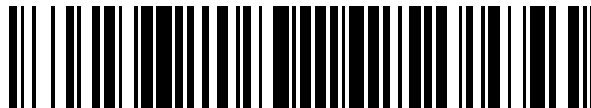


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 579 484**

51 Int. Cl.:

**G02F 1/39** (2006.01)

**G01N 33/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2008 E 08847471 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2217966**

54 Título: **Convertidor de frecuencias óptico no lineal así como usos del mismo**

30 Prioridad:

**09.11.2007 DE 102007053542**

**18.01.2008 DE 102008005129**

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

**11.08.2016**

73 Titular/es:

**SPHEREA GMBH (100.0%)**

**Wörthstrasse 85**

**89077 Ulm, DE**

72 Inventor/es:

**PEUSER, PETER y**

**FIX, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 579 484 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

Convertidor de frecuencias óptico no lineal así como usos del mismo

La invención se refiere a un convertidor de frecuencias óptico no lineal con un oscilador paramétrico óptico.

5 La radiación láser pulsada de longitud de onda sintonizable o variable se genera principalmente usando un proceso no lineal óptico en un denominado oscilador paramétrico óptico – a continuación también llamado de manera abreviada OPO.

10 Por el documento US 5 117 126 A se conoce un oscilador paramétrico óptico, que presenta dos o más medios ópticamente no lineales en un resonador individual. Los dos medios previstos como cristales pueden girarse independientemente uno de otro, para generar así una radiación sintonizable con varias longitudes de onda sintonizables. Para la generación de una radiación de alta calidad y de banda estrecha puede estar previsto además un segundo OPO para proporcionar una radiación de inyección sintonizada a la radiación OPO del primer OPO con el fin de efectuar una siembra por inyección.

Las disposiciones de OPO sintonizable así como los usos de las mismas se conocen, por ejemplo, por los documentos DE 199 23 005 B4, DE 198 19 178 C2, EP 1119796 B1 así como US 2006/0114464 A1.

15 La generación de radiación láser sintonizable de alta calidad de radiación por medio de un OPO con generación de frecuencias suma internas al resonador se describe mejor en A. Fix, G. Ehret; "Intracavity mixing in pulsed optical parametric oscillators for the efficient generation of continuously tunable ultraviolet radiation"; Appl. Phys. B 67 (1998) 331. Este estado de la técnica describe un convertidor de frecuencias con las características del preámbulo de la reivindicación 1 adjunta así como un procedimiento para generar radiación láser sintonizable con las características del preámbulo de la reivindicación 13 adjunta.

20 Para más detalles sobre la construcción y el uso de tales disposiciones de OPO se remite expresamente a los documentos y referencias bibliográficas mencionados anteriormente.

25 Una desventaja de la mayoría de disposiciones de OPO sintonizable realizadas hasta ahora es a este respecto la reducida calidad de radiación así como una eficiencia pequeña, que son resultado esencialmente de las propiedades físicas de los cristales ópticamente no lineales utilizados en este caso.

El objetivo de la invención es poner a disposición un convertidor de frecuencias óptico no lineal (o también llamado convertidor de longitudes de onda) del tipo mencionado en el preámbulo de la reivindicación 1 con rango de sintonización esencialmente más ancho. Este objetivo se soluciona mediante un convertidor de frecuencias óptico no lineal con las características de la reivindicación 1.

30 Configuraciones ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes. Un procedimiento que puede efectuarse particularmente con el uso de un convertidor de frecuencias de este tipo, para generar radiación láser sintonizable pulsada, se define en la reivindicación 13. Otros usos ventajosos del convertidor de frecuencias son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

35 El convertidor de frecuencias óptico no lineal según la invención presenta en primer lugar un primer oscilador ópticamente paramétrico. Este primer oscilador ópticamente paramétrico está dotado además según la invención de un dispositivo mezclador de frecuencias con un cristal mezclador de frecuencias. Además, el primer oscilador paramétrico óptico presenta un dispositivo acoplador para acoplar radiación de mezclador generada fuera del primer oscilador paramétrico óptico. Mediante el acoplamiento de la radiación de mezclador por medio del dispositivo mezclador de frecuencias, que está dispuesto en el interior del resonador del primer OPO, puede conseguirse con una alta eficiencia también una alta calidad de radiación para la radiación así producida.

