8). Por lo tanto, cuando la luz se propaga a través de una disposición de dos estructuras fotónicas 36, 37 dispuestas en paralelo de este tipo, la relación de dispersión se vuelve discreta para la disposición mencionada y limita el ajuste a un ángulo especial. En este sentido, una disposición semejante se comporta de forma sencilla igual a una disposición óptica limitada 3D real, aunque no tiene una superficie interior real de una limitación óptica y no conduce a un aumento adicional de un campo electromagnético interno E. No obstante, una disposición unidimensional, cuasi limitada 3D semejante tiene una ventaja muy clara y reconocible frente al cristal fotónico 3D real. Se pueden fabricar fácilmente grandes superficies de filtros cuasi fotónicos 3D, de manera que las estructuras fotónicas 36, 37 solo se pueden controlar a través de una dimensión - la más corta en la disposición.

25 En la fig. 3 están indicadas representaciones según la fig. 3a de la relación entre diferentes regiones de parábola 25a y 25b de una dispersión de ángulo y según la fig. 3b de trayectorias de rayo A, B, C en un filtro 30 en un caso general, cuando las dependencias de la dispersión (funciones de dispersión f_1 , f_2) de estructuras fotónicas unidimensionales 36, 37 se sitúan en $k_x^2 + k_y^2 = \text{const}$.

40 A este respecto, k_x y k_y representan las componentes de momento de los fotones en el plano.

En la intersección A de las regiones de parábola 25a y 25b se produce una región de inserción angular 26, en el que la trayectoria de rayo A con ondas 11a que inciden con un ángulo presenta ondas 11b dejadas pasar a través del filtro 30.

45 La región de intersección A de las regiones de parábola en el sentido de la invención se origina porque las dos funciones de dispersión f_2 mostradas en la fig. 3 de la segunda estructura fotónica (cristal) 25b y f_1 de la primera estructura (fotónica cristal) 25a están configuradas de modo que f_2 describe una parábola más abierta en el espacio de energía - momento E- k_x - k_y , cuyo vértice se sitúa energéticamente por encima del vértice de f_1 o coincide con este. La distancia debe ser seleccionada de modo que la región de intersección de las componentes de impulso de los fotones se sitúe todavía por debajo de las condiciones para la reflexión total. En el caso límite de la coincidencia del vértice f_1 con vértice f_2 se deduce que ambas estructuras fotónicas (cristales) 25a, 25b transmiten la luz que incide de forma perpendicular, pero la luz que incide oblicuamente no satisface f_1 o f_2 y por consiguiente se refleja.

50 La fig. 4 muestra representaciones según la fig. 4a de la relación entre regiones diferentes de la dispersión de ángulo y según la fig. 4b de trayectorias de rayo A, B, C en el filtro 30 en un caso especial, cuando las dependencias de la dispersión de ambas estructuras fotónicas unidimensionales se sitúan en $k_x^2 + k_y^2 = 0$.

55 En la intersección A de las regiones de parábola 25a y 25b se produce una región de intersección de ángulos 26 en la región del vértice de las regiones de parábola 25a, 25b, en la que la trayectoria de rayo A con ondas perpendiculares incidentes 11a presenta ondas 11b dejadas pasar a través del filtro 30 y es válido como caso particular con incidencia perpendicular.

60 En las fig. 3 y fig. 4, las estructuras fotónicas 36 y 37 representan cristales, donde la primera estructura fotónica 36 representa un primer cristal fotónico unidimensional 20a de gran superficie con una primera dispersión y la segunda estructura fotónica representa un segundo cristal fotónico unidimensional 20b de gran superficie con una segunda

dispersión.

En la fig. 5 se muestra una transmisión calculada del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 para luz polarizada como una función de la energía de los fotones y del ángulo de propagación en el aire, donde el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 está configurado de manera que su modo de resonancia se sitúa en el medio de la banda de rechazo fotónica 52 y presenta un ángulo de detección limitado de doce grados, Para el cálculo se usa el método de matriz de transferencia. Los filtros en este módulo se componen exclusivamente de materiales dieléctricos, que son transparentes ópticamente en el espectro visible. Toda la estructura DIOF se compone de una disposición de capas de dióxido de silicio (SiO_2) - y dióxido de titanio (TiO_2) - de diferente espesor. En esta simulación los microrresonadores dieléctricos forman las estructuras fotónicas unidimensionales 36, 37 en ambos lados de la pieza distanciadora 33, que se compone de una capa de SiO_2 gruesa. Todos los espejos están configurados como DBRs, con respectivamente siete pares de capas con una longitud de onda de diseño de 650 nm. La capa de resonancia (capa de defecto) se compone de dióxido de silicio, respectivamente dióxido de titanio, con un espesor de capa óptica (con 650 nm) de $\lambda/2$ o λ .

Además, en la fig. 6 se muestra una transmisión calculada del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 para luz polarizada como una función de la energía de los fotones y del ángulo de propagación en el aire, donde el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección 30 está configurado de manera que su modo de resonancia se sitúa en aproximadamente cuarenta grados y tiene el un rango de ángulos de detección 71 de aproximadamente cuatro grados, En este caso, los espesores de capa de las capas de resonancia son $2.07 \lambda/4$ para dióxido de titanio o $1.93 \lambda/4$ para dióxido de silicio. Adicionalmente a esta determinación de la frecuencia límite de ambos microrresonadores, el índice de refracción claramente diferente de ambas estructuras (-2.2 para dióxido de titanio y -1.46 para dióxido de silicio con 650 nm) aporta una curvatura diferente de ambas parábolas de dispersión con $k>0$.

