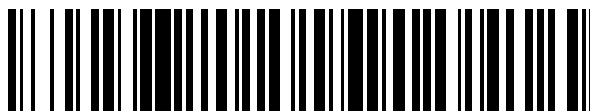


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 221**

51 Int. Cl.:

H01S 3/08 (2006.01)

H01S 3/083 (2006.01)

H01S 3/30 (2006.01)

H01S 1/02 (2006.01)

H04B 10/2575 (2013.01)

H04B 10/291 (2013.01)

H04B 10/50 (2013.01)

G02F 1/35 (2006.01)

H01S 3/108 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2008** **E 08873374 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015** **EP 2258059**

54 Título: **Procedimiento para la generación de ondas portadoras electromagnéticas del orden de terahercios**

30 Prioridad:

20.03.2008 DE 102008015397

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

26.11.2015

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
Friedrich-Ebert-Allee 140
53113 Bonn, DE**

72 Inventor/es:

**BREUNIG, INGO;
BUSE, KARSTEN;
KIESSLING, JENS;
KNABE, BASTIAN y
SOWADE, ROSITA**

74 Agente/Representante:

CARBONELL CALLICÓ, Josep

ES 2 552 221 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

Procedimiento para la generación de ondas portadoras electromagnéticas del orden de terahercios.

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la generación de una onda portadora electromagnética para la transferencia inalámbrica de datos en un rango de frecuencias comprendido entre 0,1 y 10 terahercios. La invención se refiere también a un sistema para la puesta en práctica del procedimiento.

10 Desde hace unos 100 años, cuando se utilizó la primera técnica inalámbrica para la transmisión de datos, el ancho de banda disponible para la transferencia ha aumentado de manera continua. La anchura de la banda de frecuencia utilizable para la transferencia depende, como es conocido, de la frecuencia portadora, es decir: cuánto más alta es la frecuencia portadora mayores son las anchuras de banda de transferencia disponibles. En la actualidad, se utilizan frecuencias portadoras en un rango comprendido entre algunos kilohercios hasta muchos gigahercios. De este modo funciona, por ejemplo, la llamada "HD inalámbrica" con una frecuencia portadora de 60 GHz y anchos de banda de 4 Gbit/s. Para conseguir velocidades de datos en un rango de 10 Gbit/s y más elevadas, se utilizarán también en el futuro ondas portadoras en el rango de los terahercios.

20 Estas ondas del orden de terahercios serán generadas mediante circuitos electrónicos ultrarrápidos o mediante procedimientos ópticos. Puesto que los procedimientos electrónicos están limitados por la duración de vida de los electrones libres y agujeros en cuanto a su velocidad, estos procedimientos funcionan, en todo caso, de forma poco eficiente por encima de frecuencias de 100 GHz. Los procedimientos ópticos conocidos para la generación de ondas del orden de terahercios se aplican principalmente, por el contrario, con frecuencias elevadas que son reducidas mediante mezcla de frecuencias. Un dispositivo de este tipo se da a conocer, por ejemplo, por la publicación "High-Power Tunable Terhart Sources Based on Parametric Processes and Applications" (Yujie J. Ding) in IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics, Vol 13, no 3, Mayo/Junio 2007.

30 En esta situación, para la transferencia de datos con ondas del orden de terahercios, es casi indispensable que la frecuencia portadora pueda ser reproducida con mayor exactitud. De esta manera, el receptor puede generar una onda portadora de igual frecuencia que después sea utilizada para la demodulación de la onda entrante. Las variaciones temporales no controlables en la frecuencia básica de la onda portadora dificultan la transferencia de datos, puesto que el receptor debe ajustarse dinámicamente a la correspondiente frecuencia de emisión.

35 Los documentos EP 1 715 377 A1 así como EP 1 353 218 A1 dan a conocer un procedimiento para la generación de dos ondas mezcla para la generación de una onda del orden de terahercios mediante mezcla de diferencias de frecuencia. Para ello se tendrá que acudir a una utilización direccionada de la dispersión de Raman para la generación de una segunda onda mezcla.

40 Es un objetivo de la invención, dar a conocer un procedimiento que permite generar ondas del orden de terahercios con gran estabilidad de frecuencia y buena capacidad de reproducción, de una forma simple y económica. Además, es objetivo de la presente invención conseguir un sistema para la puesta en práctica del procedimiento.

