

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 075**

51 Int. Cl.:

G01J 9/02 (2006.01)

G02B 5/04 (2006.01)

G02B 27/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2015 PCT/GB2015/051510**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2015 WO15181531**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2015 E 15726262 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 3149438**

54 Título: **Un divisor de haz y un sistema de monitoreo de frecuencia**

30 Prioridad:

29.05.2014 GB 201409504
29.05.2014 EP 14275130

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.01.2021

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

LAYCOCK, LESLIE CHARLES

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 803 075 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

Un divisor de haz y un sistema de monitoreo de frecuencia

- 5 La presente invención se refiere a un divisor de haz y particularmente, pero no exclusivamente, a un divisor de haz para dividir un haz de entrada de radiación que incide sobre el divisor de haz en un primer y segundo haces de salida de radiación que se propagan desde el divisor de haz. La presente invención se refiere además a un sistema de monitoreo de frecuencia para monitorear un desplazamiento de frecuencia de un haz de radiación.
- 10 El documento US 2005/259337 A1 (CHEN TONYK [TW] CHEN TONY KT [TW]) divulga un prisma poligonal.
El documento US 2010/0321807 A1 (JORNOT ERIC [FR]) divulga un dispositivo para muestrear una pluralidad de partes de un haz de luz.
- 15 El documento US 2011/026129 A1 (KUO HUEI PEI [US] Y OTROS) divulga los divisores de haz de prismas.
El documento WO 01/20387 A1 (CORNING INC [US]) divulga un dispositivo divisor de haz que produce haces de salida paralelos.
- 20 El documento US 2005/018995 A1 (CHANG CHII-HOW [TW] Y OTROS) divulga un aparato estabilizador de longitud de onda y un procedimiento de control.
El documento WO 02/090881 A1 (PREC PHOTONICS CORP [US]) divulga un único bloqueador de longitud de onda etalon.
- 25 El documento US 2012/182555 A1 (STATZ ERIC R [US] Y OTROS) divulga un detector de gas para la detección de especies atmosféricas.
El documento US 5 798 859 A (COLBOURNE PAUL [CA] Y OTROS) divulga un procedimiento y un dispositivo para el bloqueo de longitud de onda.
- 30 Las técnicas ópticas a menudo se emplean para realizar mediciones precisas. Por ejemplo, la velocidad de la aeronave puede determinarse monitoreando los cambios de frecuencia entre un haz láser transmitido y el haz láser que se dispersa de las moléculas de aire. También se emplean técnicas similares cuando se hacen predicciones meteorológicas. Sin embargo, las técnicas ópticas adolecen de problemas de alineación, particularmente en entornos hostiles donde el aparato óptico puede estar sujeto a vibraciones o movimientos mecánicos. En tales condiciones, puede ser difícil preservar un nivel de alineación de los rayos láser con respecto al aparato óptico, para proporcionar una medición precisa.
- 35 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de monitoreo de cambio de frecuencia para monitorear el desplazamiento de frecuencia de un haz de radiación, el sistema que comprende:
un divisor de haz para dividir el haz de radiación que incide sobre el divisor de haz en un primer y segundo haces de radiación de salida que se propagan desde el divisor de haz, el divisor de haz que comprende:
- 40 – una primera porción de división de haz para generar el primer haz de salida y una segunda porción de división de haz para generar el segundo haz de salida;
- 45 – la primera porción que comprende una superficie plana frontal y posterior orientada en una orientación sustancialmente paralela;
- la segunda porción que comprende una superficie plana frontal y posterior orientada en una orientación no paralela;
- 50 – la superficie posterior de la primera porción que comprende un primer recubrimiento para reflejar parcialmente y transmitir parcialmente la radiación que se propaga sobre la superficie posterior de la primera porción desde dentro del divisor de haz;
- la superficie frontal de la segunda porción que comprende un segundo recubrimiento para reflejar la radiación que se propaga sobre la superficie frontal de la segunda porción desde dentro del divisor de haz;
- 55 – de modo que el primer haz de salida se propaga en una primera dirección y el segundo haz de salida se propaga en una segunda dirección, la primera y la segunda direcciones que no son paralelas;
- un etalon que comprende la primera y segunda superficies reflectantes para reflejar los primeros y segundos haces de salida;
- 60 una disposición de sintonización para variar la longitud de la trayectoria óptica del primer y segundo haces de salida a través del etalon entre la primera y segunda superficies reflectantes; y,
al menos un detector para detectar una intensidad del primer y segundo haces de salida que se transmite a través del etalon.
- 65 La provisión de una primera porción de división de haz que tiene superficies paralelas en combinación con una segunda porción de división de haz que tiene superficies no paralelas, crea un primer y segundo haces de salida que

se propagan en direcciones que varían solo ligeramente en respuesta a cambios en el ángulo incidente del haz de entrada de radiación sobre el divisor de haz. El divisor de haz desensibiliza por lo tanto la variación en la dirección del haz de salida en comparación con las variaciones en el ángulo incidente.

5 En una realización, la superficie frontal de la primera porción comprende un recubrimiento antirreflectante para el haz de entrada de radiación. Como tal, la superficie frontal de la primera porción está dispuesta para recibir el haz de entrada de radiación y el recubrimiento antirreflectante maximiza el acoplamiento de radiación en el divisor de haz.

10 En una realización, la superficie posterior de la segunda porción comprende un recubrimiento antirreflectante para la radiación incidente sobre el mismo en el interior de la segunda porción. Como tal, la superficie posterior de la segunda porción está dispuesta para recibir radiación que se refleja desde la superficie frontal de la segunda porción y el coeficiente antirreflectante con la condición de que la radiación incidente sobre la misma se transmita sustancialmente.

