

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 179**

51 Int. Cl.:

**G02F 1/01** (2006.01)

**G02F 1/13** (2006.01)

**G02F 1/133** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2016 PCT/JP2016/064031**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.11.2016 WO16185974**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2016 E 16796367 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 3296803**

54 Título: **Dispositivo de cálculo de patrón de modulación, dispositivo de control de luz, método de cálculo de patrón de modulación, programa de cálculo de patrón de modulación y medio de almacenamiento**

30 Prioridad:

**15.05.2015 JP 2015100085**

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

**25.03.2020**

73 Titular/es:

**HAMAMATSU PHOTONICS K.K. (100.0%)  
1126-1, Ichino-cho, Higashi-ku  
Hamamatsu-shi, Shizuoka 435-8558, JP**

72 Inventor/es:

**WATANABE, KOYO;  
INOUE, TAKASHI y  
TAKAHASHI, KOJI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 750 179 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

Dispositivo de cálculo de patrón de modulación, dispositivo de control de luz, método de cálculo de patrón de modulación, programa de cálculo de patrón de modulación y medio de almacenamiento

5

### Campo técnico

Un aspecto de la presente invención se refiere a un aparato de cálculo de patrón de modulación, un aparato de control de luz, un método de cálculo de patrón de modulación, un programa de cálculo de patrón de modulación, y un medio legible por ordenador.

10

### Antecedentes de la técnica

El documento WO 2014/136784 A1 se refiere a un aparato foto-detector. Incluye un modulador de luz espacial que está configurado para emitir luz modulada obtenida por modulación de amplitud de una luz de excitación de entrada.

15

El documento WO 2014/017289 A1 se refiere a un método de modulación de luz para modular la fase de luz tal como luz láser por un patrón de modulación presentado en una pluralidad de píxeles de un modulador de luz espacial, un programa de modulación de luz, un dispositivo de modulación de luz y un dispositivo de irradiación de luz que usa el dispositivo de modulación de luz. El método implica establecer un patrón de modulación objetivo para modular la fase de luz de entrada para cada píxel en un modulador de luz espacial de tipo de modulación de fase. El coeficiente de corrección se establece de acuerdo con características de estructura de píxel del modulador de luz espacial y las características de patrón del patrón de modulación objetivo. El patrón de modulación corregido se determina para píxeles del modulador de luz espacial multiplicando el patrón de modulación objetivo por el coeficiente de corrección para generar un patrón de modulación.

20

25

El documento no de patente 1 desvela tecnología para modular un espectro de fase usando un modulador de luz espacial (SLM) para conformar un pulso de luz. En este documento, se calcula un espectro de fase para obtener una forma de onda de pulso de luz deseada usando un método de Fourier iterativo (algoritmo de transformada de Fourier iterativo: IFTA).

30

### Lista de citas

#### Bibliografía no de patente

Documento no de patente 1: M. Hacker, G. Stobrawa, T. Feuer, "Iterative Fourier transform algorithm for phase-only pulse shaping", Optics Express, Vol. 9, No. 4, págs. 191-199, 13 de agosto de 2001

35

#### Compendio de la invención

40

#### Problema técnico

Por ejemplo, como tecnología para control de una forma de onda temporal de diversos tipos de luz tal como luz de pulso ultracorto, es conocida la tecnología para modular un espectro de fase y un espectro de intensidad de un pulso de luz por el SLM. En esta tecnología, se calcula un espectro de fase y un espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda temporal de la luz cerca de una forma de onda deseada, y se presenta un patrón de modulación para proporcionar el espectro de fase y el espectro de intensidad para la luz en el SLM.

45

Para el espectro de fase, el espectro puede calcularse usando el método de Fourier iterativo normal, por ejemplo como en el documento no de patente 1 anteriormente descrito. Por otra parte, para el espectro de intensidad, es difícil calcular el espectro en el método de Fourier iterativo normal. Cuando se calcula el espectro usando el método de Fourier iterativo normal, puede calcularse un espectro de intensidad mayor que el espectro de intensidad de la luz de entrada al SLM dependiendo de una región de longitud de onda, y es difícil generar luz que tiene el espectro de intensidad de la luz de entrada. Por esta razón, en el método convencional, por ejemplo, se adopta un método de medición de una forma de onda de luz después de conformar y determinar un espectro de intensidad después de ensayo y error, y hay problemas en que se tome ese tiempo y esfuerzo, y se requiere experiencia para obtener un espectro de intensidad con alta precisión.

50

55

Un objetivo de un aspecto de la presente invención es proporcionar un aparato de cálculo de patrón de modulación, un aparato de control de luz, un método de cálculo de patrón de modulación, un programa de cálculo de patrón de modulación, y un medio legible por ordenador que puede calcular fácilmente un espectro de intensidad para proporcionar una forma de onda temporal de luz cerca de una forma de onda deseada.

60

#### Solución al problema

65

Para resolver el problema anterior, un aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con un aspecto de la

presente invención es un aparato para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, y el aparato incluye una unidad de transformada de Fourier iterativa para realizar una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase, realizar una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa, y realizar una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una unidad de proceso de filtración para realizar un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una unidad de cálculo de patrón de modulación para calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

Además, un método de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con un aspecto de la presente invención es un método para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, y el método incluye una etapa (etapa de transformada de Fourier) de realización de una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase; una etapa (etapa de transformada de Fourier inversa) de realización de una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa; una etapa (etapa de sustitución) de realización de una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una etapa (etapa de proceso de filtración) de realización de un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una etapa (etapa de cálculo de patrón de modulación) de cálculo del patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

Además, un programa de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con un aspecto de la presente invención es un programa para provocar que un ordenador calcule un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, y el programa provoca que el ordenador ejecute una etapa (etapa de transformada de Fourier) de realización de una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase; una etapa (etapa de transformada de Fourier inversa) de realización de una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa; una etapa (etapa de sustitución) de realización de una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una etapa (etapa de proceso de filtración) de realización de un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una etapa (etapa de cálculo de patrón de modulación) de cálculo del patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

En el aparato anterior, se calcula el método, y el programa, el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz cerca de la forma de onda deseada en la unidad de transformada de Fourier iterativa o en la etapa de sustitución. En ese momento, como se ha descrito anteriormente, un espectro de intensidad mayor que el espectro de intensidad de la luz de entrada puede calcularse dependiendo de una región de longitud de onda. Por lo tanto, en el aparato anterior y el método, el proceso de filtración basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada se realiza en el espectro de intensidad (o el espectro de intensidad obtenido multiplicando el espectro de intensidad por el coeficiente de normalización) obtenido por la transformada de Fourier inversa. Es decir, se corta la parte que supera la intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada. Como resultado, el espectro de intensidad proporcionado a la unidad de cálculo de patrón de modulación o a la etapa de cálculo de patrón de modulación puede suprimirse hasta el punto que el espectro de intensidad no supere el espectro de intensidad de la luz de entrada. Por lo tanto, de acuerdo con el aparato y el método anteriores, el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz cerca de la forma de onda deseada puede calcularse fácilmente

usando la transformada de Fourier iterativa.

Además, un aparato de control de luz de acuerdo con un aspecto de la presente invención incluye el aparato de cálculo de patrón de modulación que tiene la configuración anterior; una fuente de luz para emitir la luz de entrada; un elemento dispersivo para dispersar espectralmente la luz de entrada; un modulador de luz espacial para modular el espectro de intensidad de la luz de entrada después de la luz de dispersión y emisión modulada; y un sistema óptico para enfocar la luz modulada. El modulador de luz espacial presenta el patrón de modulación calculado por el aparato de cálculo de patrón de modulación.

De acuerdo con este aparato, se incluye el aparato de cálculo de patrón de modulación que tiene la configuración anterior, de modo que puede calcularse fácilmente el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda temporal de la luz cerca de la forma de onda deseada.

**Efectos ventajosos de la invención**

De acuerdo con un aparato de cálculo de patrón de modulación, un aparato de control de luz, un método de cálculo de patrón de modulación, un programa de cálculo de patrón de modulación, y un medio legible por ordenador de acuerdo con un aspecto de la presente invención, puede calcularse fácilmente un espectro de intensidad para proporcionar una forma de onda temporal de luz cerca de una forma de onda deseada.

**Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una configuración de un aparato de control de luz de acuerdo con una realización.

La Figura 2 es un diagrama que ilustra un plano de modulación de un SLM.

La Figura 3 incluye (a) un gráfico que ilustra un ejemplo de una combinación de un cierto espectro de fase y un cierto espectro de intensidad, y (b) un gráfico que ilustra una forma de onda de intensidad temporal de emisión de luz realizada por la combinación del espectro de fase y el espectro de intensidad ilustrado en (a) en la Figura 3.

La Figura 4 es un diagrama que ilustra un procedimiento de cálculo en una unidad de transformada de Fourier iterativa de una unidad de diseño de espectro de fase.

La Figura 5 es un diagrama que ilustra un procedimiento de cálculo en una unidad de transformada de Fourier iterativa y una unidad de proceso de filtración de una unidad de diseño de espectro de intensidad.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de cálculo de patrón de modulación.

La Figura 7 es un diagrama que ilustra un espectro de intensidad de luz de entrada y un espectro de intensidad calculado.

La Figura 8 es un diagrama que ilustra un resultado de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en un espectro de intensidad de luz de entrada.

La Figura 9 incluye (a) un diagrama que ilustra un ejemplo de un espectro de intensidad obtenido multiplicando un espectro de intensidad calculado por un coeficiente de normalización, y (b) un diagrama que ilustra un resultado de realización de un proceso de filtración en el espectro de intensidad de (a) en la Figura 9.

La Figura 10 es un gráfico que ilustra una relación entre pérdida de intensidad y precisión de forma de onda cuando se cambia un coeficiente de normalización, en el caso donde se establece un doble pulso como una forma de onda de intensidad temporal deseada.

La Figura 11 es un diagrama que ilustra un espectro de intensidad cuando un coeficiente de normalización se establece como 1,0.

La Figura 12 es un diagrama que ilustra un espectro de intensidad cuando un coeficiente de normalización se establece como 0,75.

La Figura 13 es un diagrama que ilustra un espectro de intensidad cuando se aplica modulación de intensidad de tipo COS.

La Figura 14 es un gráfico que ilustra una relación entre pérdida de intensidad y anchura total a la mitad del máximo cuando se cambia un coeficiente de normalización, en el caso donde se establece un único pulso como una forma de onda de intensidad temporal deseada.

La Figura 15 incluye (a), (b) diagramas que ilustran espectros de intensidad cuando se establecen coeficientes de normalización como 1,0 y 0,5, respectivamente.

La Figura 16 es un diagrama que ilustra una forma de onda de pulso de TL y una forma de onda cuando un coeficiente de normalización se establece como 0,25.

**Descripción de las realizaciones**

En lo sucesivo, se describirán en detalle realizaciones de un aparato de cálculo de patrón de modulación, un aparato de control de luz, un método de cálculo de patrón de modulación, y un programa de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con un aspecto de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. En la descripción de los dibujos, los mismos elementos se indicarán por los mismos signos de referencia, sin descripción redundante.

La Figura 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una configuración de un aparato de control de luz 1A de

acuerdo con una realización de la presente invención. El aparato de control de luz 1A de acuerdo con la presente realización genera, de luz de entrada  $L_a$ , luz de salida  $L_d$  que tiene una forma de onda de intensidad temporal arbitraria diferente de la de la luz de entrada  $L_a$ . Como se ilustra en la Figura 1, el aparato de control de luz 1A incluye una fuente de luz 2, un sistema óptico 10, y un aparato de cálculo de patrón de modulación 20.

5 La fuente de luz 2 emite la luz de entrada  $L_a$  introducida al sistema óptico 10. La fuente de luz 2 es una fuente de luz de láser tal como una fuente de luz de láser de estado sólido, por ejemplo, y la luz de entrada  $L_a$  es luz de pulso coherente, por ejemplo.

