

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 503 563**

51 Int. Cl.:

H01S 3/102 (2006.01)

H01S 3/30 (2006.01)

G01N 21/35 (2014.01)

G01N 21/63 (2006.01)

H01S 3/094 (2006.01)

H01S 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2011 E 11162991 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2515395**

54 Título: **Método y dispositivo para reducir el ancho de banda de la dispersión de Brillouin estimulada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.10.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SCHNEIDER, THOMAS

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 503 563 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

Método y dispositivo para reducir el ancho de banda de la dispersión de Brillouin estimulada

La presente invención se refiere a un método y dispositivo para reducir el ancho de banda de la dispersión de Brillouin estimulada y las aplicaciones correspondientes, en particular, métodos y aparatos para el filtrado de banda estrecha, la espectroscopia de alta resolución, y el cuasi almacenamiento de luz.

La dispersión de Brillouin estimulada (SBS) es el efecto no lineal que en las fibras monomodo estándares (fibra monomodo estándar, SSMF) tiene el valor de umbral más pequeño [1]. Una onda de bombeo de banda estrecha que se propaga en una dirección en la fibra, produce una ganancia de banda estrecha para una señal en sentido opuesto de frecuencia desfasada. La dispersión de Brillouin estimulada (SBS) permite la amplificación de un intervalo de frecuencias muy estrecho de señales ópticas (en lo sucesivo también llamadas "fibra"). En este caso, una onda de bombeo de una frecuencia ω_P se conduce en una dirección a través de una fibra, mientras que se inicia la señal en la dirección opuesta en la fibra. SBS entonces daría lugar a un espectro de ganancia, que en general tiene la forma de una curva de Lorentz. En este caso, si la fibra tiene un llamado desfase de Brillouin ω_B , tiene lugar la ampliación máxima en la frecuencia $\omega_0 = \omega_P - \omega_B$. El anchura de valor medio (en lo sucesivo, "ancho de banda") del espectro de ganancia, sin embargo, no puede realizarse arbitrariamente pequeño cuando se utiliza una sola ola sólo de bomba. El ancho de banda mínimamente alcanzable del espectro de ganancia se llama "ancho de banda natural" γ_0 .

En una longitud de onda de la bomba de 1550 nm, el desfase de frecuencia en el SSMF es de 10 - 11 GHz. El ancho de banda de esta ganancia es muy pequeño, con 10 a 30 MHz. Es el espectro de la señal es mayor, sólo se amplifica aquella parte del espectro que cabe dentro del ancho de banda de esta ganancia. Esta característica hace imprescindible el SBS para muchas aplicaciones. Estas incluyen, por ejemplo, la espectroscopia de alta resolución [2, 3], los filtros de banda estrecha para las señales ópticas o señales de frecuencia de radio y en la frecuencia de terahercios [4], y el cuasi almacenamiento óptico (QLS) [5, 6]. En todas estas aplicaciones, se utiliza la banda extremadamente estrecha de SBS. En la espectroscopia de alta resolución, por ejemplo, la ganancia estrecha de SBS se desplaza por medio del cambio de frecuencia de una señal eléctrica por el espectro desconocido [2]. El rendimiento de un fotodiodo en dependencia de la frecuencia de la señal eléctrica es entonces equivalente al del espectro desconocido. Por lo tanto, los espectros de las señales ópticas se puede medir, sino también los espectros de las señales de milímetro o de terahercios si anteriormente han sido llevados a espectro óptico por la modulación mediante modulación [7]. La resolución del dispositivo está directamente relacionada con el ancho de banda de la ganancia de SBS y de este modo alcanza 10-30 MHz. En el caso de QLS [5, 6] y los filtros de banda estrecha [4] componentes espectrales individuales son amplificados se forma selectiva en frecuencia. En el caso de QLS esto, por ejemplo, se utiliza para almacenar paquetes ópticos. El tiempo máximo de almacenamiento es inversamente proporcional al ancho de banda de la ganancia de SBS. Tanto menor sea el ancho de banda de la ganancia, tanto mayor es el tiempo de almacenamiento alcanzable.

Todas estas aplicaciones están limitadas por el ancho de banda natural de la SBS. Esto a su vez depende de la vida útil de los fonones en el material y es por lo tanto una función de cambios materiales mecánicos, tales como la temperatura, la presión, tracción, etc. El ancho de banda natural más pequeño posible de la SBS en SSMF es de 10MHz [8]. Por lo tanto, la resolución de los filtros y espectrómetro se limita a 10 MHz y el tiempo de almacenamiento máximo de los QLS se limita a 100 ns. Estos 10MHz son alcanzables sólo para las grandes potencias de bombeo. Dado que es un proceso de amplificación, grandes potencias de bombeo también significan un fuerte ruido adicional. Por lo tanto, estos resultados máximos se obtienen sólo en combinación con el deterioro de la calidad de la señal.

En el documento WO 2009 / 067973 A1 se describe un procedimiento y un sistema para la generación de luz láser con un espectro que contiene diferentes bandas, en el que se genera al menos una banda lateral a partir de la frecuencia portadora de una radiación láser que se propaga en la trayectoria principal, en el que dicha banda lateral está acoplado en un camino secundario mediante un divisor de haz, en donde en al menos uno de las trayectorias se excitan a su vez bandas laterales de la radiación y en donde las trayectorias se combinan mediante un acoplador de nuevo para formar una trayectoria de rayos común, en el que las bandas excitadas forman el espectro. Bandas laterales se generan en los moduladores, en donde una parte del haz de láser es desviada a través de una rejilla de Faser-Bragg, y un circulador a una trayectoria secundaria. El haz de láser de frecuencia desplazada se puede amplificar en el amplificador de fibra. En una fibra óptica los componentes de la luz de bomba de frecuencia desplazada a través de SBS pueden afectar a señales de un láser y éste puede ser detectado por medio de un circulador y un fotodiodo.

T. Schneider, R. Henker, K. Lauterbach, M. Junker, „Comparison of delay enhancement mechanism for SBS-based slow light systems“, Opt. Express, volumen 15, nº 15, 9606 (2007) describe dos procedimientos para el aumento del retardo de tiempo en sistemas de luz lentos, en donde los dos mecanismos se basan en la superposición de la amplificación de Brillouin con pérdidas adicionales.

El documento DE 10 2007 058 049 A1 se refiere a un proceso y un sistema para la generación de luz de láser con un espectro que contiene varias bandas, en donde a partir de la frecuencia portador de un haz de láser que se propaga dentro de una trayectoria principal se genera al menos una banda lateral.

La presente invención tiene por objeto proporcionar un método y un aparato para reducir el ancho de banda de la dispersión de Brillouin estimulada y las aplicaciones correspondientes, en particular, proporcionar métodos y aparatos para el filtrado de banda estrecha, la espectroscopia de alta resolución y el cuasi almacenamiento óptico.

Este objeto se resuelve con las características de las presentes reivindicaciones.

5 El método y un dispositivo para la solución de la tarea presentada se definen en las reivindicaciones independientes 1 y 10, y ejemplos de realización ventajosos en las reivindicaciones 2-9 y 11-20.

La presente invención permite generar espectros de ganancia de SBS con un ancho de banda γ menor que el ancho de banda natural γ_0 . Además, con la presente invención se puede incrementar significativamente la eficiencia de un número de aplicaciones, tales como el filtrado de banda estrecha, la espectroscopia de alta resolución o de cuasi almacenamiento óptico.

La idea básica de la invención es como sigue:

15 Mientras que en el procedimiento descrita anteriormente se extrae potencia de una onda de bombeo de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ y se utiliza para la amplificación de la banda de frecuencia en ω_0 también se forma inversa se puede extraer potencia por ω_0 a la banda de frecuencias, conduciendo en la fibra - a su vez en contra de la dirección de la señal - una onda óptica de la frecuencia de $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$. Esto entonces conduce a un espectro de pérdida que en lo general tiene la forma de una curva de Lorentz (negativa) con un mínimo en la frecuencia ω_0 .

20 Para producir un espectro de la pérdida cuyo mínimo está desplazado frente a la frecuencia ω_0 por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ hacia frecuencias menores o frecuencia mayores, se emite una onda óptica correspondiente de frecuencia $\omega'_P - \delta/2$ o $\omega'_P + \delta/2$ en la fibra. Si ahora se superpone un espectro de ganancia con un máximo a ω_0 en el eje de frecuencias con un espectro de pérdida con mínimo en $\omega_0 - \delta/2$ y/o un espectro de pérdida con mínimo en $\omega_0 + \delta/2$, se obtiene un espectro de ganancias que tiene al menos un máximo local en ω_0 cuya anchura de banda γ es menor que el ancho de banda γ_0 , cuando se establece una diferencia de frecuencia $\delta/2$ de un tamaño adecuado. El tamaño de las amplitudes para los espectros de ganancia y de pérdida también afecta a la forma del espectro integro. En particular, el ancho de banda del espectro total puede reducirse mediante el ajuste de las intensidades de las ondas ópticas, que se introducen en la fibra para generar el espectro de ganancia de SBS por un lado, y para generar los espectros de pérdida de SBS por otro lado.