La fig. 5 y la fig. 6 muestran la banda lateral de baja energía 51 y la banda lateral de alta energía 53. En medio se sitúa la banda de rechazo 52. Dentro de la banda de rechazo 52 se sitúa el rango de ángulos de no detección 72 y el rango de ángulos de detección 71. En la fig. 5, el rango de ángulos de detección 71 es de aproximadamente doce grados, mientras que el rango de ángulos de no detección 72 en la fig. 5 es de aproximadamente cuarenta y seis grados y en la fig. 6 el rango de ángulos de detección 71 es de aproximadamente cuatro grados y el rango de ángulos de no detección 72 en forma de rango 72a es de aproximadamente treinta y ocho grados y en la forma de rango 72b de aproximadamente 33 grados.

En la fig. 6 se sitúa el rango de detección 71 con aproximadamente cuatro grados entre los dos 72c y 72b. En el rango de detección 71 está también el modo de filtro 60.

En la fig. 7 se muestra una representación de una función espectral con resolución espectral, que se mide con estructuras de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 36 y 37 y se basa en el filtro 30 según la invención, donde el filtro 30 está configurado de manera que muestra un máximo de transmisión de resonancia en el caso de aproximadamente veinticinco grados con un ángulo de aceptación de diez grados y se amortigua fuertemente con todos los otros ángulos.

En la fig. 8 se muestra una representación de una función espectral con resolución espectral, que se mide con estructuras de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 36 y 37 y se basa en el filtro 30, donde el filtro 30 está configurado de manera que muestra un máximo de transmisión de resonancia en el caso de alrededor de cero grados con un ángulo de aceptación de veinte grados y se amortigua fuertemente con ángulos más elevados.

Hay una región amplia de diferentes posibilidades de aplicación, que se basan exclusivamente en el modo de funcionamiento del filtro 30 según la invención. P. ej., para la fabricación de filtros de gran superficie con pequeño ángulo de recepción del modo de filtro predeterminado, este limita la simetría circular y, p. ej., sirve para el control del filtro de gran superficie a través de un gran rango de ángulos para la protección de la esfera privada, para el aumento de la sensibilidad y para el reconocimiento de errores, lo que son las aplicaciones previstas la mayoría de las veces.

Este filtro posee al menos dos estructuras fotónicas de gran superficie. Se comporta con desde múltiples aspectos como un filtro óptico interferométrico convencional, con la diferencia de que adicionalmente a la selectividad de longitudes de onda y polarización se agrega una limitación de dirección. De este modo el filtro puede transmitir los fotones que satisfacen una condición de resonancia para un rango de ángulos limitado, mientras que suprime efectivamente la propagación con otros ángulos. La dirección de transmisión tiene una simétrica axial respecto a la normal al filtro y se puede ajustar de forma precisa (de forma activa o pasiva) mediante la configuración de la estructura fotónica. Esto también contiene el caso especial de que los fotones solo se transmitan con incidencia perpendicular.

Los espejos 31a, 31b; 31c, 31d desempeñan un papel absolutamente importante para el filtro 30. Observado exactamente deben ser estructuras fotónicas (p. ej., espejos dieléctricos), en las que puede penetrar la luz hasta una profundidad de penetración predeterminada y a este respecto experimente un desplazamiento de fase después de la reflexión. En ambas estructuras 36, 37 debe ser diferente la influencia en la fase de la luz, lo que conduce a la curvatura diferente de las relaciones de dispersión. Los espejos 31a, 31b; 31c, 31d no deben ser a este respecto

estructuras fotónicas perfectas (p. ej., capas de $\lambda/4$ para una longitud de onda de diseño exactamente definida). El mejor resultado para el efecto de filtrado se consigue cuando las dos estructuras fotónicas 36, 37 se diferencian y se desvían de sus valores ideales (p. ej.: múltiplos exactos de $\lambda/4$ o $\lambda/2$).

- 5 Los espejos 31a, 31 b; 31c, 31d se usan como caso especial, cuando el filtro (estructuras fotónicas y una pieza distanciadora óptica) 30 se compone de dos microrresonadores dieléctricos planares.

- 10 La curvatura se puede controlar mediante una interacción determinada de la profundidad de penetración de luz en los espejos 31a, 31b; 31c, 31d y controlarse los desplazamientos de fase, cuando la luz oscila dentro de la capa de resonancia. Pero simultáneamente la propiedad de dispersión se vuelve de forma no parabólica tomado exactamente, por lo que se pueden cruzar.

- 15 Cuando el espesor D_D de la capa distanciadora 33 se vuelve mayor que la longitud de coherencia de la luz, las dos estructuras fotónicas 36, 37 están “desacopladas de forma coherente” y el filtro 30 tiene solo una resonancia individual. Para la luz del sol, por ejemplo, con una longitud de coherencia de algunos μm ya es suficiente una pieza distanciadora 33 de, p. ej., $100 \mu\text{m}$, para que el filtro 30 trabaje en el régimen “desacoplado de forma coherente”.