15 En una realización, el primer recubrimiento comprende un coeficiente de reflexión de sustancialmente 0,5 para la radiación incidente sobre el mismo en el interior de la primera porción, de modo que se refleja sustancialmente el 50 % de la energía del haz de radiación que incide sobre el mismo y sustancialmente el 50 % de la energía del haz de radiación se transmite desde la primera porción a través de la superficie posterior, para formar el primer haz de salida.

20 En una realización, la superficie frontal de la segunda porción comprende un coeficiente de reflexión de sustancialmente 1 para la radiación incidente sobre la misma en el interior de la segunda porción, de modo que se refleja sustancialmente el 100 % de la energía del haz de radiación que incide sobre la misma y sustancialmente el 0 % de la energía del haz de radiación se transmite fuera de la segunda porción a través de la superficie frontal.

25 En una realización, la primera y segunda porciones comprenden porciones separadas que se sueldan juntas usando un cemento para proporcionar una interfaz de baja pérdida entre ellas. Sin embargo, en una realización alternativa, la primera y segunda porciones pueden formarse integralmente.

En una realización, la primera y segunda porciones están formadas de sílice fundida.

30 En una realización, el divisor de haz está configurado para un haz de entrada incidente en la superficie frontal de la primera porción y en un ángulo de incidencia operativo, en el que una variación de 1 grado en el ángulo de incidencia no afecta sustancialmente la primera dirección en la que se propaga el primer haz de salida y no se desvía además la segunda dirección en la que se propaga el segundo haz de salida en más de 0,01 grados.

35 En una realización, el divisor de haz tiene un índice de refracción (n) y es para un haz de entrada incidente en la superficie frontal de la primera porción y en un ángulo de incidencia (θ_i), y la orientación no paralela de la segunda porción que subtende un ángulo de desplazamiento angular (γ), en el que el divisor de haz está configurado de tal manera que la desviación angular (δ) del segundo haz de salida del primer haz de salida es

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left\{ n \left[\text{sen} \left(2\gamma + \text{sen}^{-1} \left\{ \frac{\text{sen} \theta_i}{n} \right\} \right) \right] \right\} - \theta_i.$$

40 En una realización, la disposición de sintonización comprende un elemento de refracción, tal como un prisma, dispuesto en una trayectoria óptica entre el divisor de haz y el etalon, el elemento está montado de forma giratoria con respecto al etalon para dirigir el primer y segundo haces de salida con relación a la primera y segundas superficies reflectantes.

45 En una realización, el primer haz de salida se dirige sustancialmente normal a la primera y segunda superficies reflectantes y el segundo haz de salida se dirige en un ángulo agudo a la primera y segunda superficies reflectantes.

50 En una realización, el divisor de haz está orientado con relación al elemento de refracción, de modo que el primer y segundo haces de salida inciden sobre el elemento en un ángulo que corresponde a una refracción mínima del primer y segundo haces a través del elemento.

55 En una realización, el sistema comprende un primer y segundo detectores para detectar respectivamente la intensidad del primer y segundo haces de salida que se transmiten a través del etalon.

60 En una realización, el sistema comprende además un procesador para procesar la intensidad de los primeros y segundos haces de salida que se transmiten a través del etalon para determinar un cambio relativo en la intensidad, y para determinar posteriormente un desplazamiento en la frecuencia del haz de radiación en dependencia del cambio relativo en intensidad.

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora solo a manera de ejemplo y con referencia a los dibujos acompañantes en los que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de la trayectoria del haz a través de un divisor de haz que forma parte de una realización de la presente invención;

La Figura 2 es una representación gráfica de la variación en el ángulo de desviación entre el primer y segundo haces de salida del divisor de haz ilustrado en la figura 1, en función del ángulo incidente;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de monitoreo de frecuencia de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 4 es una representación gráfica de la variación en el ángulo dirigido con ángulo incidente para prismas que tienen diferentes ángulos de vértice; y,

La Figura 5 es una representación gráfica de la variación en el ángulo dirigido sobre un rango de ángulo incidente entre 25° y 35° , para un prisma que tiene un ángulo de vértice 30° .

Con referencia a la figura 1 de los dibujos, se ilustra un divisor de haz 100 que forma parte de una realización de la presente invención para generar al menos un primer y segundo haces de salida de radiación 20a, 20b a partir de un haz de radiación 10 de entrada o incidente. El haz de radiación incidente 10 puede ser el generado por una fuente de radiación láser (no mostrada) y comprende un haz láser colimado coherente. El haz 10 se dirige sobre el divisor de haz 100 que está montado sobre una plataforma de rotación 201 (como se ilustra en la figura 3 de los dibujos) para permitir la rotación angular del divisor de haz 100 con respecto al haz incidente 10.

El divisor de haz 100 está formado de un material, tal como sílice fundida, que es ópticamente transmisiva para la longitud de onda de radiación incidente sobre el mismo, y comprende una primera y segunda porciones de división de haz 110, 120 para generar por separado el primer y segundo haces de salida 20a, 20b. La primera y segunda porciones 110, 120 pueden formarse por separado y acoplarse físicamente juntas usando un cemento (no mostrado), que también acopla ópticamente las porciones para proporcionar una interfaz de baja pérdida. Alternativamente, sin embargo, la primera y segunda porciones 110, 120 pueden formarse integralmente como una sola pieza.