45 Estos objetivos se consiguen mediante el procedimiento que presenta las características definidoras de la reivindicación 1 y el sistema según la reivindicación 5. Se dan a conocer disposiciones ventajosas de la invención en las reivindicaciones dependientes correspondientes.

50 La idea básica esencial de la invención consiste en conseguir un emisor para ondas del orden de terahercios que disponga de uno o varios canales para la transferencia de información: partiendo de una primera onda óptica electromagnética, que se llamará "onda bomba", se generará, con utilización de un efecto físico mediante una disposición experimental especial, una segunda onda óptica, de manera que el efecto físico o la disposición experimental permiten conseguir frecuencias generables con la onda bomba, no requiriendo ninguna "frecuencia extraña" del orden de terahercios, de manera que la diferencia de frecuencias de la primera y segunda ondas ópticas está predeterminada de modo fijo. Mediante la permanencia en el sistema de referencia de una frecuencia predeterminada por la onda bomba se puede conseguir una capacidad de reproducción especialmente elevada de la frecuencia portadora puesto que las oscilaciones de la frecuencia de la primera onda óptica se distribuyen de manera regular sobre la frecuencia de la segunda onda óptica; la frecuencia de diferencia permanece, no obstante, estable. Mediante el proceso físico o bien por la disposición experimental se generan, por lo tanto, como mínimo otras dos mezclas posteriores de frecuencia con respecto a las "ondas mezcla" a utilizar con diferencia de frecuencia definida, de manera que la onda bomba por sí misma puede constituir una de las ondas mezcla. De manera alternativa, la onda bomba puede generar también varias ondas ópticas con separaciones de frecuencia fijas y, a continuación, éstas ondas generadas se mezclan para generar una onda de la frecuencia diferencia. A causa del origen común de la onda bomba, estas dos ondas mezcla se encuentran también con una relación de frecuencia fija.

65 En el siguiente procedimiento, ambas ondas mezcla se unifican de acuerdo con la invención, de manera que mediante la mezcla de frecuencias se consigue una frecuencia de mezcla utilizable como onda portadora. En esta situación, el proceso de mezcla de frecuencias es completamente conocido. Para que a base de este procedimiento se genere una onda portadora en el rango de frecuencia entre 0,1 y 10 terahercios se deben generar primero ondas

mezcla con las correspondientes frecuencias de partida. Mediante la generación de ondas mezcla mediante la presente invención, se asegura que la frecuencia de mezcla se genere de manera reproducible estando sometida a reducidas oscilaciones en el tiempo.

Como onda bomba es apropiada la luz visible con una frecuencia aproximada de ($\omega_{\text{visible}} \approx 6 \times 10^{14} \text{ Hz} = 600 \text{ THz}$). Para generar una frecuencia bien definida en el orden de terahercios, en especial con oscilaciones de frecuencia que se mueven dentro de una separación de canales aproximadamente de 10 MHz se deben ajustar en el caso de una mezcla de frecuencias de ondas independientes de las frecuencias $\omega_{\text{visible}, 1}$ y $\omega_{\text{visible}, 2}$ cuya frecuencia, con absoluta exactitud, sea superior a $10 \text{ MHz} / 600 \text{ THz} \approx 10^{-8}$. Esto constituiría una complicación casi insoportable. Con la forma de proceder de la invención, que utiliza dos ondas que se pueden definir como “acopladas en frecuencia”, se puede conseguir una exactitud de este tipo.

De acuerdo con la invención, se genera en primer lugar una onda bomba coherente con la frecuencia $\omega_{\text{visible}, 1}$. Esta onda será transformada a continuación con ayuda de un proceso de conversión en una onda mezcla de la frecuencia $\omega_{\text{visible}, 2}$, de manera que el convertidor utilizado utiliza un proceso físico o una disposición experimental, tal como se ha explicado anteriormente, como ejemplo de este tipo de proceso físico se puede recurrir especialmente a la dispersión Raman.