Lista de referencias

- 20 1 Dispositivo
- 10a Medio emisor de fotones / fuente de luz
- 10b Medio detector de fotones / fotodetector
- 25 11a Ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de una interacción con el filtro
- 30 11b Ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de una interacción con el filtro
- 12a Ondas fotónicas no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro
- 35 12b Ondas fotónicas no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro
- 13a Ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada antes de la interacción con el filtro
- 40 13b Ondas fotónicas resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada después de la interacción con el filtro
- 20a Primer cristal fotónico unidimensional de gran superficie con una primera dispersión
- 45 20b Segundo cristal fotónico unidimensional de gran superficie con una segunda dispersión
- 25a Relación de dispersión de un primer cristal unidimensional para la configuración de un filtro
- 50 25b Relación de dispersión de un segundo cristal unidimensional para la configuración de un filtro
- 26 Relación de dispersión de un filtro
- 30 Filtro óptico interferométrico selectivo en dirección
- 55 31a Capa de espejo dieléctrica / capa de material dieléctrico reflectante
- 31b Capa de espejo dieléctrica / capa de material dieléctrico reflectante
- 60 31c Capa de espejo dieléctrica / capa de material dieléctrico reflectante
- 31d Capa de espejo dieléctrica / capa de material dieléctrico reflectante
- 32 Primera capa de defecto
- 65 33 Pieza distanciadora o sustrato

	34 Segunda capa de defecto
	35 Sustrato
5	36 Primera estructura fotónica
	37 Segunda estructura fotónica
10	38 Primer lado de superficie
	39 Segundo lado de superficie
	40 Plano de la superficie de entrada
15	41 Superficie exterior de una estructura
	42 Superficie límite de la primera estructura fotónica
20	43 Superficie límite de la segunda estructura fotónica
	51 Banda lateral de baja energía del filtro
	52 Banda de rechazo
25	53 Banda lateral de alta energía del filtro
	60 Modo de filtro predeterminado del filtro
30	71 Rango de ángulos de detección
	72 Rango de ángulos ciegos / rango de ángulos de no detección
	72a Rango de ángulos de no detección
35	72b Rango de ángulos de no detección
	D Espesor de un espejo dieléctrico / de una capa de material dieléctrica
40	d Espesor de una capa de defecto
	D _D Espesor de la pieza distanciadora / distancia
	A Primera trayectoria de rayo
45	B Segunda trayectoria de rayo
	C Tercera trayectoria de rayo
50	f1 Función de dispersión
	f2 Función de dispersión

REIVINDICACIONES

1. Filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30) para dispositivos espectrométricos (1), que comprende al menos una disposición de dos estructuras fotónicas unidimensionales configuradas estratificadas (36, 37), donde cada una de las dos estructuras (36, 37) contiene una capa de defecto (32, 34), donde cada estructura fotónica (36, 37) posee una función de dispersión f1 (25a), f2 (25b) en el espacio de energía-momento (E, k_x, k_y), donde k_x y k_y representan las componentes de momento de fotones transmisores de las estructuras fotónicas (36, 37) para una energía definida de los fotones E en el espacio de energía - momento (E, k_x, k_y), donde dos estructuras fotónicas (36, 37) presentan superficies límite opuestas (42, 43) que presentan una distancia plano paralela (D_D) entre sí, donde la distancia plano paralela (D_D) esta seleccionada de manera que las dos estructuras fotónicas (36, 37) están desacopladas de forma coherente, caracterizado porque las funciones de dispersión f1 (25a), f2 (25b) de ambas estructuras fotónicas (36, 37) se cruzan o se cortan en el espacio de energía - momento (E, k_x, k_y) y generan una intersección (A) de rayos de luz de ondas sobre las superficies de las funciones de dispersión f1 (25a), f2 (25b) con una energía determinada (E), donde un rayo de luz de la intersección (A) de ondas contiene ondas (11a, 11b) seleccionadas de forma selectiva a través del filtro (30) con un ángulo, mientras que otras ondas (13a, 13b) se reflejan por el filtro (30) con otros ángulos.

2. Filtro según la reivindicación 1, caracterizado porque a la distancia plano paralela (D_D) entre las superficies límite opuestas (42, 43) se sitúa una pieza distanciadora (33) o un medio en forma de una cámara de aire o cojín de aire, que está en contacto con las superficies límite, donde la distancia plano paralela (D_D) entre las superficies límite (42, 43) de las estructuras fotónicas (36, 37) está fijada en el medio gaseoso por espaciadores.

3. Filtro según la reivindicación 2, caracterizado porque comprende dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas, donde las dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas (36, 37) presentan respectivamente al menos dos capas de espejo reflectantes (31a, 31b; 31c, 31d), donde las dos capas de espejo (31a, 31b; 31c, 31d) están conectadas entre sí respectivamente por al menos una capa de defecto (32, 34), y una pieza distanciadora (33) o medio, que conecta las dos estructuras fotónicas (36, 37) de forma plano paralela a una distancia fija y las desacopla de forma coherente, donde las parábolas de dispersión provocadas por las dos estructuras fotónicas (36, 37) para modos resonantes satisfacen en general

$k_{x1}^2 + k_{y1}^2 = \text{const}_1$ und $k_{x2}^2 + k_{y2}^2 = \text{const}_2$
 donde las funciones $k_{x1}^2 + k_{y1}^2 = \text{const}_1$ y $k_{x2}^2 + k_{y2}^2 = \text{const}_2$ para una energía seleccionada dan una región de intersección (A) de las regiones de parábola (25a, 25b) - una región de intersección de ángulos (26), en la que una trayectoria de rayo (A) en el caso de ondas (11a) que inciden con un ángulo presenta ondas (11b) dejadas pasar de forma selectiva en dirección a través del filtro (30).

4. Filtro según la reivindicación 1, caracterizado porque está presente al menos un sustrato (35) que está en contacto plano con al menos una de las estructuras fotónicas (36, 37).

5. Filtro según la reivindicación 1, caracterizado porque la estructura fotónica unidimensional estratificada (36, 37) se compone de al menos dos capas de material dieléctricas dispuestas de forma alternante y que representan capas de espejo dieléctricas reflectantes (31a, 31b; 31c, 31d), donde las capas de material (31a, 31b; 31c, 31d) tienen distintas propiedades dieléctricas sobre todo el espectro de trabajo del filtro (30), donde el espesor D de las capas de material (31a, 31b; 31c, 31d) está configurado de manera que provocan una banda de rechazo óptica (52) alrededor de un modo de filtro predeterminado (60).