La primera porción 110 comprende una superficie frontal y posterior sustancialmente plana 111, 112, orientada en una orientación sustancialmente paralela, mientras que la segunda porción 120 comprende una superficie plana frontal y posterior 121, 122 que se extiende en una disposición sustancialmente no paralela. La superficie frontal y posterior 111, 112, 121, 122 de cada porción 110, 120 se extienden por separado sustancialmente opuestas entre sí en relación espaciada. En una realización, la superficie posterior 112, 122 de la primera y segunda porciones 110, 120 son coplanares, aunque el experto reconocerá por la siguiente descripción que la superficie posterior 112, 122 de la primera y segunda porciones 110, 120 puede orientarse angularmente. Sin embargo, para simplificar la trayectoria del primer y segundo haces de salida 20a, 20b para la alineación posterior dentro de un sistema óptico, las superficies frontal y posterior 111, 112, 121, 122 de la primera y segunda porciones 110, 120 se extienden preferiblemente de manera sustancialmente paralela a un eje de rotación del divisor de haz 100, que está sustancialmente a lo largo del eje z (fuera de la página) ilustrado en la figura 1.

La superficie frontal 111 de la primera porción 110 comprende un recubrimiento antirreflectante 113 para la longitud de onda del haz de radiación incidente, para maximizar el acoplamiento de la radiación en la primera porción 110. La superficie posterior 112 de la primera porción 110 comprende un recubrimiento 114 que tiene un coeficiente de reflexión de aproximadamente 0,5, de modo que aproximadamente el 50 % de la energía del haz que incide sobre la superficie posterior 112 desde dentro de la primera porción 110 se refleja dentro del divisor de haz 100 y aproximadamente el 50 % de la energía se transmite desde el divisor de haz 100 para formar el primer haz de salida 20a.

En cambio, la segunda porción 120 comprende una superficie frontal 121 que tiene un recubrimiento 123 dispuesto sobre la misma que tiene un coeficiente de reflexión de aproximadamente 1, de modo que sustancialmente el 100 % de la radiación que incide sobre la misma desde dentro del divisor de haz 100 se refleja en el interior del divisor de haz 100. La superficie posterior 122 de la segunda porción 120 comprende un recubrimiento antirreflectante 124 para la longitud de onda de radiación incidente sobre la misma en el interior, de modo que sustancialmente toda la radiación que incide en la superficie posterior 122 se transmite desde el divisor de haz 100 para formar el segundo haz de salida 20b. En consecuencia, el divisor de haz 100 está dispuesto para reflejar parcialmente el haz de radiación incidente 10 en la superficie posterior 112 de la primera porción 110 hacia la superficie frontal 121 de la segunda porción 120, con lo cual la radiación se refleja posteriormente desde la superficie frontal 121 del segunda porción 120 hacia la superficie posterior 122 y se transmite a través de la misma como el segundo haz de salida 20b.

La orientación paralela de las superficies frontal y posterior 111, 112 de la primera porción 110 da como resultado que el primer haz de salida 20a se propague sustancialmente paralelo al haz incidente 10. Sin embargo, la orientación no paralela de las superficies frontal y posterior 121, 122 de la segunda porción 120 da como resultado que el segundo haz de salida 20b se propague con una desviación angular con relación al primer haz de salida 20a. Esta desviación angular (δ) se muestra a continuación en función del desplazamiento angular (γ) de las superficies frontal y posterior 121, 122 de la segunda porción 120 desde una orientación paralela, y el ángulo (θ_i) del haz incidente 10 de radiación con respecto a la superficie frontal 111 de la primera porción 110.

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left\{ n \left[\text{sen} \left(2\gamma + \text{sen}^{-1} \left\{ \frac{\text{sen } \theta_i}{n} \right\} \right) \right] \right\} - \theta_i \quad (1)$$

Aquí n es el índice de refracción del divisor de haz, que para la sílice fundida es aproximadamente 1,48. La desviación angular entre el primer y segundo haces de salida 20a, 20b se muestra gráficamente en la figura 2 de los dibujos, para diferentes desplazamientos angulares (γ) de las superficies frontal y posterior 121, 122 de la segunda porción 120 de un divisor de haz 110, que se ilumina con un haz láser que tiene una longitud de onda de aproximadamente 355 nm.

Al referirse a la figura 2, es evidente que la desviación angular (δ) puede controlarse más finamente en comparación con los cambios en el ángulo incidente (θ_i), y que este grado de sensibilidad se puede predeterminar mediante la elección del desplazamiento angular (γ). Por ejemplo, diferenciando la ecuación 1 con respecto al ángulo incidente (θ) se obtiene:

$$\frac{d\delta}{d\theta_i} = \frac{\cos(\delta) \cdot \cos \left(2\gamma + \text{sen}^{-1} \left[\frac{\text{sen}(\theta_i)}{n} \right] \right)}{\sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2(\theta_i)}{n^2}} \sqrt{1 - n^2 \text{sen}^2 \left(\frac{2\gamma + \text{sen}^{-1}(\theta_i)}{n} \right)}} \quad (2)$$

Por lo tanto, es evidente a partir de la ecuación 2 que para un desplazamiento angular $\gamma = 0,06^\circ$, la sensibilidad angular en $\theta_i = 45^\circ$, específicamente, la variación en la desviación angular (δ) por la variación 1° en el ángulo incidente (θ) es $0,0027^\circ$.