10 El sistema óptico 10 tiene un elemento dispersivo 12, un espejo curvo 14, y un SLM 16. El elemento dispersivo 12 está acoplado ópticamente a la fuente de luz 2, y el SLM 16 está acoplado ópticamente al elemento dispersivo 12 mediante el espejo curvo 14. El elemento dispersivo 12 dispersa espectralmente la luz de entrada  $L_a$  para cada componente de longitud de onda. El elemento dispersivo 12 tiene una rejilla de difracción formada en una superficie de placa, por ejemplo. Además, el elemento dispersivo 12 puede tener un prisma. La luz de entrada  $L_a$  es incidente de manera oblicua en la rejilla de difracción, y se dispersa espectralmente en una pluralidad de componentes de longitud de onda. La luz  $L_b$  que incluye la pluralidad de componentes de longitud de onda alcanza el espejo curvo 14. La luz  $L_b$  se refleja por el espejo curvo 14 y alcanza el SLM 16.

20 El SLM 16 realiza simultáneamente modulación de fase y modulación de intensidad de la luz  $L_b$  para generar la luz de salida  $L_d$  que tiene una forma de onda de intensidad temporal arbitraria diferente de la forma de onda de la luz de entrada  $L_a$ . El SLM 16 es de un tipo de modulación de fase, por ejemplo. En un ejemplo, el SLM 16 es de un tipo LCOS (cristal líquido en silicio).

25 La Figura 2 es un diagrama que ilustra un plano de modulación 17 del SLM 16. Como se ilustra en la Figura 2, en el plano de modulación 17, está dispuesta una pluralidad de regiones de modulación 17a a lo largo de una cierta dirección A, y cada región de modulación 17a se extiende en una dirección B que intersecta con la dirección A. La dirección A es una dirección de dispersión por el elemento dispersivo 12. Por lo tanto, cada uno de los componentes de longitud de onda espectralmente dispersados es incidente en cada una de la pluralidad de regiones de modulación 17a. El SLM 16 modula una fase y una intensidad de cada componente de longitud de onda incidente en cada región de modulación 17a. Puesto que el SLM 16 en la presente realización es del tipo de modulación de fase, la modulación de intensidad se realiza por un patrón de fase (imagen de fase) presentado en el plano de modulación 17.

30 La luz modulada  $L_c$  que incluye los respectivos componentes de longitud de onda modulados por el SLM 16 se refleja de nuevo por el espejo curvo 14 y alcanza el elemento dispersivo 12. En este momento, el espejo curvo 14 funciona como un sistema óptico de enfoque para enfocar la luz modulada  $L_c$ . Además, el elemento dispersivo 12 funciona como un sistema óptico de combinación y combina los respectivos componentes de longitud de onda después de la modulación. Es decir, por el espejo curvo 14 y el elemento dispersivo 12, la pluralidad de componentes de longitud de onda de la luz modulada  $L_c$  se enfocan y combinan entre sí y se vuelven la luz de salida  $L_d$ . La luz de salida  $L_d$  es luz que tiene una forma de onda de intensidad temporal deseada diferente de la forma de onda de la luz de entrada  $L_a$ .

45 El aparato de cálculo de patrón de modulación 20 es un ordenador que tiene un circuito de operación tal como un procesador. El aparato de cálculo de patrón de modulación 20 está eléctricamente acoplado al SLM 16, calcula un patrón de modulación de fase para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  cerca de una forma de onda deseada, y proporciona una señal de control que incluye el patrón de modulación de fase al SLM 16.

50 El aparato de cálculo de patrón de modulación 20 de la presente realización presenta, en el SLM 16, un patrón de fase que incluye un patrón de fase para modulación de fase que proporciona un espectro de fase para obtener la forma de onda deseada a la luz de salida  $L_d$  y un patrón de fase para modulación de intensidad que proporciona un espectro de intensidad para obtener la forma de onda deseada a la luz de salida  $L_d$ . Para este fin, el aparato de cálculo de patrón de modulación 20 incluye una unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21, una unidad de diseño de espectro de fase 22, una unidad de diseño de espectro de intensidad 23, y una unidad de cálculo de patrón de modulación 24. Es decir, el circuito de operación (por ejemplo, el procesador del ordenador) proporcionado en el aparato de cálculo de patrón de modulación 20 realiza una función de la unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21, una función de la unidad de diseño de espectro de fase 22, una función de la unidad de diseño de espectro de intensidad 23, y una función de la unidad de cálculo de patrón de modulación 24. Las respectivas funciones pueden realizarse por el mismo circuito de operación o pueden realizarse por diferentes circuitos de operación.

65 El circuito de operación (por ejemplo, el procesador del ordenador) puede realizar las respectivas funciones anteriores por un programa de cálculo de patrón de modulación. Por lo tanto, el programa de cálculo de patrón de modulación opera el circuito de operación (por ejemplo, el procesador del ordenador) como la unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21, la unidad de diseño de espectro de fase 22, la unidad de diseño de espectro de intensidad 23, y la unidad de cálculo de patrón de modulación 24 en el aparato de cálculo de patrón de modulación

20. El programa de cálculo de patrón de modulación se almacena en un dispositivo de almacenamiento (medio legible por ordenador no transitorio) dentro o fuera del ordenador.

5 La unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21 recibe la forma de onda de intensidad temporal deseada introducida de un operador. El operador introduce información (por ejemplo, una anchura de pulso) en la forma de onda de intensidad temporal deseada a la unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21.

10 La información en la forma de onda de intensidad temporal deseada se proporciona a la unidad de diseño de espectro de fase 22 y la unidad de diseño de espectro de intensidad 23. La unidad de diseño de espectro de fase 22 calcula un espectro de fase correspondiente de la luz de salida  $L_d$ , basándose en la forma de onda de intensidad temporal. La unidad de diseño de espectro de intensidad 23 calcula un espectro de intensidad correspondiente de la luz de salida  $L_d$ , basándose en la forma de onda de intensidad temporal. En este punto, se describirá en detalle más adelante un método de cálculo de espectro en la unidad de diseño de espectro de fase 22 y la unidad de diseño de espectro de intensidad 23.

15 La unidad de cálculo de patrón de modulación 24 es un ejemplo de una unidad de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la presente invención y calcula un patrón de modulación de fase para proporcionar el espectro de fase obtenido en la unidad de diseño de espectro de fase 22 y el espectro de intensidad obtenido en la unidad de diseño de espectro de intensidad 23 a la luz de salida  $L_d$ . Además, se proporciona una señal de control que incluye el patrón de modulación de fase calculado al SLM 16.

20 En este punto, se describe en detalle un método de cálculo de un espectro de fase y un espectro de intensidad que corresponde a una forma de onda de intensidad temporal deseada. (a) en la Figura 3 es un gráfico que ilustra un ejemplo de una combinación de un cierto espectro de fase  $G_{11}$  y un cierto espectro de intensidad  $G_{12}$ . Además, (b) en la Figura 3 es un gráfico que ilustra una forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  realizado por la combinación del espectro de fase y el espectro de intensidad ilustrado en (a) en la Figura 3. En (a) en la Figura 3, un eje horizontal muestra una longitud de onda (nm), un eje vertical izquierdo muestra un valor de intensidad (unidad arbitraria) del espectro de intensidad, y un eje vertical derecho muestra un valor de fase (rad) del espectro de fase. Además, en (b) en la Figura 3, un eje horizontal muestra un tiempo (femtosegundo) y un eje vertical muestra una intensidad de luz (unidad arbitraria). Los espectros la forma de onda ilustrada en la Figura 3 son ejemplos, y la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  puede conformarse en diversas formas por combinaciones de diversos espectros de fase y espectros de intensidad.

35 La forma de onda de intensidad temporal deseada se representa como una función en un dominio de tiempo, y el espectro de fase y el espectro de intensidad se representan como funciones en un dominio de frecuencia. Por lo tanto, el espectro de fase y el espectro de intensidad que corresponden a la forma de onda de intensidad temporal deseada se obtienen por una transformada de Fourier iterativa basándose en la forma de onda de intensidad temporal deseada. En el método descrito a continuación, el espectro de fase y el espectro de intensidad se calculan usando un método de transformada de Fourier iterativo. Por lo tanto, como se ilustra en la Figura 1, la unidad de diseño de espectro de fase 22 tiene una unidad de transformada de Fourier iterativa 22a. Además, la unidad de diseño de espectro de intensidad 23 tiene una unidad de transformada de Fourier iterativa 23a y una unidad de proceso de filtración 23b.

45 La Figura 4 ilustra un procedimiento de cálculo en la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a de la unidad de diseño de espectro de fase 22. En primer lugar, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a prepara una función de espectro de intensidad inicial  $A_0(\omega)$  y una función de espectro de fase  $\Psi_0(\omega)$  para que sean funciones de una frecuencia  $\omega$  (número de proceso (1) en el dibujo). En un ejemplo, la función de espectro de intensidad  $A_0(\omega)$  y la función de espectro de fase  $\Psi_0(\omega)$  representan el espectro de intensidad y el espectro de fase de la luz de entrada  $L_a$ , respectivamente.

50 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a prepara una función de forma de onda (a) en el dominio de la frecuencia que incluye la función de espectro de intensidad  $A_0(\omega)$  y la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$  (número de proceso (2) en el dibujo).  
[Fórmula 1]

$$55 \quad \sqrt{A_0(\omega)} \exp\{i\Psi_n(\omega)\} \dots (a)$$

60 En este punto, un subíndice  $n$  representa después de un proceso de transformada de Fourier de orden  $n$ . Antes de un primer proceso de transformada de Fourier, la función de espectro de fase inicial  $\Psi_0(\omega)$  anteriormente descrita se usa como la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$ .  $i$  es un número imaginario.

65 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a realiza una transformada de Fourier del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo en la función (a) (flecha A1 en el dibujo). Como resultado, se obtiene una función de forma de onda (b) en el dominio de la frecuencia que incluye una función de forma de onda de intensidad temporal  $b_n(t)$  (número de proceso (3) en el dibujo).  
[Fórmula 2]

$$\sqrt{b_n(t)} \exp\{i\theta_n(t)\} \dots (b)$$

5 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a sustituye la función de forma de onda de intensidad temporal  $b_n(t)$  incluida en la función (b) por  $\text{Target}_0(t)$  basándose en la forma de onda deseada (números de proceso (4) y (5) en el dibujo).  
[Fórmula 3]

10 
$$b_k(t) := \text{Target}_0(t) \dots (c)$$
  
[Fórmula 4]

$$\sqrt{\text{Target}_0(t)} \exp\{i\theta_n(t)\} \dots (d)$$

15 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a realiza una transformada de Fourier inversa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia en la función (d) (flecha A2 en el dibujo). Como resultado, se obtiene una función de forma de onda (e) en el dominio de la frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad  $B_n(\omega)$  y la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$  (número de proceso (6) en el dibujo).  
[Fórmula 5]

20 
$$\sqrt{B_n(\omega)} \exp\{i\Psi_n(\omega)\} \dots (e)$$

A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a, para restringir la función de espectro de intensidad  $B_n(\omega)$  incluida en la función (e), sustituye la función por la función de espectro de intensidad inicial  $A_0(\omega)$  (número de proceso (7) en el dibujo). [Fórmula 6]

25 
$$B_n(\omega) := A_0(\omega) \dots (f)$$

30 Posteriormente, la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a realiza repetitivamente los procesos anteriores (1) a (7) una pluralidad de veces, de modo que la forma de espectro de fase representada por la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$  en la función de forma de onda puede llevarse de cerca de una forma de espectro de fase que corresponde a la forma de onda de intensidad temporal deseada. Se proporciona una función de espectro de fase  $\Psi_{\text{IFTA}}(\omega)$  para obtenerse finalmente para la unidad de cálculo de patrón de modulación 24.

