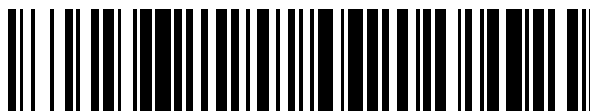


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 812**

51 Int. Cl.:

**G02B 5/28** (2006.01)

**H01S 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2013 E 13184527 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2848968**

54 Título: **Unidad de láser de cavidad externa que incorpora filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.10.2019**

73 Titular/es:  
**HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN (100.0%)  
Unter den Linden 6  
10099 Berlin, DE**

72 Inventor/es:  
**MASSELINK, WILLIAM TED;  
SEMTSIV, MYKHAYLO PETROVYCH y  
KISCHKAT, JAN**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 726 812 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**

Unidad de láser de cavidad externa que incorpora filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media.

5 La invención se refiere a una unidad de láser de cavidad externa según el preámbulo según la reivindicación 1. A continuación en el presente documento, radiación se considera como radiación infrarroja media si su longitud de onda se encuentra entre 3 y 30  $\mu\text{m}$ .

**Antecedentes de la invención**

10 Las unidades de láser de cavidad externa de la técnica anterior que generan radiación óptica coherente comprenden, normalmente, filtros que determinan la longitud de onda de la radiación emitida. En el intervalo de radiación infrarroja media, estos filtros se basan en redes de reflexión.

15 La solicitud de patente japonesa JP 2004-053720 da a conocer un método de fabricación de un filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media. El método comprende la etapa de depositar una secuencia de capas de capas alternas de materiales de alto índice de refracción y bajo índice de refracción sobre un sustrato. Los materiales de alto índice de refracción y bajo índice de refracción, así como el sustrato son transparentes en el intervalo de radiación infrarroja media.

La publicación de solicitud de Patente estadounidense US 2008/298 406 A1 da a conocer una unidad de láser de cavidad externa según el preámbulo según la reivindicación 1. Más específicamente, esta publicación da a conocer un sistema de láser basado correctamente en cuántica compacta con configuraciones cavidad externa que están integradas en un sistema de montaje que tiene una alta estabilidad térmica y de vibración.

20 La solicitud de patente internacional WO 2012/073 791 A1 da a conocer una película funcional óptica para luz infrarroja. La película funcional óptica comprende una capa de potenciación de adhesión, que tiene un grosor de película más pequeño que cualquiera de la pluralidad de capas de función óptica. La capa de potenciación de adhesión es una capa de  $\text{Y}_2\text{O}_3$  o una capa de  $\text{HfO}_2$ . La patente estadounidense 4.498.728 A da a conocer una pluralidad de capas de sustancias delgadas de transmisión infrarroja. Las sustancias se eligen del grupo: germanio, seleniuro de zinc, sulfuro de zinc, vidrios calcogenuros, fluoruro de torio, fluoruro de itrio, y fluoruro de praseodimio. Las capas se aplican a un sustrato de transmisión de infrarrojos de un material del grupo: germanio, seleniuro de zinc, sulfuro de zinc y vidrios calcogenuros. Una capa intermedia se dispone entre las capas delgadas y el sustrato de transmisión de infrarrojos.

25

**Objetivo de la presente invención**

30 Un objetivo de la presente invención es proporcionar una unidad de láser de cavidad externa que comprende un filtro que tiene una estabilidad mecánica suficiente para aplicaciones industriales.

**Breve resumen de la invención**

35 Una realización de la presente invención se refiere a una unidad de láser de cavidad externa que comprende las características según la reivindicación 1. Su filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media consiste en o comprende la siguiente estructura:

- (HGLG) repetida n veces,
- HGLLG,
- (HGLG) repetida m veces,
- H

40 en la que

- H es una capa de dicho material de alto índice de refracción,
- L es una capa de dicho material de bajo índice de refracción, en la que en el grosor de las capas de dicho material de alto índice de refracción y el grosor de las capas de dicho material de bajo índice de refracción iguala un cuarto de la longitud de onda de la radiación, que se emite mediante el láser de cavidad externa, en el material respectivo,
- 45 - G es una capa de mejora de la adhesión, y
- n y m son números enteros.

Una ventaja del filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media descrito anteriormente es una estabilidad mecánica sorprendentemente alta de la secuencia de capas. Esta estabilidad resulta de capas de mejora

de la adhesión que “pegan” de manera fiable las capas alternas de material de alto índice de refracción y de bajo índice de refracción en conjunto. Como tal, por primera vez, es posible incorporar filtros de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media en aplicaciones industriales tales como unidades de láser de cavidad externa comerciales.

- 5 Preferiblemente, las capas de mejora de la adhesión se disponen entre cada una de las capas de dicho material de alto índice de refracción y las capas adyacentes de dicho material de bajo índice de refracción.

El grosor de las capas de mejora de la adhesión es preferiblemente más pequeño que 10 nm. Las capas de mejora de la adhesión pueden ser capas de óxido, preferiblemente capas de  $Y_2O_3$ . El material de bajo índice de refracción puede ser  $YF_3$ . El material de alta refracción puede ser germanio.

- 10 n y m se encuentran, preferiblemente, en el intervalo entre 2-5.

n preferiblemente es igual a m.