Las ventajas específicas del procedimiento de la invención son por una parte, que la frecuencia absoluta $\omega_{\text{visible}, 1}$ de la radiación de bomba y las oscilaciones de esta frecuencia bomba son insustanciales para la frecuencia resultante de orden de terahercios. Por lo tanto, con este procedimiento en aparatos distintos, especialmente en el emisor y el receptor, se pueden generar, con independencia uno de otro, frecuencias de igual orden de terahercios. Otra ventaja es que la frecuencia de la onda portadora generada de orden de terahercios no varía de manera significativa a lo largo del tiempo, tal como sería el caso si ésta fuera generada a través de dos fuentes de luz láser independientes. Esto tiene la gran ventaja de que el receptor se puede ajustar de manera fija a una frecuencia y no debe seguir oscilaciones dinámicas de la frecuencia de la onda portadora del orden de terahercios. Actualmente, se pueden modelar, en las ondas portadoras de terahercios generadas según la invención, informaciones mediante los procedimientos conocidos que posibilitan la transferencia de datos. Por ejemplo, se puede citar modulación de amplitud, de frecuencia, de fase y de polarización.

Finalmente, se deberá tener en cuenta que la invención posibilita seguir normas para el rango de los terahercios en los que se predeterminan unas ciertas frecuencias de terahercios bien definidas, que se pueden conseguir de forma reproducible a través de procesos físicos o de dispositivos ópticos.

El procedimiento de la invención, se explicará a continuación en base a las figuras 1 a 4. En las figuras se muestra:

La figura 1 muestra espectros Raman medidos,

La figura 2 muestra un dispositivo con un resonador de modalidad en forma de galería amortiguadora,

La figura 3 muestra dos dispositivos con láser, y

La figura 4 muestra la distribución de líneas espectrales.

La figura 1 muestra espectros de Raman medidos de cristales de niobato de litio, tal como son conocidos de manera similar de la literatura de este sector. En este caso, la iluminación del cristal con una onda bomba 1 de la frecuencia $\omega_{\text{visible}, 1}$ conduce en el espectro visible a la conversión parcial de la onda bomba 1 en ondas de otras frecuencias, es decir, las líneas Raman 2. Estas se pueden utilizar conjuntamente con la onda bomba como ondas mezcla. El desplazamiento de frecuencia del efecto Raman, actúa de manera que los fotones de la onda bomba 1 absorben o emiten la energía de las oscilaciones de la red del cristal (fonones). Igual que en un oscilador interno de estas oscilaciones de la red, tienen una frecuencia precisa. Los espectros mostrados en la figura 1 facilitan varias posibilidades de generar ondas apropiadas con frecuencias $\omega_{\text{visible}, 2}$ de manera que la frecuencia de diferencia $\omega_{\text{visible}, 1} - \omega_{\text{visible}, 2}$, se encuentra en el orden de los terahercios. En este caso, es de manera general poco importante que se utilice la línea Stokes o la línea Anti-Stokes de la distorsión de Raman como onda mezcla.

A modo de ejemplo, se ha mostrado la frecuencia diferencia entre la onda bomba fundamental 1 y la primera línea Raman 3, que asciende aproximadamente a 1,2 THz. El espectro mostrado ha sido generado en un cristal de niobato de litio con polaridad periódica en un oscilador paramétrico óptico. La temperatura del cristal ascendió a $T = 65^\circ \text{ C}$ y la longitud del periodo de la estructura del cristal $A = 29,5 \mu\text{m}$. En los espectros a)-e) la potencia bomba del oscilador paramétrico óptico aumenta, de manera que también la potencia de la onda bomba aumenta. Con el aumento de la potencia se reconocen siempre más líneas Raman 2.

Es digno de tenerse en cuenta, que las líneas Raman 2 pueden ser de intensidad similar a la onda bomba permanente 1. Con líneas Raman intensivas de este modo se pueden generar, en un elemento óptico no lineal mediante la formación de frecuencias diferencia, dos de dichas ondas mezcla que generan ondas propias de

terahercios. En caso de que las ondas de las frecuencias $\omega_{\text{visible}, 1}$ y $\omega_{\text{visible}, 2}$ se encuentren en una potencia similar, ello se puede conseguir con mayor eficiencia.