35 La Figura 5 ilustra un procedimiento de cálculo en la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a y la unidad de proceso de filtración 23b de la unidad de diseño de espectro de intensidad 23. En primer lugar, similar a cuando se calcula el espectro de fase, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a prepara una función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$  y una función de espectro de fase  $\Psi_0(\omega)$  (número de proceso (1) en el dibujo). A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a prepara una función de forma de onda (g) en el dominio de la frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  y la función de espectro de fase  $\Psi_0(\omega)$  (número de proceso (2) en el dibujo).  
[Fórmula 7]

45 
$$\sqrt{A_k(\omega)} \exp\{i\Psi_0(\omega)\} \dots (g)$$

En este punto, un subíndice k representa después de un proceso de transformada de Fourier de orden k. Antes de que se use un primer proceso de transformada de Fourier, la función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$  anteriormente descrita se usa como la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$ . l es un número imaginario.

50 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a realiza la transformada de Fourier del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo en la función (g) (flecha A3 en el dibujo). Como resultado, se obtiene una función de forma de onda (h) en el dominio de la frecuencia que incluye una función de forma de onda de intensidad temporal  $b_k(t)$  (número de proceso (3) en el dibujo).  
[Fórmula 8]

55 
$$\sqrt{b_k(t)} \exp\{i\theta_k(t)\} \dots (h)$$

A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a sustituye la función de forma de onda de intensidad temporal  $b_k(t)$  incluida en la función (h) por una función  $\text{Target}_0(t)$  basándose en la forma de onda deseada (números de proceso (4) y (5) en el dibujo).  
[Fórmula 9]

60 
$$b_k(t) := \text{Target}_0(t) \dots (i)$$

[Fórmula 10]

$$\sqrt{\text{Target}_0(\mathbf{t})\exp\{i\theta_k(\mathbf{t})\}} \dots (j)$$

5 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a realiza la transformada de Fourier inversa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia en la función (j) (flecha A4 en el dibujo). Como resultado, se obtiene una función de forma de onda (k) en el dominio de la frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  y una función de espectro de fase  $\Psi_k(\omega)$  (número de proceso (6) en el dibujo).

10 [Fórmula 11]

$$\sqrt{C_k(\omega)\exp\{i\Psi_k(\omega)\}} \dots (k)$$

15 A continuación, la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a, para restringir la función de espectro de fase  $\Psi_k(\omega)$  incluida en la función (k), sustituye la función por la función de espectro de fase inicial  $\Psi_0(\omega)$  (número de proceso (7-a) en el dibujo).

[Fórmula 12]

$$\Psi_k(\omega) := \Psi_0(\omega) \dots (m)$$

20 Además, la unidad de proceso de filtración 23b realiza un proceso de filtración basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ , en la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa. Específicamente, se corta una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  en un espectro de intensidad representado por la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$ .

En un ejemplo, la intensidad de corte para cada longitud de onda se establece para coincidir con el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  (en la presente realización, la función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$ ). En este caso, como se muestra por la siguiente fórmula (n), a una frecuencia donde la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  es mayor que la función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$ , se toma un valor de la función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$  como un valor de la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$ . Además, en una frecuencia donde la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  es igual a o menor que la función de espectro de intensidad inicial  $A_{k=0}(\omega)$ , se toma un valor de la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  como el valor de la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  (número de proceso (7-b) en el dibujo).

35 [Fórmula 13]

$$A_k(\omega) = \begin{cases} A_{k=0}(\omega), & A_{k=0}(\omega) < C_k(\omega) \\ C_k(\omega), & A_{k=0}(\omega) \geq C_k(\omega) \end{cases} \dots (n)$$

40 La unidad de proceso de filtración 23b sustituye la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  incluida en la función (k) por la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  después del proceso de filtración basándose en la fórmula (n).

Posteriormente, los procesos anteriores (1) a (7-b) se realizan repetitivamente, de modo que la forma de espectro de intensidad representada por la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  en la función de forma de onda puede llevarse cerca de una forma de espectro de intensidad que corresponde a la forma de onda de intensidad temporal deseada. Se proporciona una función de espectro de intensidad  $A_{\text{FTA}}(\omega)$  para obtenerse finalmente a la unidad de cálculo de patrón de modulación 24.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de cálculo de patrón de modulación realizado por el aparato de cálculo de patrón de modulación 20 anteriormente descrito. Como se ilustra en la Figura 6, en primer lugar, se introduce la información en una forma de onda de intensidad temporal deseada a la unidad de entrada de forma de onda arbitraria 21 por el operador (etapa de entrada S1). A continuación, se calcula un espectro de fase y un espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal cerca de una forma de onda deseada en la unidad de diseño de espectro de fase 22 y la unidad de diseño de espectro de intensidad 23, respectivamente (etapa de cálculo de espectro de fase S11 y etapa de cálculo de espectro de intensidad S21).

55 Una etapa de transformada de Fourier iterativa S12 por la unidad de transformada de Fourier iterativa 22a está incluida en la etapa de cálculo de espectro de fase S11.

60 Es decir, en la etapa de transformada de Fourier iterativa S12, la transformada de Fourier se realiza en la función de forma de onda (fórmula (a)) en el dominio de la frecuencia que incluye la función de espectro de intensidad  $A_0(\omega)$  y



la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$ , se realiza la sustitución de la función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en el dominio del tiempo después de la transformada de Fourier (fórmula (c)), y se realiza la sustitución para restringir la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa (fórmula (f)). En la etapa de la transformada de Fourier iterativa S12, estos procesos se realizan repetitivamente una pluralidad de veces, de modo que la función de espectro de fase  $\Psi_n(\omega)$  se lleva cerca de una forma de espectro de fase que corresponde a la forma de onda deseada. Se proporciona una función de espectro de fase  $\Psi_{IFTA}(\omega)$  para obtenerse finalmente a una siguiente etapa de cálculo de patrón de modulación S3.

Además, se incluye una etapa de transformada de Fourier iterativa S22 por la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a y una etapa de proceso de filtración S23 por la unidad de proceso de filtración 23b en la etapa de cálculo de espectro de intensidad S21.

Es decir, en la etapa de transformada de Fourier iterativa S22, la transformada de Fourier se realiza en la función de forma de onda (fórmula (g)) en el dominio de la frecuencia que incluye la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  y la función de espectro de fase  $\Psi_0(\omega)$ , se realiza la sustitución de la función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en el dominio del tiempo después de la transformada de Fourier (fórmula (i)), y se realiza la sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa (fórmula (m)). Además, en la etapa de proceso de filtración S23, se realiza el proceso de filtración de corte de la parte que supera la intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa (fórmula (n)). Además, se realiza repetitivamente la etapa de transformada de Fourier iterativa S22 y la etapa de proceso de filtración S23 una pluralidad de veces, de modo que la función de espectro de intensidad  $A_k(\omega)$  se lleva cerca de una forma de espectro de intensidad que corresponde a la forma de onda deseada. Se proporciona una función de espectro de intensidad  $A_{IFTA}(\omega)$  para obtenerse finalmente a la siguiente etapa de cálculo de patrón de modulación S3.

En la etapa de cálculo de patrón de modulación S3, se calcula un patrón de modulación basándose en la función de espectro de fase  $\Psi_{IFTA}(\omega)$  y la función de espectro de intensidad  $A_{IFTA}(\omega)$ . El patrón de modulación se presenta en el SLM 16.

Se describen los efectos obtenidos por el aparato de cálculo de patrón de modulación 20 y el método de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la presente realización anteriormente descrita.

En la presente realización, cuando se diseña el espectro de intensidad, se adopta un método de cálculo diferente de un método para el espectro de fase. Si se calcula el espectro de intensidad por el mismo método de cálculo que el método para el espectro de fase, puede calcularse un espectro de intensidad mayor que el espectro de intensidad de la luz de entrada dependiendo de una región de longitud de onda.

La Figura 7 es un gráfico que ilustra un ejemplo de un estado de este tipo, y un eje vertical representa una intensidad y un eje horizontal representa una frecuencia. Además, una línea discontinua G21 representa un espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  (hágase referencia a la Figura 1) y una línea continua G22 representa un espectro de intensidad calculado. En este ejemplo, en el espectro de intensidad calculado G22, la intensidad de una región D1 mostrada en entramado supera la intensidad del espectro de intensidad G21 de la luz de entrada  $L_a$ . El espectro de intensidad G22 no puede realizarse en la luz de salida  $L_d$ , y por esta razón, incluso si se genera un patrón de modulación de intensidad basándose en el espectro de intensidad G22, la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  no se vuelve la forma de onda deseada.

En la presente realización, para evitar el problema anterior, cuando se designa el espectro de intensidad, se realiza el proceso de filtración basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  en el espectro de intensidad obtenido por la transformada de Fourier inversa. Es decir, como se muestra por un gráfico G23 en la Figura 8, se corta una parte (región D1 en la Figura 7) que supera la intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ .

Como resultado, el espectro de intensidad (función  $A_{IFTA}(\omega)$ ) proporcionado a la unidad de cálculo de patrón de modulación 24 (etapa de cálculo de patrón de modulación S3) puede suprimirse hasta el punto que el espectro de intensidad no supera el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ . Por lo tanto, de acuerdo con la presente realización, el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  cerca de la forma de onda deseada puede calcularse fácilmente usando la transformada de Fourier iterativa. Además, por ejemplo, en comparación con un método de medición de una forma de onda de luz después de conformar y determinar un espectro de intensidad después de ensayo y error, puede mejorarse la precisión de una forma de onda realizada con respecto a la forma de onda deseada. Adicionalmente, puesto que la pérdida de intensidad está limitada a una región D2 en la Figura 8, la pérdida de intensidad que acompaña la modulación de espectro de intensidad puede suprimirse mínimamente en comparación con el caso en el que se reduce el espectro de intensidad completo.

Además, en la presente realización, el proceso (etapa de transformada de Fourier S22 iterativa) por la unidad de transformada de Fourier iterativa 23a y el proceso (etapa de proceso de filtración S23) por la unidad de proceso de filtración 23b se realizan repetitivamente, sin embargo, cada uno de estos procesos puede realizarse una vez. Incluso en este caso, pueden obtenerse con seguridad los efectos anteriores. En este punto, la transformada de Fourier iterativa se realiza repetitivamente con el proceso de filtración que se está realizando, de modo que puede obtenerse de manera más precisa el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida  $L_d$  cerca de la forma de onda deseada.

Además, como en la presente realización, la intensidad de corte para cada longitud de onda en el proceso de filtración puede coincidir sustancialmente con el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ . Como resultado, la pérdida de intensidad puede suprimirse mínimamente mientras que se mantiene el espectro de intensidad proporcionado a la unidad de cálculo de patrón de modulación 24 (etapa de cálculo de patrón de modulación S3) a la intensidad igual o menor que el espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ .

(Modificación)

En este punto, se describe una modificación de la realización anterior. En la realización anterior, el proceso de filtración se realiza en la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  en la función (k) obtenida por la transformada de Fourier inversa (fórmula (n)), sin embargo, el proceso de filtración puede realizarse en un espectro de intensidad normalizado, es decir, una función de espectro de intensidad normalizada  $C'_k(\omega) = a \cdot C_k(\omega)$  obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$  por un coeficiente de normalización a (a es un número real mayor que 0). Además, la unidad de cálculo de patrón de modulación 24 (en la etapa de cálculo de patrón de modulación S3) puede calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad normalizada  $C'_k(\omega)$  después del proceso de filtración.