40 Además, según la invención está prevista una fuente de radiación sintonizable para proporcionar radiación sintonizable, que puede acoplarse como radiación de mezclador a través del dispositivo acoplador en el dispositivo mezclador de frecuencias. Mediante el acoplamiento y la mezcla de la radiación de mezclador sintonizable, adicionalmente a la ventaja de una alta calidad de radiación, puede ampliarse esencialmente también el rango de sintonización de las longitudes de onda o frecuencias que van a generarse de nuevo. Con ello se garantiza con una alta calidad de radiación también una gran amplitud de sintonización.

También puede explotarse con una configuración de este tipo el rango, de lo contrario técnicamente muy complicado y problemático, de longitudes de onda especialmente bajas a o por debajo de aproximadamente 200 nm.

50 En una configuración especialmente preferida de la invención, el convertidor de frecuencias es un convertidor de frecuencias óptico no lineal pulsado, cuyo primer oscilador ópticamente paramétrico está dotado de un cristal

mezclador de frecuencias interno al resonador como dispositivo mezclador de frecuencias. El dispositivo acoplador presenta preferentemente un espejo de acoplamiento de banda ancha para acoplar la radiación de mezclador sintonizable. Como fuente de radiación adicional para proporcionar la radiación de mezclador sintonizable con alta calidad se utilizará según la invención un segundo OPO sintonizable, más preferentemente sincronizado o bombeado simultáneamente. La radiación sintonizable del mismo puede acoplarse a través del dispositivo acoplador, configurado preferentemente como espejo de acoplamiento de banda ancha, como radiación de mezclador en el dispositivo mezclador de frecuencias.

El segundo OPO sintonizable es preferentemente un OPO con generación de frecuencias suma interna al resonador, ya que así se proporciona una alta calidad de radiación, que es ventajosa para un proceso eficaz de mezcla de frecuencias y para la generación de una radiación resultante con alta calidad de radiación.

En caso de funcionamiento pulsado es deseable que el pulso de la radiación de mezclador que va a mezclarse sea simultáneo al pulso de la radiación de OPO del primer OPO. Para eso preferentemente la fuente de radiación sintonizable se acopla sincrónicamente con el primer OPO. Esto puede conseguirse preferentemente excitando la fuente de radiación sintonizable y el primer OPO que recibe la radiación de mezclador por una misma fuente de bombeo, por ejemplo por un mismo láser de bombeo. Preferentemente se reparte para ello la radiación de la fuente de bombeo de manera adecuada en ambas subconfiguraciones.

Para una sincronización precisa está previsto en algunas formas de realización un trayecto de retardo óptico.

Según la invención el dispositivo mezclador de frecuencias presenta un cristal mezclador de frecuencias.

Según otra configuración preferida de la invención, el dispositivo acoplador presenta un espejo de acoplamiento para acoplar la radiación de mezclador sintonizable en un resonador, que contiene el dispositivo mezclador de frecuencias, del primer oscilador ópticamente paramétrico.

En una configuración preferida de la invención se acopla por medio de un espejo especial un rayo de longitud de onda sintonizable, generado por una segunda fuente de radiación, como radiación de mezclador que va a mezclarse en un resonador del OPO. Este espejo de acoplamiento usado en esta configuración como dispositivo acoplador está creado preferentemente de modo que, por un lado, la radiación de OPO que circula en el resonador, es decir, por ejemplo una radiación de señal o radiación de reposo, no se ve afectada o solo ligeramente. Por otro lado, el espejo de acoplamiento ha de presentar un ancho de banda de longitudes de onda que corresponde al menos a una gran parte del ancho de banda de la radiación de mezclador que va a acoplarse. En una configuración preferida, el ancho de banda de longitudes de onda del espejo de acoplamientos corresponde al menos al ancho de banda de la radiación de mezclador que va a acoplarse.

En una primera configuración ventajosa de la invención, el espejo de acoplamiento tiene para ello una alta reflexión próxima al 100 % (por ejemplo de más del 90 % y en particular de más del 95 %, por ejemplo más del 99 %) para el rango de longitudes de onda de la radiación de OPO en el primer OPO y una gran transmisión para el rango de longitudes de onda de la radiación de mezclador que va a acoplarse. En una segunda configuración ventajosa, el espejo de acoplamiento tiene una transmisión próxima al 100 % para el rango de longitudes de onda de la radiación de OPO en el primer OPO y una gran reflexión para el rango de longitudes de onda de la radiación de mezclador que va a acoplarse.

