



TÍTULO DE PATENTE NO. 280131

Titular(es): INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Domicilio(s): Luis Enrique erro 1, Santa María Tonantzintla, 72840, San Andres Cholula, Puebla, MEXICO

Denominación: FILTRO BIRREFRINGENTE EN DOS LONGITUDES DE ONDA

Clasificación: Int.Cl.8: G02F1/035

Inventor(es): CARLOS GERARDO TREVIÑO PALACIOS; CORINNA WETZEL

SOLICITUD

Número:	Fecha de presentación:	Hora:
MX/a/2007/013953	18 de octubre de 2007	10:31

PRIORIDAD

País:	Fecha:	Número:

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 18 de octubre de 2027

LA VIGENCIA DE ESTA PATENTE ES IMPRORRROGABLE Y ESTÁ SUJETA AL PAGO DE LA TARIFA PARA MANTENER VIGENTES LOS DERECHOS.



Fecha de expedición: 18 de octubre de 2010

EL DIRECTOR DIVISIONAL DE PATENTES

QUÍM. FABIÁN R. SALAZAR GARCÍA



FILTRO BIRREFRINGENTE EN DOS LONGITUDES DE ONDA

CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere a filtros birrefringentes de señales ópticas
5 específicamente a un sistema de varios cristales birrefringentes con grosores diferentes múltiplos enteros del cristal más delgado colocados en cascada con polarizadores entre ellos que selecciona dos bandas de longitudes de onda cuya separación se puede variar cambiando los ángulos del cristal más ancho.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Un filtro óptico es un dispositivo que transmite luz en un rango determinado de longitudes de onda bloqueando las restantes. Esto puede lograrse usando un material absorbente cuando se buscan longitudes de onda fijas. Si se busca variar la longitud de onda que se busca filtrar se requiere del uso de materiales
15 dispersivos que separan las longitudes de onda de la luz incidente y parte de estas son bloqueadas. En los sistemas dispersivos comunes se usan elementos como rejillas de difracción, prismas, filtros de interferencia, filtros acusto-ópticos, filtros de cristales líquidos, interferómetros de Michelson, interferómetros de transformada de Fourier, etalones de órdenes múltiples, o filtros birrefringentes.
20 De particular interés en esta invención son los filtros birrefringentes, ampliamente usados en láseres y espectroscopia solar.

El término filtro birrefringente (BRF) se refiere a una serie de placas birrefringentes colocadas con sus superficies al ángulo de Brewster con respecto a la luz del incidente. Debido a la birrefringencia de la luz polarizada entrante al
25 material óptico se divide en dos componentes que viajan con diversas velocidades a lo largo del eje rápido y lento del material. El retraso del componente en el eje lento da lugar a un cambio de fase, dependiendo de la longitud de onda, de la birrefringencia y del grueso del material. La función espectral de la transferencia de tal placa es una función periódica cosenoidal dependiendo de la longitud de
30 onda. La combinación de varias placas birrefringentes a un sistema de filtración primero fue introducida por Lyot en 1933. En su propuesta las placas son

normales orientado a la luz del incidente, colocadas en cascada longitudes de un factor de dos y que incluyen los polarizadores perfectos de la entrada y de la salida para cada elemento. El eje óptico aquí está situado en la superficie de las placas y a 45° a la orientación del polarizador, para generar dos componentes de polarización iguales. El espacio libre medio (FSR) de las placas es reducido a la mitad, yendo del más fino al elemento más grueso. El producto de las funciones de la transferencia de cada placa conduce a la transmisión del sistema de filtración total que consiste típicamente en 3-4 placas.

El filtro birrefringente usado como filtro en una laser que usa los elementos de un filtro de Lyot al ángulo de Brewster en vez de incidencia normal. Las superficies de las placas actúan como polarizadores parciales mientras d manera que los polarizadores perfectos pueden ser omitidos. Tales filtros birrefringentes son usado intracavidad, para la frecuencia del laser que seleccionada por el efecto polarizante parcial alcanza la eficacia alta debido a la oscilación de la radiación en la cavidad del laser. La novedad del filtro birrefringente de frecuencia dual presentado en esta invención se basa en su capacidad de filtrar dos frecuencias al mismo tiempo, centrado en una frecuencia elegida. El diseño del filtro especifica la separación armonica de las dos longitudes de onda filtradas, dependiendo del uso. En particular existe una necesidad de seleccionar dos longitudes de onda para generar fuentes de radiación electromagnética que emita en frecuencias en el rango de los terahertz y espectrómetros en dos longitudes de onda para mediciones espectroscópicas diferenciales en monitoreo o astronomía solar.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