El control angular fino ofrecido por el divisor de haz 10 se puede utilizar para monitorear pequeños desplazamientos de frecuencia y variaciones en el haz láser incidente 10. Con referencia a la figura 3 de los dibujos, se ilustra un sistema de monitoreo de frecuencia 200 de acuerdo con una realización de la presente invención, para monitorear tales variaciones en la frecuencia. El sistema 200 comprende un divisor de haz 100 como se describió anteriormente (y como tal, se han hecho referencias a las características similares usando los mismos números) y un etalon 210, tal como un etalon Fabry Perot que comprende una primera y segunda superficies reflectantes 211, 212 dispuestas en una relación espaciada. Las superficies reflectantes 211, 212 están dispuestas adyacentes entre sí en una orientación sustancialmente paralela, y dispuestas para reflejar la radiación de un lado a otro entre las mismas.

El etalon 210 está orientado con relación al divisor de haz 100, tal como al efectuar la rotación del divisor de haz 100 usando la plataforma de rotación 201, de modo que el primer haz de salida 20a se propaga sustancialmente normal a las superficies reflectantes 211, 212, mientras que el segundo haz de salida 20b es incidente en un ángulo agudo a las mismas, específicamente, el ángulo de desviación δ . Sin embargo, debe apreciarse que el primer haz de salida 20a puede dirigirse alternativamente en un ángulo agudo a las superficies reflectantes 211, 212. El sistema 200 comprende además una disposición de sintonización 220 para variar la longitud de la trayectoria óptica del primer y segundo haces de salida 20a, 20b entre la primera y segunda superficies reflectantes 211, 212. Esta longitud de trayectoria se varía para sintonizar el etalon 210 a una condición resonante particular, en la que la longitud de trayectoria entre las superficies reflectantes 211, 212 coincide sustancialmente con un número integral de longitudes de onda, para facilitar una transmisión de radiación a través del etalon 210.

El etalon 210 se sintoniza de modo que el primer haz de salida 20a que se propaga normalmente a las superficies reflectantes 211, 212, comprenda una longitud de trayectoria óptica que sea ligeramente menor que un número integral de longitudes de onda, mientras que el segundo haz de salida 20b que se propaga en un ángulo agudo con respecto a las superficies reflectantes 211, 212, comprenda una longitud de trayectoria óptica que sea ligeramente mayor que el número integral de longitudes de onda (es decir, ligeramente por encima de una condición resonante). A este respecto, el etalon 210 se sintoniza de modo que los primer y segundo haces de salida 20a, 20b comprendan una longitud de trayectoria óptica a través del etalon 210 que está a ambos lados de la condición resonante.

El primer y segundo haces 20a, 20b que salen del etalon 210 se recogen en un detector. En una realización preferida, el sistema 200 comprende dos detectores 240, 241 para recibir por separado la radiación de cada haz 20a, 20b y para detectar una intensidad de cada haz 20a, 20b. El o cada detector 240, 241 está acoplado comunicativamente a un procesador 250 que está dispuesto para procesar señales del o de cada detector 240, 241. Las señales comunicadas al procesador 250 son representativas de la intensidad del haz de radiación detectado y estas señales son procesadas por el procesador 250 para determinar una intensidad relativa entre los haces de radiación. Cualquier variación en la frecuencia del haz 10 de radiación que incide sobre el divisor de haz 100 se manifiesta como una variación en la intensidad relativa del primer y segundo haces de salida 20a, 20b detectados en el detector o en cada detector 240, 241, debido a la disposición de los primeros y segundos haces 20a, 20b a cada lado de una condición resonante. El cambio en la intensidad relativa puede entonces equipararse a un cambio relativo en la frecuencia del haz láser 10 incidente sobre el divisor de haz 100.

En una realización, la disposición de sintonización 220 comprende un elemento óptico de refracción 221 dispuesto dentro de una trayectoria óptica entre el divisor de haz 100 y el etalon 210. El elemento óptico de refracción 221, tal como un prisma, está montado sobre una plataforma de rotación 202 para la rotación separada del elemento 221 con respecto al divisor de haz 100, y el elemento 221 está dispuesto para recibir el primer y segundo haces de salida 20a, 20b del divisor de haz 100. El elemento 221 está orientado con respecto al divisor de haz 100 de tal manera que el primer y segundo haces de salida 20a, 20b se vuelven incidentes sobre el elemento 221 en un ángulo que corresponde sustancialmente con un ángulo que ofrece una refracción mínima a través del elemento 221. Al girar la plataforma 202 sobre la cual está dispuesto el elemento 221, es posible dirigir los primer y segundo haces de salida 20a, 20b hacia el etalon 210, de modo que las longitudes de trayectoria respectivas se dispongan a ambos lados de una condición de longitud de trayectoria resonante. Sin embargo, debe apreciarse que también pueden usarse otras disposiciones de sintonización 220 y sería evidente para el destinatario experto, variar la longitud de la trayectoria óptica entre las superficies reflectantes 211, 212 del etalon 210. Por ejemplo, la disposición de sintonización 220 puede comprender una plataforma de traslación (no mostrada) para mover las superficies reflectantes 211, 212 en relación con la otra para efectuar una separación física de los medios de las superficies reflectantes 211, 212, (no mostrados) ajustando una presión en un medio gaseoso entre las superficies y/o medios reflectantes 211, 212 (no mostrados) para variar la temperatura del medio entre las superficies reflectantes 211, 212. Sin embargo, se encuentra que variar una separación física de las superficies reflectantes 211, 212 daría como resultado inestabilidades mecánicas, mientras que los dos últimos procedimientos consumen mucho tiempo. En consecuencia, la siguiente descripción se basa a una disposición de sintonización 220 que comprende un elemento de refracción 221, específicamente, un prisma, ya que, como se mostrará a continuación, el prisma se puede girar para manipular la dirección de propagación del primer y segundo haces de salida 20a, 20b al etalon 210 y es menos susceptible a inestabilidades mecánicas. Respecto a este, el divisor de haz y la disposición de sintonización se pueden usar para ofrecer un control angular fino de los haces de salida 20a, 20b y preservar sustancialmente la alineación relativa de los haces 20a, 20b.