6. Filtro según la reivindicación 1, caracterizado porque una estructura fotónica unidimensional configurada estratificada (36, 37) en forma de un cristal fotónico (20a, 20b) posee al menos una capa de defecto (32; 34), que produce una amplificación de un modo de filtro predefinido (60), donde la capa de defecto (32, 34) se sitúa entre dos capas de espejo dieléctricas (31a, 31b; 31c, 31d), que están configuradas como capa de material dieléctrica con índice de refracción predeterminado.

7. Filtro según la reivindicación 6, caracterizado porque la capa de defecto (32, 34) presenta tanto un espesor óptico fijado d o un espesor óptico variable d.

8. Filtro según la reivindicación 6 o 7, caracterizado porque las capas de defecto (32, 34) dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas (36, 37) poseen diferentes índices de refracción.

9. Filtro según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 8, caracterizado porque los espesores ópticos d₃₂, d₃₄ de las capas de defecto (32, 34) dentro de dos estructuras fotónicas unidimensionales estratificadas (36, 37) tienen el mismo espesor óptico con d = d₃₂ = d₃₄ o se diferencian por un múltiplo entero de una semilongitud de onda o están

configurados de forma ligeramente divergente de estos valores.

- 5 10. Filtro según la reivindicación 6, caracterizado porque las capas de defecto (32, 34) presentan al menos vacantes como defectos.
- 10 11. Filtro según la reivindicación 2, caracterizado porque la pieza distanciadora (33) en forma de capa entre las dos estructuras fotónicas (36, 37) es ópticamente transparente en el estado de la frecuencia de resonancia del filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30) y tiene un espesor óptico D_0 mayor o menor que la longitud de coherencia de un haz de rayos de luz incidente (11a) del lado de la fuente de luz (10a), que se analiza por el filtro (30).
- 15 12. Filtro según la reivindicación 11, caracterizado porque la pieza distanciadora (33) en forma de capa tiene propiedades mecánicas que garantizan un modo de trabajo predeterminado del filtro (30), donde la pieza distanciadora (33) está montada como un sustrato transparente para ambas estructuras fotónicas (36, 37), que están fijadas respectivamente a ambos lados de superficie (38, 39) de la pieza distanciadora (33).
- 20 13. Filtro según la reivindicación 4, caracterizado porque el sustrato (35) es ópticamente transparente en el estado de la frecuencia de resonancia del modo de filtro predeterminado (60), respecto al /según el que está fabricado o fijado el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30).
- 25 14. Dispositivo (1) con un filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30) según las reivindicaciones 1 a 13, con al menos una fuente de luz (10a) y un detector (10b), entre los que está dispuesto el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30), donde el filtro óptico interferométrico selectivo en dirección (30) está configurado de manera que hay al menos
- 30 ondas fotónicas (11a) resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro (30),
- ondas fotónicas (11b) resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro (30),
- 35 ondas fotónicas (12a) no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada antes de la interacción con el filtro (30),
- ondas fotónicas (12b) no resonantes para el filtro en la dirección de propagación adecuada después de la interacción con el filtro (30),
- 40 ondas fotónicas (13a) resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada antes de la interacción con un filtro (30), y
- ondas fotónicas (13b) resonantes para el filtro en la dirección de propagación no adecuada después de la interacción con el filtro (30).
- 45 15. Filtro según la reivindicación 14, caracterizado porque está presente un fotodetector de gran superficie (10b), y con el filtro (30) forma un dispositivo detector combinado, donde el filtro (30) está aplicado directamente sobre la superficie del fotodetector (10b) o está fijado sobre el fotodetector (10b), y donde el filtro (30) se sitúa dispuesto entre la fuente de luz (10a) y el fotodetector (10b).