25 De acuerdo con la presente invención se presenta un método para reducir el ancho de banda de la SBS que se basa en la superposición entre la ganancia de Brillouin natural con dos pérdidas. En una fibra óptica, preferiblemente una fibra monomodo estándar (SSMF) una onda de bombeo produce una ganancia de banda estrecha para una señal contraria, si esta señal se desplaza en frecuencia hacia abajo con respecto a la onda de bombeo en el llamado desplazamiento de Brillouin. Sin embargo, si la señal está desplazada en frecuencia hacia arriba por el desplazamiento Brillouin, la onda de bombeo produce una pérdida de banda estrecha para el espectro de la señal. En el caso de una longitud de onda de bombeo de 1550 nm, por ejemplo, el ancho de banda de ancho completo - en - medio - máximo (FWHM) de la ganancia y de la pérdida alcanzan 10 - 30 MHz y el desplazamiento Brillouin 10 - 11 GHz. La ganancia superpuesta con las dos pérdidas en la fibra se puede escribir como:

$$G_{tot} = g_0 \gamma_0^2 / (\omega^2 + \gamma_0^2) - g_1 \gamma_0^2 / ((\omega + \delta/2)^2 + \gamma_0^2) - g_1 \gamma_0^2 / ((\omega - \delta/2)^2 + \gamma_0^2) \quad (1)$$

Aquí g_0 es el máximo de la ganancia, g_1 el máximo de la pérdida, γ_0 es el ancho de banda FWHM de la ganancia y de la pérdida, y δ es la separación de frecuencia entre los centros de las pérdidas. Si la ecuación (1) se normaliza con $\Omega = \omega/\gamma_0$; $m = g_1 / g_0$ y $d = \delta/(2\gamma_0)$ resulta:

$$40 \quad G_{N\ tot} = g_0 (1 / (\Omega^2 + 1) - m / ((\Omega + d)^2 + 1) - m / ((\Omega - d)^2 + 1)) \quad (2)$$

45 Tal superposición se ha descrito ya en la referencia [9]. Allí se la ha utilizado para incrementar los tiempos de demora para la denominada luz lento basado en SBS. En el caso de la luz lenta el tiempo de demora depende de la pendiente del espectro de ganancia. Las dos pérdidas en los lados del espectro de ganancia resultan en un aumento de la pendiente y por lo tanto a un aumento de los posibles retardos de tiempo. Sin embargo, el ancho de banda no se puede reducir para este propósito, ya que las señales retardadas experimentarían distorsiones severas. En contraste, en las aplicaciones aquí el aumento de la pendiente no juega ningún papel y el ancho de banda se cambia selectivamente por el cambio del parámetro d en la ecuación (2). En este contexto, también se hace referencia al documento WO 2009/067 973 A1.

50 Un aspecto de la invención se refiere a un método para reducir el ancho de banda de dispersión estimulada de Brillouin (SBS) en la frecuencia ω_0 en una fibra óptica, que presenta un desplazamiento natural de Brillouin ω_B . El método comprende las siguientes etapas: se proporciona una primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ mediante un primer dispositivo y se conduce a una primera entrada del primer acoplador. El acoplador tiene una

5 salida que se puede conectar con dicha fibra óptica. Además, se proporciona una segunda onda óptica de frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$ de un segundo dispositivo y se suministra a un primer modulador. El primer modulador transforma la segunda onda óptica en una tercera onda óptica desplazada hacia arriba por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de la frecuencia $\omega'_P + \delta/2$, y una cuarta onda óptica, desplazada hacia abajo por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de frecuencia $\omega'_P - \delta/2$. Ambas ondas ópticas transformadas, la tercera onda óptica y la cuarta onda ópticas se alimentan a una segunda entrada del primer acoplador. El primer acoplador entrega la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica a la salida del mismo. Mediante el ajuste de la diferencia de frecuencia $\delta/2$ se alcanza que cuando se conecta la fibra óptica en la salida del primer acoplador en la fibra óptica, la superposición del espectro de la ganancia SBS generada por la primera onda óptica con un máximo de ganancia g_0 y el espectro de la pérdida SBS generada por la tercera onda óptica con un máximo de pérdida g_1 y el espectro de la pérdida SBS generada por la cuarta onda óptica con un máximo de pérdida g'_1 proporciona un espectro total que tiene un ancho de banda γ más pequeño que como el ancho de banda de Brillouin γ_0 natural.

15 De acuerdo con un aspecto adicional, el método comprende una etapa adicional de: ajuste de la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la tercera onda óptica y de la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la cuarta onda óptica. Este ajuste se realiza de manera que se ajusta una relación determinada m del máximo ganancia g_0 al máximo de pérdida g_1 o bien g'_1 y presenta el espectro total de un ancho de banda γ determinado.

20 De acuerdo con un aspecto adicional del método se justifica la relación d de la diferencia de frecuencia δ al ancho de banda de Brillouin γ_0 natural dentro del intervalo $0,3 \leq d \leq 0,9$. Preferentemente, se ajusta la relación m del máximo de ganancia g_0 al máxima de pérdida g_1 en el intervalo de $0,1 \leq m \leq 1,0$, preferiblemente $0,3 \leq m \leq 0,8$. Por ejemplo, se ajusta un valor de $d = 0,6$ y $m = 0,45$ (véase el punto 1 de la Figura 1). Como otro ejemplo se ajusta un valor $d = 0,4$ y $m = 0,55$ (véase el punto 2 de la Figura 1).

25 Según otra forma de realización del método se realiza el proporcionamiento de una primera onda óptica y el proporcionamiento de la segunda onda óptica con las siguientes etapas: se proporciona una onda óptica de frecuencia ω_0 a partir del cual se genera la primera y segunda onda óptica. Esta onda óptica se guía a un segundo modulador que está adaptado para transformar la onda óptica de la frecuencia ω_0 en una señal que presenta la primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ y la segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$. Esta señal se conduce desde un segundo modulador a un segundo acoplador que divide la potencia de la señal en una primera y una segunda componente de señal. El segundo acoplador es preferiblemente un acoplador de 3 dB, que divide la potencia de manera que cada componente de la señal es 50%. El primer componente de la señal se suministra a un primer filtro a través del cual puede pasar la primera onda óptica. La segunda parte de señal se lleva a un segundo filtro a través del cual puede pasar la segunda ondas óptica. Desde la segunda ondas óptica se puede obtener, como se ha descrito anteriormente, la tercera y la cuarta onda óptica. La primera onda óptica se transmite a la primera entrada del primer acoplador y la tercera así como la cuarta onda óptica se conduce a la segunda entrada del primer acoplador.

35 Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método de filtrado óptico de banda estrecha. Tal como se descrito anteriormente se generan una primera óptica, una tercera onda óptica y una cuarta onda óptica. La primera ondas óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda ópticas se alimentan a un circulador. El circulador es conectable con un conector a un primer extremo de una fibra óptica que tiene un desplazamiento de Brillouin ω_B natural. El circulador comprende otro conector adicional y es adecuado para acoplar el rango de frecuencia de una señal, que se amplifica en la fibra óptica por la SBS. Una señal a filtrar se alimenta a un segundo extremo de la fibra óptica. Dado que con el método de la invención, el ancho de banda de la dispersión de Brillouin estimulada (SBS) se puede reducir, es posible un filtrado óptico de banda estrecha.

45 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención se proporciona un método de filtrado de banda estrecha en el intervalo de ondas milimétricas o terahercios. En primer lugar se realiza una transformación de una señal de longitud de onda milimétrica o de terahercios en un rango óptico. La señal transformada en el rango óptico es filtrada por medio del método descrito anteriormente para la filtración óptica de banda estrecha. Esto es seguido por una transformada inversa de la señal filtrada hacia el intervalo de ondas milimétricas o de terahercios.