El objetivo de la presente invención es permitir seleccionar dos bandas de frecuencia de una señal óptica permitiendo variar la separación entre las bandas y la respuesta central del filtro al usar varios cristales birrefringentes en cascada cuyas longitudes son múltiplos enteros del cristal más delgado con polarizadores entre ellos y ajustar el ángulo del cristal más ancho a manera que el máximo de este cristal coincida con el mínimo de la respuesta de los otros cristales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra la geometría de propagación de un cristal birrefringente.

La figura 2 Muestra una de las configuraciones de realización de la invención, usando cristales birrefringentes en cascada y polarizadores entre ellos.

5 La figura 3: Muestra una de las configuraciones de realización de la invención, usando cristales birrefringentes en cascada y propagación al ángulo de Brewster.

La figura 4 muestra la respuesta individual, que son cuatro para ejemplificar la invención, y colectiva propagación en cascada a través de varios cristales
10 birrefringentes con el mismo ángulo de inclinación y rotación.

La figura 5 muestra la respuesta individual, que son cuatro para ejemplificar la invención, y colectiva propagación en cascada a través de varios cristales birrefringentes con el mismo ángulo de inclinación y rotación, exceptuando el cristal birrefringente más ancho cuyos ángulos de inclinación y rotación logran un
15 corrimiento de fase a manera que la respuesta colectiva sea de dos bandas independientes motivo de la presente invención.

La figura 6 muestra la respuesta de del filtro birrefringente en dos longitudes de onda a diferentes ángulos de inclinación y rotación.

La figura 7 muestra las diferentes posibilidades donde se obtiene respuesta
20 en dos longitudes de onda a un ángulo de inclinación en función de la rotación del último cristal.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

En los párrafos siguientes, se describe en detalle el funcionamiento de la
25 invención con referencia a los dibujos adjuntos.

Para entender el comportamiento de un filtro birrefringente que se relaciona con el comportamiento básico de la invención, en la FIGURA 1 presentamos un cristal birrefringente de ancho d (1) cuyo eje óptico (2) se encuentra a un ángulo diferente de cero a la señal óptica entrante (3). El cristal birrefringente se
30 caracteriza por los índices de refracción n_e y n_o que representan los índices de refracción extraordinario y ordinario, respectivamente. La señal entrante subtiende

un ángulo θ_e (4) con la normal a la superficie, donde en particular nos interesan en esta invención los valores $\theta_e \neq \theta_{Be}$ o $\theta_e = \theta_{Be}$, donde θ_{Be} es el ángulo de Brewster externo. La señal óptica se propaga dentro del cristal a un ángulo θ_i (5) de acuerdo a la ley de Snell, que corresponde a los ángulos que nos interesa en esta invención $\theta_i \neq \theta_{Bi}$, o $\theta_i = \theta_{Bi}$, respectivamente; siendo θ_{Bi} el ángulo de Brewster interno. La ley de Snell está dada por

$$n_{ext} \text{ sen } \theta_e = n_{int} \text{ sen } \theta_i$$

donde n_{ext} es el índice de refracción del medio donde incide la señal óptica y n_{int} es el índice de refracción con el que se propaga la señal óptica dentro del cristal birrefringente; el ángulo de Brewster es aquel en el que:

$$\theta_{Be} + \theta_{Bi} = 90^\circ$$

La señal óptica dentro del cristal se propaga a un ángulo γ (6) respecto al eje óptico, el cual se relaciona con el ángulo de incidencia de la señal óptica θ_i (4) y la rotación del cristal α (7) por la relación:

$$\cos \gamma = \cos \theta_{Be} \cos \sigma + \text{sen } \theta_{Be} \text{ sen } \sigma \cos \alpha.$$

donde σ es el ángulo entre la superficie del cristal birrefringente y el eje óptico. La señal óptica incidente la podemos separar en las polarizaciones paralela y perpendicular al plano de incidencia, definido por la normal a la superficie y la señal óptica incidente (3). Debido a la birrefringencia en el cristal birrefringente la señal óptica experimenta un retraso de fase ($\Delta\phi$) dado por:

$$\Delta\phi = (2\pi/\lambda) d (n_e - n_o) \text{ sen}^2 \gamma / \cos \theta_i$$

donde λ representa la longitud de onda de la señal óptica incidente.