Puesto que el efecto Raman solamente se produce con elevadas potencias de luz, el material no lineal, que muestra el efecto Raman, se colocará ventajosamente en un resonador para aumentar la intensidad de la luz. El oscilador puede ser un oscilador paramétrico óptico. Otros resonadores sin procesos paramétricos ópticos son igualmente apropiados; de manera que una elevada "finura" del resonador, que es una medida de la elevación de la intensidad de la luz, debe ser favorecida. Son especialmente ventajosos los resonadores de modalidad de tipo galería amortiguadora 4 que se han mostrado en la figura 2. Estos están constituidos mediante discos redondos, en los que la luz captada es mantenida a causa de la reflexión total. De esta manera, una onda bomba 5a puede ser acoplada al resonador de modalidad de galería amortiguadora 4 con el prisma 6, además de una parte de la onda bomba 5b, se puede desacoplar también la línea desplazada de Raman 7. A continuación tiene lugar, tal como se ha explicado anteriormente, la radiación de terahercios con un elemento no lineal separado. Para ello se pueden utilizar, por ejemplo, cristales ópticos no lineales y fotomezcladores.

Los resonadores de modalidad de galería amortiguadora se pueden realizar de manera compacta. La elevada finura de estos resonadores, conduce además a que, en los resonadores incluso para unos pocos milivatios de potencia de la bomba pueden oscilar varios vatios de luz, lo que es suficiente para la generación de efectos Raman. De esta manera, se pueden generar con diodos láser con un vatio de potencia de salida, varios kilovatios de luz en los resonadores. De esta manera, una disposición de ese tipo es especialmente apropiada para su accionamiento mediante diodos láser. De este modo, se pueden conseguir diodos láser con emisores individuales, que generan luz con longitudes de onda de 808 nm, 880 nm y 976 nm en esta clase de potencia.

En una disposición ventajosa, se puede integrar en el resonador el elemento para la mezcla de la frecuencia diferencia, que entonces genera a base de las ondas mezcla 7 y 5b, su propia onda portadora del orden de terahercios. De esta manera, desaparece la necesidad de desacoplar otra luz a parte de la onda de terahercios del resonador. Para ello se puede realizar el resonador, por ejemplo, mediante un cristal óptico no lineal tal como niobato de litio. La figura 1 muestra algunas líneas Raman de este material que, muestran además una llamada no-linealidad $\chi^{(2)}$ que se puede utilizar para generar simultáneamente en el resonador la deseada onda de terahercios mezclando las ondas 7 y 5b. Para ello es necesaria una adecuación de la fase. Esta puede ser conseguida mediante la polaridad periódica del cristal, lo cual se designa como casi adecuación de fase.

Para la realización del procedimiento objeto de la invención, son apropiados también dispositivos ópticos que definen dos ondas de las frecuencias $\omega_{\text{visible}, 1}$ y $\omega_{\text{visible}, 2}$ en el espectro de infrarrojos, visible o ultravioleta, cuya frecuencia diferencia se encuentra entonces en la zona de los terahercios. Un ejemplo para un dispositivo de este tipo se muestra en la figura 3: Se trata en este caso de un proceso láser que presenta un amplio espectro de emisión (parte derecha de la figura 3A). Un láser de este tipo presenta un espejo dirigido hacia atrás 8, un medio activo láser 9 y un espejo de desacoplamiento 10. En este caso, un extremo del medio activo láser 9 puede mostrar el espejo final 8 en base a la reflectividad Fresnel o a un recubrimiento adicional. La amplitud de banda espectral del radio láser 11 comprende más de un nanómetro.

Si se aplica a este láser un resonador adicional 12 con longitud L (figura 3B), podrán oscilar solamente las ondas luminosas, que son resonantes también para este resonador. Si el material del que está realizado el resonador presenta un índice de refracción n, la separación de frecuencia de las modalidades longitudinales del resonador corto asciende a $\Delta\omega = \pi c_0 / (Ln^2)$, de manera que c_0 representa la velocidad de la luz en vacío. Para conseguir $\Delta\omega = 2\pi = 1$ THz es necesario para $n=1,5$ (vidrio) una L de 0,42 mm aproximadamente. Un ajuste fino de la longitud del resonador puede ser realizado con intermedio de la temperatura, dado que tanto L, como n dependen de la temperatura. De esta manera, del espectro de frecuencia, amplio se pueden separar líneas definidas $\omega_{\text{visible}, 1}$ y $\omega_{\text{visible}, 2}$ con una diferencia de frecuencia estable ω THz que se utilizan de acuerdo con la invención como ondas mezcla para generar frecuencias portadora del orden de terahercios mediante la mezcla de frecuencias.