La Figura 9 incluye gráficos que ilustran un proceso de este tipo. Un gráfico G24 ilustrado en (a) en la Figura 9 es un ejemplo de la función de espectro de intensidad normalizada  $C'_k(\omega)$  obtenida multiplicando el gráfico G22 (es decir, la función de espectro de intensidad  $C_k(\omega)$ ) ilustrada en la Figura 7 por el coeficiente de normalización a ( $a < 1$ ). Además, un gráfico G25 ilustrado en (b) en la Figura 9 se obtiene realizando el proceso de filtración en el gráfico G24 con el gráfico G21 como la intensidad de corte. Incluso en este método de cálculo, pueden obtenerse los mismos efectos que los efectos de acuerdo con la realización anterior. En este punto, por ejemplo, el coeficiente de normalización puede tener un valor en el que un valor máximo de la función de espectro de intensidad  $C'_k(\omega)$  después de la multiplicación del coeficiente es sustancialmente igual a un valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ , o puede tener un valor menor que el valor anterior.

Se describe un cambio en la forma de espectro de intensidad debido a una diferencia en el coeficiente de normalización. La Figura 10 es un gráfico que ilustra una relación entre pérdida de intensidad y precisión de forma de onda cuando se cambia el coeficiente de normalización, en el caso donde se establece un doble pulso (dos pulsos que tienen una diferencia de tiempo) como una forma de onda de intensidad temporal deseada. En este punto, como un índice de la precisión de forma de onda, se usa una desviación típica con respecto a la forma de onda deseada. Además, un coeficiente en el caso de realizar normalización de manera que el valor máximo de la función de espectro de intensidad  $C'_k(\omega)$  es igual al valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$  (es decir, el caso de realizar la normalización con el valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada  $L_a$ ) se establece como 1,0, y representa P1 a P4 cuando los coeficientes normalizados se establecen como 1,0, 0,75, 0,5, y 0,25, respectivamente, se ilustran en la Figura 10.

En este punto, la Figura 11 y la Figura 12 ilustran espectros de intensidad (gráfico G31) cuando los coeficientes normalizados se establecen como 1,0 y 0,75, respectivamente. Un gráfico G32 en la Figura 11 y la Figura 12 es un espectro de fase y se fija independientemente del coeficiente de normalización.

Haciendo referencia a la Figura 10, cuando el valor del coeficiente de normalización aumenta, se deteriora la precisión de forma de onda, pero la pérdida de intensidad puede suprimirse poco. En contraste, cuando el valor del coeficiente de normalización se reduce, la pérdida de intensidad aumenta, pero la precisión de forma de onda puede mejorarse adicionalmente. Bajo un equilibrio de este tipo, puede determinarse un coeficiente de normalización adecuado de acuerdo con un fin y un uso. Por ejemplo, cuando puede permitirse gran pérdida de intensidad, la precisión de forma de onda puede mejorarse de manera destacable (hasta el punto que la desviación típica se hace casi cero) reduciendo el coeficiente de normalización.

Además, la Figura 10 también ilustra una representación P0 cuando se aplica la modulación de intensidad de tipo COS como un ejemplo comparativo. En este caso, la desviación típica se vuelve 0,008 en la pérdida de intensidad del 50 %. Por otra parte, en la presente modificación, la desviación típica se hace 0,0064 en la misma pérdida de intensidad (50 %). Como tal, cuando se permite la pérdida de intensidad de 50 %, de acuerdo con la presente modificación, puede mejorarse la precisión de forma de onda el 20 % en comparación con la modulación de intensidad de tipo COS. En este punto, la Figura 13 ilustra un espectro de intensidad (gráfico G33) cuando se aplica la modulación de intensidad de tipo COS. Un gráfico G34 en la Figura 13 es un espectro de fase.

A continuación, se describe un cambio en la anchura de tiempo de la forma de onda de intensidad temporal con forma de pulso debido a una diferencia en el coeficiente de normalización. La Figura 14 es un gráfico que ilustra una relación de pérdida de intensidad y anchura total a la mitad del máximo (FWHM) cuando se cambia un coeficiente de normalización, en el caso en el que se establece un único pulso (de una anchura de tiempo menor que una anchura de tiempo de un pulso de transformada limitada (TL)) como una forma de onda de intensidad temporal deseada. En la Figura 14, se ilustran las representaciones P5 a P8 cuando se establecen los coeficientes normalizados como 1,0, 0,75, 0,5, y 0,25, respectivamente. En este punto, (a) en la Figura 15 y (b) en la Figura 15 se ilustran espectros de intensidad (gráfico G41) cuando se establecen los coeficientes normalizados como 1,0 y 0,5, respectivamente. Un gráfico G42 en (a) en la Figura 15 y (b) en la Figura 15 es un espectro de fase y se fija independientemente del coeficiente de normalización.

Haciendo referencia a la Figura 14, cuando aumenta el valor del coeficiente de normalización, la anchura de tiempo de pulso aumenta, pero la pérdida de intensidad puede suprimirse poco. En contraste, cuando se reduce el valor del coeficiente de normalización, la pérdida de intensidad aumenta, pero la anchura de tiempo de pulso puede reducirse adicionalmente. Bajo un equilibrio de este tipo, puede determinarse un coeficiente de normalización adecuado de acuerdo con un fin y un uso.

Además, de acuerdo con la presente modificación, el coeficiente de normalización se establece como un valor menor que 1,0, de modo que puede generarse un pulso de luz de una anchura de tiempo menor que una anchura de tiempo de una forma de onda temporal (se denomina un pulso de transformada limitada (pulso de TL), FWHM es 135,5 fs) cuando no se realiza el espectro de fase es plano y la modulación de intensidad. Por ejemplo, cuando el coeficiente de normalización se establece como 0,25, se obtiene una forma de onda de la cual una anchura de tiempo es corta en aproximadamente 20 fs en comparación con la forma de onda de pulso de TL. La Figura 16 ilustra una forma de onda de pulso de TL (G51) y una forma de onda (G52) cuando el coeficiente de normalización se establece como 0,25.

El aparato de cálculo de patrón de modulación, el aparato de control de luz, el método de cálculo de patrón de modulación, y el programa de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con un aspecto de la presente invención no están limitados a las realizaciones y las modificaciones anteriormente descritas, y se posibilitan diversas otras modificaciones.

Por ejemplo, en la realización anterior, se calcula tanto el espectro de intensidad como el espectro de fase para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz de salida cerca de la forma de onda deseada y se genera el patrón de modulación presentado en el SLM basándose en estos espectros. Sin embargo, en el aparato y el método de acuerdo con la presente invención, únicamente puede calcularse el espectro de intensidad para proporcionar la luz de salida cerca de la forma de onda deseada y puede generarse el patrón de modulación basándose en el espectro de intensidad y un espectro de fase previamente preparado (o seleccionado). Como alternativa, únicamente puede calcularse el espectro de intensidad para proporcionar la luz de salida cerca de la forma de onda deseada y puede generarse el patrón de modulación para modular únicamente el espectro de intensidad sin modular el espectro de fase.

El aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la realización anterior es un aparato para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, y el aparato incluye una unidad de transformada de Fourier iterativa para realizar una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase, realizar una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa, y realizar una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una unidad de proceso de filtración para realizar un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una unidad de cálculo de patrón de modulación para calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

Además, el método de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la realización anterior es un método para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, y el método incluye una etapa de transformada de Fourier iterativa de realización de una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase, realizar una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa, y realizar una sustitución

para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una etapa de proceso de filtración de realización de un proceso de filtración de corte de una parte que supera un corte de intensidad para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una etapa de cálculo de patrón de modulación de cálculo del patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

Además, el programa de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la realización anterior opera un ordenador, en un aparato de cálculo de patrón de modulación para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cerca de una forma de onda deseada, como una unidad de transformada de Fourier iterativa para realizar una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase, realizar una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa, y realizar una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa; una unidad de proceso de filtración para realizar un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y una unidad de cálculo de patrón de modulación para calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.

En el aparato anterior, el método, y el programa, el proceso (etapa de transformada de Fourier iterativa) por la unidad de transformada de Fourier iterativa y el proceso (etapa de proceso de filtración) por la unidad de proceso de filtración pueden realizarse de manera repetitiva, y en la etapa de cálculo de patrón de modulación, la unidad de cálculo de patrón de modulación puede calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada obtenida por el proceso de filtración después de la repetición. Como tal, la transformada de Fourier iterativa se realiza repetitivamente con el proceso de filtración que se realiza, de modo que el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda de intensidad temporal de la luz cerca de la forma de onda deseada puede obtenerse de manera más precisa.

En el aparato anterior, el método, y el programa, la intensidad de corte para cada longitud de onda en el proceso de filtración puede coincidir con el espectro de intensidad de la luz de entrada. Como resultado, la pérdida de intensidad puede suprimirse mínimamente mientras que se mantiene el espectro de intensidad proporcionado a la unidad de cálculo de patrón de modulación (etapa de cálculo de patrón de modulación) en la intensidad igual a o menor que el espectro de intensidad de la luz de entrada.

En el aparato anterior, el método, y el programa, el coeficiente puede tener un valor en el que un valor máximo del espectro de intensidad representado por la función de espectro de intensidad normalizada es sustancialmente igual a un valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada.

Además, el aparato de control de luz de acuerdo con la realización anterior incluye el aparato de cálculo de patrón de modulación anteriormente descrito; una fuente de luz para emitir la luz de entrada; un elemento dispersivo para dispersar espectralmente la luz de entrada; un modulador de luz espacial para modular el espectro de intensidad de la luz de entrada después de la luz de dispersión y emisión modulada; y un sistema óptico para enfocar la luz modulada. El modulador de luz espacial presenta el patrón de modulación calculado por el aparato de cálculo de patrón de modulación.

De acuerdo con este aparato, el aparato de cálculo de patrón de modulación anteriormente descrito está incluido, de modo que el espectro de intensidad para proporcionar la forma de onda temporal de la luz cerca de la forma de onda deseada puede calcularse fácilmente.

#### **Aplicabilidad industrial**

La presente invención puede usarse como un aparato de cálculo de patrón de modulación, un aparato de control de luz, un método de cálculo de patrón de modulación, un programa de cálculo de patrón de modulación, y un medio legible por ordenador que puede calcular fácilmente un espectro de intensidad para proporcionar una forma de onda temporal de luz cerca de una forma de onda deseada.

#### **Lista de signos de referencia**

1A - aparato de control de luz, 2 - fuente de luz, 10 - sistema óptico, 12 - elemento dispersivo, 14 - espejo curvo, 16 -

## ES 2 750 179 T3

modulador de luz espacial (SLM), 17 - plano de modulación, 17a - región de modulación, 20 - aparato de cálculo de patrón de modulación, 21 - unidad de entrada de forma de onda arbitraria, 22 - unidad de diseño de espectro de fase, 22a - unidad de transformada de Fourier iterativa, 23 - unidad de diseño de espectro de intensidad, 23a - unidad de transformada de Fourier iterativa, 23b - unidad de proceso de filtración, 24 - unidad de cálculo de patrón de modulación, La - luz de entrada, Ld - luz de salida.