50 Otro aspecto aún más de la invención se refiere a un procedimiento para la espectroscopia óptica de alta resolución con filtro sintonizable óptico de un rango de banda estrecha desde un espectro óptico con el método anteriormente descrito para la filtración óptica de banda estrecha. En la forma de realización para la espectroscopia óptica se utiliza un medio para proporcionar una onda óptica, preferiblemente un láser sintonizable, de la que se puede conseguir la primera, la segunda, la tercera y la cuarta onda óptica. Cuando se utiliza esta forma de realización para el filtrado óptico, el método de acuerdo con la invención para la espectroscopia óptica de alta resolución presenta los siguientes pasos: La frecuencia de la onda óptica se cambia y la señal filtrada se detecta con un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a otro conector del circulador. La intensidad de la señal extraída medida con el detector se evalúa como una función de la frecuencia de la onda óptica. En otra forma de realización para el filtrado óptico se utilizan dos medios para proporcionar una primera y una segunda onda óptica, preferiblemente un primer y/o un segundo láser sintonizable, en donde la frecuencia de los dos láseres se cambia preferiblemente al mismo tiempo y de la misma manera. Si se utiliza esta otra forma de realización para la filtración

5 óptica, el método según la invención para la espectroscopia óptica de alta resolución comprende las etapas de: controlar la frecuencia de la primera ondas óptica y la frecuencia de la segunda onda óptica, la detección de la señal filtrada a un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión del circulador, la evaluación de la intensidad de la señal desacoplada medida con el detector en función de la frecuencia de la primera o de segunda ondas óptica.

10 De acuerdo con otro aspecto adicional de la invención se proporciona un método para la espectroscopia de alta resolución en el rango de ondas milimétricas o de terahercios. En primer lugar se realiza una transformación de una señal en el rango de onda milimétrica o de terahercios hacia el rango óptico. Seguidamente, se realiza una espectroscopia de la señal transformada con el método descrito anteriormente para la espectroscopia óptica de alta resolución.

15 Otro aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para el cuasi almacenamiento óptico que comprende las etapas de: Se genera un espectro de ganancias de banda estrecha por el método descrito anteriormente para el filtrado óptico de banda estrecha o el proceso descrito anteriormente para el filtrado de banda estrecha en el rango de ondas milimétricas o de terahercios. Además, se genera un peine de ganancia de banda estrecha desde el espectro de ganancia de banda estrecha por medio de un generador de peine de frecuencia. El peine de ganancia se alimenta a un sistema para el cuasi almacenamiento óptico.

20 Un aspecto de la invención se refiere a un dispositivo para reducir el ancho de banda de dispersión de Brillouin (SBS) estimulada en una frecuencia ω_0 en una fibra óptica, que comprende un desplazamiento de Brillouin ω_B natural y en particular a un aparato para llevar a cabo el método descrito anteriormente para reducir el ancho de banda de la dispersión de Brillouin (SBS) estimulada en la frecuencia ω_0 en una fibra óptica, que comprende un desplazamiento de Brillouin ω_B natural. El dispositivo de la invención incluye un primer medio para proporcionar de una primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$. El aparato comprende además un primer acoplador que tiene una primera entrada a la que se conduce la primera onda óptica, y una salida que está conectado con dicha fibra óptica. El aparato comprende además un segundo medio para proporcionar una segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$. Por otra parte, el medio comprende un primer modulador hacia el cual se guía la segunda onda óptica, en el que el primer modulador transforma la segunda onda óptica en una tercera onda óptica desplazada hacia arriba por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de la frecuencia $\omega'_P + \delta/2$ y una cuarta onda óptica desplazada hacia abajo por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de la frecuencia $\omega'_P - \delta/2$. En este caso la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica se alimentan a una segunda entrada del primer acoplador y el primer acoplador emite la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica a su salida. Además, el aparato incluye un medio para establecer una diferencia de frecuencia $\delta/2$, de manera que en la conexión de la fibra óptica en la salida del primer acoplador en la fibra óptica, la superposición del espectro de la generada SBS generada por la primera onda óptica con el máximo de ganancia g_0 y el espectro de la pérdida SBS generada por la tercera onda óptica con un máximo de pérdida g_1 y el espectro de la pérdida SBS generada por la cuarta onda óptica con un máximo de pérdida g'_1 proporciona un espectro general que tiene un ancho de banda y más pequeño que el ancho de banda de Brillouin γ_0 natural.

40 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el primer acoplador es variable y/o el dispositivo comprende al menos un amplificador óptico ajustable, preferentemente un amplificador de fibra dopado con erbio, por el que se guía la primera y/o segunda, así como la tercera onda óptica a la primera entrada o bien la segunda entrada del primer acoplador para ajustar la relación de la intensidad de la primera ondas óptica a la intensidad de la tercera onda óptica y la relación de la intensidad de la primera ondas óptica a la intensidad de la cuarta onda óptica.

45 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el medio para ajustar la diferencia de frecuencia $\delta/2$ presenta un generador de onda sinusoidal, cuya frecuencia es ajustable y que emite una señal de onda sinusoidal al primer modulador. En este caso, el primer modulador se realiza preferiblemente por medio de un modulador Mach - Zehnder, que es operado en el "régimen de portadora suprimida".

50 En una realización adicional, el dispositivo según la invención comprende, además, medios para proporcionar una onda óptica de la frecuencia ω_0 , así como un segundo modulador para recibir la onda óptica y es apropiado para transformar la onda óptica de frecuencia ω_0 en una señal, que presenta la primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ y la segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$. Además, el dispositivo tiene un segundo acoplador, que divide la señal transformada en una primera y una segunda componente de señal. Además, el aparato comprende: un primer filtro a través del cual la primera onda óptica puede pasar y un segundo filtro a través de la segunda onda óptica puede pasar. Preferiblemente, los medios para proporcionar la onda óptica es sintonizable con respecto a la frecuencia ω_0 . Preferiblemente, el aparato comprende además medios para ajustar la frecuencia ω_B , que tiene preferiblemente un generador de onda sinodal cuya frecuencia es ajustable y que emita una señal de onda sinusoidal a la segunda modulador, en donde dicho segundo modulador se realiza preferiblemente por medio de un modulador Mach - Zehnder, que se opera en el "régimen de portadora suprimida".

55 En una forma de realización del dispositivo según la invención los medios para proporcionar una onda óptica de la frecuencia ω_0 , el primer medio para proporcionar la primera onda óptica y/o el segundo medio para proporcionar la segunda onda óptica presentan un diodo láser o un láser.

5 En una forma de realización adicional del dispositivo de acuerdo con la invención la conexión entre los primeros medios para proporcionar la primera onda óptica y la primera entrada del primer acoplador y/o la conexión entre los segundos medios para proporcionar la segunda onda óptica al primer modulador y/o la conexión entre el primer modulador y la segunda entrada del primer acoplador y/o la conexión entre el segundo modulador y el segundo acoplador y/o la conexión entre el segundo acoplador y el primer filtro y/o la conexión entre el segundo acoplador y el segundo filtro presentan en cada caso una fibra óptica.

10 Un aspecto adicional de la invención se refiere a un filtro óptico de banda estrecha, que comprende: un láser sintonizable que genera una onda óptica de frecuencia ω_0 , un dispositivo para reducir el ancho de banda de dispersión de Brillouin estimulada (SBS), que están conectados al láser sintonizable y que recibe la onda óptica de la frecuencia ω_0 , un circulador acoplado a una salida del dispositivo para la reducción de ancho de banda descrito anteriormente. Aquí, el circulador con un puerto se puede conectar a un primer extremo de una fibra óptica, que tiene un desplazamiento de Brillouin ω_B natural, en donde en un segundo extremo de la fibra óptica se alimenta una señal óptica. Además, el circulador tiene un conector adicional y es adecuado para desacoplar el rango de frecuencia de la señal que es amplificado en la fibra óptica por la SBS.

15 Otro aspecto de la invención se refiere a un filtro de banda estrecha de ondas milimétricas o de terahercios con el filtro óptico de banda estrecha descrito anteriormente, que comprende: un dispositivo para transformar una señal onda milimétrica o de terahercios en el rango óptico, en donde la señal transformada en el rango óptico se filtra por medio de un filtro óptico de banda estrecha, y un dispositivo para la transformación inversa de la señal filtrada en el rango de ondas milimétricas o de terahercios.

20 Otro aspecto de la invención se refiere a un espectroscopio óptico de alta resolución con el filtro óptico descrito anteriormente. Dependiendo de la forma de realización del filtro óptico según la invención, descrito anteriormente se pueden realizar diversas formas de realización también para el espectroscopio óptico de alta resolución según la invención.

25 En una realización el espectroscopio óptico de alta resolución según la invención presenta: un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión del circulador, una unidad de control y evaluación que está conectada de forma eléctrica con unos medios controlables para proporcionar una onda óptica, preferiblemente un láser sintonizable y un detector. En este caso la unidad de control y evaluación controla la frecuencia ω_0 de la onda óptica emitida por el láser y evalúa la intensidad medida con el detector de la señal desacoplada en función de la frecuencia de la onda óptica.