En ambos casos, el espejo de acoplamiento está preferentemente a un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la radiación de OPO en el primer OPO.

La segunda configuración ventajosa es especialmente preferida cuando ha de acoplarse radiación de mezclador externa en el rango de longitudes de onda por debajo de 300 nm. Para un espejo diseñado para tales longitudes de onda, pueden producirse capas ópticas adecuadas de manera duradera mucho mejor con alta reflexión que con alta transmisión.

Para el OPO y el convertidor de frecuencias se consideran en particular todos los cristales que debido a sus propiedades físicas están configurados para tal fin. Por ejemplo pueden estar previstos como cristales ópticamente no lineales para el oscilador ópticamente paramétrico así como para la mezcla de frecuencias todos los cristales conocidos para ello según el estado de la ciencia, en particular KTP, KTA, BBO, LBO, LiNbO<sub>3</sub>. Realizaciones aproximadas para ello se encuentran en V.G. Dimitriev *et al.*, Handbook of Nonlinear Optical Crystals, Springer-Verlag 1991. Para más detalles se remite expresamente a esta referencia bibliográfica.

Aplicaciones o usos ventajosos de la invención son una disposición de láser para generar radiación láser sintonizable pulsada. En particular puede construirse con ello un sistema de láser UV, que es adecuado para una ionización selectiva y eficaz de moléculas. Una ionización de este tipo es útil en particular para la comprobación cuidadosa de sustancias explosivas u otras sustancias peligrosas por medio de espectrometría de movilidad iónica.

Según esto, está previsto como campo de utilización del convertidor de frecuencias un procedimiento de espectrometría de movilidad iónica, en el que se usa una disposición de láser con un convertidor de frecuencias según la invención.

5 Por otro lado el convertidor según la invención también puede utilizarse en disposiciones LIDAR. Por ejemplo, el convertidor de frecuencias puede utilizarse en un transmisor para sistemas LIDAR.

Ejemplos de realización de la invención se explican a continuación más detalladamente por medio de los dibujos adjuntos. En estos, muestra:

- 10 figura 1 una vista esquemática de un convertidor de frecuencias óptico no lineal pulsado con un cristal mezclador de frecuencias interno al resonador, en el que se acopla una radiación de mezclador externa, utilizándose una primera forma de realización de un dispositivo acoplador;
- figura 2 una vista esquemática de un convertidor de frecuencias comparable al de la figura 1, en el que se usa una segunda forma de realización de un dispositivo acoplador;
- figura 3 una vista comparable a la de la figura 2, usándose un espejo independiente para el desacoplamiento de una radiación de frecuencias suma;
- 15 figura 4 una representación esquemática de una primera forma de realización de un convertidor de frecuencias óptico no lineal con rango de sintonización amplio y alta calidad de radiación, usándose como fuente de radiación para proporcionar la radiación de mezclador que va a acoplarse una fuente de radiación sintonizable y utilizándose además un dispositivo acoplador de banda ancha en una configuración comparable a la de la forma de realización de la figura 1;
- 20 figura 5 una representación esquemática de una segunda forma de realización del convertidor de frecuencias óptico no lineal, con un dispositivo acoplador de banda ancha en una configuración comparable a la de la segunda forma de realización de la figura 2;
- figura 6 una representación esquemática de una tercera forma de realización del convertidor de frecuencias óptico no lineal con un dispositivo desacoplador independiente comparable al de la figura 3;
- 25 figura 7 un diagrama para la representación de las longitudes de onda resultantes, que pueden generarse con configuraciones de convertidor de frecuencias según una de las configuraciones de las figuras 4 - 6; y
- figura 8 otro diagrama para la representación de longitudes de onda resultantes, que pueden generarse con una configuración de convertidor de frecuencias según una de las ilustraciones 4 - 6.

