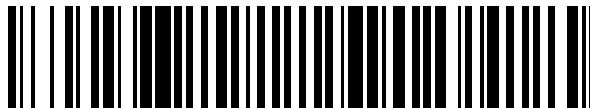


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 011**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/067** (2006.01)

**H01S 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2005 PCT/AU2005/001784**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.06.2006 WO06056016**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2005 E 05810607 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 1815565**

54 Título: **Método y aparato para modificar la reflexión fuera de banda para un elemento de láser**

30 Prioridad:

**26.11.2004 AU 2004906741**

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

**20.02.2019**

73 Titular/es:

**THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (100.0%)  
West Avenue  
Edinburgh, S.A. 5111, AU**

72 Inventor/es:

**TIKHOMIROV, ALEXEI y  
FOSTER, SCOTT**

74 Agente/Representante:

**AZNÁREZ URBIETA, Pablo**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o  
Bemerkungen) en el folleto original publicado por  
la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 701 011 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 aparato para modificar la reflexión fuera de banda para un elemento de láser

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a los láseres. En una forma particular, la presente invención se refiere a un láser de fibra de realimentación distribuida (DFB, *distributed feedback*) que tiene unas características mejoradas para su uso en conjuntos de láseres de fibra.

10

**Antecedentes de la invención**

Los láseres de DFB son una variedad de láseres que incluyen una o más rejillas de Bragg que actúan como elementos de reflexión dentro de una región activa de láser. Esta técnica de ubicación conjunta del medio de ganancia y la rejilla de realimentación se puede aplicar a láseres de fibra tales como los que emplean un medio de ganancia que se ha dopado con erbio.

15

En la figura 1 se ilustra un ejemplo de un láser de fibra de DFB de la técnica anterior. El láser de fibra 100 incluye una fibra dopada 110 y una rejilla de Bragg 120 que incorpora una discontinuidad de fase que está ubicada en la sección media 130 de la rejilla 120. La rejilla de Bragg se proporciona por medio de una variación espacial periódica inducida por UV del índice de refracción del medio de ganancia. Otras técnicas que proporcionen una estructura de rejilla de Bragg incluyen la modulación periódica de la ganancia o la pérdida de la región activa o, en potencia, también se podría concebir el uso del corte de un patrón periódico de ranuras en el revestimiento de la fibra.

20

El láser de fibra 100 se activa por el bombeo óptico 140 que implica bombear una luz que tiene una longitud de onda que coincide con la banda de absorción apropiada del material activo o el medio de ganancia a través de una fibra pasiva que está conectada con el láser de fibra 100. Esta disposición de la rejilla de Bragg 120 y el medio de ganancia proporciona una realimentación óptica a aproximadamente la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  caracterizada por la relación  $\lambda_B = 2n_{\text{efic}}\Lambda$ , en donde  $\Lambda$  es el periodo de la rejilla y  $n_{\text{efic}}$  es el índice de refracción eficaz del modo de fibra.

25

30

La rejilla está caracterizada por un coeficiente de acoplamiento complejo  $\kappa(z) = \pi\Delta n(z)e^{-i\varphi(z)} / \lambda$ , en donde  $\Delta n$  es la modulación de índice de refracción y  $\varphi(z)$  es el error de fase que está asociado con la rejilla, y en donde  $z$  es una medida de la distancia longitudinal a lo largo de la fibra. Por consiguiente, la anchura espectral de la reflexión de la rejilla es proporcional a  $|\kappa|$ .

35

Tal como se ilustra en sentido figurado en la figura 2, en la sección media 130 de la rejilla 120 se introduce un desplazamiento de fase de  $\pi$ . La introducción de este desplazamiento de fase asegura un modo de láser fundamental del menor umbral y sumamente confinado que funciona esencialmente a la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$ . La distribución de campo típica de un láser de ese tipo se muestra en la figura 3, en donde se puede observar que el campo presenta un máximo en la ubicación del desplazamiento de fase y decae de forma exponencial lejos del centro de la rejilla 120. La anchura espacial de la distribución de campo depende de  $|\kappa|$  y define la longitud de dispositivo global  $L$  que, en la práctica, es habitualmente de unos pocos centímetros.

40

Una de las aplicaciones principales de un láser de fibra de DFB es la incorporación de un número de láseres de fibra en una fibra continua para formar un conjunto de láseres de fibra. Cada uno de los láseres de fibra se sintoniza para funcionar a unas longitudes de onda  $\lambda_{B_1}$ ,  $\lambda_{B_2}$ , etc., ligeramente diferentes, con la ventaja de que se puede emplear un bombeo óptico a una única longitud de onda para dar lugar a que cada una de las secciones de láser de fibra de DFB emita una luz coherente. Esto proporciona un medio de multiplexación por división de onda debido a que las emisiones de láser a partir de cada sección de láser de fibra se desplazan por la fibra común y se pueden muestrear usando un procesamiento interferométrico aguas abajo.