Colocando una serie de varios cristales birrefringente de tal manera que la señal óptica atraviese los cristales, configuración que llamaremos en cascada, construimos los elementos de la invención con las características que a continuación se mencionan.

La primera configuración posible de realización de la invención se presenta en la FIGURA 2, donde se usan varios cristales birrefringentes, que serán cuatro para ejemplificar la invención. Usando como referencia el primer cristal birrefringente con grosor d_0 (8), los demás cristales birrefringentes tendrán

grosores que sean múltiplos enteros del grosor del primero d_0 . Así, tendremos grosores $d_9 = ad_0$ (9), $d_{10} = bd_0$ (10) y $d_{11} = cd_0$ (11); con a , b y c números enteros. Las combinaciones pueden ser cualesquiera combinación de grosores: $1:a:b:c$, arreglado de manera que los grosores aumenten su tamaño progresivamente. Sin ser excluyentes, esta combinación puede ser $1:2:2:16$, $1:2:4:24$, $1:2:4:8$, por ejemplo. Se realiza la propagación en cascada a incidencia normal a las superficies de los cristales birrefringentes. Los cristales se colocan entre polarizadores (12a), (12b), (12c), (12d), y (12e) con eje de transmisión paralelos. Los cristales se arreglan de manera que el eje óptico forme un ángulo σ diferente de cero con la superficie del cristal birrefringente, de manera que la polarización que pasa a través de los polarizadores (12) forme un ángulo γ entre la propagación interna de la señal óptica y el eje óptico que pueda variar al realizar la rotación colectiva de la invención (13). El cristal más ancho, aquel que se encuentra al final de la configuración en cascada, se permite que gire de manera independiente a los demás cristales en dos grados de libertad: (I) giro respecto al ángulo de incidencia (14a) , que llamaremos de inclinación, a manera que la incidencia varíe del ángulo colectivo $\theta_e \neq \theta_{Be}$, y (II) respecto al eje de propagación de la radiación óptica (14b) , que llamaremos de rotación, generando que el ángulo entre la propagación interna de la radiación óptica y el eje óptico pueda cambiarse independientemente.

La segunda configuración posible de realización de la invención se presenta en la FIGURA 3, donde nuevamente se usan varios cristales birrefringentes, que serán cuatro para ejemplificar la invención. Se realiza la propagación en cascada de manera que la señal óptica incida al ángulo de Brewster externo (15) en los cristales birrefringentes. Debido a la propiedad polarizante de la propagación a éste ángulo de incidencia no se requieren polarizadores entre los cristales birrefringentes. Usando como referencia el primer cristal birrefringente con grosor d_0 (16), los demás cristales birrefringentes tendrán grosores que sean múltiplos enteros del grosor del primero d_0 . Así, tendremos grosores $d_{17} = ad_0$ (17), $d_{18} = bd_0$ (18) y $d_{19} = cd_0$ (19); con a , b y c números enteros. Las combinaciones pueden ser cualesquiera combinación de grosores: $1:a:b:c$, arreglado de manera que los

grosos aumenten su tamaño progresivamente. Sin ser excluyentes, esta combinación puede ser 1:2:2:16, 1:2:4:24, 1:2:4:8, por ejemplo. El cristal más ancho, aquel que se encuentra al final de la configuración en cascada, se permite que gire de manera independiente a los demás cristales en dos grados de libertad:

- 5 (I) giro respecto al ángulo de incidencia (20a), que llamaremos de inclinación, a manera que la incidencia varíe de la al ángulo de Brewster $\theta_e = \theta_{Be}$, y (II) respecto al eje de propagación de la radiación óptica (20b), que llamaremos de rotación, generando que el ángulo entre la propagación interna de la radiación óptica y el eje óptico pueda cambiarse independientemente. Los cristales se arreglan de
- 10 manera que el eje óptico forme un ángulo σ diferente de cero de manera que se forme un ángulo γ entre la propagación interna de la señal óptica y el eje óptico que pueda variar al realizar la rotación colectiva de la invención (20c).