- 15 El filtro comprende, preferiblemente, un sustrato que es transparente en el intervalo de radiación infrarroja media, preferiblemente un sustrato de silicio, con revestimientos antireflectantes en una superficie o en ambas superficies. Los revestimientos antireflectantes consisten, preferiblemente, en  $Y_2O_3$ . Preferiblemente la unidad de láser de cavidad externa comprende una unidad de pivotado. La unidad de pivotado puede sostener el filtro y permitir el pivotado del filtro con respecto a la dirección de propagación de la radiación que emite el láser hacia el reflector, con el fin de ajustar el intervalo de transmisión del filtro.

El reflector puede ser un reflector de tipo ojo de gato. El láser puede ser un láser de cascada cuántica.

#### Breve descripción de los dibujos

- 20 Con el fin de comprender fácilmente la manera en la que se obtienen las ventajas anteriormente mencionadas y otras ventajas de la invención, se presentará una descripción más particular de la invención brevemente descrita con anterioridad con referencia a las realizaciones específicas de la misma que se ilustran en las figuras adjuntas. Comprendiendo que estas figuras representan solo realizaciones habituales de la invención y, por tanto, no considerándose que se limita su alcance, la invención se describirá y explicará con especificidad adicional y en detalle mediante el uso de los dibujos adjuntos en los que

- 25 Las figuras 1-6 muestran, de manera a modo de ejemplo, etapas de fabricación para la fabricación de un filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media,

la figura 7 muestra la transmisión óptica a través del filtro según la figura 6 en función del número de ondas,

- 30 la figura 8 muestra la transmisión óptica a través del filtro según la figura 6, en función de número de ondas usando luz colimada,

la figura 9 muestra la transmisión óptica a través del filtro de la figura 6 para varios ángulos en función del número de ondas usando luz monocromática colimada procedente de un láser de cascada cuántica sintonizable,

la figura 10 muestra una realización de una unidad de láser de cavidad externa que comprende un láser de cascada cuántica y el filtro según la figura 6, y

- 35 la figura 11 muestra el espectro de emisión óptica de la unidad de láser de la figura 10 en función de ángulo de filtro.

#### Descripción detallada de las realizaciones preferidas

- 40 Las realizaciones preferidas de la presente invención se comprenderán mejor mediante la referencia a los dibujos, en los que partes idénticas o comparables se designan por los mismos signos de referencia en la totalidad del documento. Se comprenderá fácilmente que la presente invención, tal como se describe en general en el presente documento, puede variar en un amplio intervalo. Por tanto, la siguiente descripción más detallada de las realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención, no está destinada a limitar el alcance de la invención, tal como se reivindica, sino que simplemente es representativa de realizaciones preferidas de la invención en el presente.

- 45 Con referencia a las figuras 1-6, se explicará a continuación en el presente documento una realización a modo de ejemplo de un método para la fabricación de un filtro de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media se explicará a continuación en el presente documento.

La figura 1 muestra un portador 10 que es transparente para la radiación en el intervalo de radiación infrarroja media, es decir para una longitud de onda entre 3 y 30  $\mu m$ .

- 50 El portador 10 puede consistir en silicio. El portador está dotado de un revestimiento 20 y 21 antireflectante en cada una de las superficies 11 y 12 de sustrato. Los revestimientos 20 y 21 antireflectantes consisten, preferiblemente, en

Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El grosor de capa de los revestimientos 20 y 21 antireflectantes es de preferiblemente 595 nm en caso de una longitud de onda de filtro central de 4,075 μm.

5 Los revestimientos 20 y 21 antireflectantes se depositan, preferiblemente, evaporando Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con o sin plasma y/o asistencia de haz de iones, mediante deposición catódica, o mediante deposición química en fase vapor. La estructura resultante se representa en la figura 2. Entonces, una o más (por ejemplo 2) pilas 100 de capas de HGLG se depositan en el revestimiento 20 reflectante tal como se muestra en la figura 3. Cada pila 100 de capas de HGLG comprende una capa H de un material de alto índice de refracción, preferiblemente una capa de germanio, una capa L de material de bajo índice de refracción, preferiblemente una capa de YF<sub>3</sub>, y dos capas G de mejora de la adhesión, preferiblemente capas de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

10 Estas capas H, L, G se depositan evaporando los materiales respectivos posteriormente con o sin plasma y/o asistencia de haces de iones, mediante deposición catódica, o mediante deposición química en fase vapor.

Con el fin de lograr una longitud de onda de filtro central de  $\lambda_c = 4,075$  nm a un ángulo de transmisión de radiación  $\theta = 55^\circ$  (véase la figura 9) pueden elegirse los siguientes parámetros:

Capa H: 258 nm de germanio

15 Capa L: 769 nm de YF<sub>3</sub>

Capa G: 5 nm de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

20 El grosor de las capas G es, preferiblemente, tan pequeño que el comportamiento óptico (es decir la longitud de onda de filtro central, ancho de banda y atenuación de filtro) no se ve influido o al menos no significativamente por las capas G adicionales. El fin de las capas G es simplemente unir o adherir las capas adyacentes H y L en conjunto. Por el contrario, las capas H y L están destinadas a determinar los parámetros ópticos del filtro de paso de banda resultante.

A continuación, la figura 4 muestra una pila 110 de capas de HGLLG depositada en la pila 100 de capas de HGLG más superior. Los materiales y el grosor de capas de la capa H, capas L y capa G de la pila 110 de capas de HGLLG son, preferiblemente, idénticos a los de la(s) pila(s) 100 de capas de HGLG.