45

50

Los conjuntos de láseres de fibra de DFB de este tipo se han empleado en un número de aplicaciones, incluyendo conjuntos de sensor en los que la salida de longitud de onda de cada láser de fibra varía de acuerdo con el valor local de una característica física del entorno, tal como la temperatura o el nivel de sonido, para usos tales como fuentes de láser de múltiples longitudes de onda. Resulta evidente que es crítica la capacidad de cada sección de láser de fibra para emitir luz esencialmente a la longitud de onda de Bragg respectiva, debido a que cada una de las longitudes de onda  $\lambda_{B_1}$ ,  $\lambda_{B_2}$ , etc., presentará muy poca separación debido al ancho de banda de emisión finita disponible al medio de ganancia, que ha de ser similar para cada láser debido al requisito de que cada láser de fibra se active por el bombeo de una luz que tiene la misma longitud de onda.

55

60

No obstante, los láseres de fibra de DFB tienen un número de desventajas que afectan directamente al desempeño de los conjuntos de láseres de fibra basados en un número de secciones de láser de fibra. Aunque la rejilla de Bragg se diseña para reflejar la luz en solo una banda estrecha en torno a la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  y para ser esencialmente transparente en el exterior de la banda, en la práctica hay una reflexión fuera de banda que está

65

asociada con los lóbulos laterales de la rejilla de Bragg.

La reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  está caracterizada por la relación

$$r(\nu) = - \int_0^L \kappa(z) \cdot \exp(-i2\pi\nu z) dz$$

en donde  $\nu$  es la desintonización con respecto a la frecuencia de Bragg y se define por

$$\nu = 2n_{\text{efic}} \cdot \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right]$$

para  $\nu > |\kappa|$ . Cuando dos o más láseres de fibra de DFB se conectan con la misma fibra, esta reflexión fuera de banda da como resultado que una fracción de la luz procedente de una sección de láser de fibra dada sea reflejada por otra sección de láser de fibra, dando lugar de ese modo a un desplazamiento  $\Delta\lambda$  con respecto a la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  para esa sección de láser de fibra particular.

Para la distancia  $d$  entre cada sección de láser de fibra, este desplazamiento de la longitud de onda se aproxima por

$$\Delta\lambda = \lambda_B^2 \kappa |r| e^{-\kappa d} \sin(2\pi d / \lambda_B - \varphi_r) / \pi$$

en donde  $\varphi_r$  es la fase de la reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  (es decir,  $r(\nu) = |r|e^{i\varphi_r}$ ) procedente del láser adyacente. Por consiguiente, la longitud de onda de láser será sensible tanto a las pequeñas variaciones en la distancia  $d$  entre las secciones de láser de fibra como al coeficiente de reflexión  $r(\nu)$  procedente de los láseres adyacentes. Resulta evidente que esto es poco deseable en el ejemplo de un conjunto de sensor debido a que lo que se pretende es medir las variaciones en la longitud de onda de láser que son causadas por las variaciones locales en la longitud de onda de Bragg de la rejilla de la sección de láser de fibra respectiva.

Para abordar esta cuestión de una sensibilidad de longitud de onda poco deseable, se puede aumentar la longitud física  $L$  de la estructura de rejilla. No obstante, esto tiene la desventaja obvia del alargamiento del conjunto de láseres de fibra en donde, a menudo, la compacidad es un requisito fundamental. Además, en donde se estén empleando las secciones de láser de fibra en un conjunto de sensor tal como un sensor acústico, el alargamiento de cada sección de láser de fibra implica que se toma una muestra de una región distribuida en contraposición a que una sección de láser de fibra actúe como un sensor puntual. A menudo, un diseño de sensor también requerirá múltiples sensores puntuales muy cerca unos de otros y el alargamiento de la estructura de rejilla para cada sección de láser de fibra puede acrecentar en gran medida las restricciones mecánicas al tratar con un conjunto de sensor de ese tipo. Un diodo de láser de DFB que tiene un desplazamiento de fase distribuido de más de  $\pi$  para una emisión de modo único, por ejemplo con un umbral mínimo, se conoce del documento de H. Hillmer et al., *IEEE Proc. Optoelectron.* vol 144 (1997) 256. Un láser de fibra de DFB que tiene un desplazamiento de fase distribuido de  $\pi$  se conoce del documento WO 95/31020 A1. Un objeto de la invención es la provisión de un láser de DFB que tiene unas características mejoradas que posibilitan la incorporación de estos dispositivos en múltiples disposiciones de láser de DFB.

### Sumario de la invención

El objeto de la presente invención se satisface por medio de un láser y un método de producción de luz láser tal como se definen en las reivindicaciones independientes 1, 8. En las reivindicaciones dependientes se definen algunas realizaciones preferidas.