De manera ventajosa, el espectro de emisión del láser sin resonador tiene una anchura aproximadamente del doble que la separación de modalidad $\Delta\omega$ (figura 3A). El grosor del resonador, que se puede comprobar por medio de exactitud y capacidad de reproducción, facilita la frecuencia de diferencia $\Delta\omega$ de manera fija. Pequeñas variaciones de temperatura del resonador pueden producir, a causa de la dependencia anteriormente explicada de L y n de la temperatura, que oscilen dos modalidades que se encuentran dispuestas de forma simétrica con respecto al máximo de amplificación, tal como se muestra esquemáticamente en el espectro de la figura 3B.

Si el material activo de láser es, por ejemplo, un semiconductor que emite luz con una longitud de 800 nm, pasan en el ejemplo numérico antes indicado, más de 1500 ondas en el resonador. Eso significa, que una variación de longitud relativa inducida por la temperatura de menos de 0,001 es suficiente para la oscilación óptima de ambas modalidades. Independientemente de ello la frecuencia de diferencia en terahercios se puede ajustar con una exactitud mínima de 0,1%. Si se dispone finalmente de ambas ondas deseadas, se pueden generar a continuación, no obstante, con ayuda de un elemento óptico no lineal de ambas ondas generadas, la onda de terahercios.

La figura 4 resume nuevamente el proceso: en la primera fase a) se genera luz con efecto bomba 13 con la frecuencia $\omega_{\text{visible}, 1}$, de manera que, no se exige ninguna condición especial a la exactitud de la frecuencia de manera que se pueden tomar en consideración como fuentes también diodos láser de alta potencia. En la etapa b) con ayuda de un convertidor, que puede consistir en un proceso físico o un dispositivo experimental, una parte de la luz con efecto bomba 13 se modifica en la frecuencia definida, de manera que aparte de la onda mezcla constituida por la luz con efecto bomba se genera otra onda mezcla 14 de la frecuencia $\omega_{\text{visible}, 2}$. En este caso el efecto Raman puede ser un proceso apropiado.

De manera alternativa, tal como se ha descrito anteriormente, las ondas mezcla 13 y 14 pueden ser generadas con una frecuencia definida de dos ondas de diferente frecuencia mediante emisión láser, de manera que se puede empezar con la etapa b). El láser previsto como resonador sirve en este caso como convertidor.

En la siguiente etapa c) se genera la luz deseada de terahercios 15 de la frecuencia ω_{THz} que se puede mantener como onda portadora. Finalmente, la onda portadora de la etapa d) es enviada mediante un modulador que podría generar bandas laterales 16 con una separación de frecuencia ω_1 pero que tiene sobre todo el efecto de marcar informaciones sobre la onda portadora 15.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la generación de una onda portadora electromagnética (15) adecuada para la transmisión inalámbrica de datos en un rango de frecuencias entre 0,1 y 10 terahercios, que en un proceso de generación se producen, por medio de una onda con efecto bomba electromagnética (1, 5, 13), por lo menos dos ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14) que tienen una diferencia de frecuencia definida, en el que dicha onda con efecto bomba (1, 5, 13) puede constituir por sí misma una de las ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14), de manera que la onda portadora (15) es generada por mezcla de frecuencias, como en particular por mezcla de frecuencia de diferencia de las ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14) caracterizado porque, como mínimo, una de las ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14) es generada en un proceso de generación ópticamente no lineal excitado por la onda bomba (1, 5, 13) a saber, la dispersión Raman que tiene lugar dentro de un cristal no lineal (4), en el que una de las líneas Raman (2, 3, 7, 14) es utilizada como segunda onda mezcla, que está desplazada en frecuencia de modo reproducible y, porque el cristal está sometido a adecuación de fase de manera tal que el cristal funciona como resonador y tiene lugar al mismo tiempo la mezcla de frecuencias diferencia dentro del cristal..
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, caracterizado porque la frecuencia de la onda con efecto bomba (1, 5, 13) se encuentra en el rango de frecuencia de la luz visible o próxima a la misma.
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque como dispositivo para generar las ondas mezcla se utiliza un proceso láser en el que se introduce otro resonador (12), en el que el proceso láser genera dos ondas de luz que tienen una separación de frecuencia separada entre 0,1 y 10 THz.
4. Procedimiento, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque para la transmisión de información, ésta es modulada sobre la onda portadora (15) por medio de modulación de amplitud, de frecuencia o de fase o polarización.
5. Dispositivo para llevar a cabo el procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende una fuente de láser para generar una onda bomba (1, 5, 13), un convertidor para generar como mínimo dos ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14) con separación de frecuencia definida en base a la onda bomba (1, 5, 13), en el que la onda bomba (1, 5, 13) puede formar una de las ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14), en el que el convertidor comprende un cristal óptico no lineal en el que la onda bomba genera dispersión Raman, caracterizado porque el cristal es un resonador en el que un mezclador de frecuencia es integrado para mezclar las ondas mezcla (1, 2, 3, 5, 7, 13, 14) en una onda portadora (15) que se encuentra en un rango de frecuencia entre 0,1 y 10 terahercios y, que el cristal está sometido a adecuación de fase de manera tal que el cristal funciona como resonador y la mezcla de frecuencias de diferencia tiene lugar dentro del cristal al mismo tiempo.
6. Dispositivo, según la reivindicación 5, caracterizado porque la fuente de láser genera luz láser que tiene una frecuencia dentro del rango de la luz visible o próximo a la misma.
7. Dispositivo según la reivindicación 5 o 6, caracterizado porque la fuente de láser y el convertidor están combinados en un láser cuya trayectoria de haz está situada dentro de un resonador (12).