30 En otra forma de realización el espectroscopio óptico de alta resolución según la invención presenta: un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión de circulador, una unidad de control y evaluación, que está conectada eléctricamente con medios controlables para proporcionar una primera onda óptica o bien una segunda onda óptica, preferentemente en cada caso láseres sintonizables y un detector. En este caso la unidad de control y evaluación controla la frecuencia de la primera onda óptica y la frecuencia de la segunda onda óptica, y evalúa la intensidad de la señal desacoplada medida por el detector en función de la frecuencia de la primera o segunda onda óptica.

35 Otro aspecto de la invención se refiere a un espectroscopio de alta resolución para el rango de ondas milimétricas o de terahercios con el espectroscopio óptico de alta resolución descrito anteriormente, así como un dispositivo para la transformación de una señal de ondas milimétricas o de terahercios hacia el intervalo óptico.

40 Otro aspecto de la invención se refiere a un dispositivo para el cuasi almacenamiento óptico con el filtro óptico de banda estrecha antes descrito o el filtro de banda estrecha de ondas milimétricas o de terahercios descrito anteriormente, así como con un dispositivo para la generación de un peine de ganancia de banda estrecha de la señal filtrada y un sistema para el cuasi almacenamiento óptico.

La invención se explica a continuación con referencia a los ejemplos y el dibujo. En los dibujos se muestran:

45 Figura 1 un diagrama con la relación normalizada al ancho de banda de SBS natural del ancho de banda alcanzado como una función de la separación de frecuencia entre los centros de la pérdida de 19 relaciones diferentes entre el máximo de ganancias y el máximo de pérdida de entre 0,1 y 1,

50 Figura 2 un diagrama con la ganancia reducida, normalizada a la máxima ganancia de SBS, como función de la separación de frecuencia entre los centros de la pérdida de 19 relaciones diferentes del máximo de ganancias a máximas pérdidas de entre 0,1 y 1,

Figura 3(a) un gráfico de una ganancia SBS reducida por la superposición de dos pérdidas (línea continua) en comparación con la ganancia natural (línea discontinua) para $d = 0,6$ y $m = 0,45$ para el punto 1 en la Figura 1,

55 Figura 3(b) un gráfico de una ganancia SBS reducida por la superposición de dos pérdidas (línea continua) en comparación con la ganancia natural (línea discontinua) para $d = 0,4$ y $m = 0,55$ para el punto 2 de la

Figura 1,

- Figura 4 un diagrama de bloques de una realización de la invención para reducir el ancho de banda de SBS de una fuente óptica,
- 5 Figura 5 un diagrama de bloques de otra realización de la invención para reducir el ancho de banda de SBS de dos fuentes ópticas,
- Figura 6 un diagrama con los resultados experimentales para la reducción de ancho de banda de SBS. La curva A muestra la ganancia reducida obtenida de alrededor de 3,4 MHz en comparación con la ganancia natural de SBS de la fibra de alrededor de 20 MHz de la curva B,
- 10 Figura 7 un diagrama de bloques de otra realización para la espectroscopia de alta resolución con el método de acuerdo con la invención. El bloque de "reducción de ancho de banda" se corresponde con el área rayada en la Figura 4. Trazados sólidos corresponden a fibras ópticas, líneas discontinuas corresponden a conductos eléctricos,
- Figura 8 un diagrama con una medición experimental del espectro de una señal modulada en fase con 10MHz. Con el ancho de banda de SBS natural (línea discontinua), con un ancho de banda reducido a 8 MHz por el método de acuerdo con la invención (línea continua), y
- 15 Figura 9 un diagrama de bloques de otra forma de realización para un cuasi almacenamiento óptico con reducción de ancho de banda.

El ancho de banda de ganancia reducida, normalizado al ancho de banda natural de SBS en función del parámetro d , muestra Figura 1 para 19 relaciones distintas entre ganancias y pérdidas m . La relación entre el ancho de banda obtenido y el ancho de banda natural γ/γ_0 se representa en el eje vertical de la Figura 1 y la diferencia de frecuencias entre los centros de pérdida $d = \delta/(2\gamma_0)$ se traza en el eje horizontal. Se muestran 19 curvas en las que la relación de máximo de ganancia a máximo de pérdida $m = g_1/g_0$ es 0,1, ... 1. Las curvas mostradas en la Figura 1 se pueden describir de la siguiente manera, en donde se considera los rangos son $0,1 \leq m \leq 1$ y $0,2 \leq d \leq 2$: Para m en el rango entre alrededor de 0,1 a 0,4 γ/γ_0 es monótonamente decreciente. Mientras que al mismo tiempo se muestra para la dependencia de d de γ/γ_0 primeramente un trayecto decreciente y luego creciente, es decir, con respecto a d existe un mínimo. Su ubicación para $m \approx 0,1$ es aproximadamente $d \approx 1$ y migra con el aumento de m a valores de d más pequeños hasta $d \approx 0,5$ para m justo por debajo de 0,5. Para $m = 0,5$ γ/γ_0 como una función de d ya no tiene ningún mínimo, en donde la primera derivada de esta función aumenta monótonamente con d . Para $m \geq 0,55$ la curva de γ/γ_0 como una función de d por otra parte muestra una curva monótonamente creciente, en donde la primera derivada de esta curva es monótonamente decreciente. Por consiguiente, el ejemplo, la ganancia se puede reducir al 50 % del ancho de banda natural de SBS (punto 1: $\gamma/\gamma_0 \approx 0,5$; $d \approx 0,6$, $m \approx 0,45$) al 20 % (punto 2: $\gamma/\gamma_0 \approx 0,2$; $d \approx 0,4$, $m \approx 0,55$) o incluso menos. Por otra parte las pérdidas no sólo reducen el ancho de banda, sino también la amplitud de la ganancia, tal como muestra la Figura 2. El ancho de banda de ganancia del 50% tiene sólo el 33 % de la ganancia máxima, mientras que para el punto 2 la ganancia se reduce a sólo el 5%.

La relación r de la ganancia obtenida a la ganancia natural (eje vertical) en función de la separación de frecuencias entre los centros de la pérdida $d = \delta/(2\gamma_0)$ (eje horizontal), así como la relación de máximo de ganancia al máximo de pérdida $m = g_1/g_0$ tal como se muestra también la Figura 2, se puede describir aproximadamente de la siguiente manera, en donde de nuevo se considera los rangos de $0,1 \leq m \leq 1$ y $0,2 \leq d \leq 2$. Se muestran 19 curvas en las que la proporción del máximo de ganancia al máximo de $m = g_1/g_0$ es 0,1, ... 1. Para todos los m en el rango considerado r es monótona decreciente. Para todos los d en el rango considerado r es monótonamente creciente. La primera derivada de r como una función de d aumenta a medida que m aumenta.

Figura 3 (a) es un diagrama que muestra la ganancia SBS reducida en el ancho de banda mediante la superposición de dos pérdidas (línea continua) en comparación con la ganancia natural (línea discontinua) para $d = 0,6$ y $m = 0,45$ para el punto 1 en Figura 1. La Figura 3 (b) muestra un diagrama similar para $d = 0,4$ y $m = 0,55$ para punto 2 en la Figura 1. En el eje horizontal se representa una frecuencia normalizada Ω , y en el eje vertical se representa una ganancia normalizada. El ancho de banda Brillouin de los picos alrededor del máximo de ganancia en ambos casos está reducido de manera significativa en comparación con el ancho de banda de Brillouin natural. Esta reducción es más pronunciada para el punto 2 como 1 punto. Para ello en ambos casos la izquierda y derecha del máximo se pronuncian mínimos, correspondiente a una ganancia negativa. Una ganancia negativa significa que los componentes espectrales que caen dentro de este rango se atenúan. Para algunas aplicaciones este comportamiento puede ser ventajoso, junto con la reducción de la ganancia. Dado que SBS es un proceso de amplificación, se añade ruido a la señal. El ancho de banda mínimo natural de SBS de 10 MHz se obtiene, por ejemplo, sólo a la máxima potencia y por lo tanto al ruido máximo. Las ganancias reducidas del método presentado significan que el ruido también se reduce. Sin embargo, sólo se selecciona una banda muy estrecha del espectro debido a que los componentes no deseados se atenúan.

Para algunas aplicaciones la ganancia reducida puede no ser suficiente. En estos casos, la ganancia reducida puede ser compensada fácilmente por una potencia de bombeo más alta.

Si se bombeo adicionalmente la onda de bombeo que genera las pérdidas, entonces se puede cambiar la forma espectral de las pérdidas. Si ambas pérdidas, por ejemplo, una forma rectangular en el caso ideal, entonces se pueden conseguir reducciones de ancho de banda aún mayores sin la reducción de la ganancia.