Para entender el funcionamiento de la invención observamos el comportamiento colectivo de la radiación óptica al propagarse a través de

15 cualquiera de las configuraciones de realización descrita al tener todos los cristales birrefringentes con los mismos ángulos de rotación e inclinación, en la FIGURA 4 observamos la propagación de la señal óptica en la polarización alineada con los polarizadores en la primera o polarización vertical en la segunda. La respuesta en transmisión es armónica al variar la longitud de onda de la señal

20 óptica incidente. Usando la respuesta de los cristales birrefringentes, que serán cuatro para ejemplificar la invención en configuración 1:2:4:8, observamos la respuesta más ancha para el cristal más delgado (21) con grosor d_0 ; el ancho de la curva a la mitad del máximo lo llamamos el ancho de banda. La distancia entre máximos consecutivos de la curva se llama espacio libre medio (FSR).

25 Similarmente, la respuesta de los otros cristales tiene una periodicidad, en nuestro ejemplo, al doble (22), cuádruple (23) y ocho veces mayor (24); o lo que es lo mismo, un camino libre medio a la mitad (23), a la cuarta parte (24) y la octava parte (25) del camino libre medio de la placa más delgada. Al multiplicar la

30 respuesta de todos los cristales birrefringentes en cascada se obtiene la respuesta colectiva en configuración de una banda del invento (25). Al realizar la rotación colectiva de la invención, la longitud de onda que observa el máximo de

transmisión varía dependiendo del ángulo de rotación colectivo. Esto permite obtener un filtro birrefringente sintonizable.

El comportamiento de la invención se comprende al analizar en la FIGURA 5 donde observamos el comportamiento colectivo de la radiación óptica al propagarse a través de cualquiera de las configuraciones de realización descrita al tener todos los cristales birrefringentes con los mismos ángulos de rotación e inclinación, exceptuando el cristal birrefringente más ancho cuyos ángulos de inclinación y rotación son diferentes. En la figura 5 la propagación de la señal óptica en la polarización alineada con los polarizadores en la primera o polarización vertical en la segunda. La respuesta en transmisión es armónica al variar la longitud de onda de la señal óptica incidente. Usando la respuesta de los cristales birrefringentes, que serán cuatro para ejemplificar la invención en configuración 1:2:4:8, observamos la respuesta más ancha para el cristal más delgado (26) con grosor d_0 . Nuevamente en nuestro ejemplo, la respuesta de los otros cristales tiene una periodicidad, en nuestro ejemplo, al doble (27), cuádruple (28) y ocho veces mayor (29); o lo que es lo mismo, un camino libre medio a la mitad (27), a la cuarta parte (28) y la octava parte (29) del camino libre medio de la placa más delgada. Como diferencia a los sistemas conocidos, permitimos modificar los ángulos de inclinación y rotación de manera que se realice un corrimiento de fase de medio camino libre medio, o corrimiento de $\pi/2$ (30). Ahora el producto de las curvas de transmisión de los cristales birrefringentes en cascada genera dos bandas distintivas entre ellas, permitiendo operación en dos longitudes de onda. Al realizar la rotación colectiva de la invención en estas condiciones, la longitud de onda que observa centro de la curva de transmisión varía dependiendo del ángulo de rotación colectivo. Esto permite obtener un filtro birrefringente de dos longitudes de onda sintonizable.

Como consecuencia de la variación de los ángulos de rotación e inclinación, es que la longitud óptica dentro del cristal varia, con la consecuente variación en el camino libre medio y la condición de que el camino libre medio es un submúltiplo del camino libre medio del cristal más delgado deja de cumplirse y se permite la variación en la separación relativa entre las bandas de transmisión del filtro

birrefringente en dos longitudes de onda, adicionalmente a la variación en la longitud de onda de respuesta central del filtro de manera colectiva al cambiar el conjunto de la invención.

