

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 488**

21 Número de solicitud: 201200422

51 Int. Cl.:

H01S 5/40

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

18.04.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

20.11.2013

Fecha de la concesión:

15.04.2014

45 Fecha de publicación de la concesión:

24.04.2014

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2013/000102

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**VALLE GUTIERREZ, Angel Alberto y
QUIRCE TEJA, Ana**

54 Título: **Sistema de generación óptica de señales**

57 Resumen:

Sistema de generación óptica de señales, que comprende un láser esclavo (11, 21) y al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23), estando dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) configurados para excitar a dicho láser esclavo (11, 21). El láser esclavo (11, 21) es un láser multimodo, estando el sistema configurado para que dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) exciten al menos dos modos de dicho láser multimodo (11, 21) obteniéndose una señal cuya frecuencia está comprendida en el rango que va desde las frecuencias de microondas a las decenas de teraherzios.

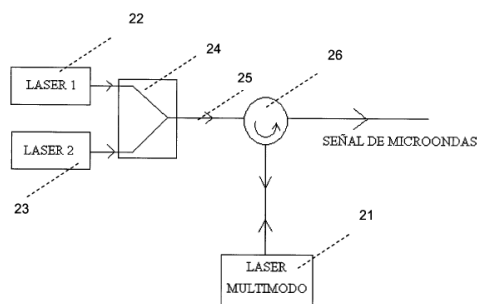


FIGURA 2

ES 2 430 488 B2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA DE GENERACIÓN ÓPTICA DE SEÑALES

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención pertenece al campo de las telecomunicaciones, y más concretamente, a la generación óptica de señales, preferentemente cuyas frecuencias van desde las microondas hasta las decenas de teraherzios.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Para generar señales de frecuencias relativamente altas, tales como frecuencias de microondas, existen dos formas: la generación electrónica y la generación óptica. La generación óptica de señales de microondas ha despertado un gran interés en los últimos años.

15 En la actualidad, existen varias formas de generar ópticamente señales de microondas:

- a) modulación directa
- b) técnica heterodina óptica
- c) modulación externa
- 20 d) Láseres de semiconductor en modo bloqueado (en inglés Mode-Locked Semiconductor Laser)
- e) Osciladores opto-electrónicos (OEOs)

25 Sin embargo, cada una de estas técnicas presenta ciertas limitaciones como pueden ser: la complejidad de la electrónica, una sintonizabilidad pobre, ancho de línea de microondas estrecho, grandes pérdidas ópticas ó el valor de la máxima frecuencia de microondas generada. En concreto, este último parámetro es importante porque fija el límite de ancho de banda de sistemas de transferencias de datos a alta velocidad como los utilizados por ejemplo en radio sobre fibra.

30

Otra técnica adicional, es la inyección de luz de un láser en un láser semiconductor monomodo (X. Q. Qi, and J. M. Liu, “*Photonic microwave applications of the dynamics of semiconductor lasers*”, IEEE J. Sel. Top. In Quantum Electron., vol.17, no. 5, pp. 1198-1211, 2011), o en un láser semiconductor multimodo (A. Valle, I. Garate, K. Panajotov, and M. Sciamanna, “*Transverse mode switching and locking in vertical-cavity surface-emitting lasers subject to orthogonal optical injection*”, IEEE J. Quantum Electron, vol. 43, no. 4, pp. 322-333, Apr. 2007).

Esta técnica presenta las ventajas de no tener pérdidas ópticas y de contar con una electrónica simple, una sintonizabilidad buena y un ancho de línea de microondas moderado. Además, es posible cambiar la frecuencia de la señal de microondas generada, sin embargo la máxima frecuencia está dada por el rango espectral libre del láser esclavo, siendo esta frecuencia máxima de unos 100 Ghz. Para aumentar la frecuencia de la señal de microondas hay que alejar la frecuencia de la inyección de la del modo. No obstante, si se aleja mucho se excita un segundo modo cercano a la inyección y desaparece el primero, dejando de haber emisión de microondas a alta frecuencia.

Posteriormente, se presentó una nueva técnica basada en la inyección de luz de dos láseres en un láser semiconductor monomodo (Y. S. Juan, F. Y. Lin, “*Photonic generation of broadly tunable microwave signals utilizing a dual-beam optically injected semiconductor laser*”, IEEE Phot. Journal, vol. 3, no. 4, pp. 644-650, Aug. 2011), (Y. C. Chen, Y. S. Juan, and F. Y. Lin, “*High-frequency microwave signal generation in a semiconductor laser under double injection locking*”, Proc. of SPIE, vol. 7936, 793609, 2011).