5 La reducción en el ancho de banda SBS puede ser obtenido, por ejemplo, a partir de una única fuente con la ayuda de la estructura mostrada en la Figura 4. En este caso, la onda óptica que se genera por un dispositivo 14 para la generación de una onda óptica, preferiblemente un láser, se modula primeramente por un modulador 20 que aquí también se denomina el segundo modulador. Para ello es apropiado, por ejemplo, un modulador Mach - Zehnder que se hace funcionar en el llamado régimen de portadora suprimida. Si el modulador 20 es accionado con una señal sinusoidal Sinus 2, que es generado por un generador de onda sinusoidal 80, entonces se generan por ello 10 dos ondas ópticas a la distancia de la frecuencia de la señal sinusoidal de la portadora. La portadora misma está suprimida, si se utiliza un modulador Mach - Zehnder que se hace funcionar en el régimen de portadora suprimida. Si Sinus 2 se hace funcionar con la frecuencia de la distancia SBS en la fibra, las dos ondas generadas tienen una separación de frecuencias que corresponde a dos veces a la distancia de SBS. Para una señal opuesta en la fibra (SSMF) es exactamente de la frecuencia de la portadora, una onda generaría una pérdida, mientras que las otras 15 generarían una ganancia. Como un dispositivo 14 para la generación de una onda óptica, por ejemplo, es adecuado un diodo láser, y, en particular, un láser variable en la longitud de onda (sintonizable). Este permite desplazar de cualquier modo deseado el espectro de frecuencia de la ganancia SBS reducida en ancho de banda.

20 Con la ayuda de un acoplador 30, por ejemplo, un acoplador 50/50 que también se denomina en esta memoria segundo acoplador, las dos ondas se dividen en dos caminos. La trayectoria superior una de las dos ondas es filtrada por un filtro 44. Esto puede ser, por ejemplo, una rejilla de fibra Bragg, o alguna otra forma de un filtro óptico. Esta es la onda que produce la ganancia en la fibra (SSMF). La onda para las pérdidas se encuentra en la trayectoria inferior después de la filtración por el filtro 54. Dado que se requieren dos pérdidas, la onda resultante es modulada mediante un modulador 60, que se denomina en esta memoria también primer modulador, con otra señal sinusoidal Sinus 1, que es generado por un generador de onda sinusoidal 90. Dado que el modulador 60 en este ejemplo es un modulador Mach - Zehnder, que se hace funcionar en el régimen de portadora suprimida, se generan 25 dos ondas a una distancia de dos veces la frecuencia de la señal sinusoidal Sinus 1. La onda de bombeo para la ganancia de la trayectoria superior se une con los dos ondas para las pérdidas de la trayectoria inferior a través de un acoplador 70, preferiblemente un acoplador variable, que también se denomina en el presente documento como el primer acoplador, y luego se pueden alimentar, por ejemplo, en una fibra de 100, preferiblemente una fibra SSMF. El parámetro d de la ecuación anterior (2) se determina por la frecuencia de la señal sinusoidal (Sinus 1) y el parámetro m se determina por el acoplador 70. El parámetro m puede ser ajustado de forma alternativa o adicional por medio de amplificadores ópticos, tales como los amplificadores de fibra dopados con erbio, que se sitúan, por ejemplo, después del filtro 44 en el camino superior y/o el filtro 54 en la trayectoria inferior. Por lo tanto, con esta estructura 200 para reducir el ancho de banda SBS se puede ajustar de forma variable cualquier ancho de banda de 30 la Figura 1.

Una alternativa se muestra en la Figura 5. Aquí hay disponibles dos ondas ópticas de los dispositivos para proporcionar ondas ópticas 45 y 55, preferentemente diodos láser o láseres sintonizables. En donde se elegirá la distancia de frecuencia de modo que el primer dispositivo 45 genera la ganancia y el segundo dispositivo 55 genera una pérdida. Dos pérdidas se realizan de nuevo por una modulación con un modulador 60 que se denomina también 40 en esta memoria como el primer modulador, preferiblemente un modulador Mach - Zehnder que opera en "régimen de portadora suprimida". El modulador recibe la señal sinusoidal (Sinus 1) por un generador de onda sinusoidal 90. Aquí, también se puede volver a fijar de forma variable cualquiera ancho de banda de la Figura 1, debido a que el parámetro d se determina por la frecuencia de la señal sinusoidal (Sinus 1), y el parámetro m por el acoplador 70, preferiblemente un acoplador variable. El parámetro m puede ser ajustado alternativamente o adicionalmente en este ejemplo por medio de amplificadores ópticos, tales como los amplificadores de fibra dopados de erbio, que se sitúan detrás del primero y/o segundo dispositivo 45 o bien 55 para proporcionar las ondas ópticas. 45

La Figura 6 muestra los resultados experimentales de una ganancia reducida con una configuración de este tipo de alrededor de 3,4 MHz (curva A) en comparación con la ganancia de SBS natural de aproximadamente 20 MHz (curva B). Por lo tanto, con esta construcción para reducir el ancho de banda SBS en una fibra óptica 100 se puede 50 ajustar de forma variable cualquier ancho de banda de la Figura 1.

La presente invención se puede utilizar ventajosamente en la espectroscopia de alta resolución para señales ópticas y de terahercios y filtros de banda estrecha de ondas milimétricas y de terahercios. En la espectroscopia de alta resolución [2, 3] el ancho de banda SBS estrecho se utiliza para determinar el espectro desconocido de una señal 55 óptica. El mismo método también es adecuado para la determinación de alta precisión del espectro de las señales milimétricas y de terahercios [7]. Para este propósito, la señal se transforma desde el intervalo de radio o de terahercios hacia el intervalo óptico y luego mide por el método anterior el espectro. La resolución de la medición está directamente relacionada con el ancho de banda de la SBS y, por lo tanto, se puede aumentar de manera espectacular con el método propuesto. Una estructura posible se muestra en la Figura 7.

Un dispositivo para proporcionar una onda óptica 110, tal como un láser sintonizable, se utiliza para cambiar la longitud de onda de la onda óptica. Al igual que en el método anteriormente conocido, la onda de bombeo se 60

propaga en una dirección (aquí, de la izquierda a la derecha), y el espectro desconocido, que se introduce desde un dispositivo 700 a la fibra óptica 600, se propaga en la otra dirección (de la derecha a la izquierda), en la fibra óptica 600 (SSMF). En consecuencia, la onda de bombeo genera una ganancia a través de la SBS que amplifica la parte del espectro desconocido, que encaja en su ancho de banda. Esta se desacopla a través del circulador 500 hacia un detector 400, tal como un fotodiodo PD. Este detector determina su intensidad. Para la medición del espectro la longitud de onda de la onda óptica, que es generada por el dispositivo 110 para proporcionar una onda óptica, se cambia, de modo que la ganancia se desplaza por el espectro desconocido. La intensidad en el detector 400 dependiendo de la longitud de onda de la onda óptica, generada mediante el dispositivo 110 para proporcionar una onda óptica, determina entonces el espectro desconocido, que se puede detectar y representar con la unidad de control y evaluación 300. En contraste con el método ya conocido, aquí la reducción de ancho de banda 200 (por ejemplo, corresponde el área de trazos en la Figura 4) asegura el ancho ajustable de la ganancia y aumentando así el aumento de la posible resolución.

La medición experimental de una señal modulada en fase con 10MHz se muestra en la Figura 8. La señal medida con el ancho de banda SBS natural se muestra como una línea discontinua. Dado que el ancho de banda SBS natural con 20 MHz es mucho mayor que la distancia de las bandas laterales de la señal, solo se puede ver un espectro ancho sin ninguna estructura fina. En este caso el ancho corresponde a la resolución del espectrómetro y no al espectro. Como una línea continua se muestra una medición de la misma señal, sin embargo, ahora con una ganancia SBS reducida a 8MHz por el método aquí propuesto. Notablemente destacan las bandas laterales esperadas de la señal en + -10 y +20 MHz y se puede observar la estructura fina del espectro. La medición presentada aquí demuestra claramente las propiedades mejoradas cuando se utiliza el método según la invención. Se pueden conseguir mejoras significativas adicionales en la resolución y el rango dinámico.

La misma estructura se puede utilizar para cortar componentes de frecuencia muy estrechos de un espectro óptico o bien para manipular un espectro [4]. También señales milimétricas y de terahercios se pueden filtrar o bien cambiar con alta resolución con el anterior método, cuando la señal se transforma, se modifica y se transforma de nueva forma inversa desde frecuencia de radio hacia el intervalo óptico. Las ventajas de hacer esto en el intervalo óptico se encuentran en las bajas pérdidas, el ancho de banda alto, la inmunidad a la interferencia, facilidad de ajuste y facilidad de reconfiguración [10]. El método aquí descrito permite mejorar drásticamente la resolución de estos filtros.