25 En la parte superior de la pila 110 de capas de HGLLG, se depositan una o más (por ejemplo, dos) pilas 120 de capas de HGLG tal como puede observarse en la figura 5. Los materiales y el grosor de capas de la capa H, capa L y capas G de la(s) pila(s) 120 de capas de HGLG son, preferiblemente, idénticos a los de la(s) pila(s) 100 de capas de HGLG.

30 La secuencia de capas del filtro 200 de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media resultante se completa depositando una capa H de material de alto índice de refracción, preferiblemente, una capa de germanio, en la parte superior tal como se muestra en la figura 6. El grosor de esta capa es, preferiblemente, 258 nm.

La figura 7 muestra la transmisión del filtro 200 (véase la figura 6) sobre un amplio intervalo espectral usando luz no colimada. Los datos muestran una región opaca muy amplia desde 1700-3300 cm<sup>-1</sup>, o 3-6 μm, con una banda transparente estrecha centrada en aproximadamente 2280 cm<sup>-1</sup>, o 4,38 μm.

35 Se realiza una medición más precisa usando luz colimada tal como se muestra en la figura 8. La figura 8 muestra que el ancho de banda de paso es 3,2 cm<sup>-1</sup>, solamente el 0,14% de la posición. La transparencia máxima es aproximadamente el 60%.

40 La longitud de onda de transparencia depende del ángulo del filtro con respecto al haz. La figura 9 representa de manera a modo de ejemplo la transmisión en función del número de ondas para varios ángulos de filtro. Es evidente que la banda de paso se sintoniza sobre aproximadamente el 2% usando ángulos entre 0 y 20°. La curva gris muestra la energía emitida en función del número de ondas.

Las caídas de energía se deben a la absorción de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ambiental.

45 La figura 10 muestra una realización a modo de ejemplo de una unidad 300 de láser de cavidad externa que comprende: un láser 310 (por ejemplo, a láser de cascada cuántica) que puede generar radiación óptica coherente en el intervalo de radiación infrarroja media, el filtro 200 de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media según la figura 6, y un reflector 320 (por ejemplo, un reflector de tipo ojo de gato). El filtro 200 de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media se dispone entre el láser 310 y el reflector 320.

50 La unidad 300 de láser externa comprende además una unidad 330 de pivotado, que sostiene el filtro 200 y permite el pivotado del filtro 200 con respecto a la dirección de propagación de la radiación R que emite el láser 310 hacia el reflector 320. Al inclinar el filtro a lo largo de la flecha P un ángulo  $\theta$  (por ejemplo  $\theta = 55^\circ$  tal como se mencionó anteriormente), el intervalo de transmisión del filtro 200 y la longitud de onda central del filtro 200 pueden verse influidos y/o controlados.

La figura 11 muestra la emisión de la unidad 300 de láser externa en función del número de ondas para varios ángulos de sintonización  $\varphi$ . Es evidente que la longitud de onda de emisión puede sintonizarse cambiando el ángulo de filtro  $\varphi$ .

5 El grosor de las capas H y L es igual a un cuarto de la longitud de onda de la radiación, que se supone que la unidad de láser de cavidad externa debe generar y emitir, en el material respectivo, corregido para el ángulo  $\theta$  bajo el que la radiación pasa las capas.

Preferiblemente, el filtro 200 se diseña de tal manera que permite sintonizar en ambas direcciones alrededor de la longitud de onda central  $\lambda_c$ , por tanto, el ángulo de diseño  $\theta_c$  es un ángulo oblicuo, preferiblemente  $20^\circ$  o  $30^\circ$ , no normal. Entonces, el grosor de capas puede determinarse mediante las ecuaciones

$$10 \quad d_H = \frac{\lambda_c}{4R_e(n_H) \cos(\arccos(\sin \theta_c / R_e(n_H)))}$$

$$d_L = \frac{\lambda_c}{4R_e(n_L) \cos(\arccos(\sin \theta_c / R_e(n_L)))}$$

$$d_I = \frac{\lambda_c}{4R_e(n_I) \cos(\arccos(\sin \theta_c / R_e(n_I)))}$$

15 en las que  $n_H$  y  $n_L$  son los índices de refracción de las capas H y L (véase las figuras 1-6).  $n_I$  es el índice de refracción de las capas 20 y 21 antireflectantes (véase las figuras 2-6).

Entonces la longitud de onda de transmisión se sintoniza con un ángulo  $\theta$  según la fórmula:

$$\lambda(\theta) = \lambda(0) \sqrt{1 - \sin^2 \theta / n_{efi}^2}$$

y el índice de refracción eficaz (o promedio) es:

$$n_{efi} \approx n_L / \sqrt{1 - (n_L / n_H) + (n_L / n_H)^2}$$

20 En resumen, las realizaciones anteriormente descritas comprenden un filtro óptico de radiación infrarroja que puede tener una alta transmisión (por encima del 50%) en un intervalo muy estrecho alrededor de una longitud de onda central en la radiación infrarroja (entre 3 y 30  $\mu\text{m}$ ), que está dentro de un amplio intervalo con una transmisión muy baja (por debajo del 5%). La anchura del intervalo de transmisión alto puede ser menor del 0,5% del valor de la longitud de onda central. La anchura del intervalo de bloqueo puede encontrarse al menos el 50% del valor de la longitud de onda central.

25 Asimismo, la posición del intervalo de transmisión puede sintonizarse al menos el 5% de la longitud de onda central inclinándolo alrededor de un eje que es normal con respecto al eje óptico. Esto da como resultado una anchura extremadamente estrecha de la banda de transmisión al tiempo que se mantiene su alto nivel de capacidad de transmisión y sintonización.