La utilización de dos láseres de inyección en lugar de un único láser presenta la ventaja de mayor sintonizabilidad de la señal de microondas generada, ya que ésta aparece a una frecuencia dada por la diferencia de frecuencias entre los dos láseres de la inyección. Sin embargo, la máxima frecuencia obtenida con esta técnica no supera los aproximadamente 120 Ghz lo cual, aunque es mayor que la frecuencia obtenida con un

único láser de inyección, queda lejos de cubrir las necesidades actuales de conseguir frecuencias mayores.

5 **RESUMEN DE LA INVENCION**

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un sistema de generación óptica de señales que permite aumentar la frecuencia máxima de las señales hasta las decenas de teraherzios.

10 Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de generación óptica de señales, que comprende: un láser esclavo y al menos dos láseres maestros, estando dichos al menos dos láseres maestros configurados para excitar a dicho láser esclavo. El láser esclavo es un láser multimodo, estando el sistema
15 configurado para que dichos al menos dos láseres maestros exciten al menos dos modos de dicho láser multimodo, obteniéndose una señal cuya frecuencia está comprendida en el rango que va desde las frecuencias de microondas a las decenas de teraherzios.

20 En una realización preferente, el láser esclavo multimodo es excitado por dos láseres maestros.

Preferentemente, el láser esclavo multimodo es un láser VCSEL multimodo.

25 Preferentemente, dichos al menos dos láseres maestros están conectados al láser esclavo multimodo mediante fibra óptica. En este caso, el sistema comprende preferentemente un medio de acoplamiento para acoplar las señales procedentes de dichos láseres maestros y transmitir la señal resultante al láser esclavo multimodo. Además, el sistema comprende preferentemente un circulador óptico para transmitir la
30 señal procedente de los láseres maestros al láser esclavo multimodo, y transmitir la señal generada por dicho láser esclavo multimodo a una tercera puerta del circulador.

Alternativamente, dichos al menos dos láseres maestros están conectados al láser esclavo multimodo mediante el espacio libre y medios optomecánicos.

5 Preferentemente, la potencia de los láseres maestros está comprendida entre aproximadamente 1 mW y 1 kW, y más preferentemente entre aproximadamente 1 mW y 10 W.

10 Preferentemente, la potencia del láser esclavo multimodo está comprendida entre aproximadamente 0.1 mW y 10 W, y más preferentemente entre aproximadamente 0.1 mW y 100 mW.

15 Preferentemente, las longitudes de onda de los láseres maestros y esclavo están comprendidas entre aproximadamente 380 nm y 10 μm , y más preferentemente entre aproximadamente 380 nm y 2,5 μm .

20 Preferentemente, la diferencia de frecuencias ópticas entre los láseres maestros está comprendida entre aproximadamente 1 GHz y 20 THz, y más preferentemente entre aproximadamente 1 GHz y 5 THz.

25 Preferentemente, la diferencia de frecuencias ópticas entre modos adyacentes del láser esclavo multimodo está comprendida entre aproximadamente 10 GHz y 20 THz, y más preferentemente entre aproximadamente 10 GHz y 2 THz.

30 Preferentemente, la diferencia de frecuencias ópticas entre el laser maestro de menor frecuencia y el modo de menor frecuencia del láser esclavo multimodo, debe estar comprendida entre aproximadamente -20 GHz y 20 GHz, y más preferentemente entre aproximadamente -5 GHz y 5 GHz.

Las ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

30

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La figura 1 muestra un esquema de un sistema de acuerdo con una primera realización de la invención.

La figura 2 muestra un esquema de un sistema de acuerdo con una segunda realización de la invención.

La figura 3 muestra una comparativa de la potencia y de los espectros de radiofrecuencia ($|P(f)|^2$) y ópticos ($|E(f)|^2$) de un láser esclavo, sujeto a la inyección de dos láseres maestros, cuando dicho láser esclavo es monomodo o multimodo.

La figura 4 muestra una comparativa de la amplitud pico a pico (A_{pp}) de la potencia total en función de la frecuencia de la señal generada (Δf), obtenida con un láser esclavo multimodo o con un láser esclavo monomodo, cuando dicho láser esclavo es excitado por dos láseres maestros, y para dos niveles de potencia de inyección.

La figura 5 muestra la frecuencia máxima ($\Delta f_{\max}$) que se puede generar en un láser esclavo monomodo o en un láser esclavo multimodo en función de la potencia de inyección de dos láseres maestros ($P_{\text{iny},1}$), para una amplitud pico a pico de la señal de 0.94 mW.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características

técnicas, aditivos, componentes o pasos.

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

Además, se entiende por láser maestro el láser que excita y por láser esclavo el láser que es excitado.

Las características del sistema de la invención, así como las ventajas derivadas de las mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia a los dibujos antes enumerados.