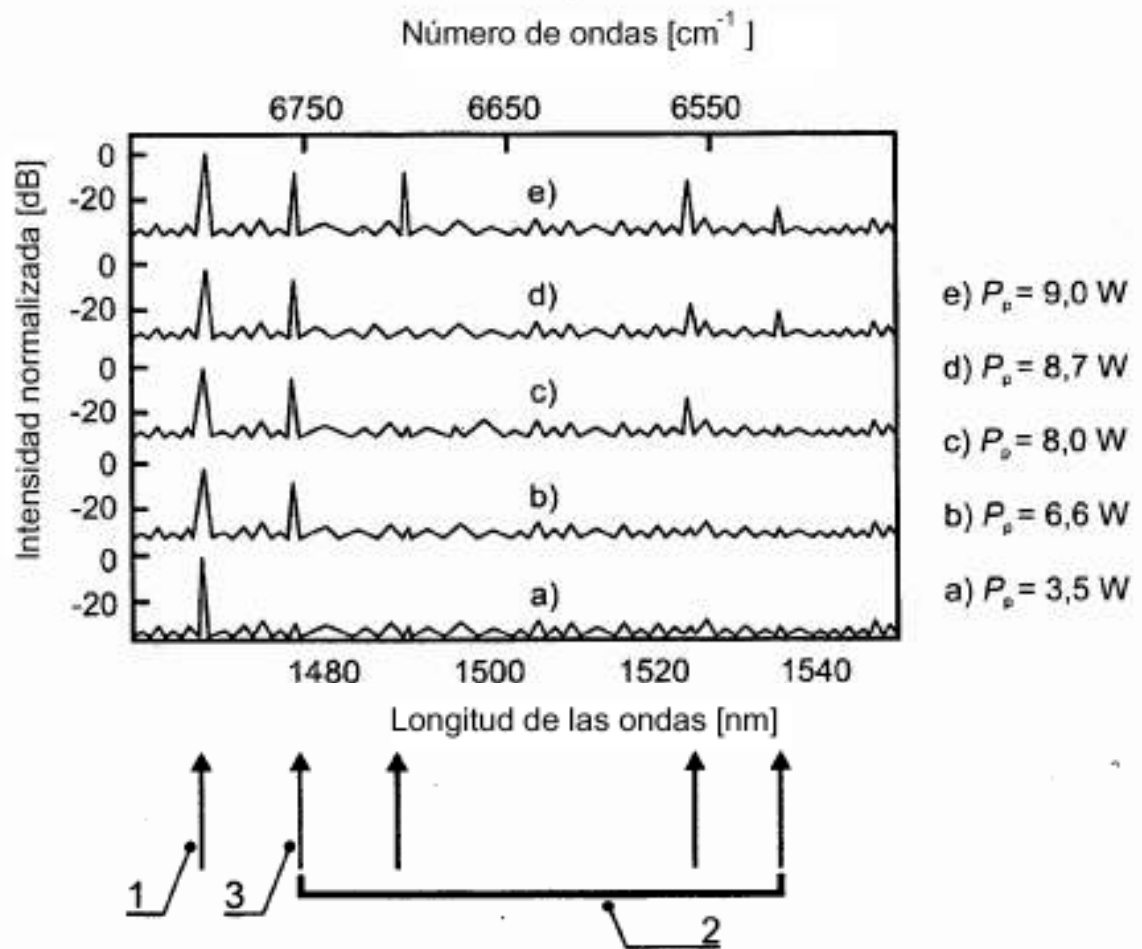


Figura 1