Este filtro puede ser colocado entre espejos produciendo que la radiación
5 óptica pase múltiples veces por la invención produciendo una disminución en el ancho de banda de cada una de las bandas del filtro birrefringente de dos longitudes de onda. En la FIGURA 6 se muestra la transmisión de la invención en una combinación de cristales de cuarzo en configuración 1:2:2:16 con respecto al grosor del cristal más delgado de 2.0822 mm colocados al ángulo de Brewster
10 como función del ángulo de rotación del cristal más grueso respecto a los otros cristales colocado con una rotación externa de 45° obteniendo una longitud de onda central de 980 nm.; el ángulo de inclinación del cristal más grueso está a -30° respecto a los otros cristales al considerar transmisión mayor al 10% de la invención en una cavidad con espejos 100% y 50% que corresponde a una
15 transmisión de 22 veces a través de los cristales en cascada. Al variar el ángulo de rotación de la placa más ancha respecto a la condición de 45° de los otros cristales birrefringentes obtenemos separación entre los máximos de la respuesta en dos longitudes de onda de 0.7 THz a 15.38° (32), 0.8 THz a 33.02° (33), 1.0 THz a 266.28° (34) y 1.1 THz a 238.78° (35); bajo las mismas condiciones,
20 analizando la transmisión global después de atravesar 22 veces los filtros en cascada y considerando aquellas combinaciones cuya transmisión es superior a 10%, obtenemos los puntos de la gráfica (36) en la FIGURA 7 que determina la capacidad de variación entre la combinación de espectros libres de los cristales birrefringentes. Así si una señal óptica tiene un ancho de banda que sobrepasa el
25 ancho de banda del filtro birrefringente en dos longitudes de onda, o se coloca dentro de una cavidad laser, la señal óptica emergente contendrá exclusivamente la radiación óptica que no es bloqueada por el filtro.

La invención presentada no se limita a los detalles descritos: El alcance de la invención se define por las reivindicaciones y todos los cambios y
30 modificaciones que correspondan como equivalencias y entonces cubiertas por la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de filtro óptico formado por cristales birrefringentes cuyos grosores son múltiplos enteros de uno más delgado arreglados de tal manera que la señal óptica
5 atraviese todos los cristales birrefringentes usando polarizadores entre ellos, así como al principio y final del sistema, alineados con los mismos ángulos de inclinación y rotación de manera que la función del sistema sea filtrar una curva característica de la señal óptica con una transmisión óptica variable en función de la longitud de onda de la señal, caracterizado por que el cristal más ancho puede variar su ángulo de inclinación y rotación
10 respecto a los demás cristales del sistema.

2. Un sistema de filtro óptico formado por cristales birrefringentes cuyos grosores son múltiplos enteros de uno más delgado arreglados de tal manera que la señal óptica atraviese todos los cristales birrefringentes alineados con los mismos ángulos de rotación
15 ubicados con una inclinación igual al ángulo de polarización de manera que la función del sistema sea filtrar una curva característica de la señal óptica con una transmisión óptica variable en función de la longitud de onda de la señal, caracterizado por que el cristal más ancho puede variar su ángulo de inclinación y rotación respecto a los demás cristales del sistema.

3. El sistema de filtro óptico de la reivindicación 1 y 2, caracterizado por que el
20 mínimo de transmisión de la curva característica del cristal más grueso se encuentre cerca o coincida con el máximo de transmisión de la curva característica de los otros cristales de la invención a manera de obtener una curva característica con dos bandas centradas en longitudes de onda distintivamente diferenciables.

4. El sistema de filtro óptico de la reivindicación 1 y 2 con dos bandas centradas en
25 longitudes de onda distintivamente diferenciables descritas en la reivindicación 3, caracterizado por que se puede controlar la separación relativa entre los centros de las dos bandas distintivamente diferenciables en la curva característica al variar los ángulos de rotación e inclinación del cristal más ancho.

RESUMEN

La presente invención se refiere a un filtro birrefringente en dos longitudes de onda, caracterizado porque permite seleccionar dos bandas de frecuencia de una señal óptica de entrada con ancho de banda en exceso de la respuesta del filtro; el filtro se forma con el uso en cascada de varios cristales birrefringentes cuyas longitudes son múltiplos enteros del cristal más delgado con polarizadores entre ellos; el polarizador puede ser físico o usar propagación al ángulo de polarización por reflexión conocido como ángulo de Brewster; la respuesta global del filtro se puede sintonizar al cambiar en conjunto el ángulo de los cristales perpendicularmente a la propagación de la señal óptica; la respuesta de las dos bandas se logra alineando el ángulo del cristal más ancho a manera que el máximo de este cristal coincida con el mínimo de la respuesta de los otros cristales; la respuesta espectral está limitada por el cristal birrefringente más delgado y la separación de las dos bandas esta determinado principalmente por el cristal más ancho; la separación de las bandas ópticas seleccionadas se puede variar cambiando el ángulo del cristales más ancho manteniendo la condición de coincidencia entre máximos y mínimos de transmisión.