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativas de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

A continuación se describe el sistema de la invención para la generación óptica de señales, preferentemente en el rango comprendido desde las microondas a las decenas teraherzios, de acuerdo con el esquema del mismo de la figura 1.

Los inventores han observado sorprendentemente que, en contra de lo sugerido en el estado de la técnica, excitar dos modos de un laser esclavo en lugar de un único modo, aporta una serie de ventajas adicionales tanto en frecuencia como en amplitud. Todo esto se detalla a continuación.

El sistema de la figura 1 comprende un láser esclavo multimodo 11 cuya potencia puede variar dentro del rango de las potencias emitidas por los láseres multimodo, esto es, entre aproximadamente 0.1 mW y 10 W, y preferentemente entre aproximadamente 0.1 mW y 100 mW.

5

La diferencia de frecuencias ópticas entre modos adyacentes de dicho láser multimodo 11, debe estar comprendida dentro del rango que se puede obtener con los láseres multimodo, esto es, entre aproximadamente 10 Ghz y 20 THz, y más preferentemente entre aproximadamente 10 Ghz y 2 THz, estando dicho rango limitado porque la diferencia de frecuencias entre modos adyacentes no puede ser mayor que la frecuencia máxima de la señal.

10

El láser esclavo multimodo 11 puede ser cualquier láser multimodo convencional. Por ejemplo, puede ser un láser VCSEL multimodo.

15

Dicho láser multimodo 11, está sometido a la inyección de luz de al menos dos láseres maestros, con potencias comprendidas entre aproximadamente 1 mW y 1 kW. Este rango corresponde a valores de la potencia de los láseres maestros de aproximadamente entre 10 y 100 veces el rango de potencias emitidas por el láser multimodo. Preferentemente, las potencias de dichos al menos dos láseres de inyección están comprendidas entre aproximadamente 1mW y 10 W, rango de valores apropiado para lograr un aumento de la frecuencia máxima de la señal.

20

Preferentemente el laser multimodo está sometido a la inyección de dos láseres maestros 12, 13, siendo en dicho caso la diferencia de frecuencias ópticas entre dichos láseres maestros 12, 13, igual a la frecuencia de la señal generada. Por tanto, la diferencia de frecuencias ópticas entre dichos dos láseres maestros está comprendida entre aproximadamente 1 Ghz y 20 THz, y preferentemente entre aproximadamente 1 Ghz y 5 THz.

25

30

La diferencia de frecuencias ópticas entre el laser maestro de menor frecuencia y el modo de menor frecuencia del láser esclavo multimodo 11, debe estar comprendida entre aproximadamente -20 Ghz y 20 Ghz, y preferentemente entre -5 Ghz y 5 Ghz, evitando así la aparición de inestabilidades en la señal.

5

Un experto en la materia entenderá que las longitudes de onda de los láseres 11, 12, 13 han de ser cercanas, estando comprendidas entre aproximadamente 380 nm (comienzo del visible) y 10 μm (final del infrarrojo medio), y preferentemente entre aproximadamente 380 nm y 2,5 μm (final del infrarrojo cercano). La generación óptica de señales no depende del valor alrededor del cual se encuentran las longitudes de onda de los láseres 11, 12 y 13, por tanto se espera que funcione independientemente de la longitud de onda de los láseres, siempre que éstas sean cercanas. El límite superior viene fijado porque la frecuencia máxima de la señal generada (decenas de Thz) ha de ser claramente menor que la frecuencia de la portadora óptica, que es de 120 Thz para una longitud de onda de 2,5 μm y de 30 Thz para una longitud de onda de 10 μm .

10

15

Los láseres maestros 12, 13 inyectan sus respectivas señales al láser multimodo 11.

La figura 2 muestra una posible implementación del esquema de la figura 1 en el que los láseres maestro y esclavo se conectan mediante fibra óptica. El sistema incluye opcionalmente un medio de acoplamiento 24 que acopla las señales procedentes de los láseres maestros 22, 23, y transmite la señal resultante de dichos láseres maestros 22, 23 al láser esclavo multimodo a través de la fibra. Alternativamente el medio de transmisión entre los láseres puede ser el espacio libre en vez de fibra óptica (no ilustrado). En ese caso, un experto en la materia entenderá que deben utilizarse elementos optomecánicos convencionales tales como: lentes, separadores de haz, etc...

20

25

Además, el sistema comprende opcionalmente un circulador óptico 26, en donde toda la señal óptica procedente de los dos láseres maestros 22, 23, se transmite al láser esclavo multimodo 21, y la señal generada por dicho láser multimodo se transmite a

30

una tercera puerta del circulador, de acuerdo con el funcionamiento convencional de un circulador óptico.