30 El filtro de interferencia de banda descrito anteriormente puede usarse como una sustitución de una red de difracción en un entorno de resonador externo (cavidad externa, EC) para una fuente de radiación infrarroja coherente tal como el láser de cascada cuántica (QCL), lo que permite que el láser oscile de manera estable en un modo de único láser seleccionado por la línea de transmisión del filtro. Las dos ventajas de usar un filtro de interferencia como contraposición a la red de difracción son:

- 35
- la dispersión angular aumentada en gran medida de tales filtros, lo que permite una sintonización más sensible con un ángulo de inclinación dado y una operación en modo único más estable, y
  - la libertad de usar un retroreflector de tipo "ojo de gato" que refleja el haz incidente de manera colineal a sí mismo, independientemente del ángulo de incidencia que hace que el entorno sea alinee consigo mismo de manera eficaz y sea insensible a la desalineación.

**Signos de referencia**

- 10 portador/sustrato
- 11 superficie
- 12 superficie
- 5 20 revestimiento antireflectante
- 21 revestimiento antireflectante
- 100 pila de capas de HGLG
- 110 pila de capas de HLLG
- 120 pila de capas de HGLG
- 10 200 filtro
- 300 unidad de láser externa
- 310 láser
- 320 reflector
- 330 unidad de pivotado
- 15 G capa de mejora de la adhesión
- H capa
- L capa
- P movimiento de rotación de unidad de pivotado
- R radiación
- 20

**REIVINDICACIONES**

1. Unidad (300) de láser de cavidad externa que comprende un láser (310) que puede generar radiación óptica coherente (R) en el intervalo de radiación infrarroja media, un filtro, y un reflector (320), en la que en dicho filtro (200) se dispone entre el láser (310) y el reflector (320), caracterizado porque dicho filtro es un filtro (200) de interferencia de paso de banda de radiación infrarroja media que comprende una secuencia de capas (100, 110, 120) de capas alternas de materiales de alto índice de refracción y de bajo índice de refracción, siendo dichos materiales de alto índice de refracción y de bajo índice de refracción transparentes en el intervalo de radiación infrarroja media, en la que una capa de mejora de la adhesión (G) se dispone entre al menos una capa de dicho material de alto índice de refracción y la capa adyacente de dicho material de bajo índice de refracción, y en la que el filtro (200) consiste en o comprende la siguiente estructura:
- (HGLG) repetida n veces,
  - HGLLG,
  - (HGLG) repetida m veces,
  - H
- en la que
- H es una capa de dicho material de alto índice de refracción,
  - L es una capa de dicho material de bajo índice de refracción,
- en la que el grosor de las capas (H) de dicho material de alto índice de refracción y el grosor de las capas (L) de dicho material de bajo índice de refracción es igual a un cuarto de la longitud de onda de la radiación (R), que se emite mediante el láser (310) de cavidad externa, en el material respectivo, corregido para el ángulo bajo el que pasa la radiación (R) las capas,
- G es una capa de mejora de la adhesión, y
  - n y m son números enteros.
2. Unidad (300) de láser de cavidad externa según la reivindicación 1, caracterizada porque el grosor de las capas de mejora de la adhesión (G) es más pequeño que 10 nm.
3. Unidad de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las capas de mejora de la adhesión (G) son capas de óxido.
4. Unidad de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las capas de mejora de la adhesión (G) son capas de  $Y_2O_3$ .
5. Unidad de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el material de bajo índice de refracción es  $YF_3$ .
6. Unidad de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el material de alta refracción es germanio.
7. Unidad de láser de cavidad externa según la reivindicación 1, caracterizada porque las capas de mejora de la adhesión (G) se disponen entre cada una de las capas de dicho material de alto índice de refracción y las capas adyacentes de dicho material de bajo índice de refracción.
8. Unidad de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el filtro (200) comprende un sustrato (10) transparente en el intervalo de radiación infrarroja media, preferiblemente un sustrato de silicio, con uno o más revestimientos (20, 21) antirreflectantes en un lado o en ambos lados (11, 12), consistiendo el uno o más revestimientos (20, 21) antirreflectantes preferiblemente en  $Y_2O_3$ .
9. Unidad (300) de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque
- la unidad (300) de láser externa comprende una unidad (330) de pivotado,
  - dicha unidad (330) de pivotado sostiene el filtro (200) y permite el pivotado del filtro (200) con respecto a una dirección de propagación de la radiación (R) que emite el láser (310) hacia el reflector (320), con el fin de ajustar un intervalo de transmisión del filtro (200).
10. Unidad (300) de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el reflector (320) es un reflector de tipo ojo de gato.

11. Unidad (300) de láser de cavidad externa según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque dicho láser (310) es un láser de cascada cuántica.