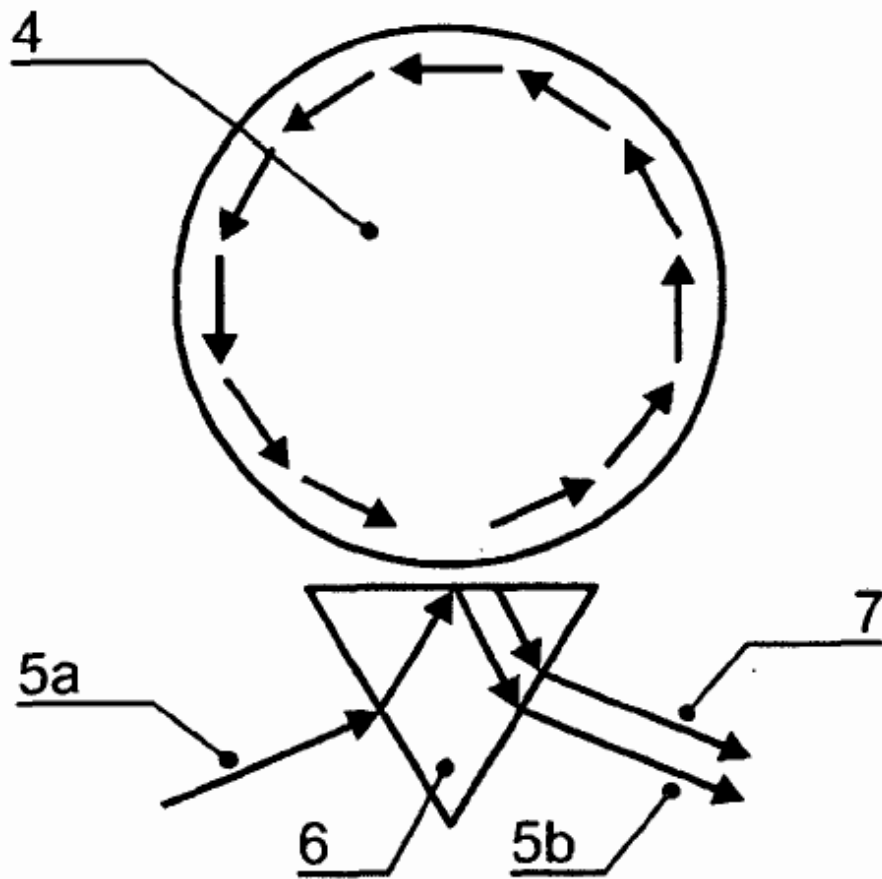


Figura 2

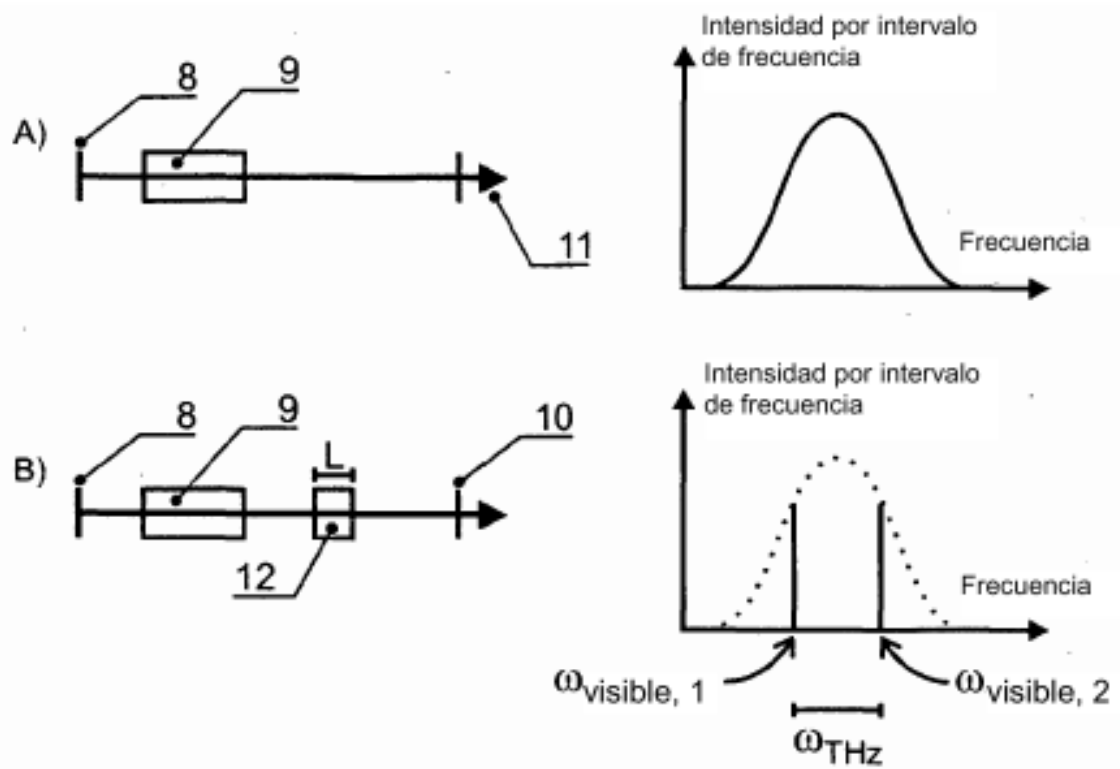