FIG. 1

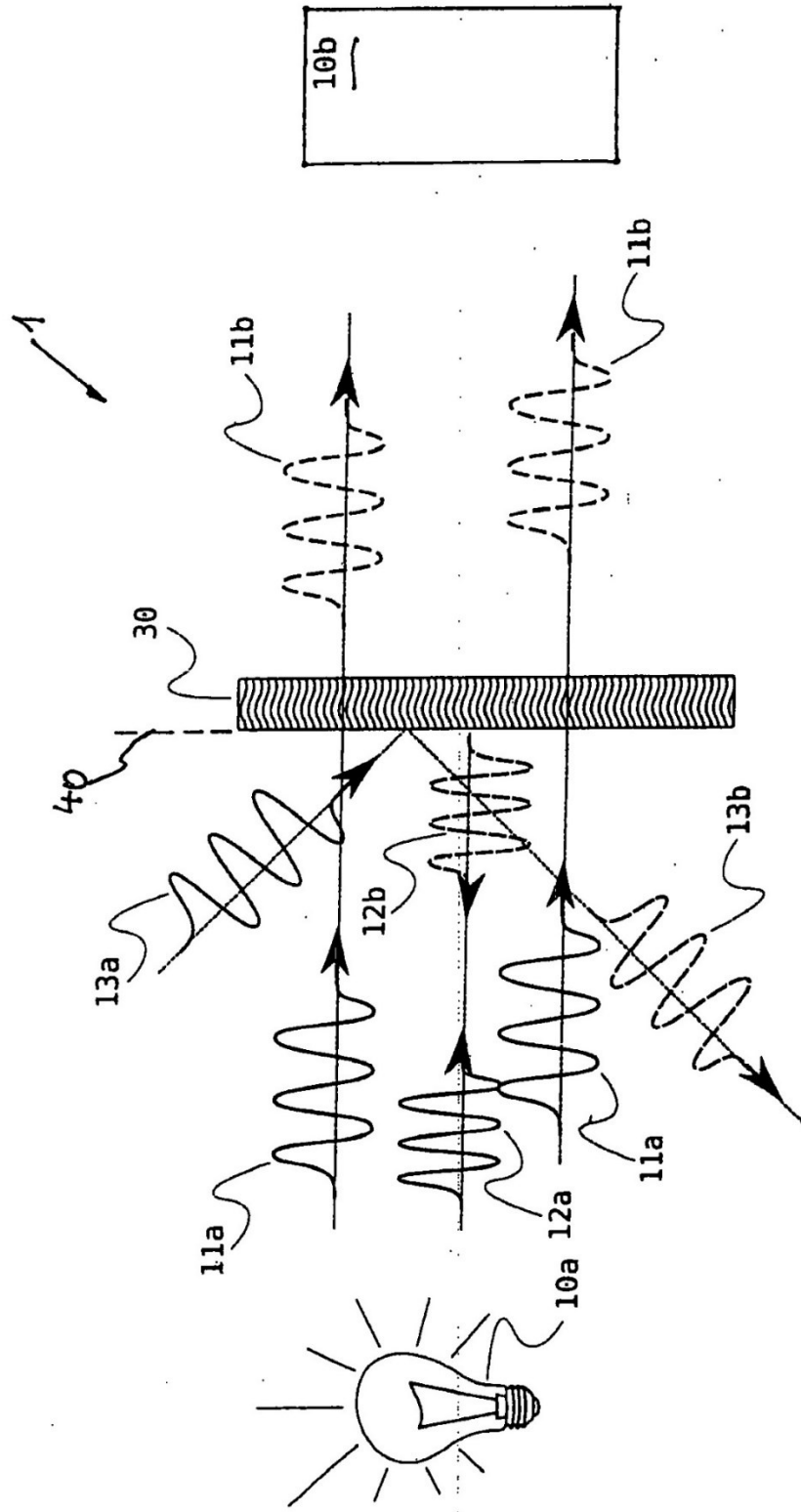


FIG. 2

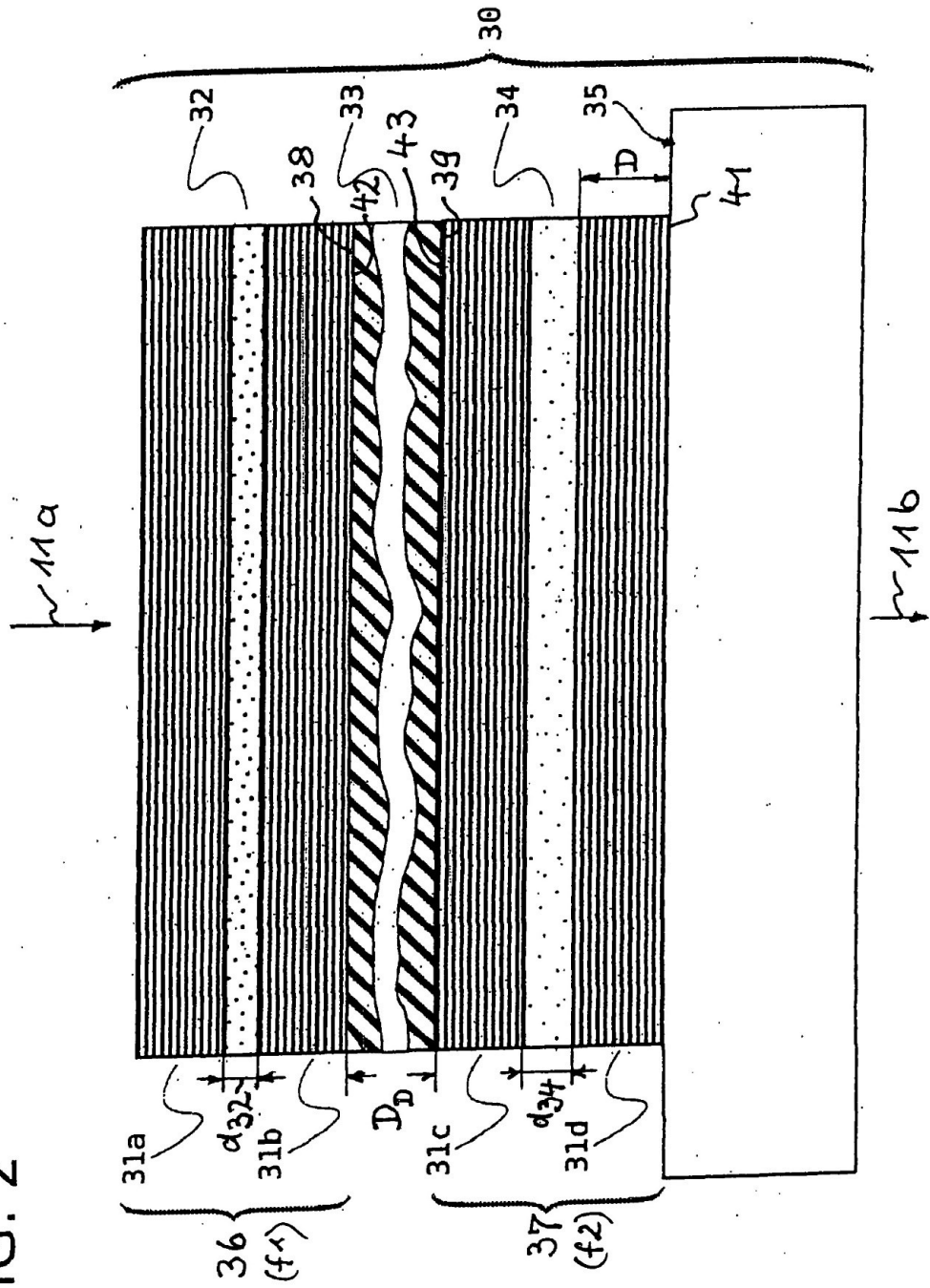