El ángulo dirigido (β) del primer y segundo haces de salida 20a, 20b con respecto al prisma 221 se muestra a continuación en la ecuación 3 en función del ángulo incidente (Φ_i) sobre un prisma 221 que tiene un ángulo de vértice del prisma (α).

$$\beta = \text{sen}^{-1} \left\{ n \cdot \text{sen} \left[\alpha - \text{sen}^{-1} \left(\frac{\text{sen } \phi_i}{n} \right) \right] \right\} + \phi_i - \alpha \quad (3)$$

La Figura 4 de los dibujos proporciona una representación gráfica de la variación en el ángulo dirigido (β) con el ángulo incidente (Φ_i) para prismas de sílice fundida que tienen diferentes ángulos de vértice (α). Diferenciando la ecuación 3 con respecto al ángulo incidente (Φ_i), se obtiene la relación:

$$\frac{d\beta}{d\phi_i} = 1 - \frac{\cos(\phi_i) \cos \left(\alpha - \text{sen}^{-1} \left[\frac{\text{sen } \phi_i}{n} \right] \right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\text{sen}^2 \phi_i}{n^2} \right) \left(1 - n^2 \text{sen}^2 \left[\alpha - \text{sen}^{-1} \left\{ \frac{\text{sen } \phi_i}{n} \right\} \right] \right)}} \quad (4)$$

Es evidente, por lo tanto, que en un ángulo incidente $\Phi_i = 30^\circ$ y para un prisma de sílice fundida que tiene un índice de refracción de aproximadamente 1,48, entonces cada grado de rotación del prisma 221 produce un cambio en el ángulo de dirección de solo $0,06^\circ$. Al referirse a la figura 5 de los dibujos, que ilustra la variación en el ángulo de dirección (β) para ángulos incidentes (Φ_i) en el rango de 25° a 35° está claro que se puede obtener un ajuste fino en el ángulo de dirección variando el ángulo incidente Φ_i y por lo tanto la orientación angular del prisma 221.

Por lo anterior, por lo tanto, es evidente que el divisor de haz y el sistema de monitoreo de frecuencia ofrecen una estabilidad mejorada y un control fino sobre la desviación angular de los haces de radiación.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia para monitorear un desplazamiento de frecuencia de un haz de radiación, comprendiendo el sistema :
 - 5 un divisor de haz (100) para dividir el haz de radiación (10) que incide sobre el divisor de haz (100), en un primer y segundo haces de salida (20a, 20b) de radiación que se propagan desde el divisor de haz (100), comprendiendo el divisor de haz (100);
 - una primera porción de división de haz (110) para generar el primer haz de salida (20a) y una segunda porción de división de haz (120) para generar el segundo haz de salida (20b);
 - 10 - la primera porción (110) que comprende una superficie plana frontal y posterior (111, 112) orientada en una orientación sustancialmente paralela;
 - la segunda porción (120) que comprende una superficie plana frontal y posterior orientada (121, 122) en una orientación no paralela;
 - la superficie posterior (112) de la primera porción (110) que comprende un primer recubrimiento (114) para reflejar parcialmente y transmitir parcialmente la radiación que se propaga sobre la superficie posterior (112) de la primera porción (110) desde dentro del divisor de haz (100) ,
 - 15 - la superficie frontal (121) de la segunda porción (120) que comprende un segundo recubrimiento (123) para reflejar la radiación que se propaga sobre la superficie frontal (121) de la segunda porción (120) desde dentro del divisor de haz (100);
 - de manera que el primer haz de salida (20a) se propaga en una primera dirección y el segundo haz de salida (20b) se propaga en una segunda dirección, siendo las direcciones primera y segunda no paralelas.
 - un etalon (210) que comprende una primera y segunda superficies reflectantes (211, 212) para reflejar el primer y segundo haces de salida (20a, 20b);
 - una disposición de sintonización (220) para variar la longitud de la trayectoria óptica del primer y segundo haces de salida (20a, 20b) a través del etalon (210) entre la primera y segunda superficies reflectantes (211, 212); y,
 - 25 al menos un detector (240) para detectar una intensidad del primer y segundo haces de salida (20a, 20b) que se transmite a través del etalon (210).

2. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la superficie frontal (111) de la primera porción (110) comprende un recubrimiento antirreflectante (113) para el haz de entrada de radiación y/o la superficie posterior (122) de la segunda porción (120) comprende un recubrimiento antirreflectante (124) para la radiación que incide sobre la misma en el interior de la segunda porción (120).

3. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer recubrimiento comprende un coeficiente de reflexión de sustancialmente 0,5 para la radiación incidente sobre el mismo en el interior de la primera porción, de modo que se refleja sustancialmente el 50 % de la energía del haz de radiación que incide sobre el mismo y sustancialmente el 50 % de la energía del haz de radiación se transmite desde la primera porción a través de la superficie posterior, para formar el primer haz de salida.

4. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la superficie frontal de la segunda porción comprende un coeficiente de reflexión de sustancialmente 1 para la radiación incidente sobre la misma en el interior de la segunda porción, de modo que sustancialmente el 100 % de la energía del haz de radiación que es el incidente sobre la misma se refleja y sustancialmente el 0 % de la energía del haz de radiación se transmite desde la segunda porción a través de la superficie frontal.

5. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera y segunda porciones comprenden porciones separadas que se acoplan entre sí para proporcionar una interfaz de baja pérdida entre las mismas.

6. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera y segunda porciones se forman integralmente.

7. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera y segunda porciones están formadas de sílice fundida.

8. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, el divisor de haz está configurado para un haz de entrada incidente en la superficie frontal de la primera porción y en un ángulo de incidencia operativo, en el que una variación de 1 grado en el ángulo de incidencia no afecta sustancialmente la primera dirección en la que se propaga el primer haz de salida, y no se desvía aún más la segunda dirección en la que se propaga el segundo haz de salida en más de 0,01 grados.

9. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el divisor de haz que tiene un índice de refracción (n) y es para un haz de entrada incidente en la superficie frontal de la primera porción y en un ángulo de incidencia (θ_i), y la orientación no paralela de la segunda porción que subtende un ángulo de desplazamiento angular (γ), en el que el divisor de haz está configurado de manera que la

desviación angular (δ) del segundo haz de salida del primer haz de salida es

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left\{ n \left[\text{sen} \left(2\gamma + \text{sen}^{-1} \left\{ \frac{\text{sen} \theta_i}{n} \right\} \right) \right] \right\} - \theta_i.$$

- 5 10. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición de sintonización comprende un elemento de refracción, dispuesto en una trayectoria óptica entre el divisor de haz y el etalon, el elemento está montado de forma giratoria con respecto al etalon para dirigir el primer y segundo haces en relación con la primera y segunda superficies reflectantes.
- 10 11. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer haz de salida se dirige sustancialmente normal a la primera y segunda superficies reflectantes y el segundo haz de salida se dirige en un ángulo agudo a la primera y segunda superficies reflectantes.
- 15 12. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el divisor de haz está orientado con relación al elemento de refracción, de modo que el primer y segundo haces de salida inciden sobre el elemento en un ángulo que corresponde a una refracción mínima del primer y segundo haces a través del elemento.
- 20 13. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema comprende un primer y segundo detectores para detectar respectivamente la intensidad del primer y segundo haces de salida que se transmiten a través del etalon.
- 25 14. Un sistema de monitoreo de desplazamiento de frecuencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un procesador para procesar la intensidad del primer y segundo haces de salida que se transmiten a través del etalon para determinar un cambio relativo en la intensidad, y para determinar posteriormente un desplazamiento en la frecuencia de haz de radiación en dependencia del cambio relativo en intensidad.