Por consiguiente, la presente invención proporciona, en un primer aspecto, un elemento de láser para producir luz láser que incluye:

- un medio activo excitado por unos medios de bombeo óptico para producir una emisión estimulada de luz; y
- una estructura de rejilla de Bragg para proporcionar una realimentación óptica para dicho medio activo, incluyendo dicha estructura de rejilla de Bragg una región de transición de fase que proporciona una variación en la fase, en donde dicha variación en la fase de dicha región de transición de fase se ajusta para modificar la reflexión fuera de banda de dicho elemento de láser.

Mediante la modificación de las características de reflexión fuera de banda del elemento de láser, el elemento de láser se puede adaptar para su incorporación en un sistema que incorpora un conjunto de múltiples elementos de láser. Dicha variación en la fase se ajusta para reducir la reflexión fuera de banda de dicho elemento de láser. Dicha variación en la fase se ajusta para variar de forma continua a lo largo de una región ampliada de dicho elemento de

láser. Una variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación en la fase es mayor que  $\pi$ .

Preferiblemente, dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación en la fase se determina, en parte, por una longitud de dicha región ampliada.

Preferiblemente, dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  aumenta a medida que aumenta dicha longitud de dicha región ampliada.

Preferiblemente, dicha variación en la fase está caracterizada por una función  $\phi(z) = f_1(z)\Delta\Phi$  en donde  $z$  es la longitud a lo largo del elemento de láser y  $f_1(z)$  es una función que varía de forma suave de 0 a 1.

Preferiblemente, dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  se determina mediante la resolución de las ecuaciones acopladas para  $\Delta\Phi$  y la función auxiliar  $q(z)$ :

$$\Delta\Phi = \pi + 2 \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \text{sen}(q(z)) dz$$

$$q(z) = \Delta\Phi f_1(z) - 2 \int_{z_2} q(z') \text{sen}(q(z')) dz'$$

en donde  $\kappa(z)$  es un coeficiente de acoplamiento de dicha estructura de rejilla de Bragg; y  $z_2$  y  $z_3$  definen las fronteras de dicha región de transición de fase.

De forma opcional, dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación suave en la fase se determina por

$$\Delta\Phi - 2 \cdot \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \cdot \text{sen}(\Delta\Phi) dz = \pi$$

en donde  $\kappa(z)$  es un coeficiente de acoplamiento de dicha estructura de rejilla de Bragg; y  $z_2$  y  $z_3$  definen las fronteras de dicha región de transición de fase. Dicho elemento de láser es un láser de fibra (FL, *fibre laser*) de realimentación distribuida (DFB, *distributed feedback*). Por consiguiente, la presente invención proporciona, en un segundo aspecto, un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser, incluyendo dicho método las etapas de:

bombear ópticamente un medio activo para producir una emisión de luz por estimulación; y  
ajustar una variación en la fase de una región de transición de fase de una estructura de rejilla de Bragg que proporciona una realimentación óptica para dicho medio activo para modificar la reflexión fuera de banda de dicho elemento de láser.

### Breve descripción de los dibujos

Una realización preferida de la presente invención se analizará con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una representación figurada de un láser de fibra (FL) de realimentación distribuida (DFB) tal como se conoce en la técnica anterior;  
la figura 2 es una ilustración del desplazamiento de fase de  $\pi$  que se introduce en la región central de emisión de luz coherente del FL de DFB que se ilustra en la figura 1;  
la figura 3 es una representación gráfica a modo de ejemplo de la distribución de campo del FL de DFB tal como se ilustra en la figura 1;  
la figura 4 es una representación gráfica de los perfiles de apodización de amplitud y de fase de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;  
la figura 5 es una representación gráfica de la distribución de campo de un láser de FL de DFB apodizado cuando se modifica de acuerdo con los perfiles de apodización que se ilustran en la figura 4 en comparación con la distribución de campo del FL de DFB convencional; y  
la figura 6 es una representación gráfica de comparación de la curva de reflexión espectral medida de un FL de DFB no apodizado y apodizado que se modifica de acuerdo con los perfiles de apodización que se ilustran en la figura 4.

### Descripción de la realización preferida

Haciendo referencia a continuación a la figura 4, se muestra una modificación de una región de transición de fase de un láser de fibra de realimentación distribuida (en lo sucesivo en el presente documento, un FL de DFB) de acuerdo

con una realización preferida de la presente invención.

5 Se asume que el FL de DFB es de una longitud L y se divide en cinco regiones que se corresponden con una primera región que varía a partir de  $0 < z < z_1$ , una segunda región  $z_1 < z < z_2$ , una tercera región  $z_2 < z < z_3$ , una cuarta región  $z_3 < z < z_4$  y una quinta región  $z_4 < z < L$  en donde z mide la extensión longitudinal a lo largo de la fibra. La apodización se aplica tanto a la amplitud como a la fase del coeficiente de acoplamiento de rejilla  $\kappa(z)$ .