5 Cuando la potencia de los láseres maestros 12, 13, 22, 23 es suficientemente alta, el láser esclavo multimodo 11, 21 pasa a emitir a las frecuencias de los láseres maestros, generando una señal con una frecuencia dada por la separación de frecuencias ópticas entre los láseres maestros Δf , y con una amplitud de pico a pico del mismo orden de magnitud que el promedio de la señal. Un experto en la materia entenderá que una potencia de inyección suficientemente alta, es aquella que provoca que el láser esclavo
10 pase a emitir a la frecuencia de los láseres maestros.

Por ejemplo, comparándolo con el sistema del estado de la técnica que alcanza mayores frecuencias, es decir aquel en el que un láser monomodo es excitado por dos láseres de inyección, el de la invención alcanza una amplitud mucho mayor en el rango
15 comprendido entre las microondas y las decenas de teraherzios. La razón es que en el láser multimodo, el modo de mayor frecuencia se excita con una amplitud mucho mayor que la del primer modo, mientras que en el láser monomodo la excitación de un segundo modo no es posible ya que no tiene potencia. Por tanto, fijada una amplitud de la señal obtenida, la frecuencia máxima de señal que se puede obtener con el sistema de
20 la invención, es considerablemente mayor, consiguiendo generar señales del orden de los teraherzios. Esto puede apreciarse muy claramente en los ejemplos específicos que se presentan más adelante.

Esto demuestra que, mientras que para la inyección de luz de un láser maestro en un
25 láser esclavo monomodo, la excitación de un segundo modo perjudica la generación de señales, tal y como analizaron los autores X. Q. Qi y J. M. Liu en su artículo “*Photonics Microwave Applications of the Dynamics of Semiconductor Lasers*”, para la inyección de luz de dos láseres maestros en un láser esclavo multimodo, la excitación del segundo modo favorece la generación de señales. Los inventores han probado así
30 que excitando dos modos, a diferencia de Xiao-Qiong Qi y Jia-Ming Liu en su artículo, que imponía la excitación de un único modo hasta el punto de disuadir excitar más de

uno, se aumenta considerablemente la amplitud de la señal resultante para cualquier rango de frecuencias.

Ejemplos

5

A continuación se muestra un ejemplo concreto de realización de la invención y los resultados obtenidos.

10

El láser esclavo multimodo utilizado es un láser de semiconductor de cavidad vertical (VCSEL) de 12 μm de diámetro, emitiendo a una longitud de onda de 850 nm y con una potencia de 0.4 mW. La diferencia de frecuencias ópticas entre los modos de dicho láser multimodo es de 63 Ghz. El primer modo es el modo transversal fundamental del VCSEL (LP_{01}) y el segundo modo es el modo transversal de orden superior (LP_{11}).

15

Dicho láser esclavo, está sometido a la inyección de luz de dos láseres maestros de semiconductor sintonizables, con longitud de onda cercana a los 850 nm y con una potencia de 1,2 mW. La diferencia de frecuencias ópticas entre dichos láseres de inyección es de 100 Ghz.

20

La frecuencia de los láseres maestros es 0 y 100 Ghz con respecto a la frecuencia óptica correspondiente a la longitud de onda de 850 nm (cero de frecuencia en este ejemplo), es decir, la diferencia de frecuencias ópticas entre el láser maestro de inyección de menor frecuencia y el modo de menor frecuencia del láser esclavo multimodo es de 0 Ghz.

25

Las señales procedentes de los dos láseres maestros se acoplan, por medio de un acoplador, y la señal resultante se transmite al láser esclavo multimodo a través de una fibra óptica. Además, el sistema comprende un circulador óptico, en dónde toda la señal óptica procedente de los dos láseres maestros se transmite a una tercera puerta del circulador, de acuerdo con el funcionamiento convencional de un circulador óptico.

30

En la figura 3 se muestra una comparativa de la potencia y de los espectros de radiofrecuencia y ópticos de un láser esclavo, sujeto a la inyección de los dos láseres maestros descritos cuando dicho láser esclavo es el láser esclavo VCSEL multimodo del ejemplo o un láser esclavo VCSEL monomodo de características similares.

5

Concretamente, en la figura 3.1 se muestra la potencia del láser esclavo VCSEL monomodo en función del tiempo, y en la figura 3.2 la potencia de cada uno de los dos modos del láser multimodo en función del tiempo y su potencia total. En la figura 3.3 se muestra el espectro de radiofrecuencia de la potencia del láser monomodo y en la figura 3.4 el espectro de radiofrecuencia de la potencia total del laser multimodo. Y por último, en la figura 3.5 se muestra el espectro óptico del láser monomodo y en la figura 3.6 el espectro óptico del laser multimodo.