La presente invención también se puede usar ventajosamente en el cuasi almacenamiento óptico. En el caso del cuasi almacenamiento óptico (QLS) se cortan componentes espectrales equidistantes, de banda estrecha a partir del espectro de un paquete óptico [5, 6]. De acuerdo con las leyes de la transformada de Fourier del escaneo en la región espectral resulta una copia de la señal en el dominio del tiempo. Una de estas copias se corta entonces en el dominio del tiempo, de modo que el sistema completo actúa como una memoria. El tiempo máximo de almacenamiento en este caso es inversamente proporcional al ancho de banda de los componentes espectrales cortados. El método propuesto, por tanto, puede aumentar drásticamente el tiempo máximo de almacenamiento de los QLS. La estructura correspondiente se muestra en la Figura 9:

En este caso se realiza la QLS como sistema que ya se conoce. Para este propósito, se genera un peine de frecuencia por un dispositivo 39 para la generación de peine de frecuencia y en el sistema QLS 49 se lleva a cabo una multiplicación de este peine con el espectro del paquete. Aquí, sólo se reduce el ancho de banda de las piezas recortadas, lo que aumenta el tiempo máximo de almacenamiento. Esto se hace con la ayuda de un dispositivo 29 de acuerdo con el área rayada 200 mostrado en la Figura 4 para la reducción de ancho de banda y un dispositivo 19 para proporcionar una onda óptica.

Por la invención descrita en el presente documento se puede reducir de forma sencilla y de forma sintonizable el ancho de banda de la SBS. Esto significa una gran mejora para todas las aplicaciones basadas en él, tanto en el intervalo óptico como también en el intervalo de ondas milimétricas y de terahercios. En consecuencia, se incrementa la resolución del espectrómetro y el filtro, y se puede aumentar el tiempo máximo de almacenamiento para los paquetes ópticos.

Justo las señales de ondas milimétricas y de terahercios se pueden manipular con pérdida mucho menor y mayor ancho de banda en el intervalo óptico que el intervalo eléctrico. A la misma hora el intervalo óptico proporciona inmunidad a las interferencias, facilidad de ajustes y una fácil reconfiguración.

50

literatura

- [1] T. Schneider, *Nonlinear Optics in Telecommunications*, Springer Nueva York (2004)
- [2] T. Schneider, *Electrón. Lett.* 41, 1234 (2005)
- [3] J. M. S. Domingo et al., *IEEE Phot. Technol. Lett.* 17, 855 (2005)
- 5 [4] A. R. Chraplyvy, R. W. Tkach, *Electrón. Lett.* 22, 1084 (1986)
- [5] S. Preußler, K. Jamshidi, A. Wiatrek, R. Henker, C. Bunge y T. Schneider, *Opt. Express* 17, 15790 (2009)
- [6] T. Schneider, K. Jamshidi, S. Preußler, *JLT* 28, 2586 (2010)
- [7] K. Xu et al. *Laser Physics* 20, 820 (2010)
- [8] A. Yeniay, J. Delavaux y J. Toulouse, *JLT* 20, 1425 (2002)
- 10 [9] T. Schneider, R. Henker, K. Lauterbach, M. Junker *Opt. Express* 16, 8280 (2008)
- [10] J. Capmany et al., *JLT* 24, 201 (2006)

REIVINDICACIONES

1. Método para reducir el ancho de banda de dispersión de Brillouin estimulada (SBS) en la frecuencia ω_0 en una fibra óptica, que comprende un desplazamiento de Brillouin ω_B natural, que comprende las etapas de: proporcionar una primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ con un primer dispositivo, dirigir la primera onda óptica a una primera entrada de un primer acoplador, que tiene una salida, que se puede conectar a dicha fibra óptica, proporcionar una segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$ con un segundo dispositivo, pasar la segunda onda óptica a un primer modulador, transformar la segunda onda óptica con el primer modulador en una tercera onda óptica desplazada por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ hacia arriba de la frecuencia $\omega'_P + \delta/2$, y una cuarta onda óptica desplazada por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ hacia abajo de la frecuencia $\omega'_P - \delta/2$, pasar la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica a una segunda entrada del primer acoplador, en el que el primer acoplador emite la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica en su salida, caracterizado por: ajuste de la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de manera que: la relación d de la distancia de frecuencia δ a ancho de banda de Brillouin γ_0 se encuentra en el intervalo $0,3 \leq d \leq 0,9$, y en la conexión de la fibra óptica en la salida del primer acoplador en la fibra óptica, la superposición del espectro de la ganancia SBS generada por la primera onda óptica, con un máximo de ganancia g_0 y el espectro de la pérdida SBS generada por la tercera onda óptica con un máximo de pérdida g_1 y del espectro de la pérdida SBS generada por la cuarta onda óptica con un máximo de pérdida g'_1 , proporciona un espectro total que presenta un ancho de banda y menor que el ancho de banda de Brillouin γ_0 natural.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende la etapa adicional de: ajuste de la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la tercera onda óptica y la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la cuarta onda óptica, de manera que se ajusta una proporción determinada m del máximo de ganancia g_0 al máximo de pérdida g_1 o bien g'_1 y el espectro completo presenta un cierto ancho de banda γ .
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se establece una relación m del máximo de ganancia g_0 al máximo de pérdida g_1 en el intervalo de $0,1 \leq m \leq 1,0$, preferiblemente $0,3 \leq m \leq 0,8$.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se realiza el proporcionamiento de la primera onda óptica y proporcionamiento de la segunda onda óptica con los siguientes pasos: proporcionar una onda óptica de frecuencia ω_0 y pasar dicha onda óptica a un segundo modulador que es capaz de transformar una onda óptica de frecuencia ω_0 en una señal que presenta la primera onda óptica de la frecuencia de $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ y la segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$, pasar dicha señal de dicho segundo modulador a un segundo acoplador, que divide la potencia de la señal en una primera y una segunda parte y pasar la primera componente de señal a un primer filtro a través del cual la primera onda óptica puede pasar, y pasar dicha segunda componente de señal a un segundo filtro a través del cual la segunda onda óptica puede pasar.
5. Método de filtración óptica de banda estrecha que comprendiendo los pasos: generación la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica por un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, alimentar la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda óptica en un circulador, en el que el circulador está conectado a una conexión a un primer extremo de una fibra óptica que tiene un desplazamiento de Brillouin ω_B natural y en el que el circulador comprende un conector adicional y es adecuado para desacoplar el intervalo de frecuencia de una señal, que se amplifica en la fibra óptica por la SBS, alimentación de una señal a filtrar a un segundo extremo de la fibra óptica.
6. Método para el filtrado de banda estrecha en el rango de ondas milimétricas o de terahercios que comprende las etapas de: transformación de una señal del intervalo de ondas milimétricas o de terahercios en el intervalo óptico, filtrado de la señal transformada en el intervalo óptico con el método según la reivindicación 5, y transformación de la señal filtrada en el intervalo de ondas milimétricas o de terahercios.
7. Método para la espectroscopia óptica de alta resolución con filtros ópticos de un intervalo de banda estrecha de un espectro óptico con el método de acuerdo con la reivindicación 5 y que comprende las etapas de: control de la frecuencia de la onda óptica, detección de la señal filtrada con un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión del circulador, evaluación de la intensidad medida con el detector de la señal desacoplada dependiendo de la frecuencia de la ondas óptica; o que comprende las etapas de: control de la frecuencia de la primera onda óptica y la frecuencia de la segunda onda óptica, detección de la señal filtrada con un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión del circulador, evaluación de la intensidad medida con el detector de la señal desacoplada en función de la frecuencia de la primera o segunda onda óptica.
8. Método para la espectroscopia de alta resolución en el intervalo de ondas milimétricas o de terahercios con: transformación de una señal de onda milimétrica o de terahercios en el intervalo óptico, realizar un espectroscopio de la señal transformada usando el método de acuerdo con la reivindicación 7.