10 La apodización de fase se aplica a la tercera región que sería, por lo general, una función escalón en un FL de DFB de la técnica anterior tal como el que se ilustra en la figura 1. De acuerdo con la presente realización preferida de la presente invención, se introduce una transición de fase continua  $\phi(z)$  que se define por la relación  $\phi(z) = f_1(z)\Delta\Phi$  con las condiciones de frontera  $f_1(z_2) = 0$  y  $f_1(z_3) = 1$ .

15 En la presente realización,  $f_1(z)$  se elige para lograr la mejor supresión de reflexiones en la longitud de transmisión definida  $z_3 - z_2$  y se define por

$$f_1(z) = \cos^n \left( \frac{\pi z}{2(z_3 - z_2)} - \frac{\pi}{2(z_3 - z_2)} \right)$$

20 para  $n = 2, 4$ , etc. Dependiendo de los requisitos de apodización, se pueden emplear otras funciones de transición suave definidas de forma conveniente, que varían de 0 a 1 y cuyas derivadas se desvanecen en las fronteras relevantes.

25 El valor para la constante  $\Delta\Phi$  se determina mediante la resolución numérica de las siguientes ecuaciones acopladas, determinando de ese modo el valor de  $\Delta\Phi$  que asegura un desempeño de modo único óptimo a la frecuencia de Bragg.

$$\Delta\Phi = \pi + 2 \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \text{sen}(q(z)) dz$$

$$q(z) = \Delta\Phi f_1(z) - 2 \int_{z_1}^{z_2} \kappa(z') \text{sen}(q(z')) dz'$$

30 Para la obtención de estas ecuaciones, véase, en particular, la ecuación 19 tal como se describe en el artículo titulado "Experimental and Theoretical Characterisation of the Mode Profile of Single-Mode DFB Fiber Lasers" (IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 41, n.º 6, junio de 2005). Estas ecuaciones acopladas se resuelven entonces de forma iterativa para  $\Delta\Phi$  para unas elecciones razonables de  $f_1(z)$  tales como la que se ha descrito en lo que antecede.

35 En determinados casos en los que  $\Delta\Phi$  es cercano a  $\pi$ , entonces la aproximación de primer orden

$$\Delta\Phi - 2 \cdot \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \cdot \text{sen}(\Delta\Phi f_1(z)) dz = \pi$$

40 puede ser adecuada. A pesar de que, en la presente realización preferida,  $\Delta\Phi$  se ha calculado de acuerdo con las relaciones anteriores, resulta evidente que se pueden calcular y usar otros valores de acuerdo con los requisitos de sintonización exactos del FL de DFB que se esté contemplando.

45 De acuerdo con estos cálculos, el valor de escalón de desplazamiento de fase o la variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  siempre será mayor que  $\pi$ . Tal como apreciarían los expertos en la materia, para los FL de DFB de la técnica anterior, la condición óptima para un desempeño de modo único con el que la cantidad óptima de energía está confinada en un modo siempre ha incorporado un valor de escalón de desplazamiento de fase o una variación de fase máxima de  $\pi$ .

50 Adicionalmente, también se puede modificar la amplitud  $|\kappa(z)|$  del coeficiente de acoplamiento de rejilla. Haciendo referencia una vez más a la figura 4,  $|\kappa(z)|$  se modifica de acuerdo con la relación  $|\kappa(z)| = f_2(z) \cdot |\kappa_0|$ , en donde  $f_2(0) = f_2(L) = 0$  y  $f_1(z) = 1$  para  $z_1 < z < z_4$ . Para la primera y la quinta regiones,  $f_2(z)$  se define de una forma similar a  $f_1(z)$ . A pesar de que en la técnica anterior se conoce la apodización de amplitud de esta naturaleza, esta no aborda con éxito, por sí misma, las cuestiones con la reflexión fuera de banda, tal como se ha resaltado previamente. No obstante, la misma se puede emplear además de la apodización de fase de acuerdo con la presente invención para reducir adicionalmente los efectos de los lóbulos laterales, dando de ese modo como resultado una reflexión fuera

de banda minimizada en una sección de láser de fibra.

5 Haciendo referencia a continuación a la figura 5, una curva calculada para la distribución de campo de un FL de DFB que se ha apodizado de acuerdo con la presente invención se compara con la distribución de campo de un FL de DFB convencional correspondiente. Para la presente realización, la región  $z_3 - z_2$  se corresponde con  $0,2 L$ . Aunque ahora se ha ampliado el tamaño de la región de desplazamiento de fase para ocupar aproximadamente un 20 % de la longitud de dispositivo, el aumento asociado en la anchura del modo de láser y, por lo tanto, la longitud de dispositivo global, es de solo un 4 % y, en ese sentido, representa únicamente un aumento muy pequeño.