Figura 3

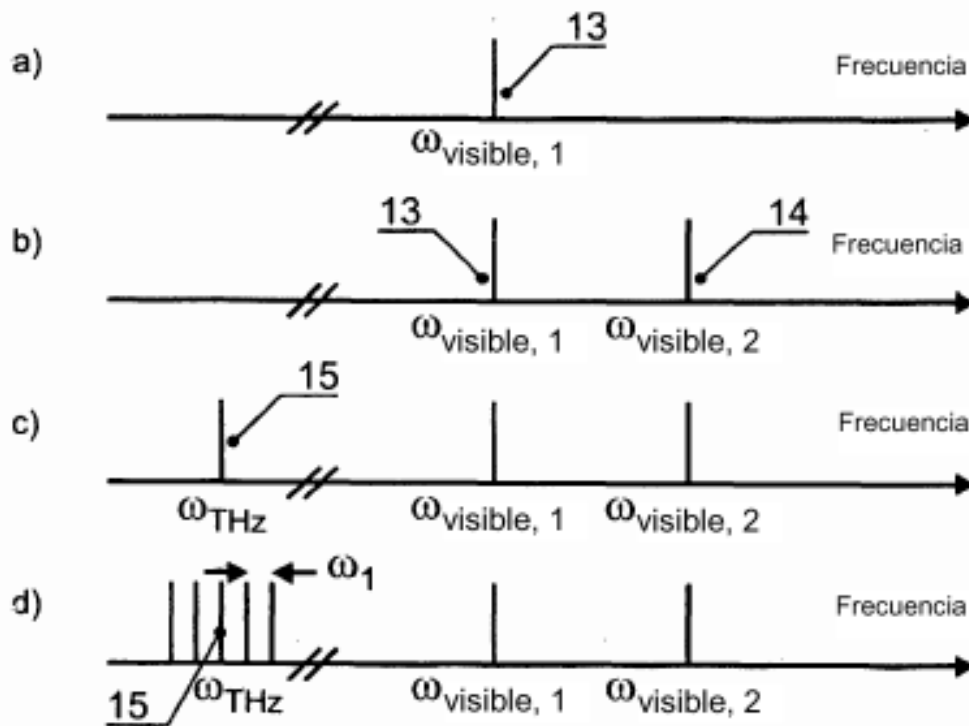


Figura 4