FIG. 3

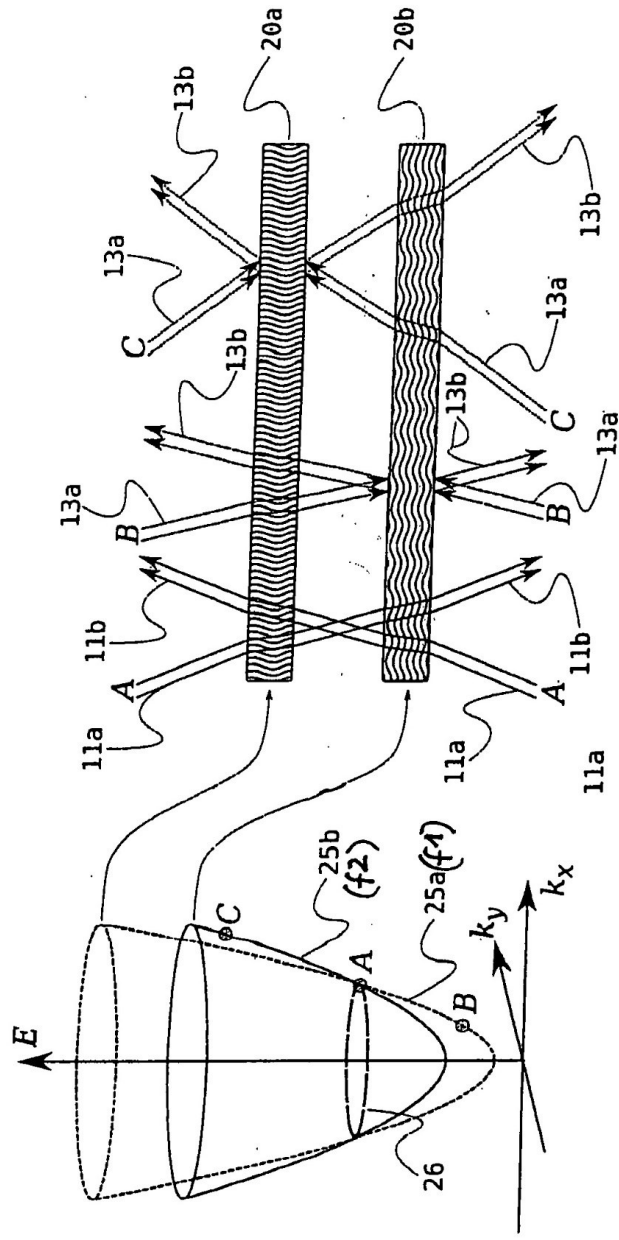


FIG. 3a

FIG. 3b

FIG. 4

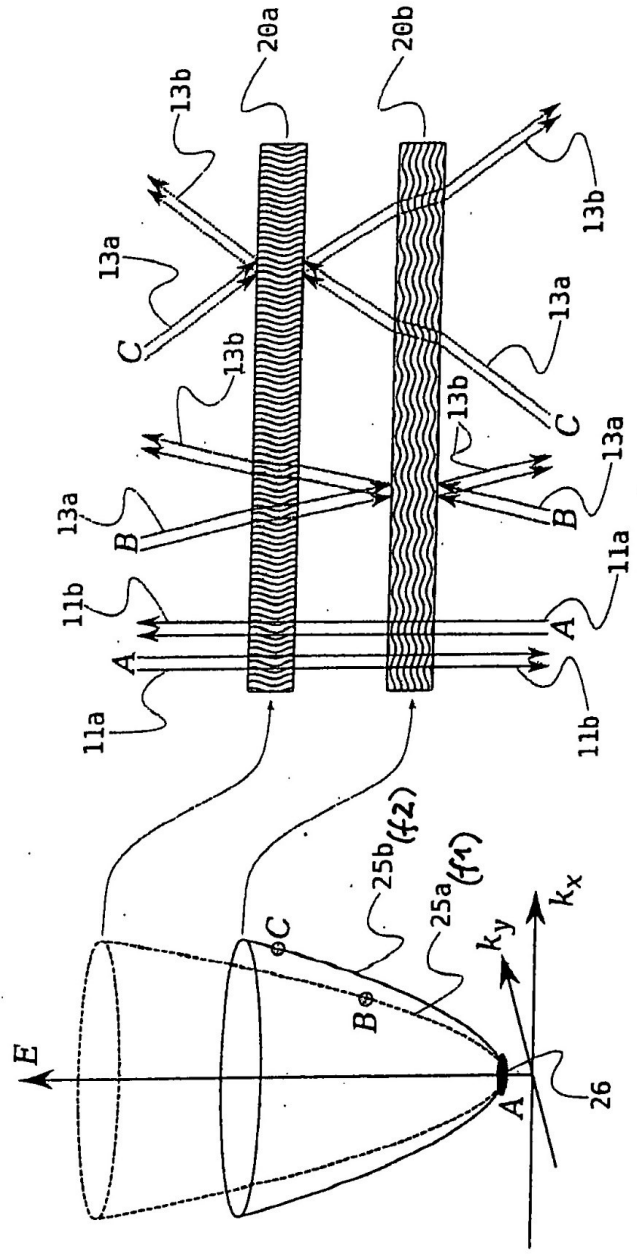