10 Haciendo referencia a continuación a la figura 6, la representación gráfica B muestra la curva de reflexión espectral medida a partir de un FL de DFB que se apodiza de acuerdo con la presente invención y que emplea los parámetros  $\kappa_0 = 1,9 \text{ cm}^{-1}$  y  $\Delta\Phi = 4,5$  radianes, ilustrando de ese modo que se pueden lograr unos valores de reflexión de menos de -50 dB. Por razones de comparación, la representación gráfica A muestra la curva de reflexión espectral para un láser no apodizado de la técnica anterior.

15 Por consiguiente, la presente invención hace posible lograr una reflectividad fuera de banda muy baja sin tener que aumentar de forma sustancial la longitud de dispositivo total, haciendo de ese modo los FL de DFB que adoptan la presente invención de lo más convenientes para su incorporación en conjuntos de láseres de fibra multiplexados lineales. La invención radica en parte en caer en la cuenta de que la dispersión con respecto al desplazamiento de fase de  $\pi$  discreto normal que se emplea en el FL de DFB convencional contribuye de forma sustancial a la curva de reflexión espectral. De acuerdo con la presente invención, ajustar y modificar la forma y / o la magnitud asociada de este desplazamiento de fase es importante cuando se intenta reducir de forma sustancial la reflexión espectral fuera de banda.

20

REIVINDICACIONES

1. Un elemento de láser de fibra de realimentación distribuida para producir luz láser que incluye:

5 un medio activo excitado por unos medios de bombeo óptico para producir una emisión estimulada de luz; y una estructura de rejilla de Bragg para proporcionar una realimentación óptica para dicho medio activo a la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$ , teniendo la estructura de rejilla de Bragg un coeficiente de acoplamiento complejo  $\kappa(z)$  **caracterizado por** la relación  $\kappa(z) = \pi \Delta n(z) e^{i\phi(z)} / \lambda$ , en donde  $z$  es una medida de la distancia longitudinal a lo largo del elemento de láser de fibra de realimentación distribuida que tiene una longitud de dispositivo global  $L$ ,  $\Delta n(z)$  es una modulación de índice de refracción de la estructura de rejilla de Bragg y  $\phi(z)$  es una variación en la fase de la rejilla en una región de transición de fase de dicha estructura de rejilla de Bragg, en donde dicha variación en la fase  $\phi(z)$  de la rejilla de dicha región de transición de fase se ajusta para variar de forma continua a lo largo de una región ampliada del elemento de láser de fibra de realimentación distribuida con una variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  mayor que  $\pi$  para reducir la reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  de la estructura de rejilla de Bragg de dicho elemento de láser de fibra de realimentación distribuida en relación con una estructura de rejilla de Bragg que tiene un desplazamiento de fase de  $\pi$  localizado, estando la reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  de la estructura de rejilla de Bragg **caracterizada por** la relación:

$$r(\nu) = -\int_0^L \kappa(z) \cdot \exp(-i2\pi\nu z) dz$$

en donde  $\nu$  es la desintonización con respecto a la frecuencia de Bragg definida por  $\nu = 2n_{\text{efic}} \cdot \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right]$

para  $\nu > |\kappa|$  y  $n_{\text{efic}}$  es el índice de refracción eficaz del modo de fibra.

2. Un elemento de láser para producir luz láser según la reivindicación 1, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación en la fase se determina, en parte, por una longitud de dicha región ampliada.

3. Un elemento de láser para producir luz láser según la reivindicación 2, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  aumenta a medida que aumenta dicha longitud de dicha región ampliada.

4. Un elemento de láser para producir luz láser según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde  $\phi(z)$  está **caracterizada por** una transición de fase continua  $\phi(z) = f_1(z)\Delta\Phi$ , en donde  $f_1(z)$  es una función con las condiciones de frontera  $f_1(z_2) = 0$  y  $f_1(z_3) = 1$ , en donde  $z_2$  y  $z_3$  definen las fronteras de dicha región de transición de fase.

5. Un elemento de láser para producir luz láser según la reivindicación 4, en donde  $f_1(z)$  se define por

$$f_1(z) = \cos^n \left( \frac{\pi z}{2(z_3 - z_2)} - \frac{\pi}{2(z_3 - z_2)} \right)$$

para  $n = 2, 4$ , etc.