Fig. 1

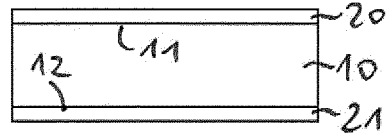


Fig. 2

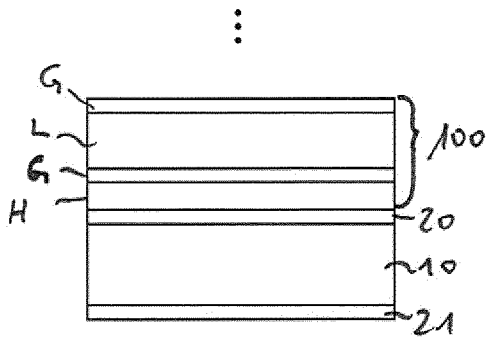


Fig. 3

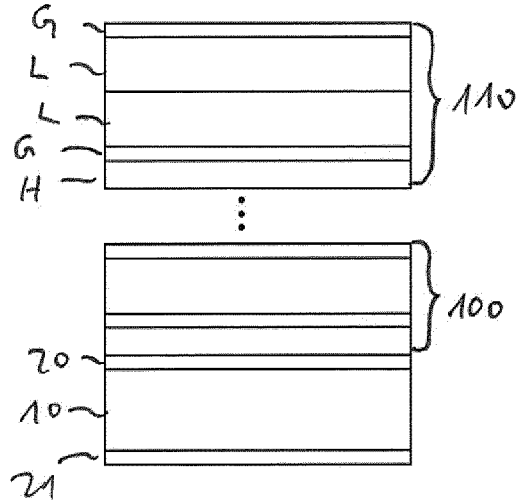


Fig. 4

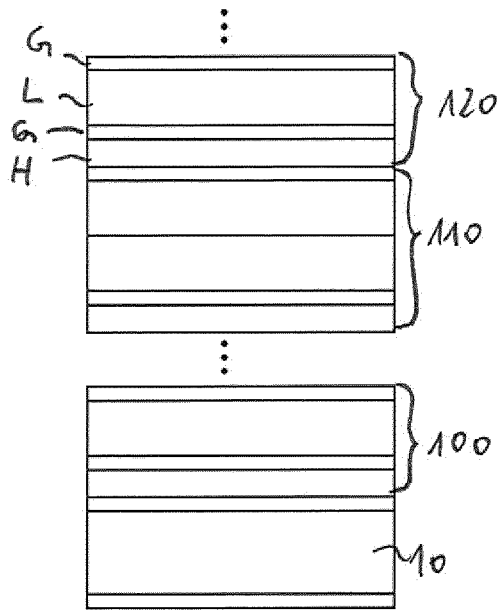


Fig. 5

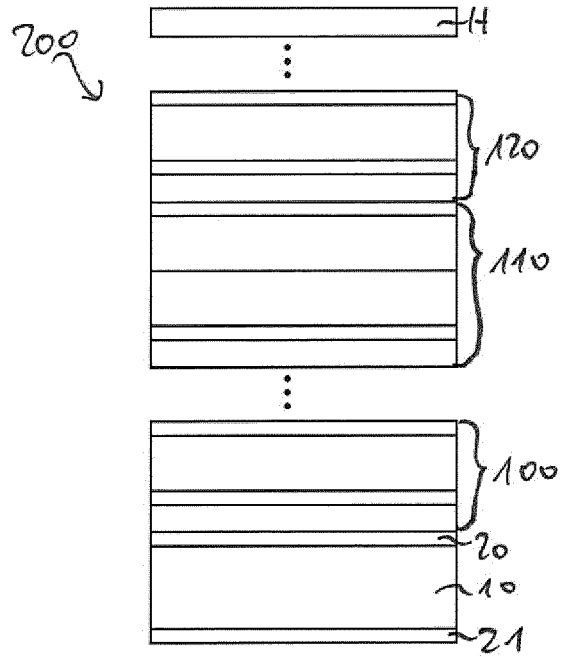