5

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato de cálculo de patrón de modulación para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cercana a una forma de onda deseada, comprendiendo el aparato:
- una unidad de transformada de Fourier iterativa para realizar una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase, realizar una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa, y realizar una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa;
  - una unidad de proceso de filtración para realizar un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o en una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y
  - una unidad de cálculo de patrón de modulación para calcular el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.
2. El aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se realizan repetitivamente un proceso por la unidad de transformada de Fourier iterativa y un proceso por la unidad de proceso de filtración, y la unidad de cálculo de patrón de modulación calcula el patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada obtenida por el proceso de filtración después de la repetición.
3. El aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que la intensidad de corte para cada longitud de onda en el proceso de filtración coincide sustancialmente con el espectro de intensidad de la luz de entrada.
4. El aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el coeficiente tiene un valor en el que un valor máximo de un espectro de intensidad representado por la función de espectro de intensidad normalizada es sustancialmente igual a un valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada.
5. Un aparato de control de luz que comprende:
- el aparato de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4;
  - una fuente de luz para emitir la luz de entrada;
  - un elemento dispersivo para dispersar espectralmente la luz de entrada;
  - el modulador de luz espacial para modular el espectro de intensidad de la luz de entrada después de la dispersión y emisión de luz modulada; y
  - un sistema óptico para enfocar la luz modulada, en el que el modulador de luz espacial presenta el patrón de modulación calculado por el aparato de cálculo de patrón de modulación.
6. Un método de cálculo de patrón de modulación para calcular un patrón de modulación presentado en un modulador de luz espacial para modular un espectro de intensidad de luz de entrada para proporcionar una forma de onda de intensidad temporal de luz cercana a una forma de onda deseada, comprendiendo el método:
- una etapa de realización de una transformada de Fourier en una función de forma de onda en un dominio de frecuencia que incluye una función de espectro de intensidad y una función de espectro de fase;
  - una etapa de realización de una sustitución de una función de forma de onda de intensidad temporal basándose en la forma de onda deseada en un dominio de tiempo después de la transformada de Fourier y a continuación realizar una transformada de Fourier inversa;
  - una etapa de realización de una sustitución para restringir la función de espectro de fase en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa;
  - una etapa de realización de un proceso de filtración de corte de una parte que supera una intensidad de corte para cada longitud de onda determinada basándose en el espectro de intensidad de la luz de entrada, en la función de espectro de intensidad en el dominio de la frecuencia después de la transformada de Fourier inversa o una función de espectro de intensidad normalizada obtenida multiplicando la función de espectro de intensidad por un coeficiente de normalización; y
  - una etapa de cálculo del patrón de modulación basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada después del proceso de filtración.
7. El método de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la etapa de

realización de la transformada de Fourier, la etapa de realización de la transformada de Fourier inversa, la etapa de realización de la sustitución, y la etapa de realización del proceso de filtración se realizan repetitivamente, y en la etapa de cálculo del patrón de modulación, el patrón de modulación se calcula basándose en la función de espectro de intensidad o la función de espectro de intensidad normalizada obtenida por el proceso de filtración después de la repetición.

5

8. El método de cálculo del patrón de modulación de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, en el que la intensidad de corte para cada longitud de onda en el proceso de filtración coincide sustancialmente con el espectro de intensidad de la luz de entrada.

10

9. El método de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el coeficiente tiene un valor en el que un valor máximo de un espectro de intensidad representado por la función de espectro de intensidad normalizada es sustancialmente igual a un valor máximo del espectro de intensidad de la luz de entrada.

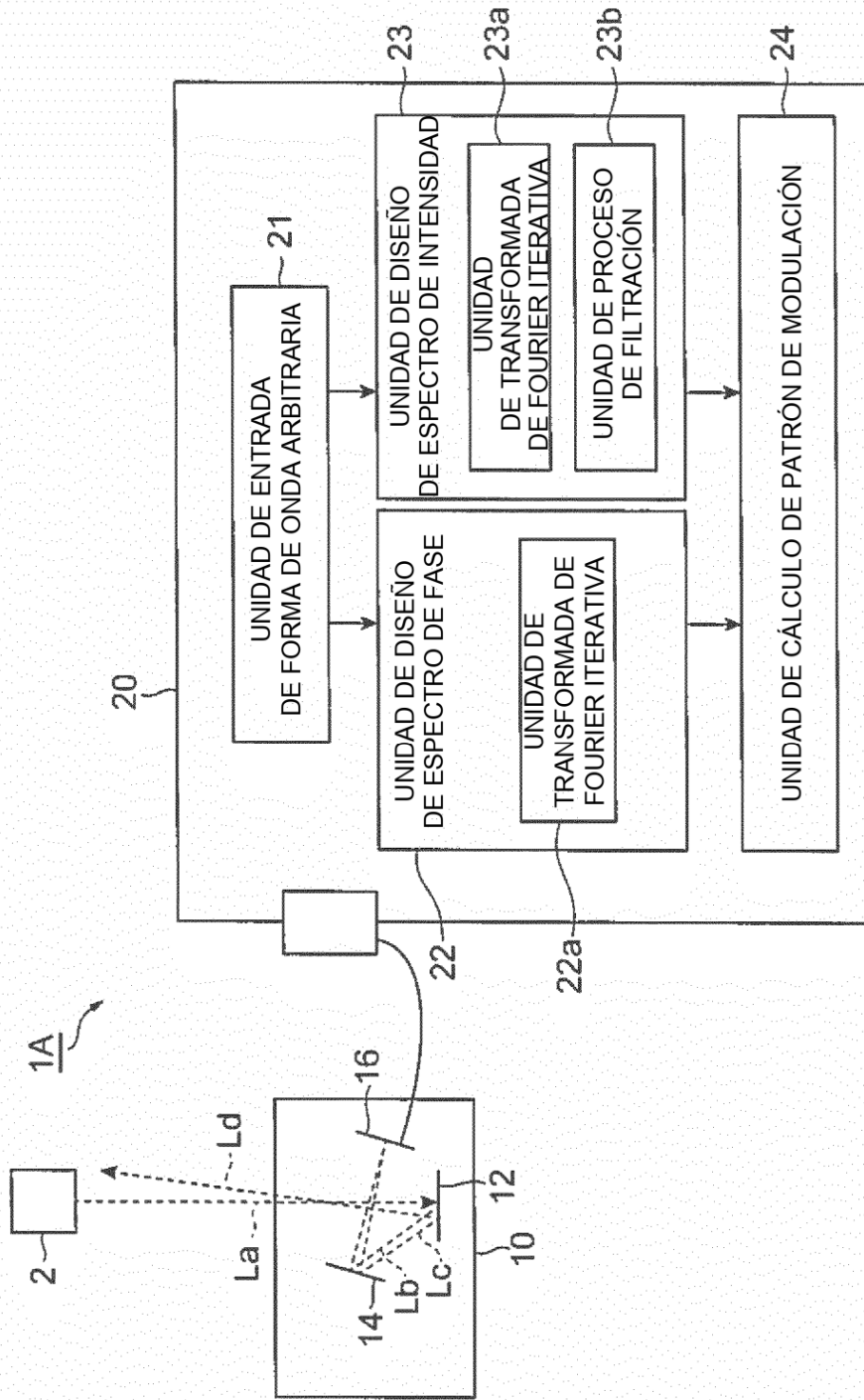
15

10. Un programa de cálculo de patrón de modulación para provocar que el aparato de cálculo de patrón de modulación de la reivindicación 1 lleve a cabo las etapas del método de la reivindicación 6.

20

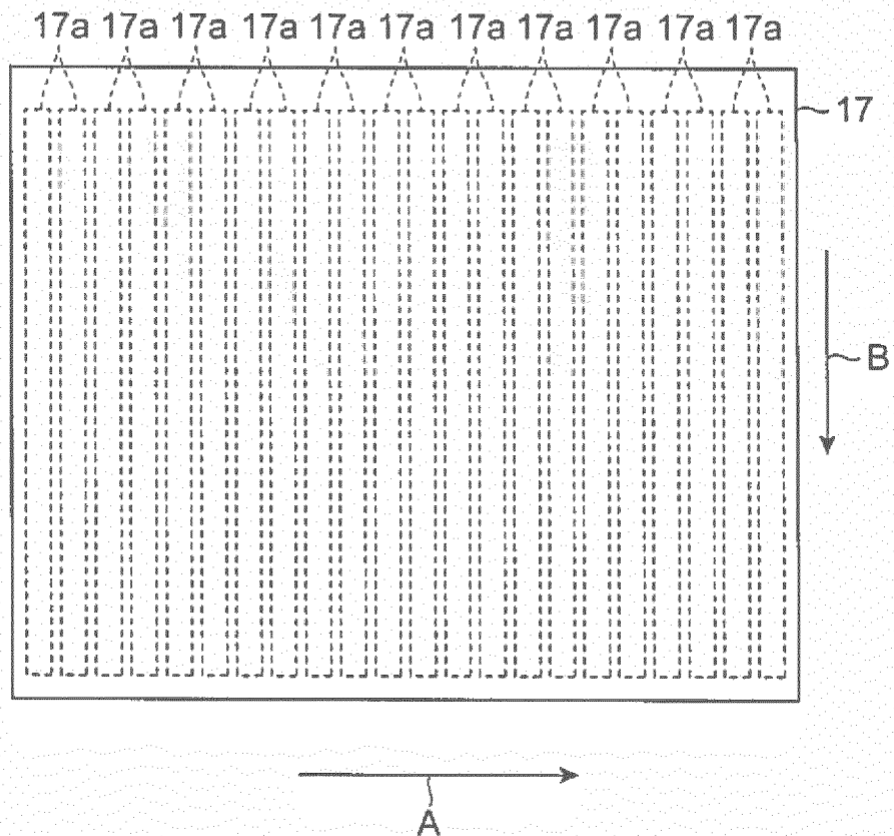
11. Un medio legible por ordenador no transitorio que tiene el programa de cálculo de patrón de modulación de acuerdo con la reivindicación 10 almacenado en el mismo.

Fig.1



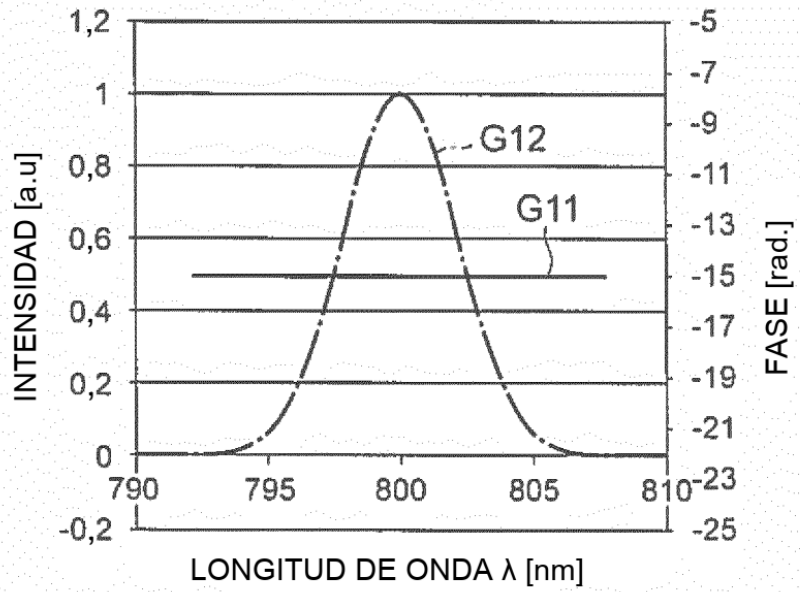


**Fig.2**

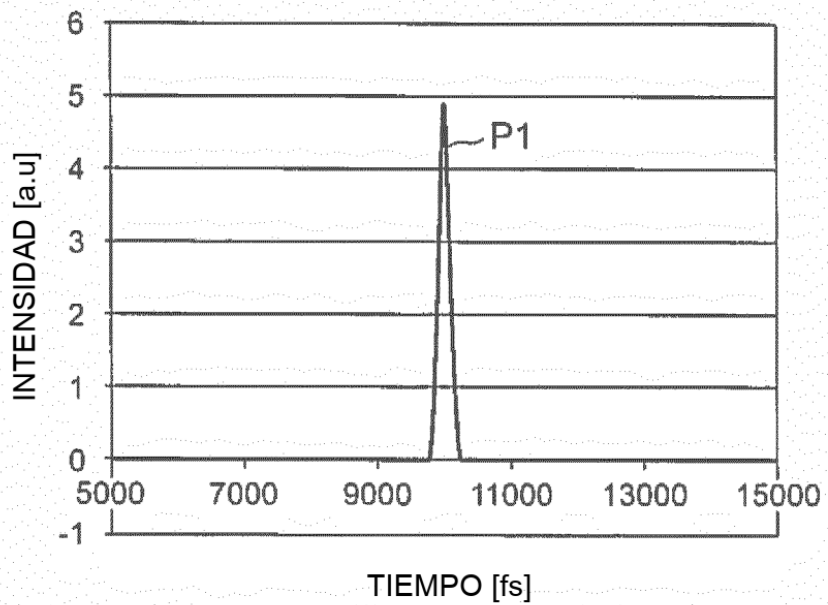


**Fig.3**

(a)