Figura 1

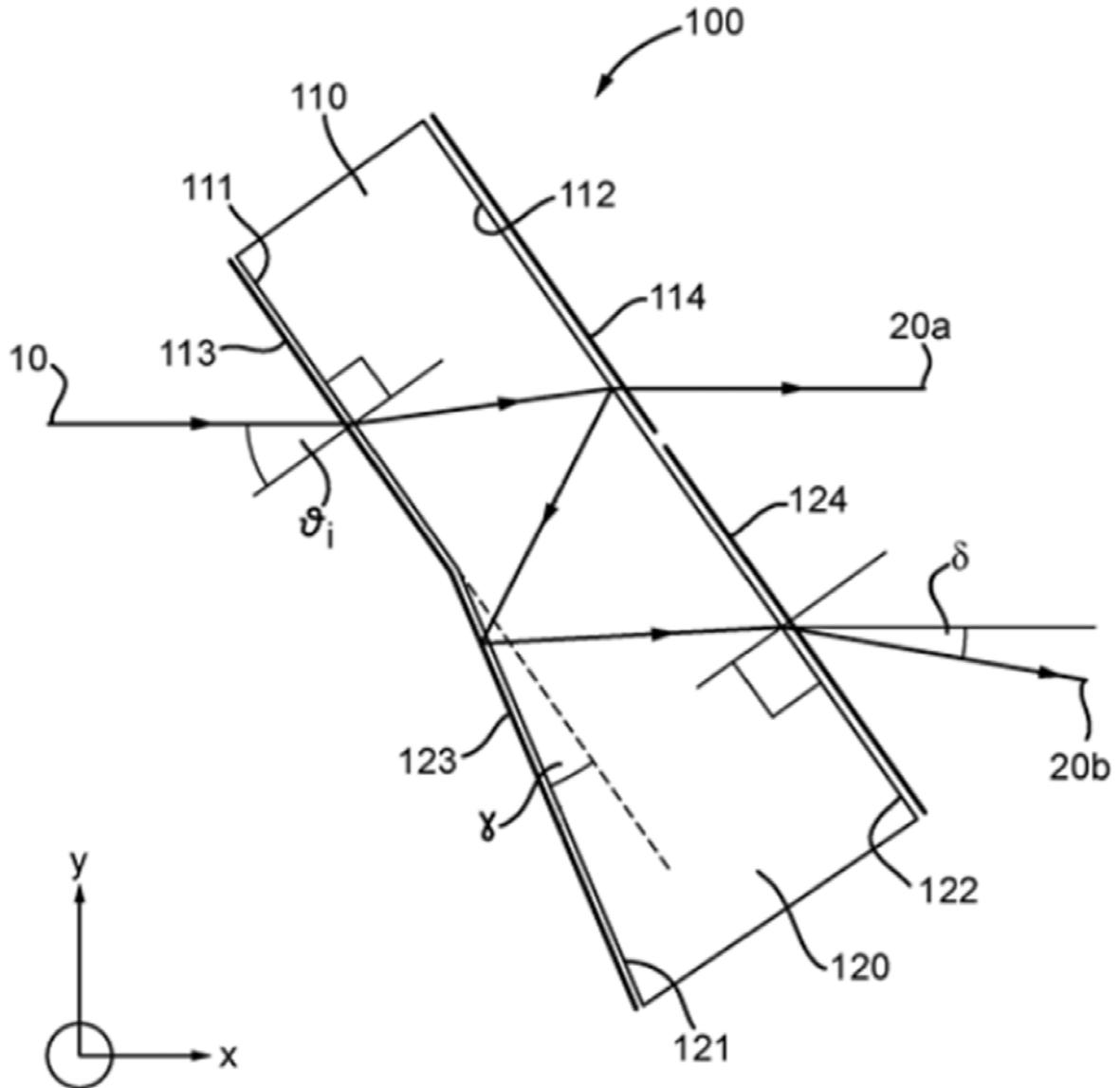


Figura 2

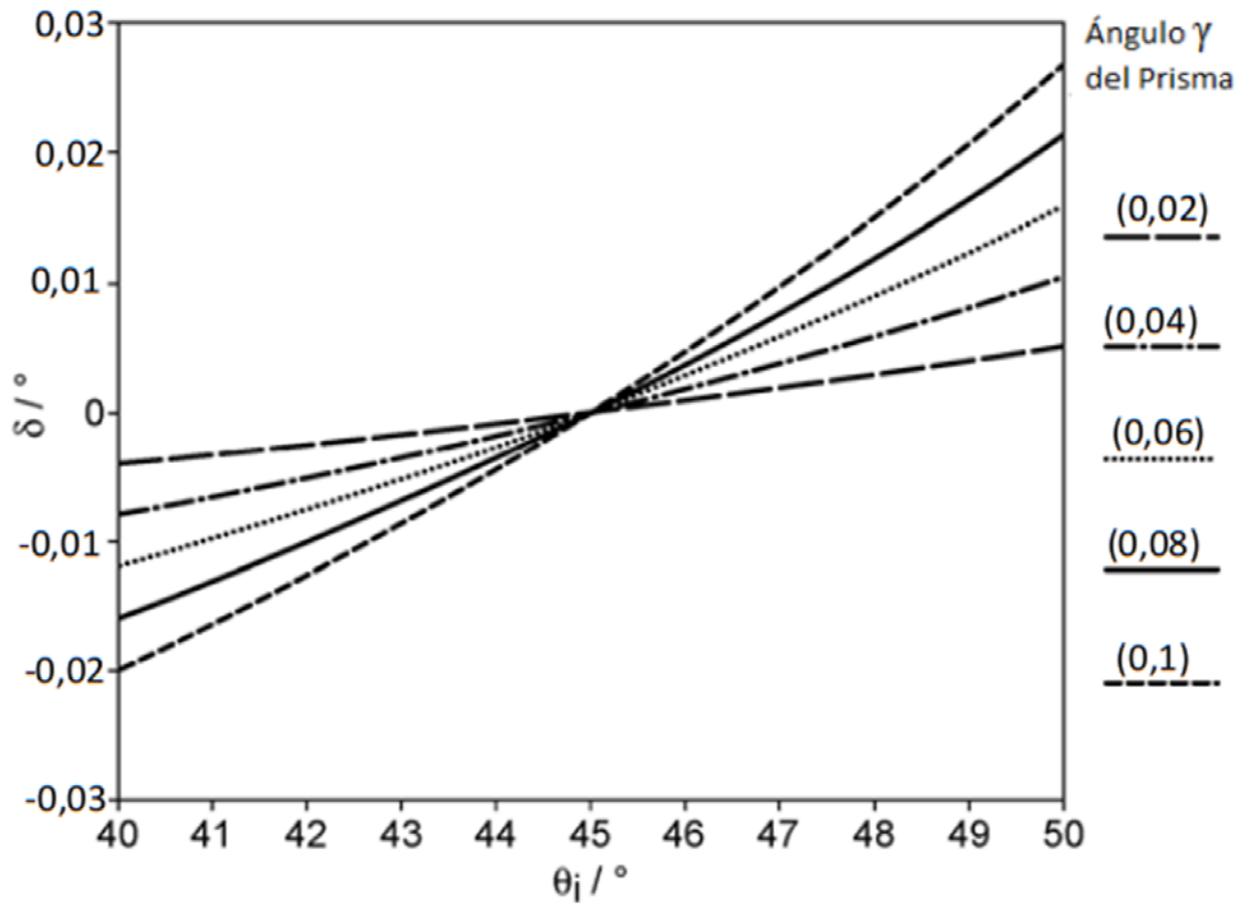