6. Un elemento de láser para producir luz láser según la reivindicación 4 o 5, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  se determina mediante la resolución de las ecuaciones acopladas para  $\Delta\Phi$  y la función auxiliar  $q(z)$ :

$$\Delta\Phi = \pi + 2 \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \text{sen}(q(z)) dz$$

$$q(z) = \Delta\Phi f_1(z) - 2 \int_{z_2}^z \kappa(z') \text{sen}(q(z')) dz'$$

7. Un elemento de láser para producir luz láser según la reivindicación 4 o 5, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación suave en la fase se determina por

$$\Delta\Phi - 2 \cdot \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \cdot \text{sen}(\Delta\Phi f_1(z)) dz = \pi$$

8. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser de fibra de realimentación distribuida, incluyendo dicho método las etapas de:

5 bombear ópticamente un medio activo para producir una emisión de luz por estimulación; y  
 ajustar una variación en la fase de una región de transición de fase de una estructura de rejilla de Bragg, proporcionando la región de transición de fase una variación en la fase  $\varphi(z)$  de la rejilla, proporcionando la estructura de rejilla de Bragg una realimentación óptica para dicho medio activo a la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  y teniendo un coeficiente de acoplamiento complejo  $\kappa(z)$  **caracterizado por** la relación  $\kappa(z) = \pi \Delta n(z) e^{-i\varphi(z)} / \lambda$ , en donde  $z$  es una medida de la distancia longitudinal a lo largo del elemento de láser de fibra de realimentación distribuida que tiene una longitud de dispositivo global  $L$ ,  $\Delta n(z)$  es una modulación de índice de refracción de la rejilla de Bragg, en donde ajustar la variación en la fase de la región de transición de fase incluye ajustar la variación en la fase  $\varphi(z)$  de la rejilla de dicha región de transición de fase para variar de forma continua a lo largo de una región ampliada del elemento de láser de fibra de realimentación distribuida con una variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  mayor que  $\pi$  para reducir la reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  de la estructura de rejilla de Bragg de dicho elemento de láser de fibra de realimentación distribuida en relación con una estructura de rejilla de Bragg que tiene un desplazamiento de fase de  $\pi$  localizado, estando la reflexión fuera de banda  $r(\nu)$  de la estructura de rejilla de Bragg **caracterizada por** la relación:

$$r(\nu) = - \int_0^L \kappa(z) \cdot \exp(-i2\pi\nu z) dz$$

en donde  $\nu$  es la desintonización con respecto a la frecuencia de Bragg definida por  $\nu = 2n_{\text{efic}} \cdot \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right]$

para  $\nu > |\kappa|$  y  $n_{\text{efic}}$  es el índice de refracción eficaz del modo de fibra.

9. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según la reivindicación 8, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación en la fase se determina, en parte, por una longitud de dicha región ampliada.

10. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según la reivindicación 9, en donde dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  aumenta a medida que aumenta dicha longitud de dicha región ampliada.

11. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde  $\varphi(z)$  está **caracterizada por** una transición de fase continua  $\varphi(z) = f_1(z)\Delta\Phi$ , en donde  $f_1(z)$  es una función con las condiciones de frontera  $f_1(z_2) = 0$  y  $f_1(z_3) = 1$ , en donde  $z_2$  y  $z_3$  definen las fronteras de dicha región de transición de fase.

12. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según la reivindicación 11, en donde  $f_1(z)$  se define por

$$f_1(z) = \cos^n \left( \frac{\pi z}{2(z_3 - z_2)} - \frac{\pi}{2(z_3 - z_2)} \right)$$

para  $n = 2, 4, \text{etc.}$

13. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según la reivindicación 11 o 12, incluyendo adicionalmente dicho método la etapa de determinar dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  mediante la resolución de las ecuaciones acopladas para  $\Delta\Phi$  y la función auxiliar  $q(z)$ :

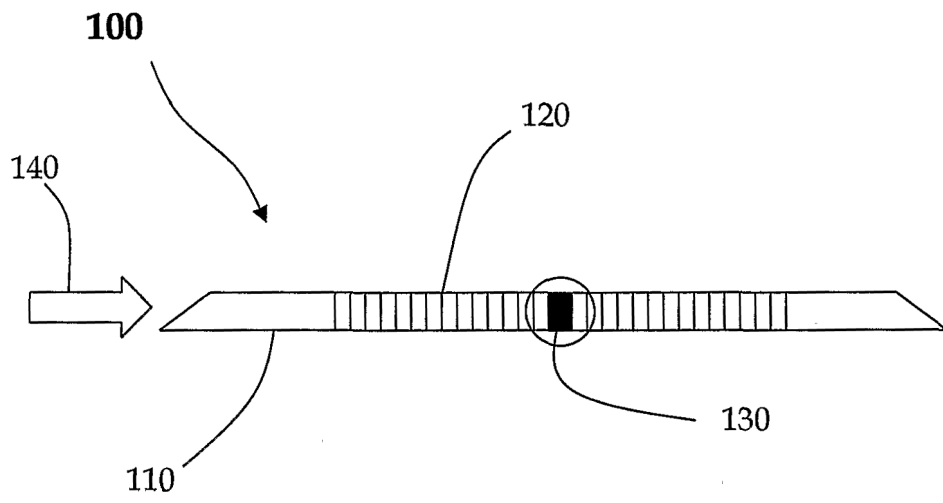
$$\Delta\Phi = \pi + 2 \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \text{sen}(q(z)) dz$$