(b)



**Fig.4**

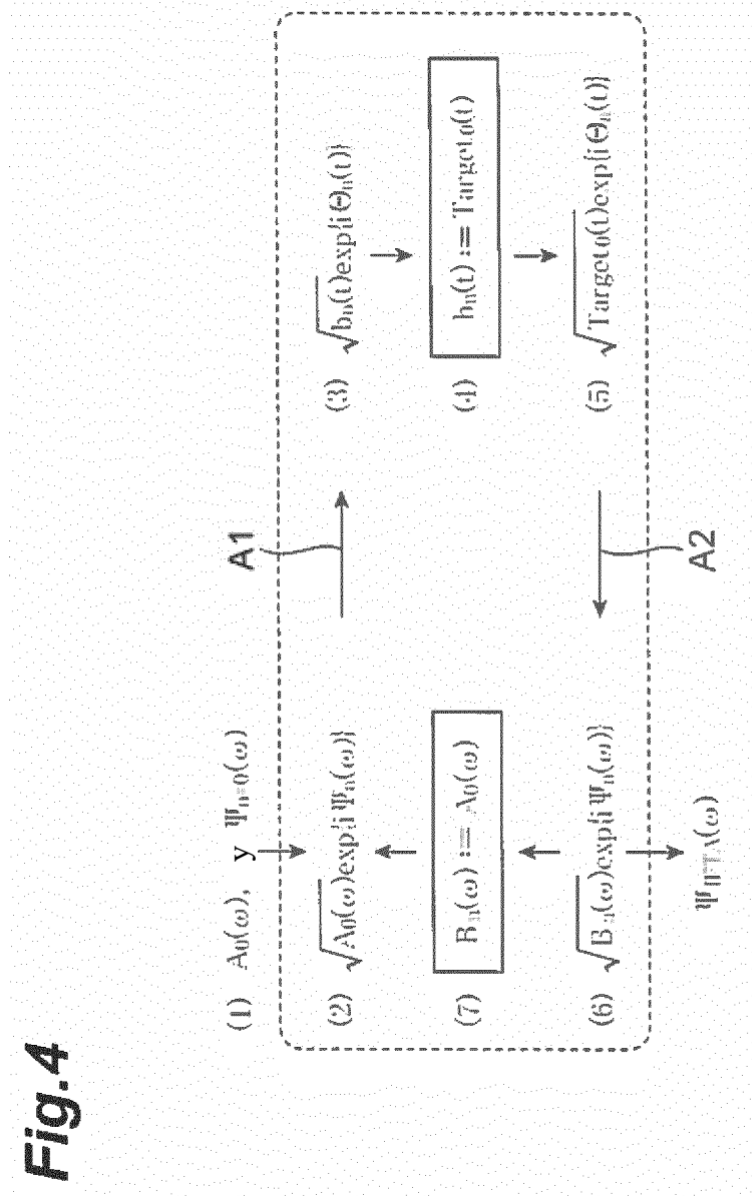


Fig.5

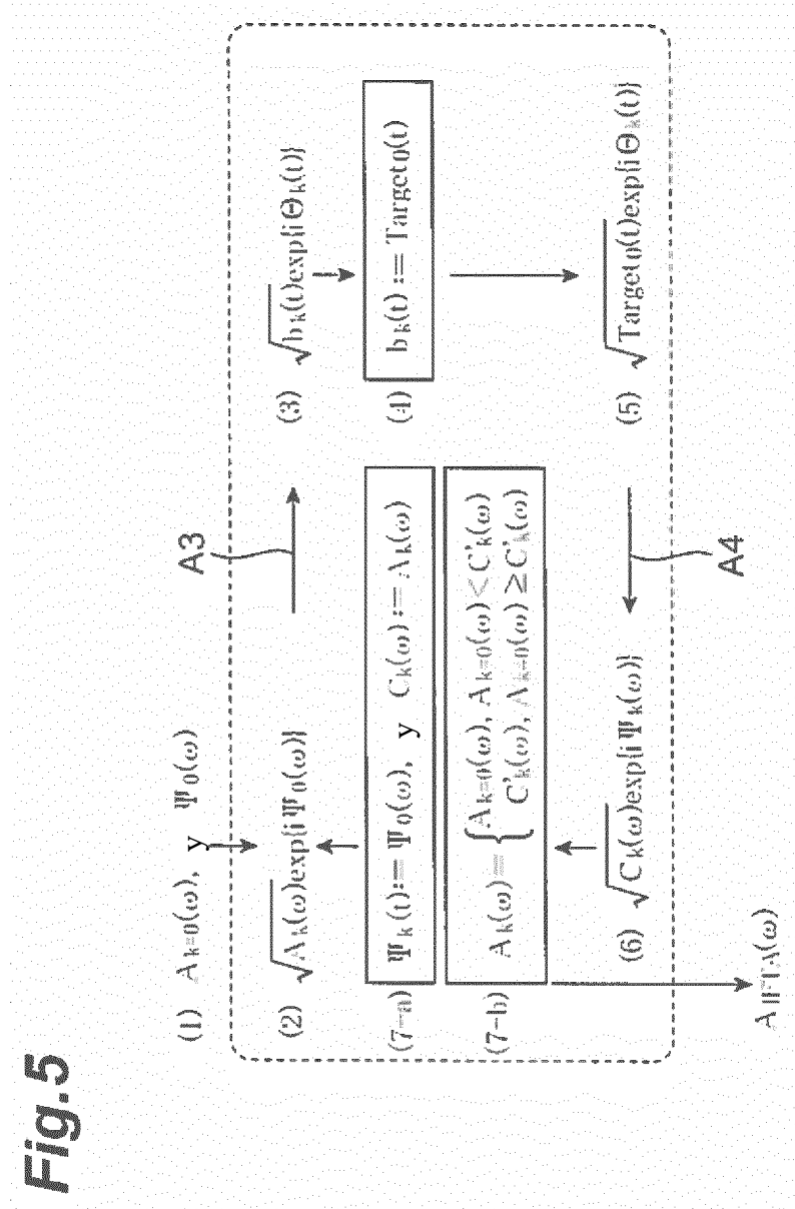
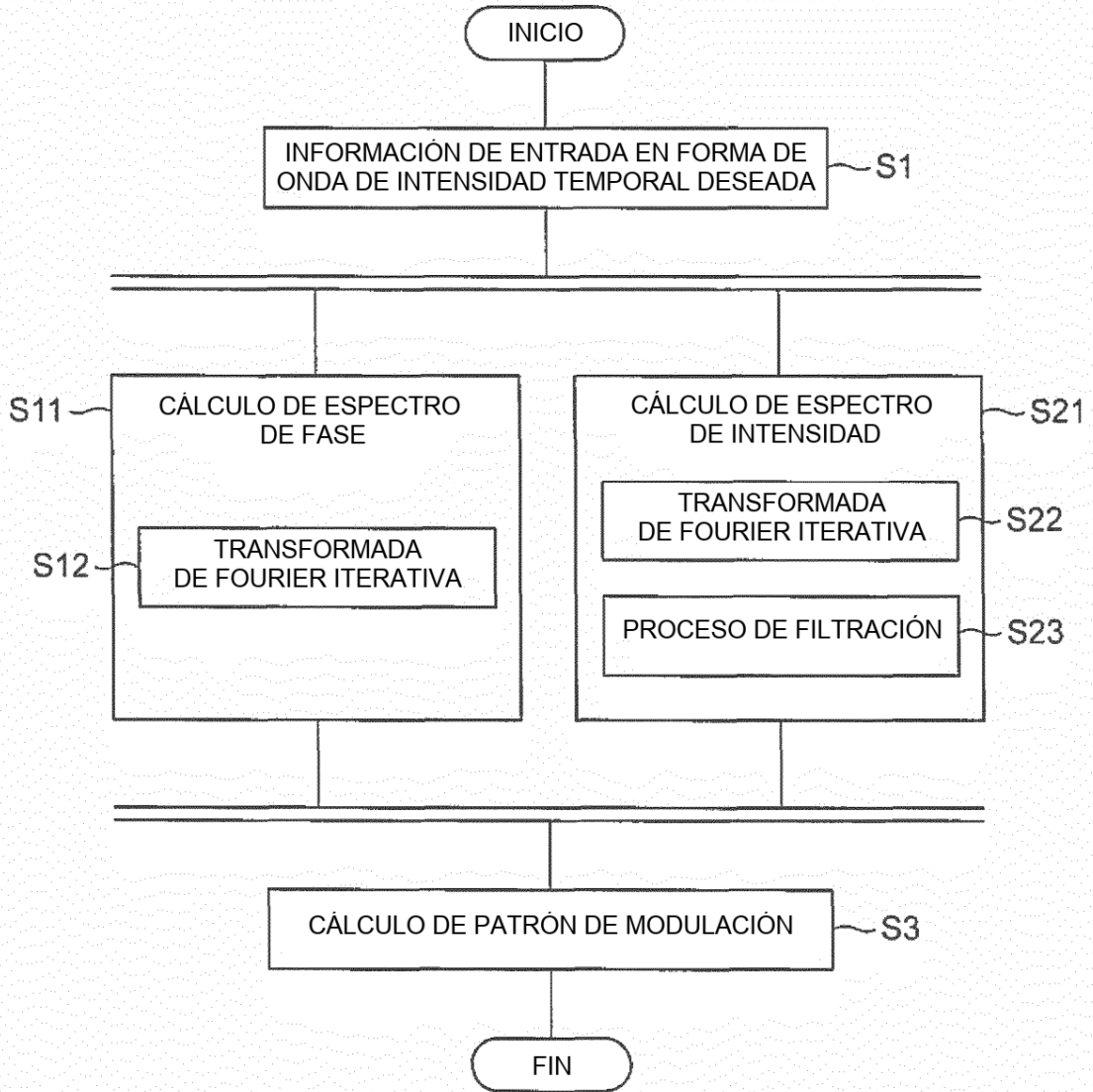
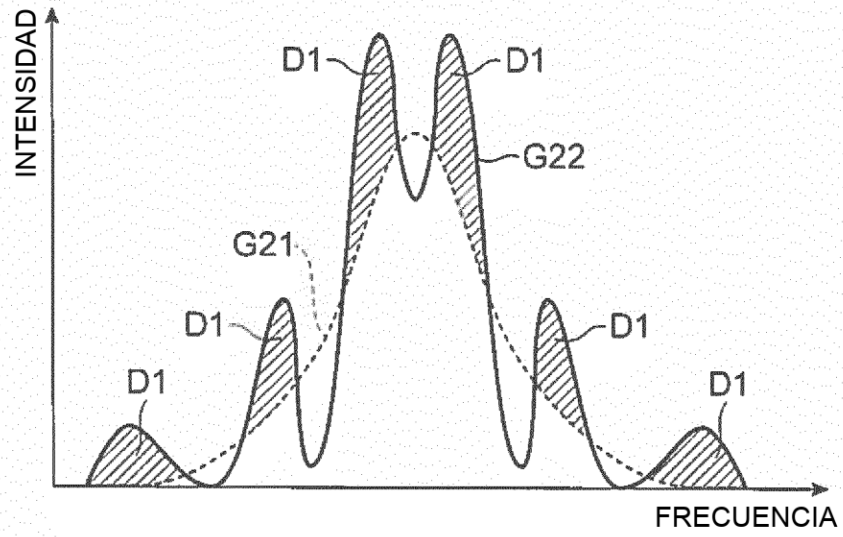