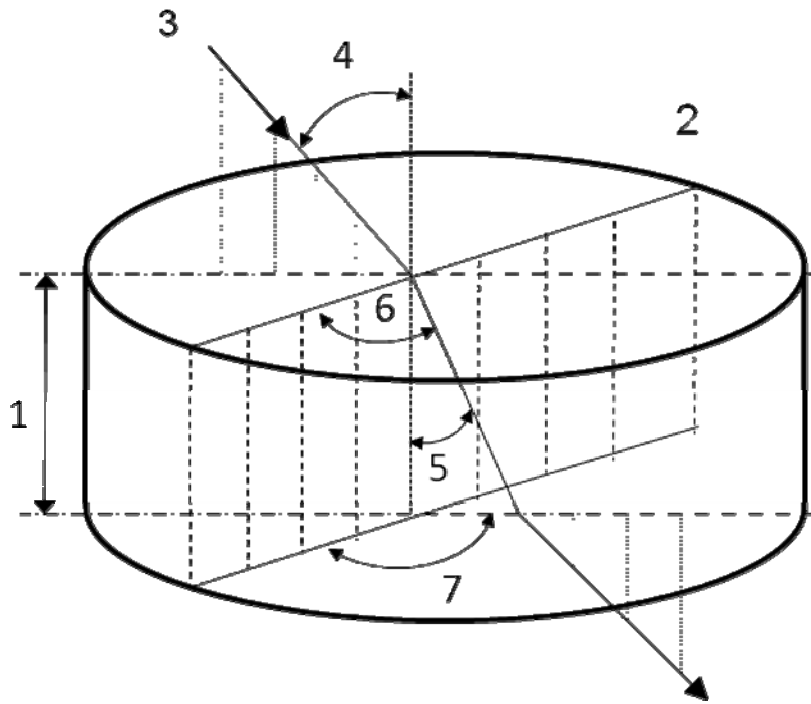


FIGURA 1

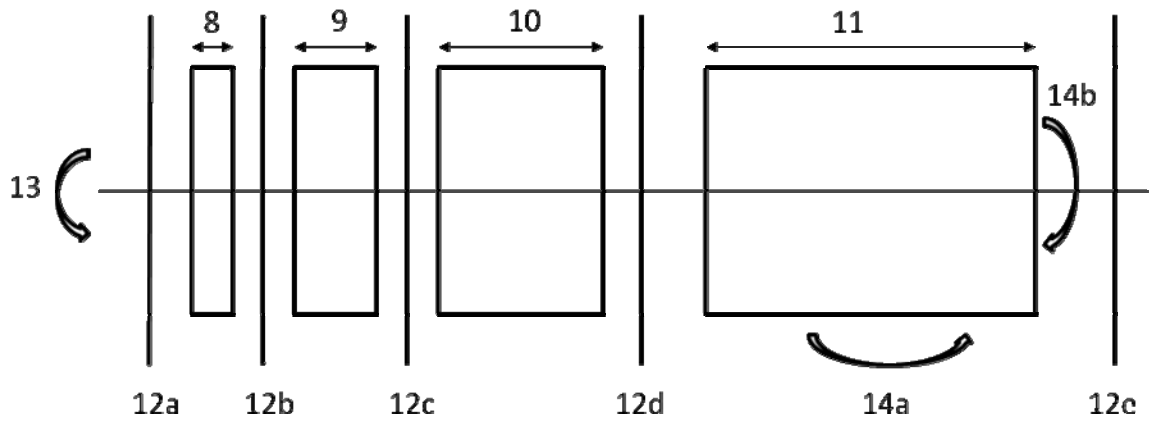


FIGURA 2