FIG. 4a

FIG. 4b

FIG. 5

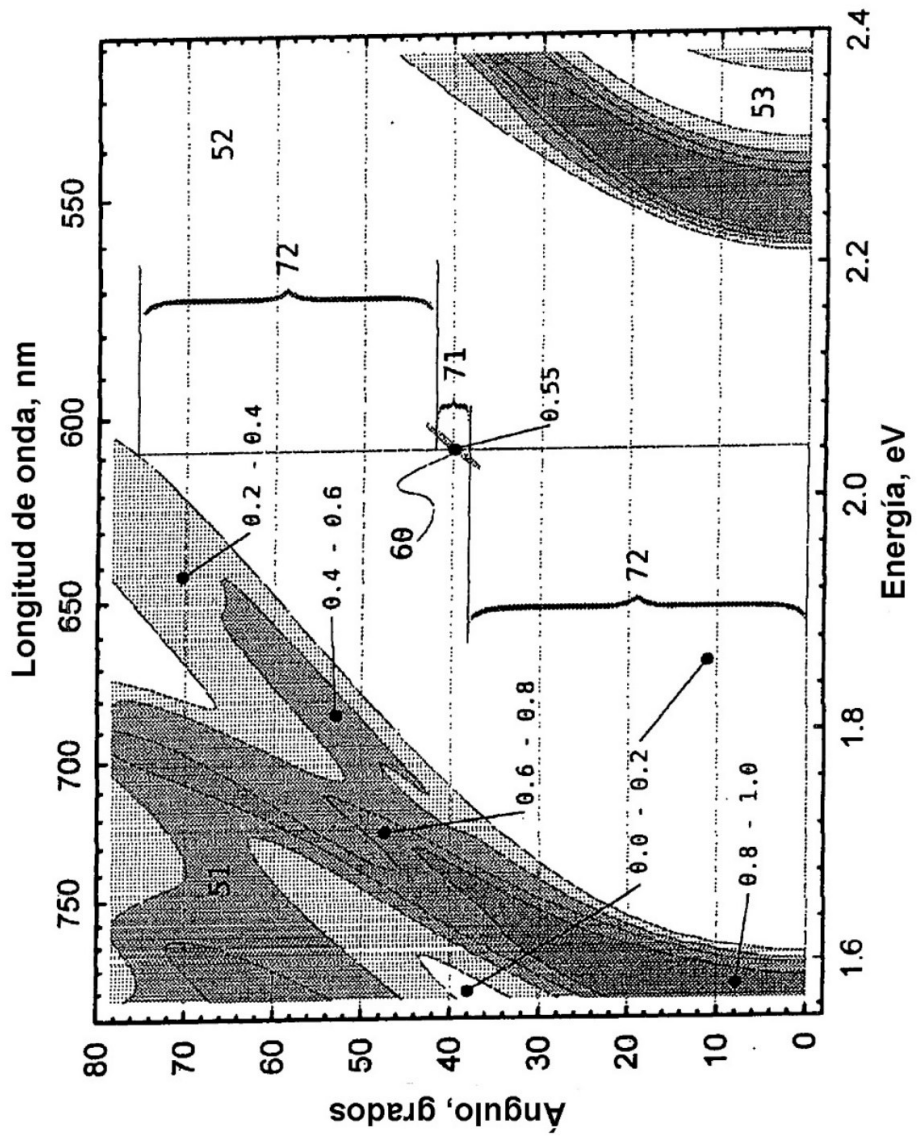


FIG. 6