Fig. 6

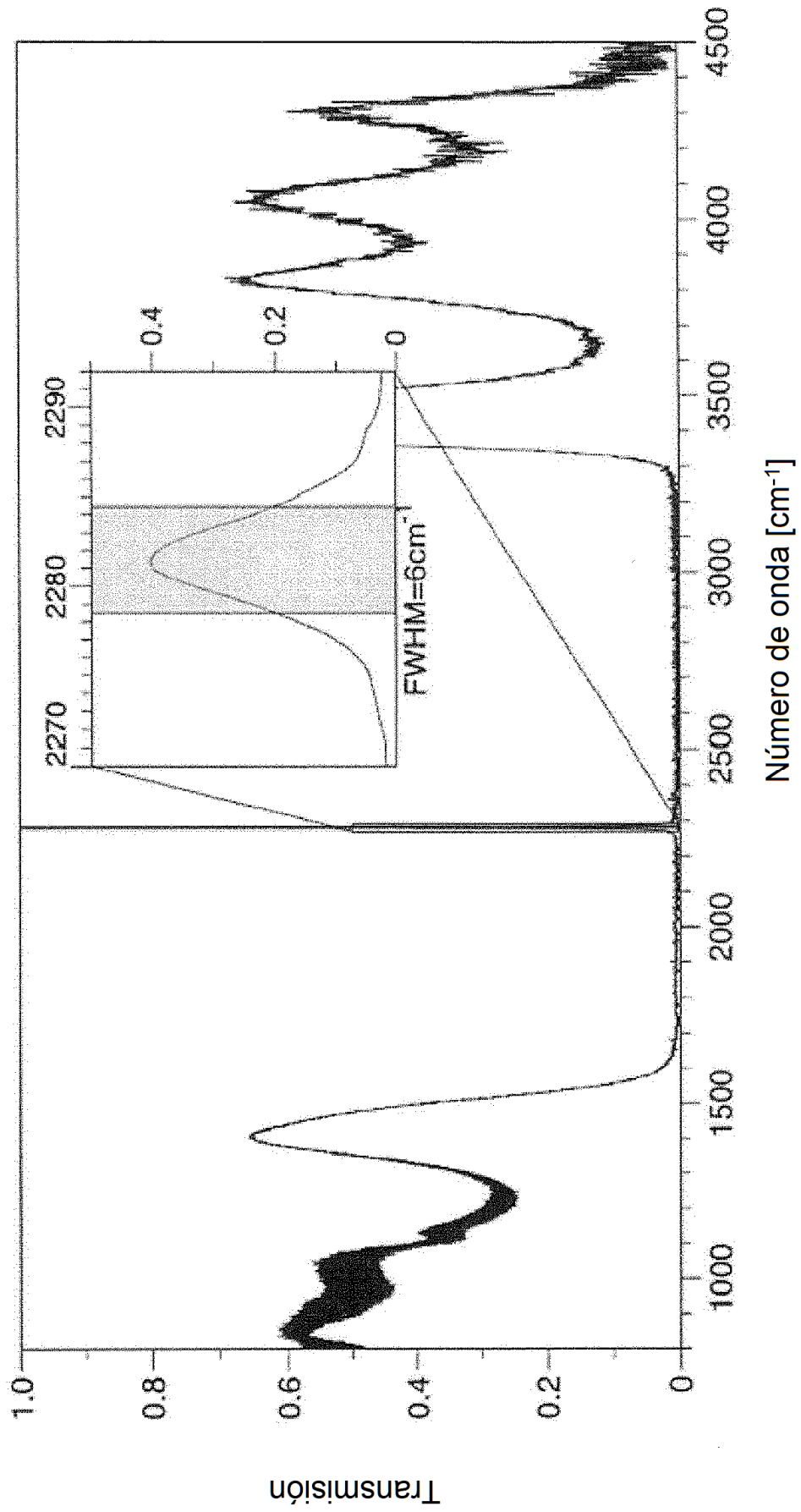


Fig. 7

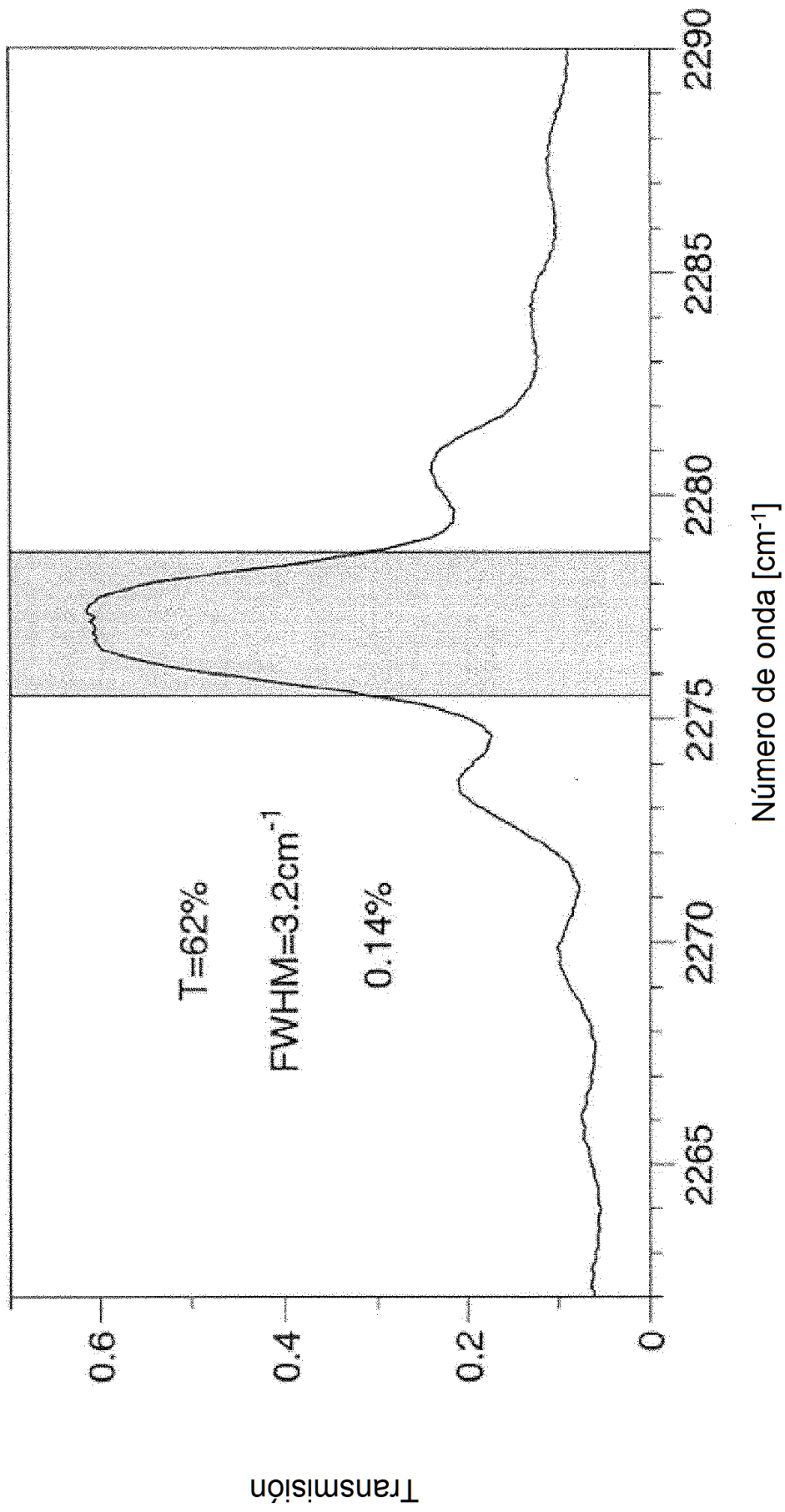


Fig. 8

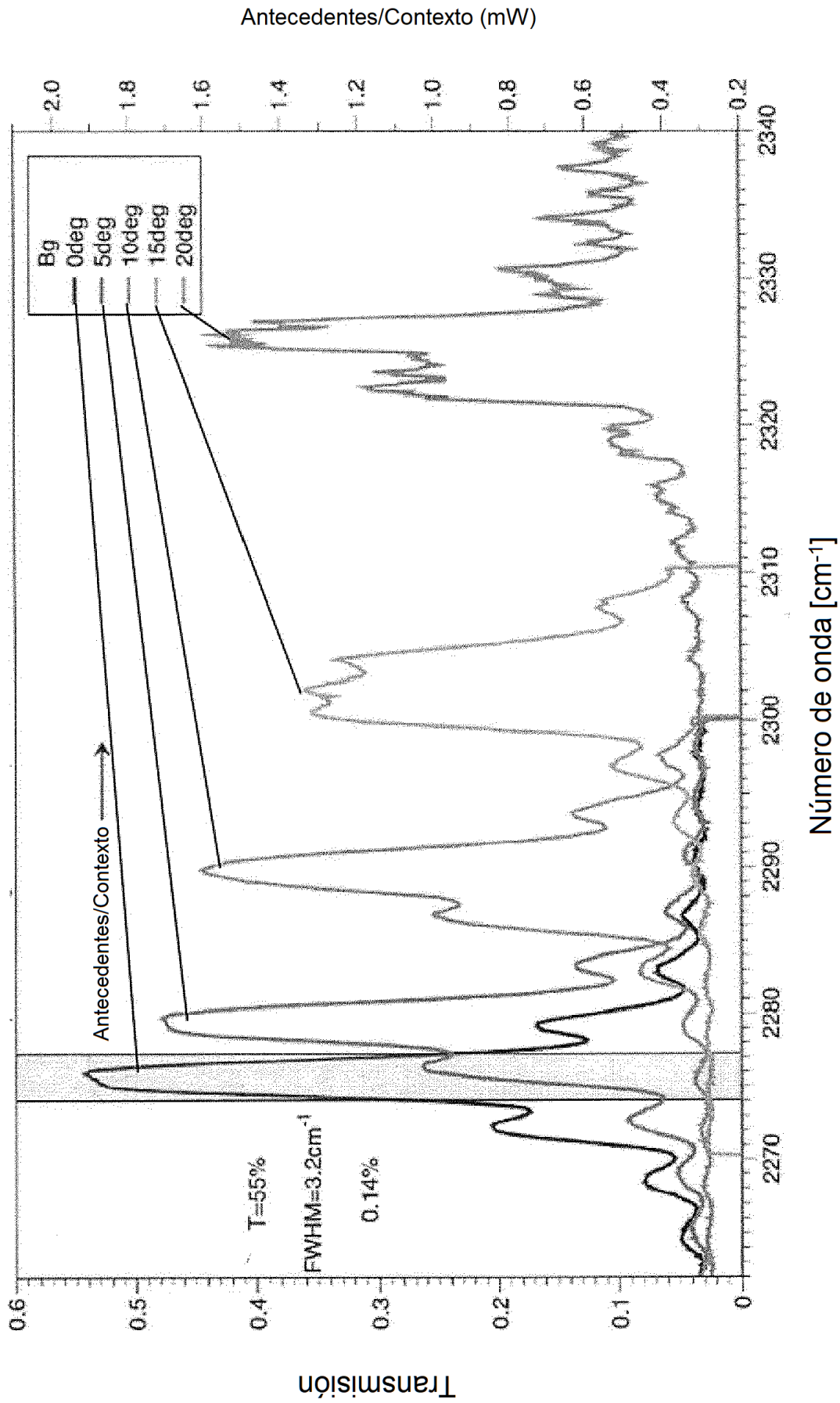