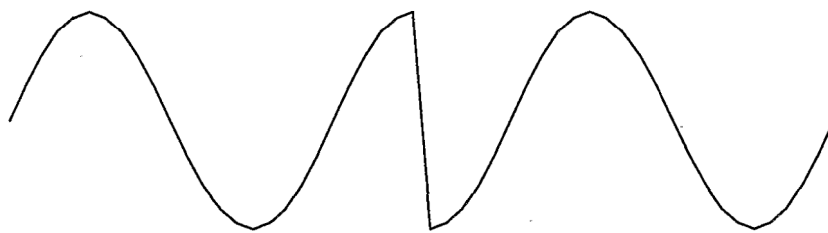
$$q(z) = \Delta\Phi f_1(z) - 2 \int_{z_2}^z \kappa(z') \sin(q(z')) dz' .$$

14. Un método para producir luz láser a partir de un elemento de láser según la reivindicación 11 o 12, incluyendo adicionalmente dicho método la etapa de determinar dicha variación de fase máxima  $\Delta\Phi$  de dicha variación suave en la fase mediante la resolución de

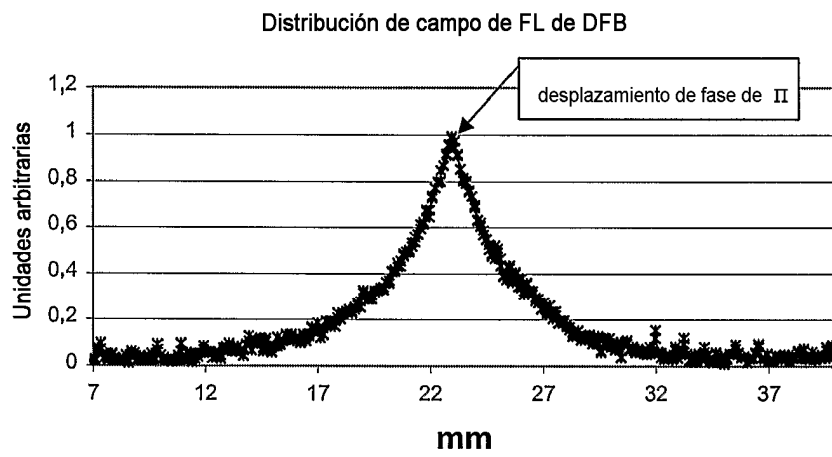
$$\Delta\Phi - 2 \cdot \int_{z_2}^{z_3} \kappa(z) \cdot \sin(\Delta\Phi f_1(z)) dz = \pi .$$