Figura 3

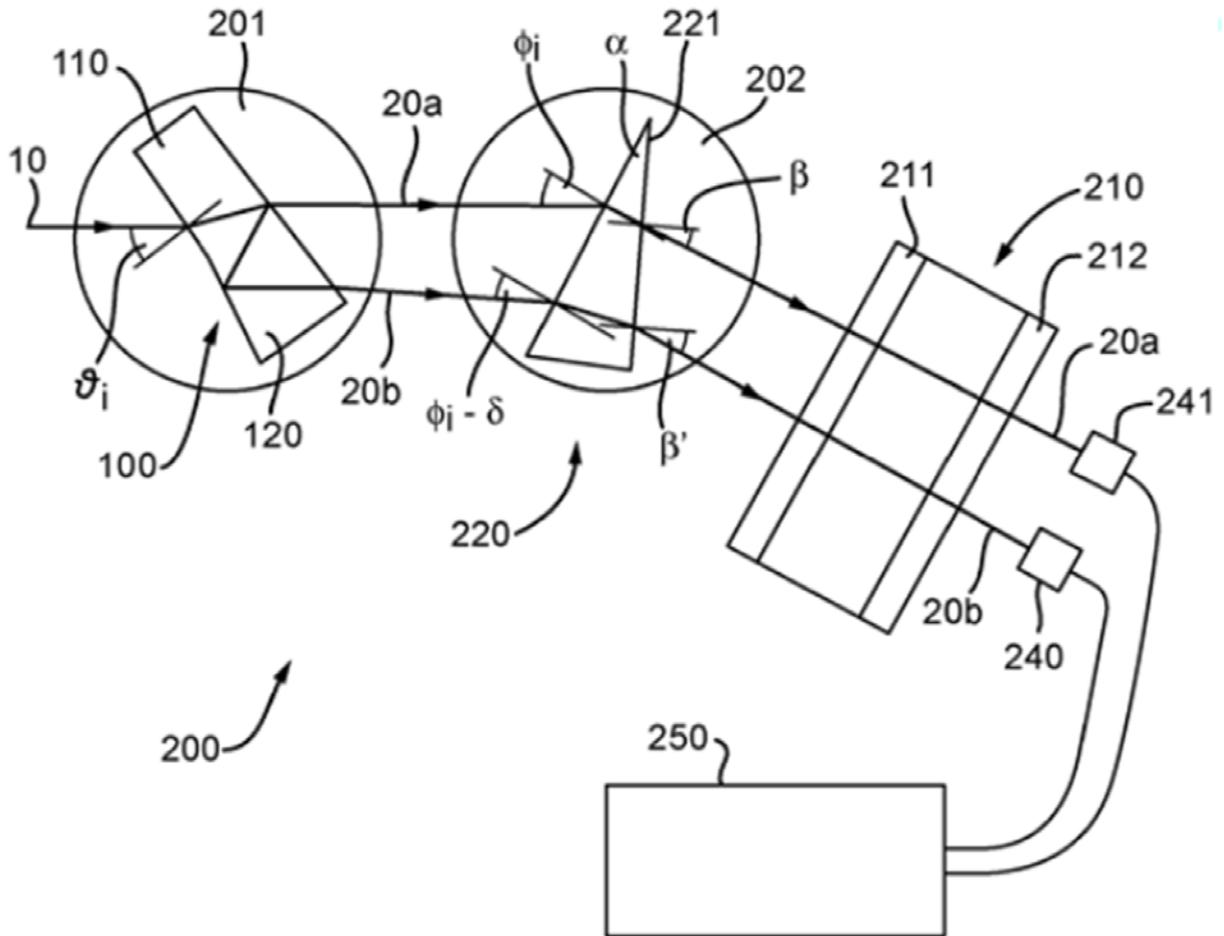


Figura 4

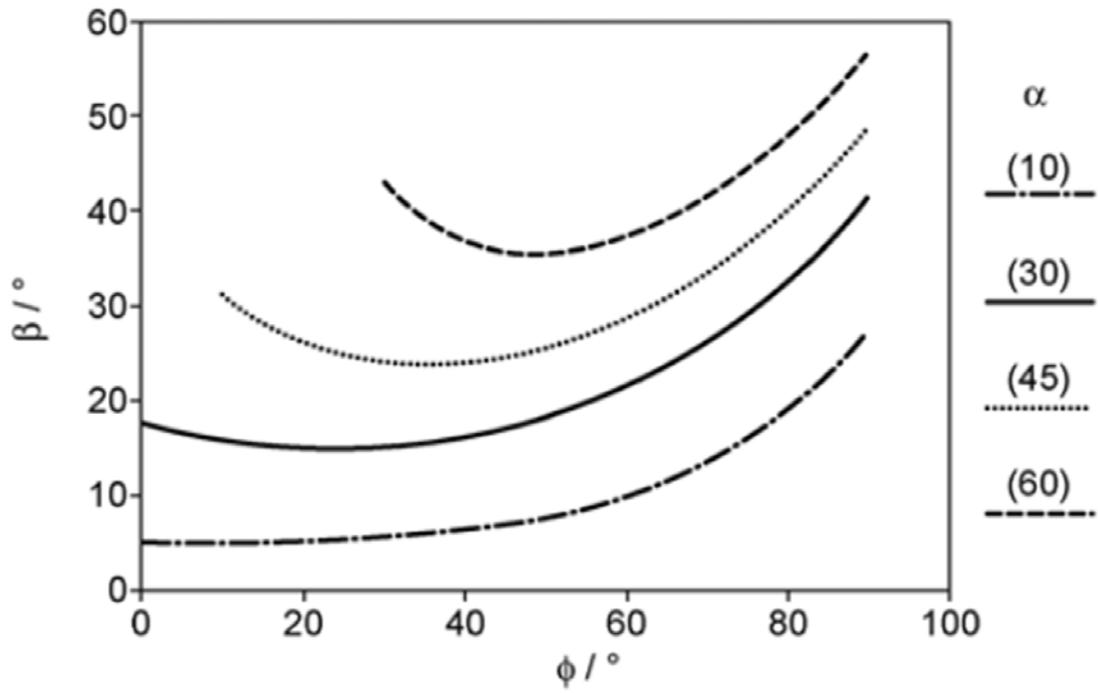


Figura 5