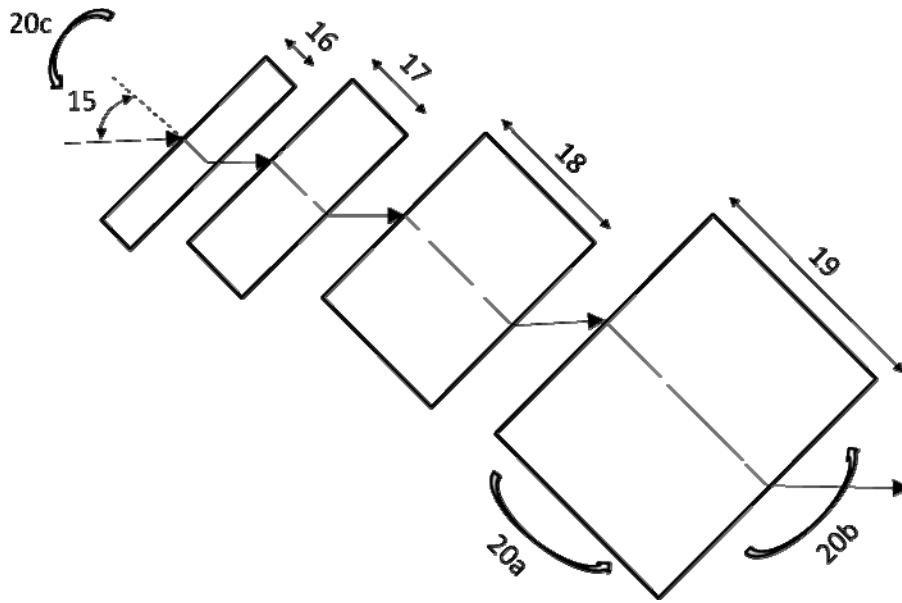


FIGURA 3

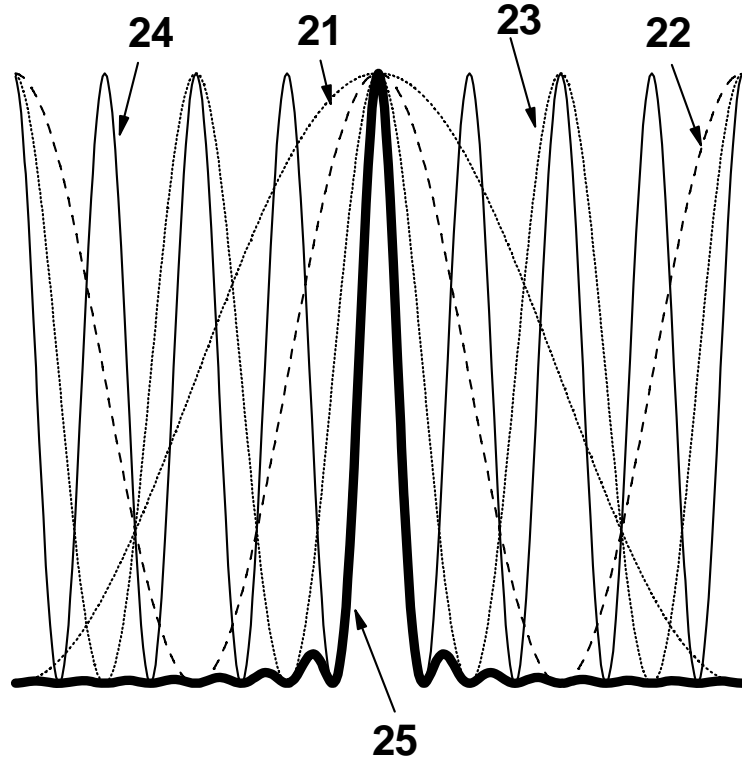


FIGURA 4

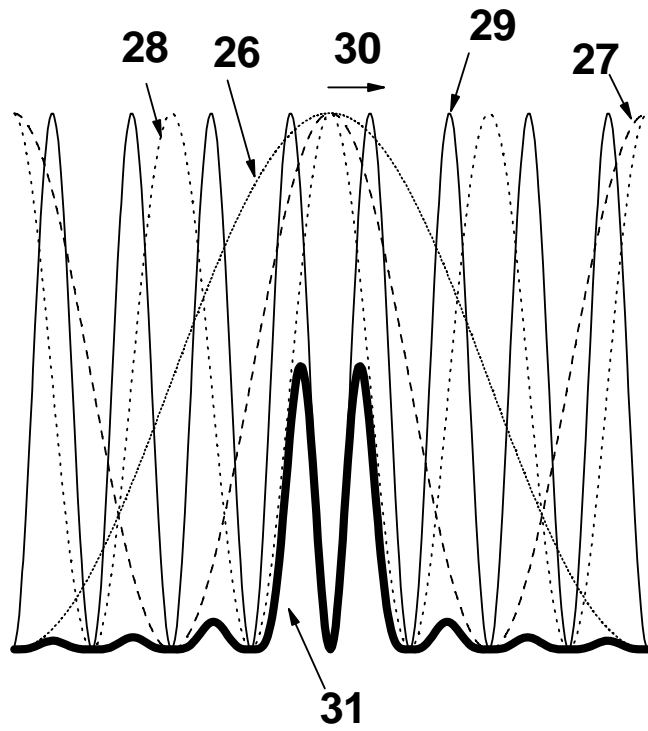