**Figura 1**



**Figura 2**



**Figura 3**

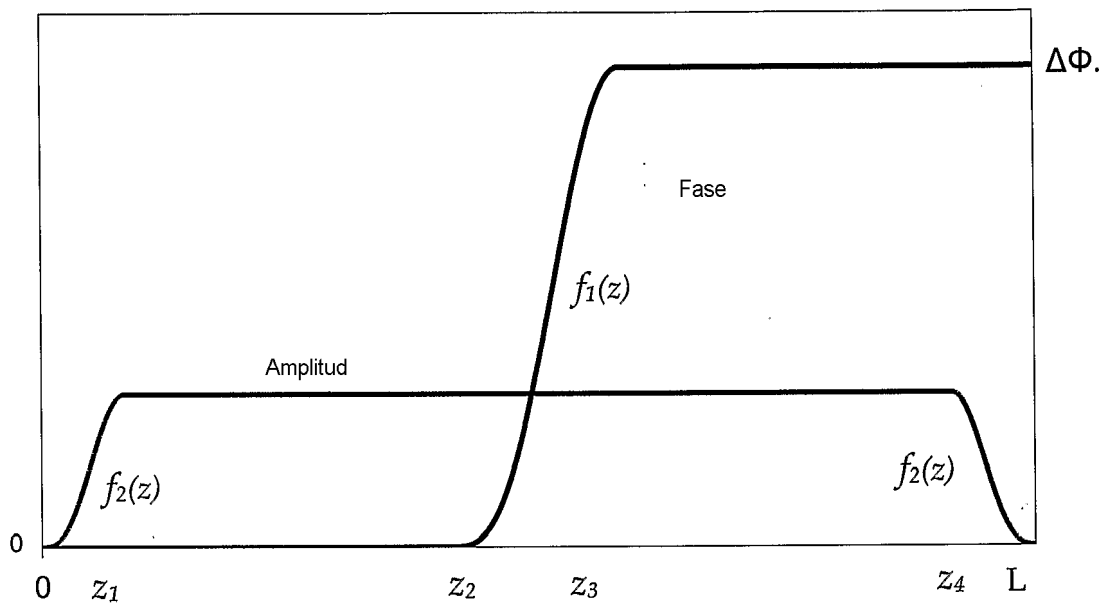
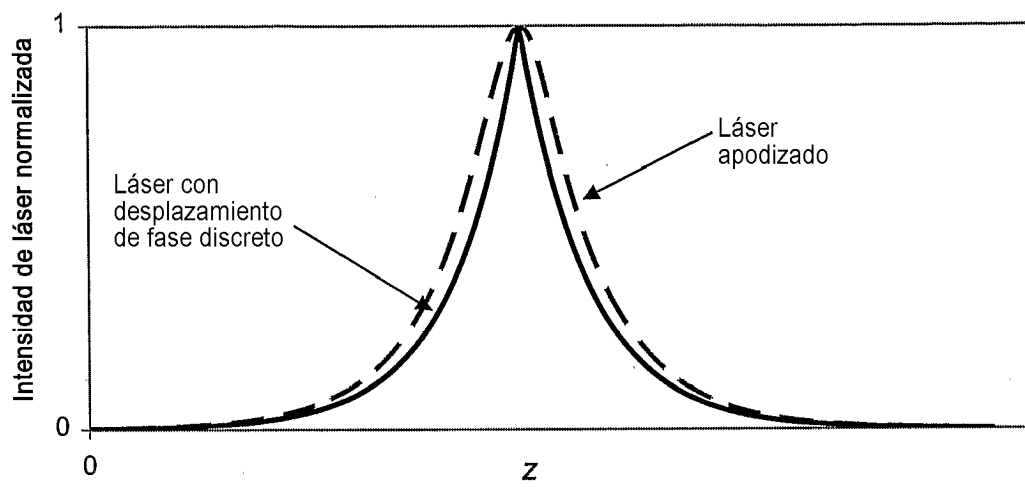
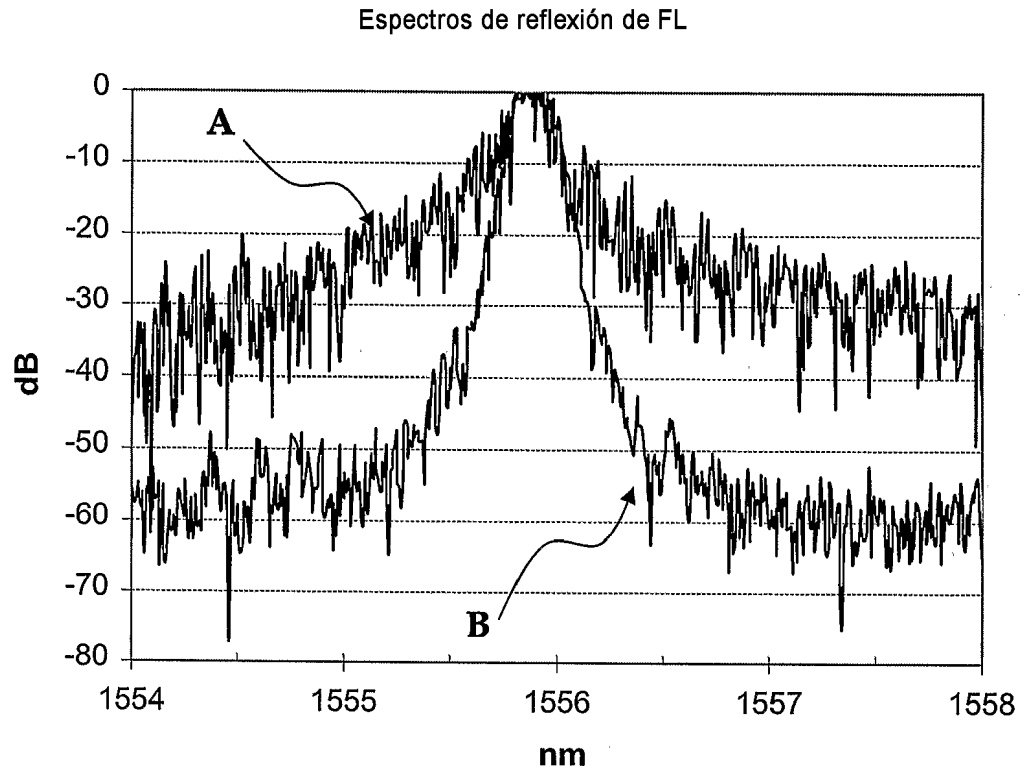


Figura 4



**Figura 5**



*Figura 6*