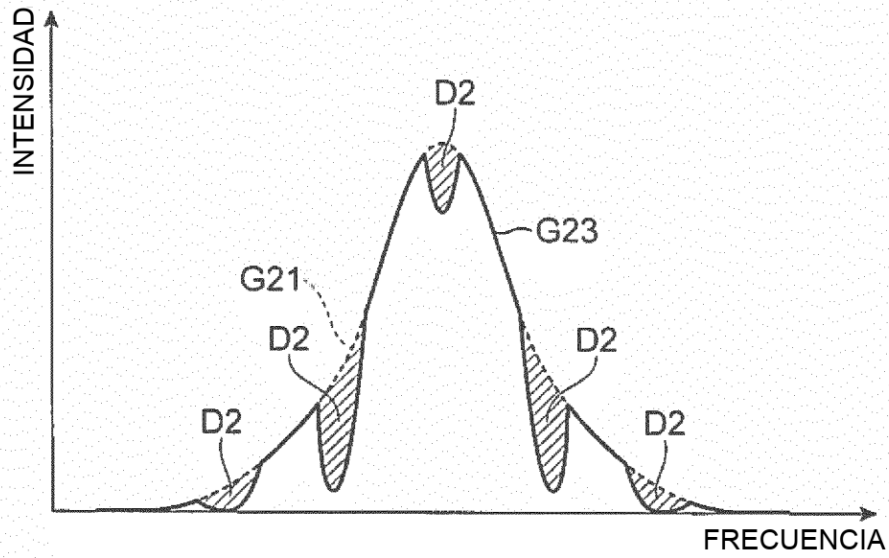
Fig.6



**Fig.7**

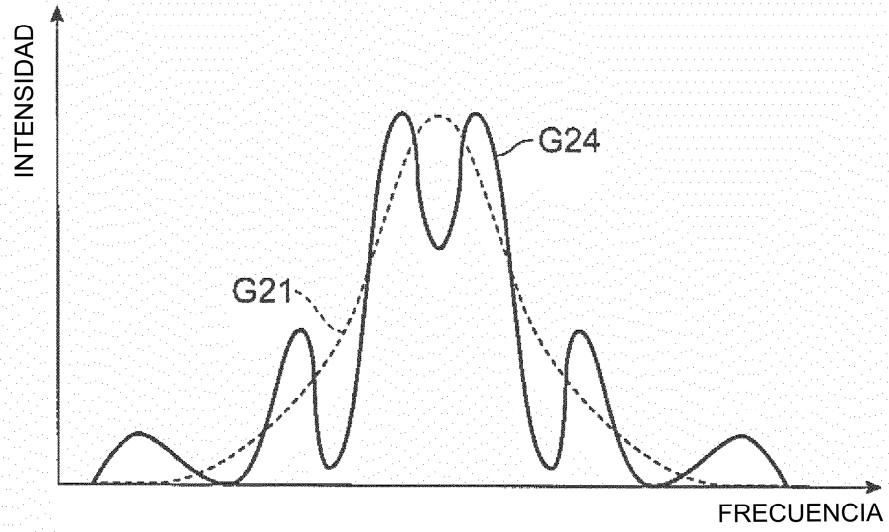


**Fig.8**



**Fig.9**

(a)



(b)

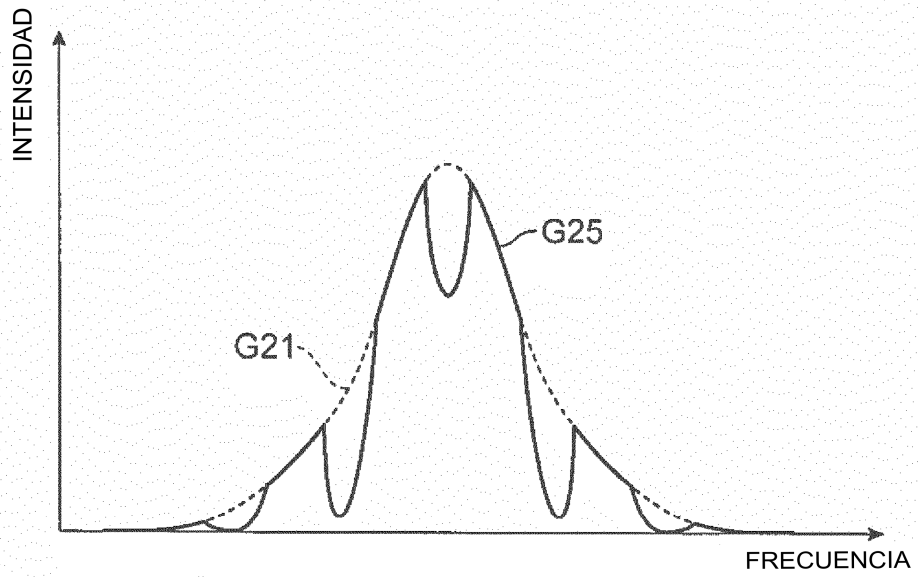
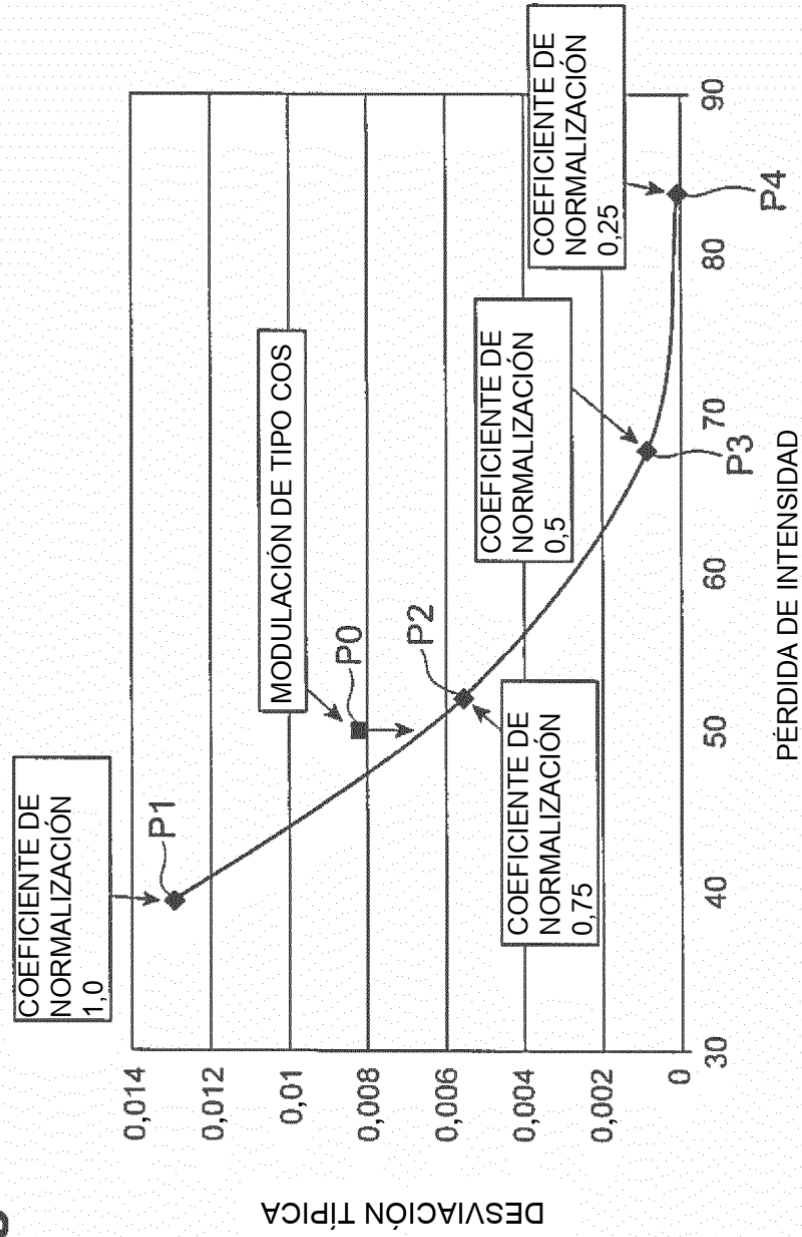
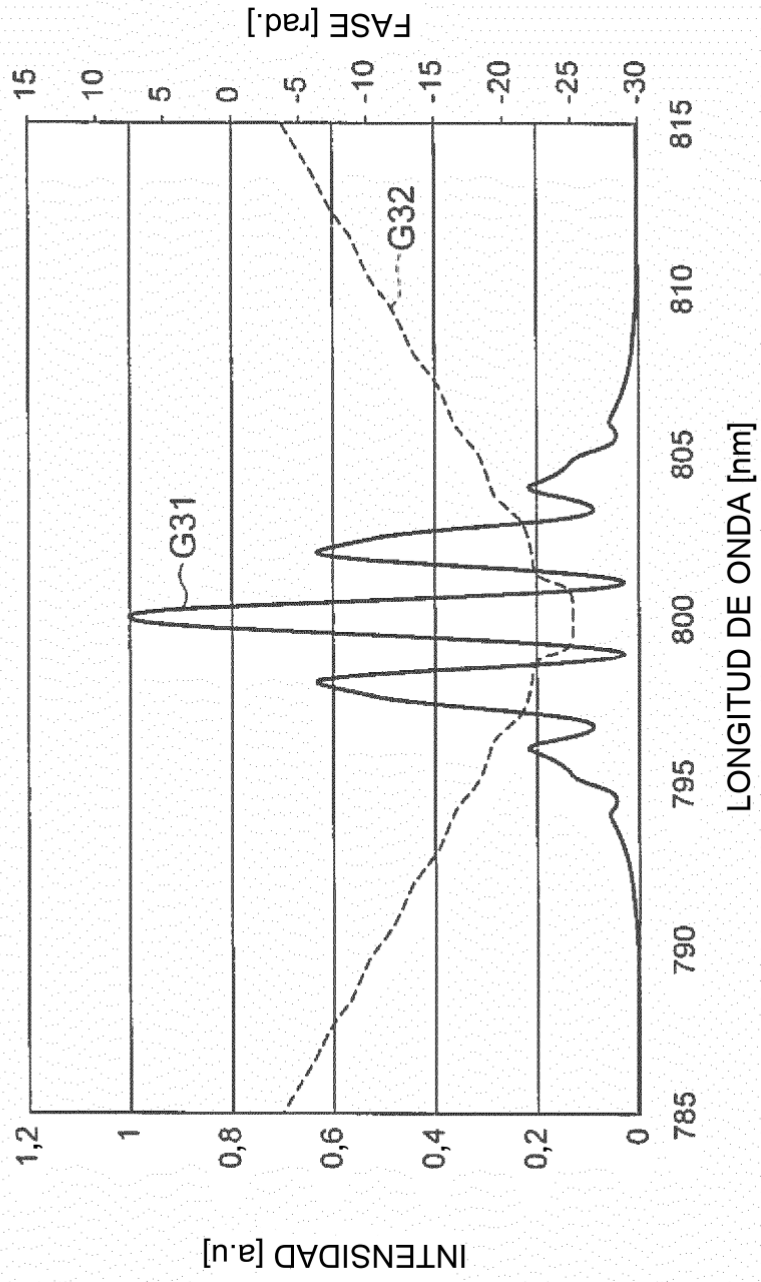