- 5 9. Método para el cuasi almacenamiento óptico que comprende las etapas de: generación de un espectro de ganancia de banda estrecha con un filtro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6, generación de un peine de ganancia de banda estrecha del espectro de ganancia de banda estrecha por un generador de peine de frecuencia, alimentación del peine de ganancia en un sistema para el cuasi almacenamiento óptico.
- 10 10. Dispositivo para reducir el ancho de banda de dispersión de Brillouin estimulada (SBS) en la frecuencia ω_0 en una fibra óptica, que comprende un desplazamiento de Brillouin ω_B natural, en particular, para realizar un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende: un primer dispositivo para proporcionar una primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$, un primer acoplador que tiene una primera entrada a la que se conduce la primera onda óptica, y una salida que está conectada a dicha fibra óptica, un segundo dispositivo para proporcionar una segunda onda óptica de la frecuencia $\omega_0 = \omega'_P - \omega_B$, un primer modulador hacia el cual se conduce la segunda onda óptica, en el que el primer modulador transforma la segunda onda óptica en una tercera onda óptica desplazada hacia arriba por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de la frecuencia $\omega'_P + \delta/2$ y una cuarta onda óptica desplazada hacia abajo por la diferencia de frecuencia $\delta/2$ de la frecuencia $\omega'_P - \delta/2$, en el que dicha tercera y cuarta onda óptica se alimentan a una segunda entrada del primer acoplador, y el primer acoplador emite la primera onda óptica, la tercera onda óptica y la cuarta onda ópticas en su salida, caracterizado porque se configura un dispositivo para establecer una diferencia de frecuencia $\delta/2$ de manera que la relación d de la distancia de frecuencia δ hacia el ancho de banda de Brillouin γ_0 natural se sitúa en el intervalo $0,3 \leq d \leq 0,9$, y al conectar de la fibra óptica en la salida del primer acoplador en la fibra óptica la superposición de la ganancia SBS generada por la primera onda óptica con un máximo de ganancia g_0 y el espectro de la pérdida SBS generada por la tercera onda óptica con un máximo de pérdida g_1 y el espectro de la pérdida SBS generada por la cuarta onda óptica con un máximo de pérdida g'_1 proporciona un espectro integro que ofrece un ancho de banda γ y menor que el ancho de banda γ_0 natural de un espectro.
- 15 11. Dispositivo según la reivindicación 10, en el que el primer acoplador es variable y/o con al menos un amplificador óptico ajustable, preferentemente un amplificador de fibra dopado con erbio, por el que la primera y/o segunda, así como la tercera onda óptica se puede conducir a la primera entrada o bien a la segunda entrada del primer acoplador, para ajustar la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la tercera onda óptica y la relación de la intensidad de la primera onda óptica a la intensidad de la cuarta onda óptica.
- 20 12. Dispositivo según la reivindicación 10 o 11, en el que el dispositivo que está configurado para ajustar la diferencia de frecuencia $\delta/2$, tiene un generador de onda sinusoidal cuya frecuencia es ajustable y que emite una señal de onda sinusoidal al primer modulador, en donde el primer modulador se realiza preferiblemente por medio de un modulador Mach - Zehnder, que es operado en el "régimen de portadora suprimida".
- 25 13. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, que comprende: un dispositivo para proporcionar una onda óptica de frecuencia ω_0 , un segundo modulador que recibe la onda óptica y es adaptado para transformar la onda óptica de frecuencia ω_0 en una señal que presenta la primera onda óptica de la frecuencia $\omega_P = \omega_0 + \omega_B$ y la segunda onda óptica de la frecuencia $\omega'_P = \omega_0 - \omega_B$, un segundo acoplador que divide la señal transformada en una primera y una segunda componente de señal, y un primer filtro a través del cual la primera onda óptica puede pasar, y un segundo filtro a través del cual la segunda onda óptica puede pasar, en el que preferiblemente el dispositivo para proporcionar la ondas ópticas es sintonizable con respecto a la frecuencia ω_0 , y/o preferiblemente con un dispositivo para ajustar la frecuencia ω_B , que tiene preferiblemente un generador de onda sinusoidal cuya frecuencia es ajustable y que emite una señal de onda sinusoidal al segundo modulador, en donde dicho segundo modulador se realiza preferiblemente por medio de un modulador Mach - Zehnder que es operado en el "régimen de portadora".
- 30 14. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que el dispositivo para proporcionar una onda óptica de frecuencia ω_0 , el primer dispositivo para proporcionar de la primera onda óptica y/o el segundo dispositivo para proporcionar la segunda onda óptica comprende un diodo láser o un láser.
- 35 15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 10 a 14, en donde la conexión entre el primer dispositivo para proporcionar la primera onda óptica y la primera entrada del primer acoplador y/o la conexión entre el segundo dispositivo para proporcionar la segunda onda óptica al primer modulador, y/o la conexión entre el primer modulador y la segunda entrada del primer acoplador y/o la conexión entre el segundo modulador y el segundo acoplador y/o la conexión entre el segundo acoplador y el primer filtro y/o la conexión entre el segundo acoplador y el segundo filtro comprenden en cada caso uno una fibra óptica.
- 40 16. Filtro óptico de banda estrecha que comprende: un láser sintonizable que genera una onda óptica de frecuencia ω_0 , un dispositivo según una de las reivindicaciones 13 a 15 que está conectado al láser sintonizable y recibe la onda óptica de frecuencia ω_0 , un circulador que está acoplado a una salida del
- 45 50 55

- 5 dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, y en el que el circulador se puede conectar a una conexión a un primer extremo de una fibra óptica que tiene un desplazamiento de Brillouin ω_0 natural, en donde se puede alimentar una señal óptica en un segundo extremo de la fibra óptica, y en el que el circulador comprende una conexión adicional y es adecuado para desacoplar el intervalo de frecuencia de la señal que es amplificado en la fibra óptica por la SBS.
- 10 17. Filtro de banda estrecha de ondas milimétricas o de terahercios con un filtro óptico según la reivindicación 16, que comprende: un dispositivo para transformar una señal desde el intervalo de ondas milimétricas o de terahercios en el intervalo óptico, en el que la señal transformada en el intervalo óptica se filtra por medio del filtro óptico de banda estrecha, y un dispositivo para transformar la señal filtrada al intervalo de ondas milimétricas o de terahercios.
- 15 18. Espectroscopio óptico de alta resolución con el filtro óptico de acuerdo con la reivindicación 16, que comprende: un detector, preferentemente un fotodiodo, que está conectado a la otra conexión del circulador, una unidad de control y evaluación que está conectada de forma eléctrica con el láser sintonizable, el dispositivo según una cualquiera de la reivindicaciones 13 a 15 y el detector, en el que la unidad de control y evaluación controla la frecuencia ω_0 de la onda óptica emitida por el láser y evalúa la intensidad medida por el detector de la señal desacoplada.
- 20 19. Espectroscopio de alta resolución para el intervalo de ondas milimétricas o de terahercios con un espectroscopio óptico la alta resolución espectroscopio según la reivindicación 18, que comprende además un dispositivo para transformar una señal de ondas milimétricas o de terahercios en el intervalo óptico.
- 20 20. Dispositivo para el cuasi almacenamiento óptico con un filtro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 16 o 17 con un dispositivo para generar un peine de ganancia de banda estrecha desde la señal filtrada y un sistema para el cuasi almacenamiento óptico.