Fig. 9

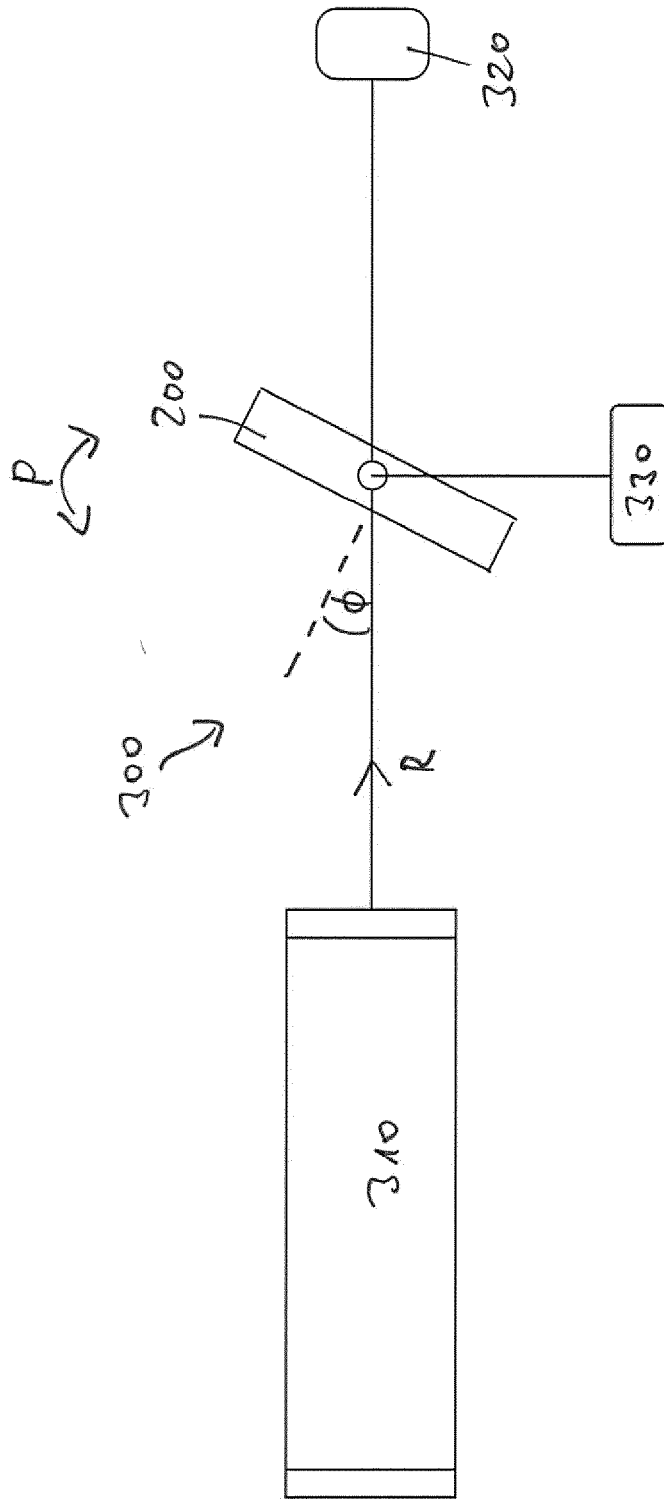


Fig. 10

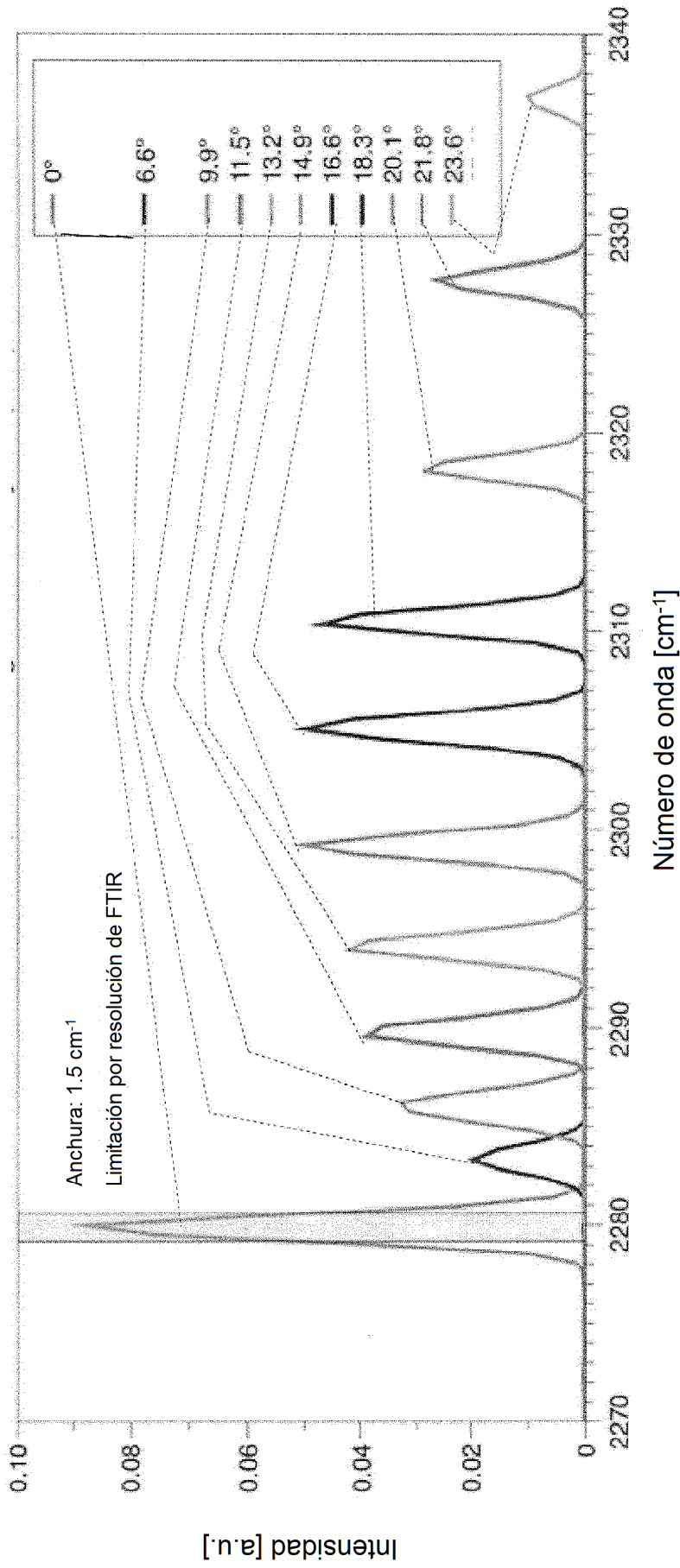


Fig. 11