10

15

Del espectro óptico de las figuras 3.5 y 3.6 podemos concluir, que tanto el VCSEL monomodo como el multimodo pasan a emitir a las frecuencias ópticas de los láseres maestros y por tanto la diferencia de frecuencias en el espectro es 100 Ghz (Δf). De las figuras 3.3 y 3.4 podemos concluir que los espectros de radiofrecuencia (transformada de Fourier de la potencia total) tienen un pico muy intenso y estrecho precisamente a la frecuencia de 100 Ghz (Δf), lo cual indica que la potencia total es prácticamente sinusoidal con esa misma frecuencia, como se ve en las figuras 3.1 y 3.2. Las figuras 3.1 y 3.2 también indican que la amplitud de la señal generada cuando el láser esclavo utilizado es un VCSEL multimodo, es mucho mayor que la amplitud obtenida cuando el láser esclavo es un VCSEL monomodo. Esto aporta grandes ventajas al poder generar señales de mayor amplitud en un rango de frecuencias comprendido entre las microondas y los terahertzios. Además, se puede observar en la figura 3.2, como en el láser esclavo multimodo el segundo modo se excita con una amplitud mucho mayor que la del primer modo, siendo la diferencia de fase entre ellos menor que $\pi/2$. De esta forma ambos modos se suman en fase y la amplitud de la potencia total en el VCSEL multimodo pasa a ser mucho mayor que la amplitud de la potencia total en el VCSEL monomodo.

20

25

30

A continuación, utilizando el mismo montaje, se ha hecho variar la diferencia de frecuencia de los láseres maestros entre los 10 GHz y los 1,5 THz, para dos niveles de potencia de inyección: 1,2 mW y 10,5 mW, y se ha estudiado las señales generadas en todas esas condiciones. El resto de características se han mantenido respecto a las del primer ejemplo.

Los resultados se muestran en la figura 4, en la cual se ilustra una comparativa de la amplitud pico a pico de la potencia total en función de la frecuencia obtenida con el láser esclavo VCSEL multimodo descrito y con un láser esclavo VCSEL monomodo de características similares, y para dos niveles de potencia de inyección. Como puede observarse, la amplitud de la potencia obtenida con el láser multimodo es mucho mayor que la amplitud de la potencia obtenida con el láser monomodo, para dos valores de potencia de inyección, y para un rango muy amplio de frecuencias generadas.

A continuación, utilizando el mismo montaje, se ha hecho variar la potencia de inyección de los dos láseres maestros entre los 1,2 mW y los 57 mW, siendo siempre la potencia de inyección del primer láser igual a la potencia de inyección del segundo láser, y se ha calculado la frecuencia máxima de la señal obtenida para una amplitud pico a pico de dicha señal fijada a 0.94 mW.

Como se observa en la figura 5, la frecuencia máxima que se obtiene con un láser VCSEL multimodo es mucho mayor que la frecuencia máxima obtenida con un láser VCSEL monomodo de características similares, para diferentes frecuencias de inyección, siendo mayor esta diferencia cuanto mayor es la potencia de inyección.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de generación óptica de señales, que comprende un láser esclavo (11, 21) y al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23), estando dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) configurados para excitar a dicho láser esclavo (11, 21)

estando el sistema caracterizado por que

el láser esclavo (11, 21) es un láser multimodo, estando el sistema configurado para que dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) exciten al menos dos modos de dicho láser multimodo (11, 21) obteniéndose una señal cuya frecuencia está comprendida en el rango que va desde las frecuencias de microondas a las decenas de teraherzios.

2. El sistema de la reivindicación 1, donde dicho láser esclavo multimodo (11, 21) es excitado por dos láseres maestros (12, 13, 22, 23).

3. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho láser esclavo multimodo (11, 21) es un láser VCSEL multimodo.

4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) están conectados al láser esclavo multimodo (11, 21) mediante fibra óptica (25).

5. El sistema la reivindicación 4, que comprende un medio de acoplamiento (24) para acoplar las señales procedentes de dichos láseres maestros (12, 13, 22, 23), y transmitir la señal resultante al láser esclavo multimodo (11, 21).

6. El sistema de la reivindicación 5, que comprende un circulador óptico (26) para transmitir la señal procedente de los láseres maestros (12, 13, 22, 23) al láser esclavo

multimodo (11, 21), y transmitir la señal generada por dicho láser esclavo multimodo (11, 21) a una tercera puerta del circulador (26).

5 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 ó 3, donde dichos al menos dos láseres maestros (12, 13, 22, 23) están conectados al láser esclavo multimodo (11, 21) mediante el espacio libre y medios optomecánicos.

10 8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la potencia de dichos láseres maestros (12, 13, 22, 23) está comprendida entre aproximadamente 1 mW y 1 kW.