FIGURA 5

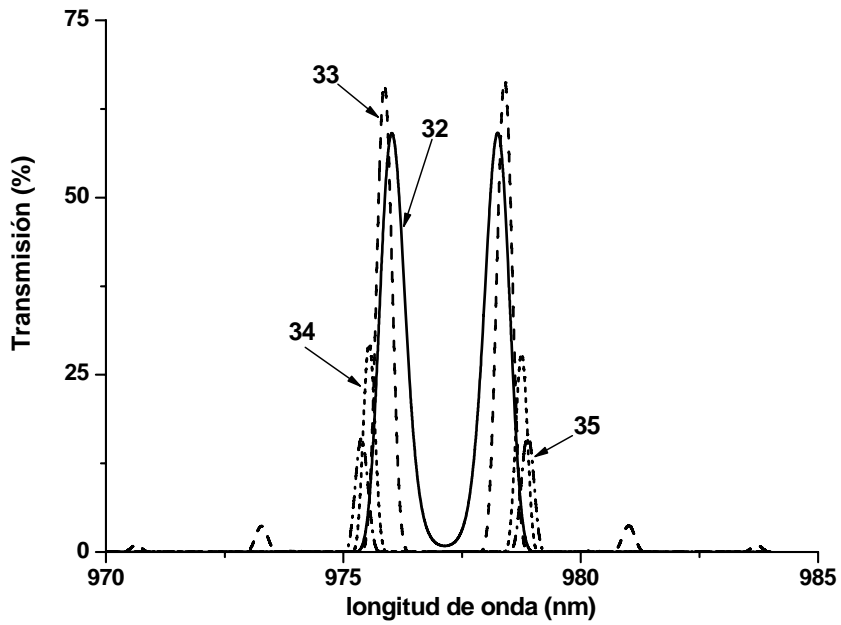
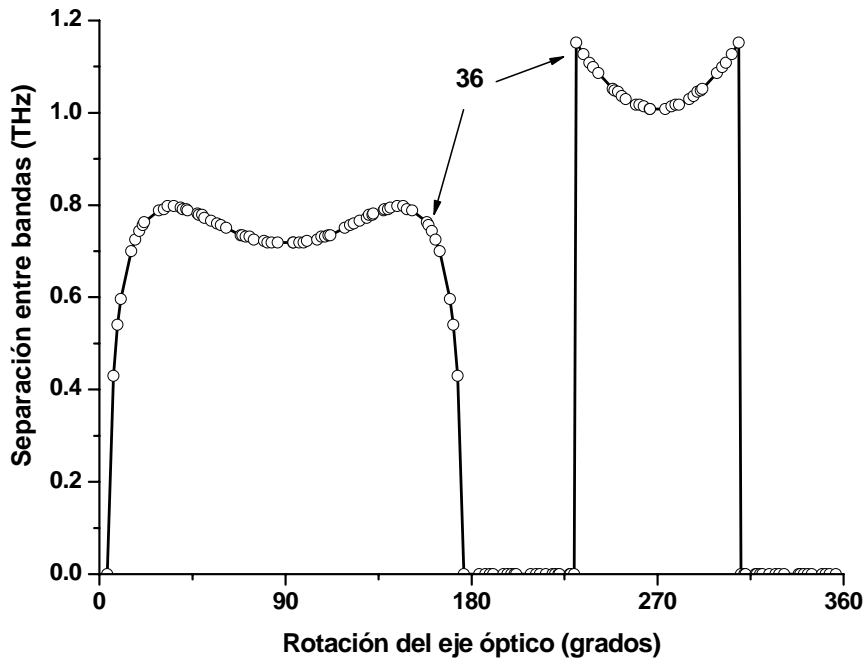


FIGURA 6

**FIGURA 7**