Fig.10



**Fig.11**



**Fig.12**

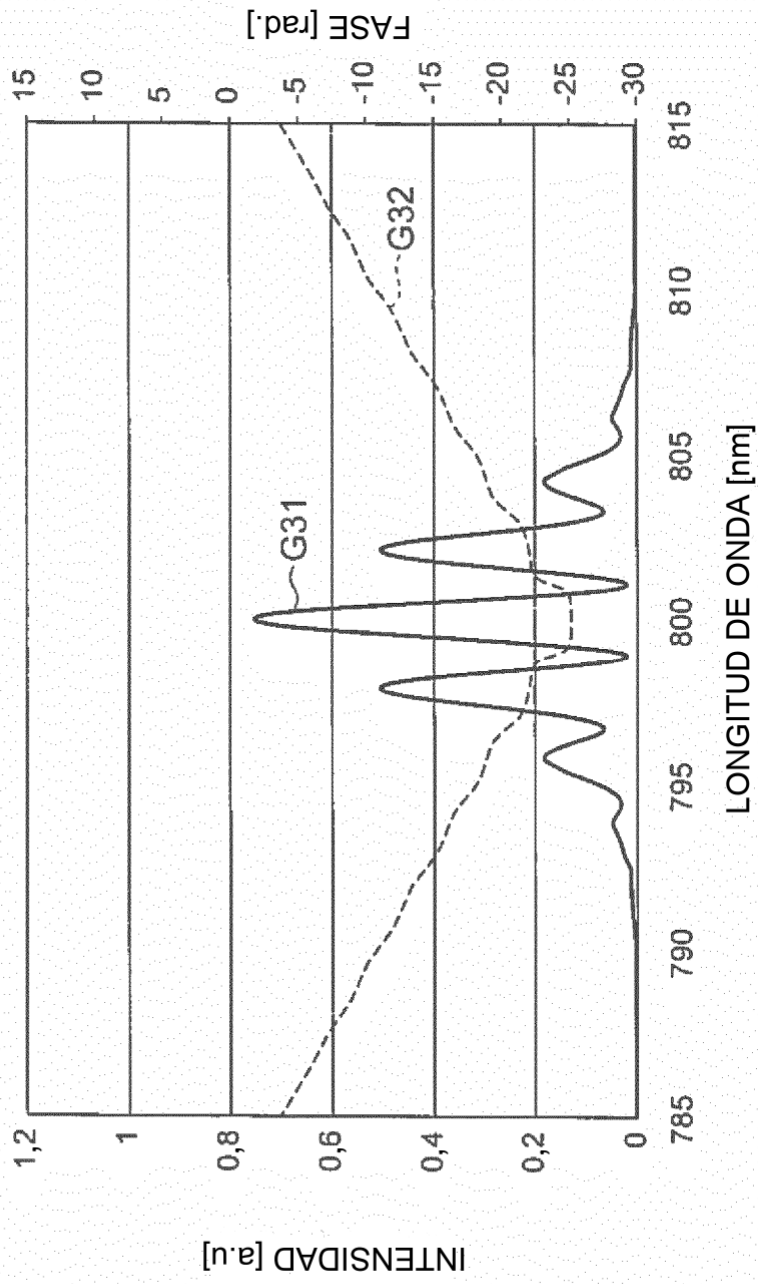
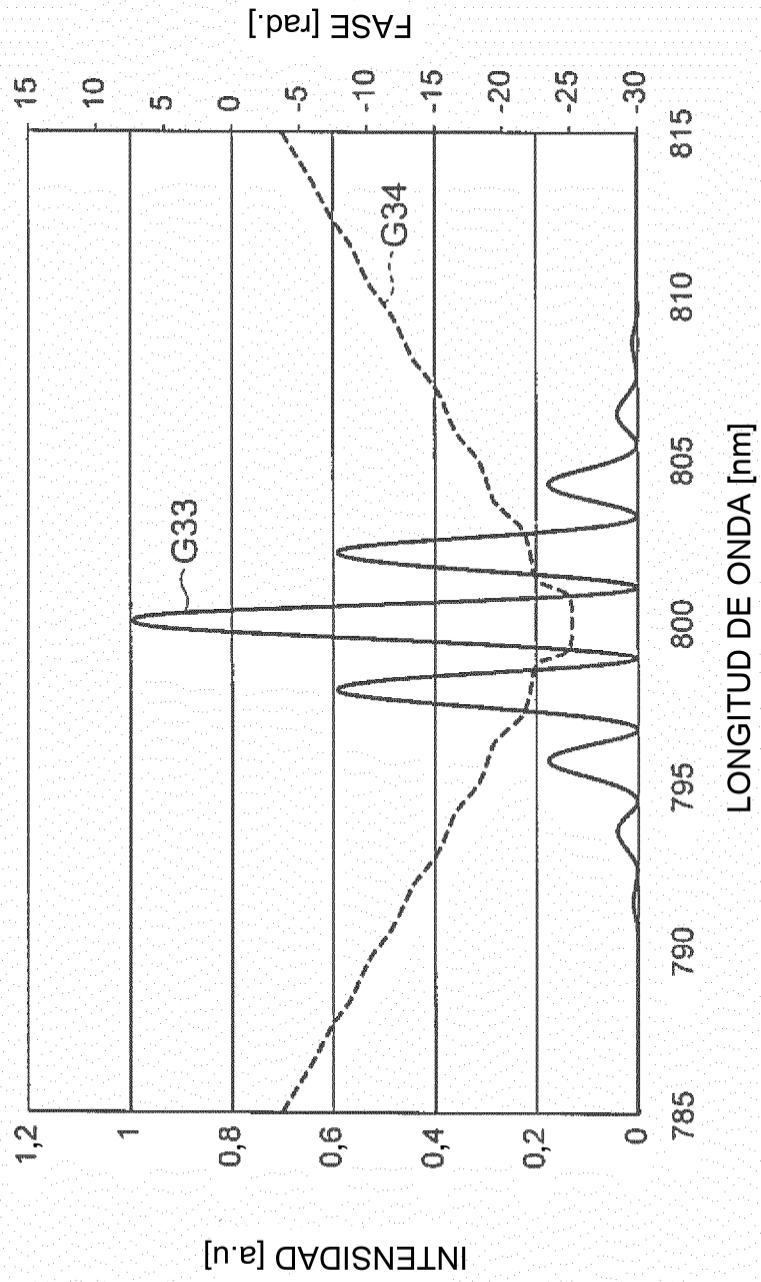
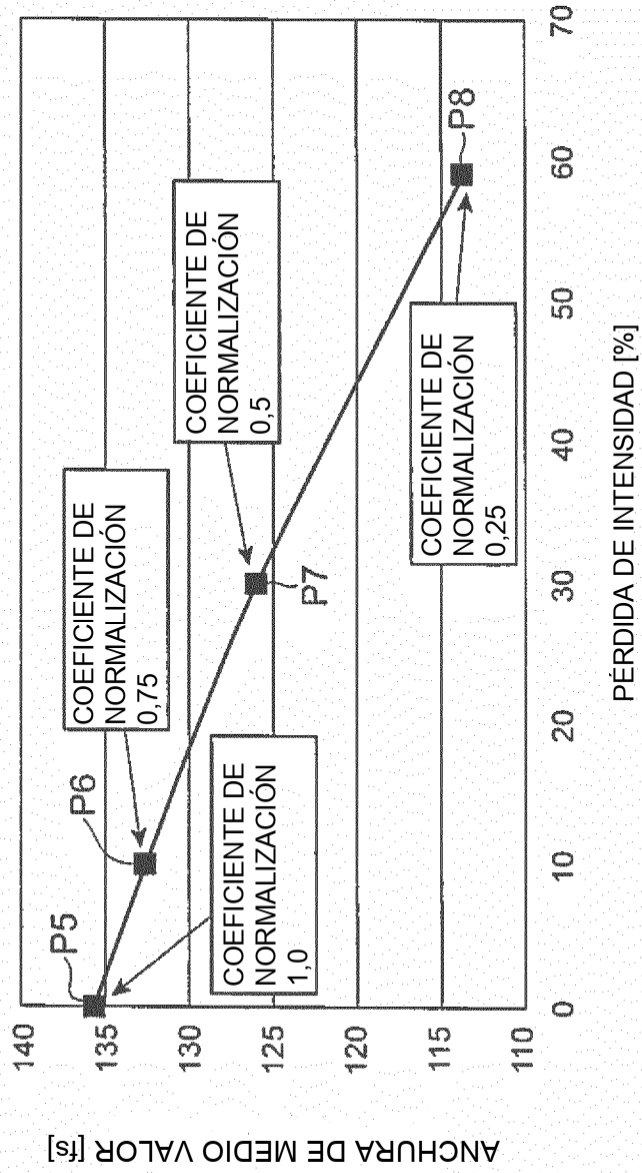


Fig.13

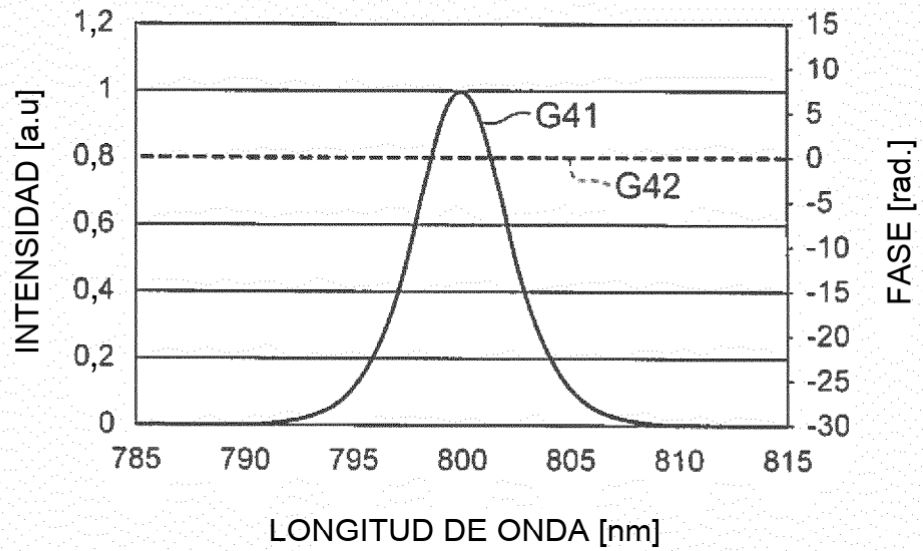


**Fig.14**



**Fig.15**

(a)



(b)

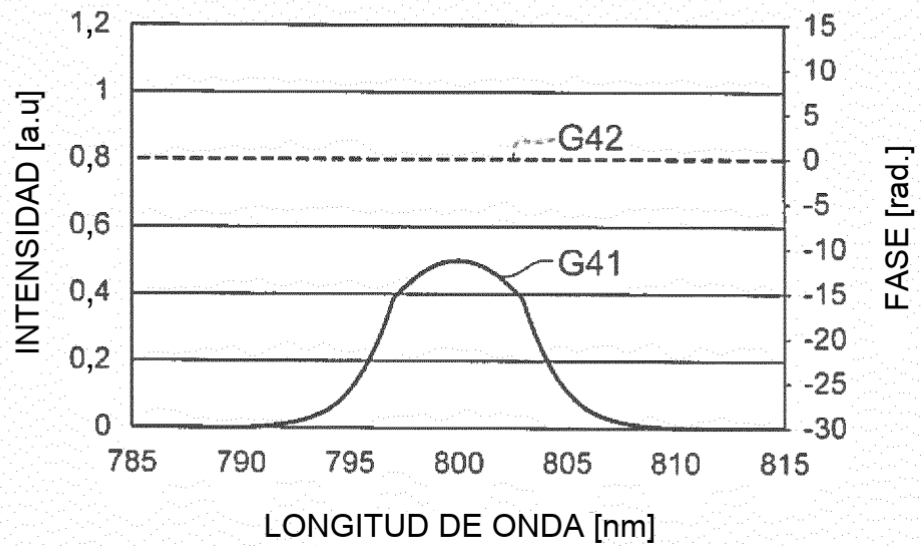


Fig.16