9. El sistema de la reivindicación 8, donde la potencia de dichos láseres maestros (12, 13, 22, 23) está comprendida entre aproximadamente 1 mW y 10 W.

15 10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la potencia de dicho láser esclavo multimodo (11, 21) está comprendida entre aproximadamente 0.1 mW y 10 W.

20 11. El sistema de la reivindicación 10, donde la potencia de dicho láser esclavo multimodo (11, 21) está comprendida entre aproximadamente 0.1 mW y 100 mW.

25 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las longitudes de onda de dichos láseres maestros (12, 13, 22, 23) y esclavo (11, 21) están comprendidas entre aproximadamente 380 nm y 10 μ m.

13. El sistema de la reivindicación 12, donde las longitudes de onda de dichos láseres maestros (12, 13, 22, 23) y esclavo (11, 21) están comprendidas entre aproximadamente 380 nm y 2,5 μ m.

30 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre los láseres maestros (12, 13, 22, 23) está comprendida entre

aproximadamente 1 Ghz y 20 Thz.

5 15. El sistema de la reivindicación 14, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre los láseres maestros (12, 13, 22, 23) está comprendida entre aproximadamente 1 Ghz y 5 Thz.

10 16. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre modos adyacentes de dicho láser esclavo multimodo (11, 21) está comprendida entre aproximadamente 10 Ghz y 20 Thz.

17. El sistema de la reivindicación 16, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre modos adyacentes de dicho láser esclavo multimodo (11, 21) está comprendida entre aproximadamente 10 Ghz y 2 Thz.

15 18. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre el laser maestro de menor frecuencia y el modo de menor frecuencia del láser esclavo multimodo (11, 21), está comprendida entre aproximadamente -20 Ghz y 20 Ghz.

20 19. El sistema de la reivindicación 18, donde la diferencia de frecuencias ópticas entre el laser maestro de menor frecuencia y el modo de menor frecuencia del láser esclavo multimodo (11, 21), está comprendida entre aproximadamente -5 Ghz y 5 Ghz.