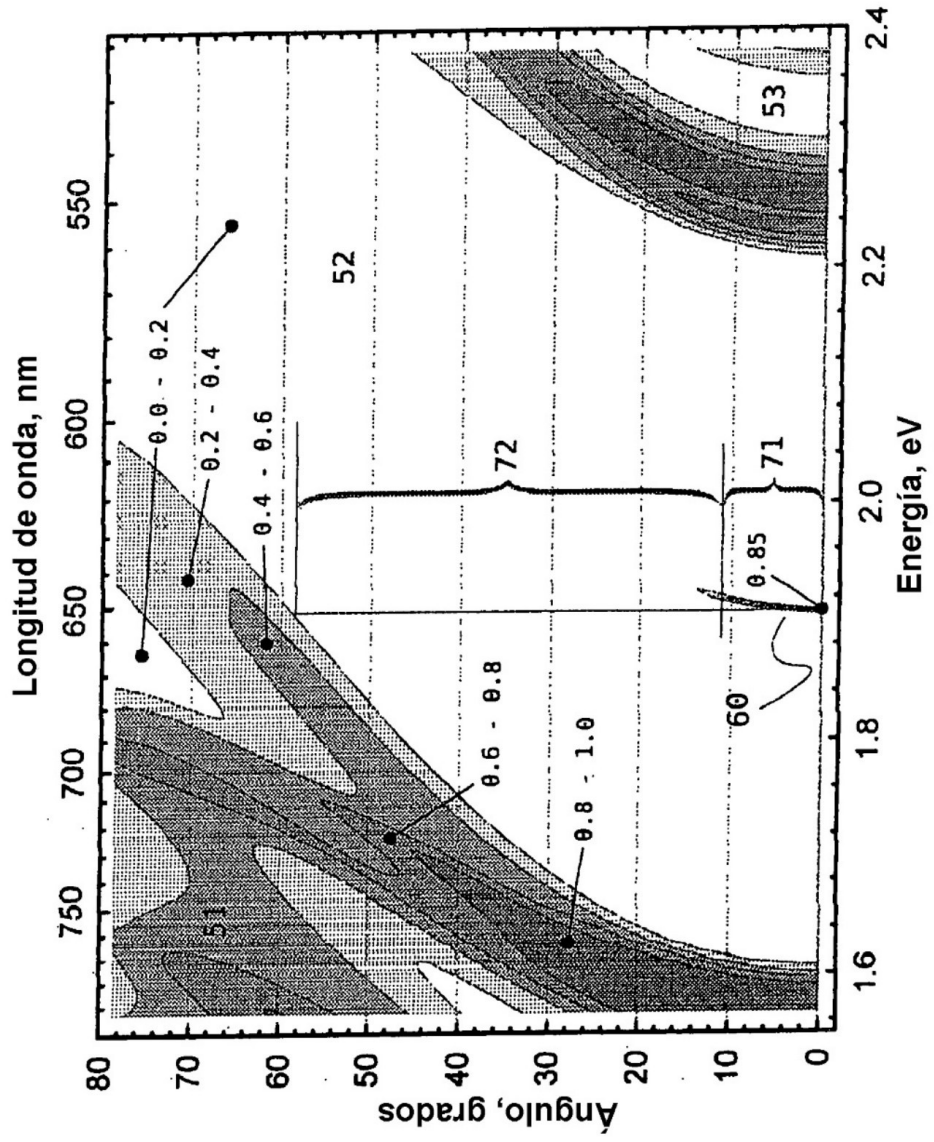


FIG. 7

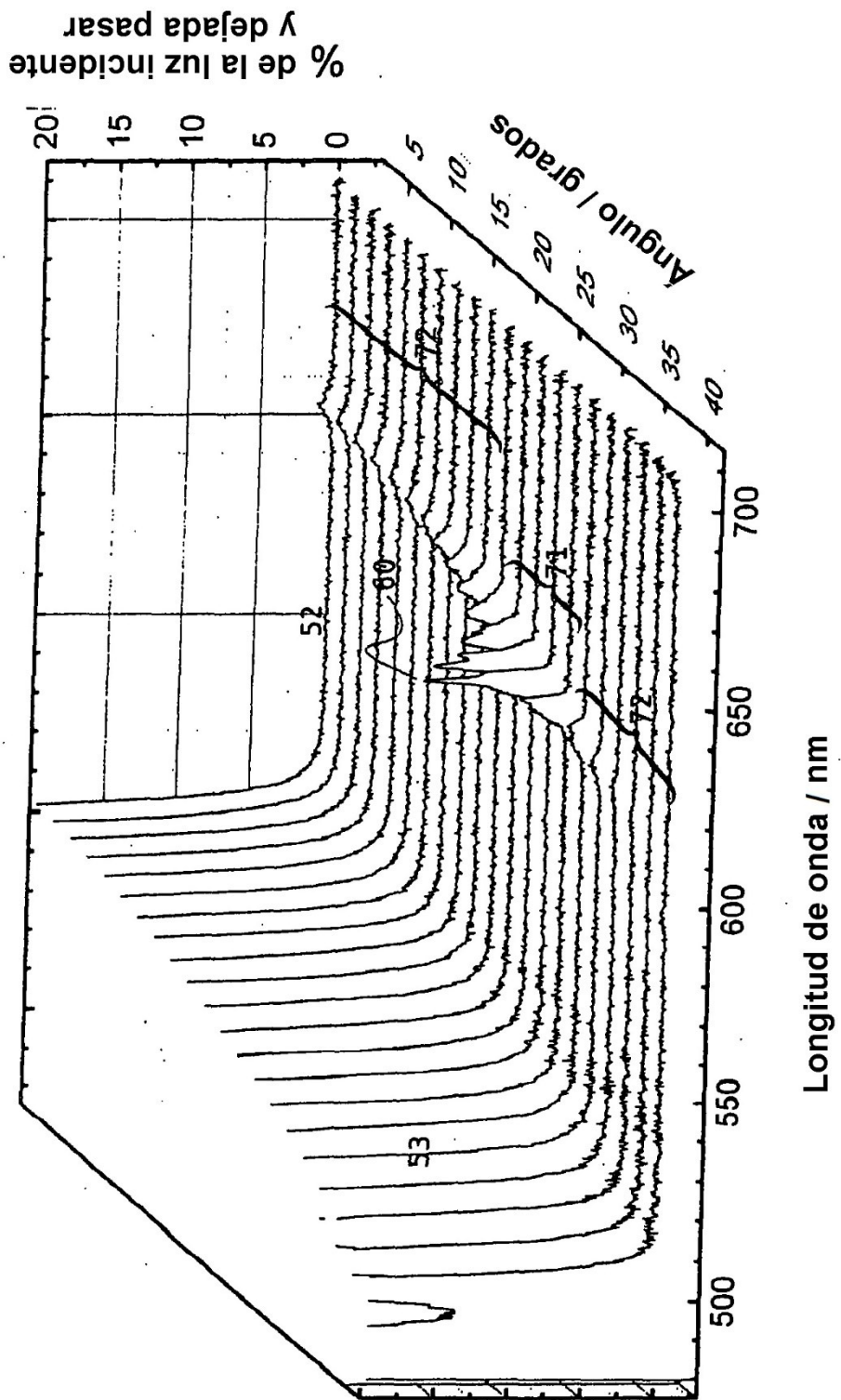


FIG. 8