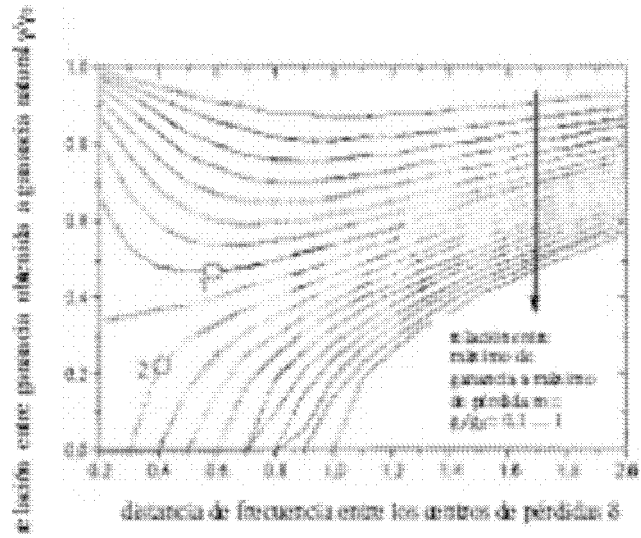


Fig. 1

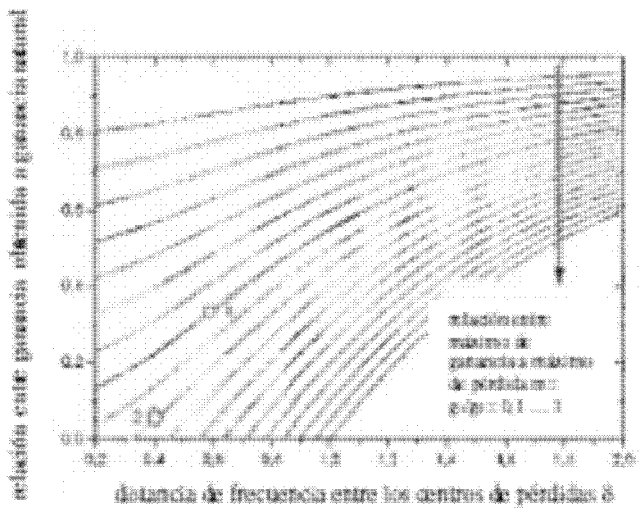


Fig. 2

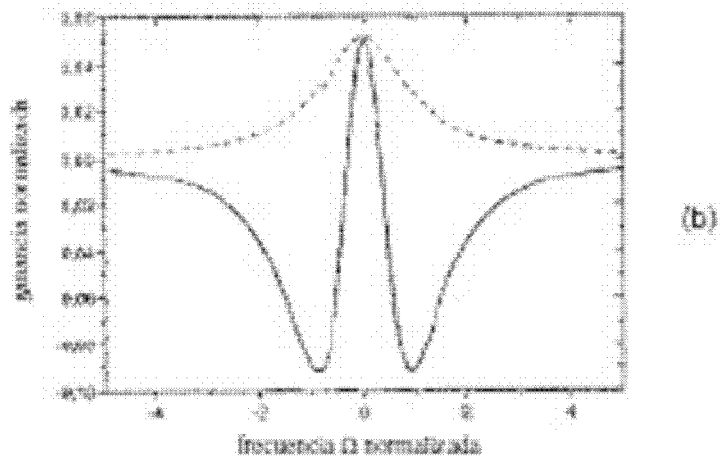
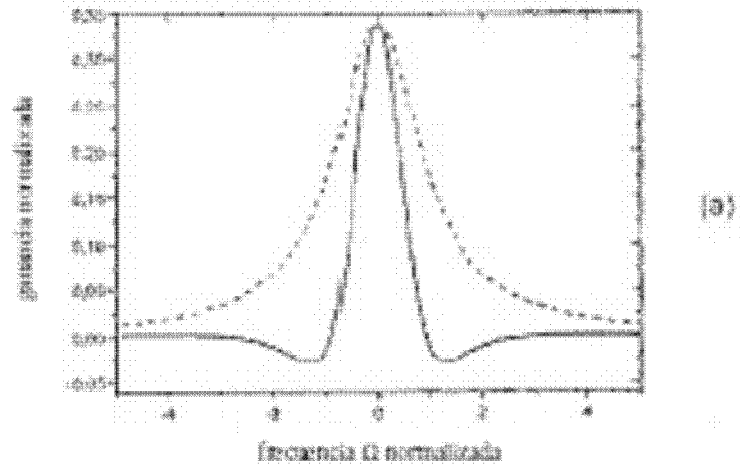


Fig. 3

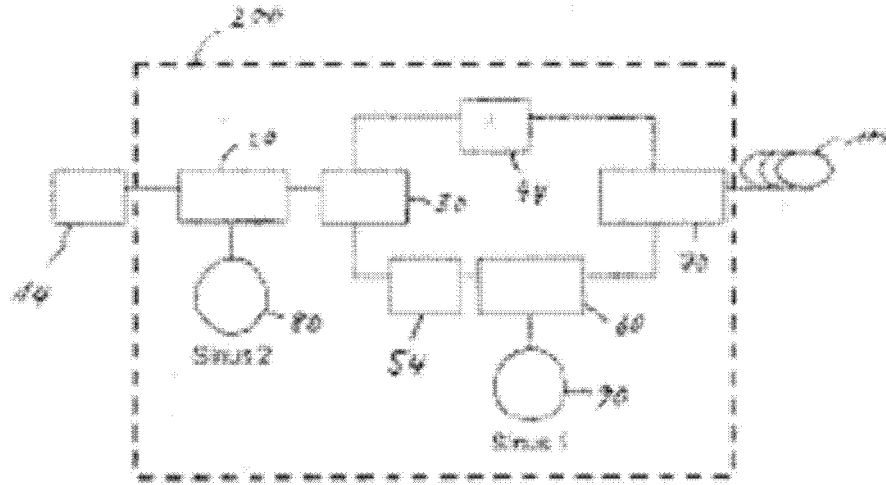


Fig. 4

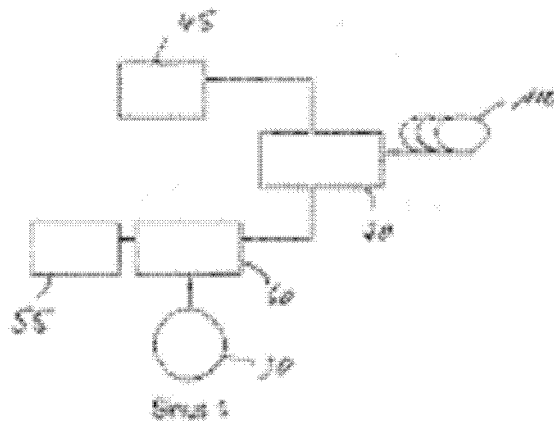


Fig. 5

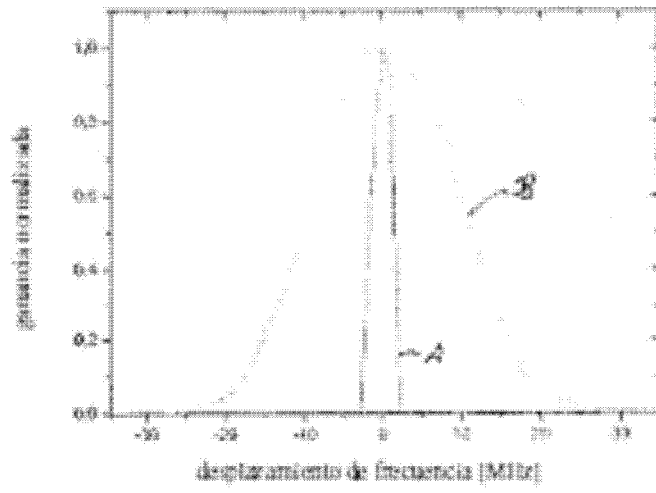


Fig. 6

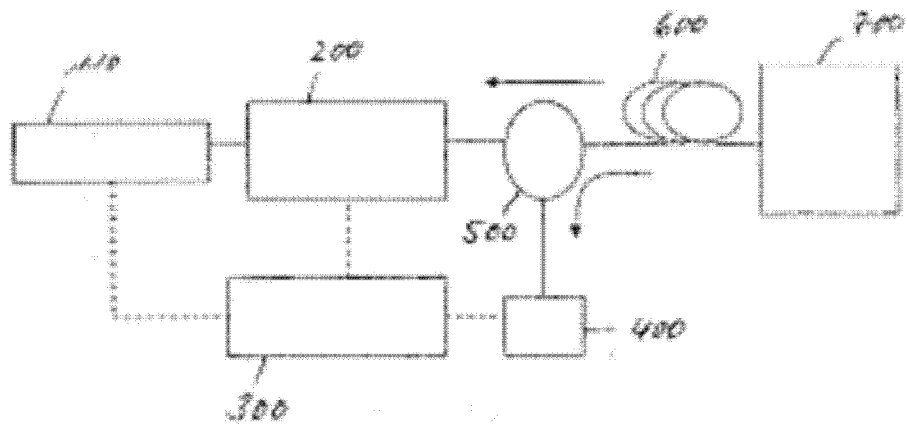


Fig. 7

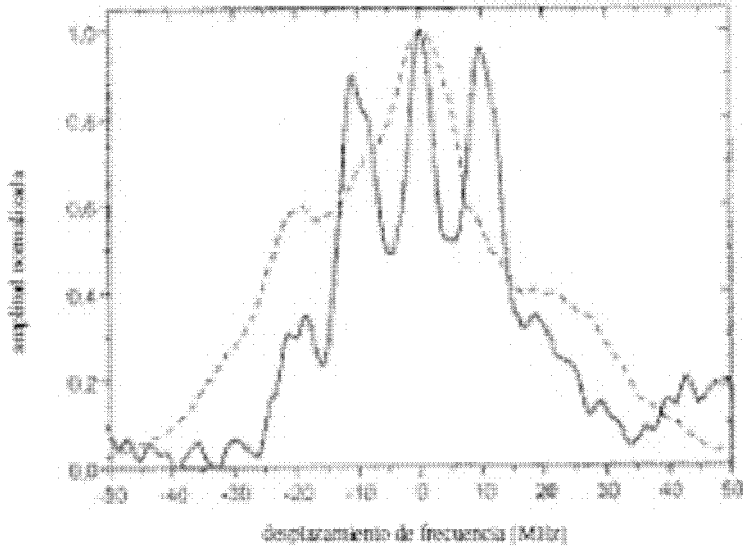


Fig. 8

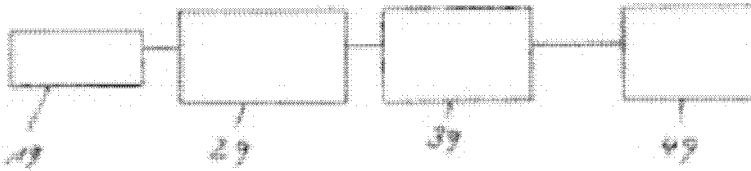


Fig. 9