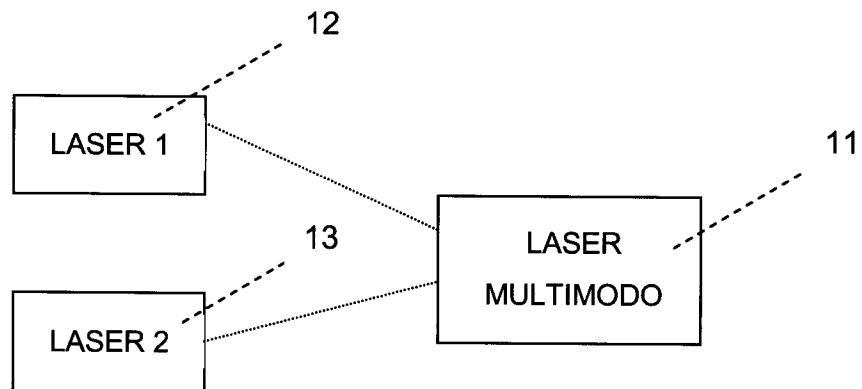


FIGURA 1

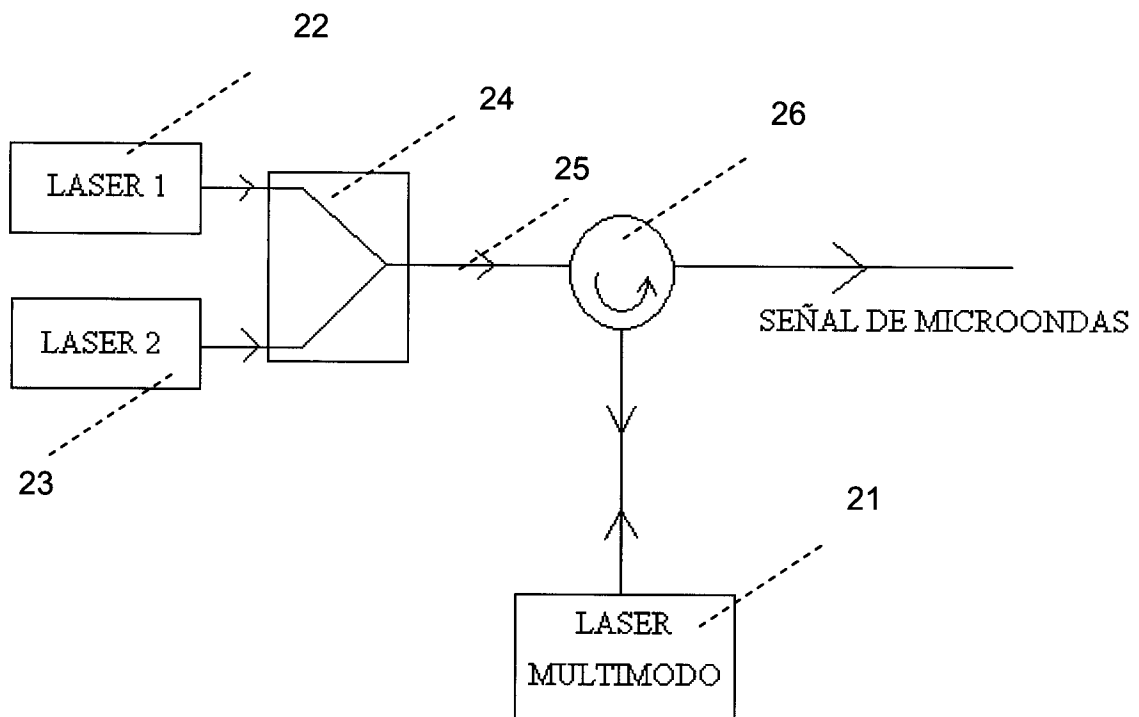


FIGURA 2

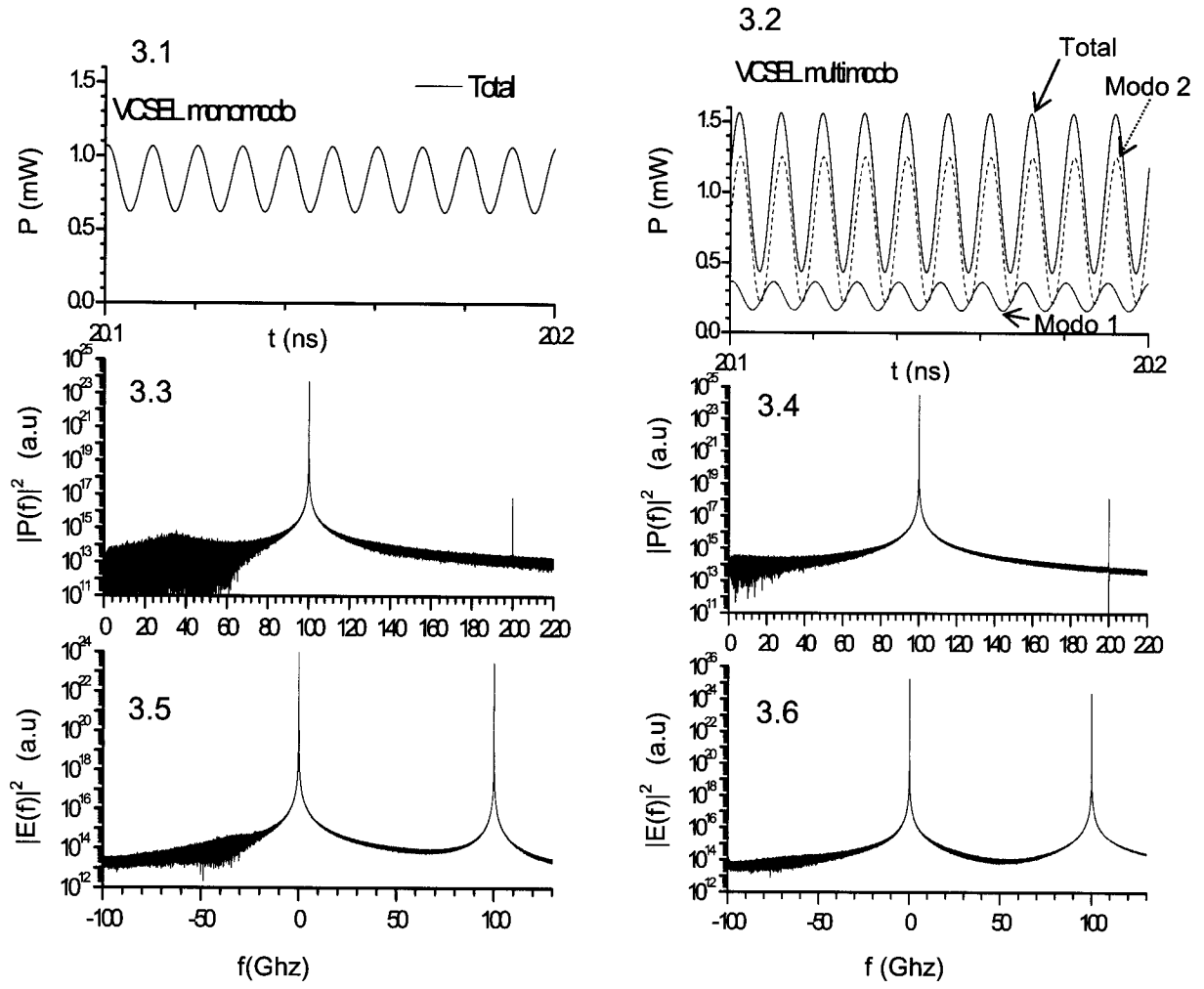


FIGURA 3

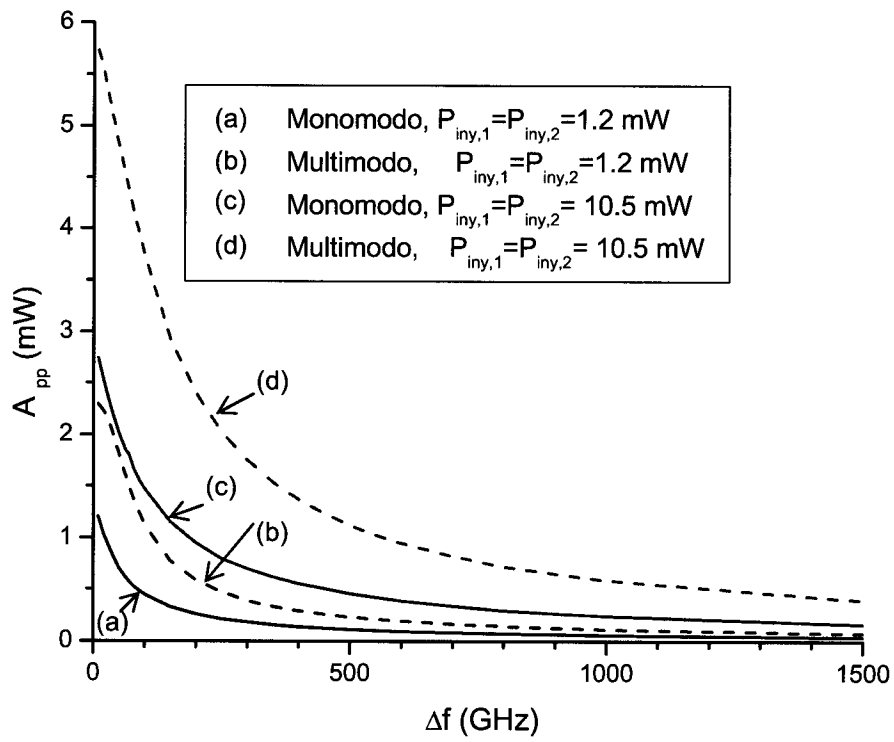


FIGURA 4

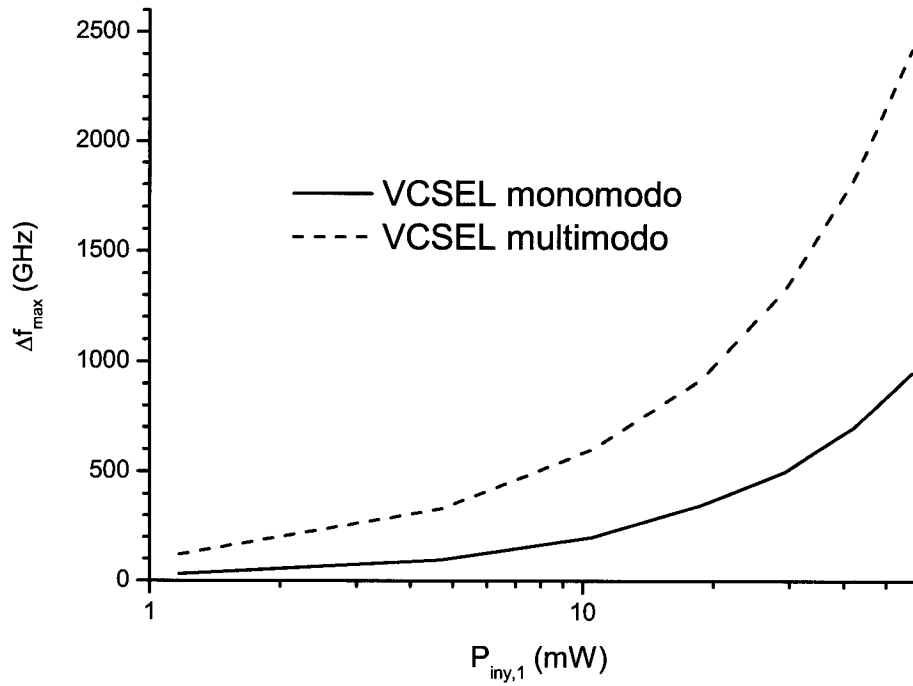


FIGURA 5