30 A continuación se explicará en primer lugar por medio de las figuras 1 - 3 en tres formas de realización a modo de ejemplo el principio de una generación de frecuencias suma con una radiación generada externamente - radiación de mezclador – en un oscilador ópticamente paramétrico, antes de explicar por medio de las figuras 4 - 6 tres formas de realización de un convertidor de frecuencias óptico no lineal, en el que se acopla radiación de mezclador sintonizable para la generación de frecuencias suma en el OPO.

35 Las figuras 1 - 3 muestran diferentes formas de realización de un primer oscilador ópticamente paramétrico 10, con el que puede generarse radiación láser sintonizable pulsada  $\lambda_{\text{result}}$  usando un proceso ópticamente no lineal.

40 Un oscilador ópticamente paramétrico (OPO) es un oscilador paramétrico que oscila a frecuencias ópticas. Convierte una radiación de bombeo  $\lambda_{\text{bomb}}$ , generalmente una radiación láser de entrada, en al menos dos radiaciones de salida de frecuencia más baja por medio de interacción óptica no lineal. Por motivos históricos ambas radiaciones de salida se denominan “radiación señal” y “radiación de reposo”. Un OPO, tal como en este caso el primer oscilador paramétrico óptico 10, presenta un resonador óptico 12, en este caso con dos espejos de resonador 14, 15 y un cristal óptico no lineal – cristal de OPO 16. El resonador 12 está configurado a este respecto para permitir que al menos una de las dos radiaciones - radiación señal o radiación de reposo – oscile de un lado a otro entre los espejos de resonador 14, 15.

45 En el interior del resonador 12, entre los espejos de resonador 14, 15, está previsto un dispositivo mezclador de frecuencias 18 con un cristal mezclador 20. El cristal mezclador 20 es un cristal no lineal, en el que se produce una generación de frecuencias suma de la radiación de OPO 22 que oscila en el resonador 12 con una radiación generada externamente - radiación de mezclador  $\lambda_{\text{mez}}$ . De este modo puede conseguirse con una alta eficiencia también una calidad de radiación para la radiación así producida  $\lambda_{\text{result}}$ . A este respecto se mezcla una de las dos radiaciones de OPO 22 - por ejemplo la radiación señal  $\lambda_{\text{señal}}$  - con un rayo alimentado desde fuera de la radiación

de mezclador  $\lambda_{mez}$  en el cristal mezclador no lineal 20.

Una alta calidad de radiación puede conseguirse mediante el acoplamiento de la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  con alta calidad de radiación.

5 Para acoplar la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  se usa un dispositivo acoplador 24. Para desacoplar la radiación resultante  $\lambda_{result}$  se usa un dispositivo desacoplador 26. Las formas de realización de las figuras 1 - 3 se diferencian por configuraciones distintas del dispositivo acoplador 24 y el dispositivo desacoplador 26.

10 Para el acoplamiento, el dispositivo acoplador 24 presenta un espejo de acoplamiento 28. En la configuración de la figura 1, el espejo de acoplamiento 28 tiene una alta reflexión próxima al 100 % para el rango de longitudes de onda de la radiación de OPO 22 y una gran transmisión para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$ . El espejo de acoplamiento 28 está preferentemente a un ángulo de 45° con respecto a la radiación de OPO 22. En la configuración según las figuras 2 y 3, el espejo de acoplamiento 28 tiene una alta transmisión próxima al 100 % para el rango de longitudes de onda de la radiación de OPO 22 y una gran reflexión para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$ . El espejo está también en este caso a un ángulo de 45° con respecto a la radiación de OPO 22, pero está previsto todavía un espejo desviador 30 con alta reflexión para ambas radiaciones 22,  $\lambda_{mez}$ . Mientras que en las configuraciones de las figuras 1 y 2 el dispositivo desacoplador 26 está formado esencialmente por un segundo espejo de resonador 15 parcialmente transparente, en la configuración según la figura 3 el dispositivo desacoplador 26 está dotado todavía de un espejo desacoplador 32 adicional.

20 Si para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  se usa una radiación de longitud de onda fija, el dispositivo acoplador 24 y en particular el espejo de acoplamiento 28 pueden configurarse de manera relativamente sencilla; la desventaja de tal configuración radica no obstante en que el rango de sintonización de las longitudes de onda que van a generarse de nuevo de la radiación resultante  $\lambda_{result}$  se ha reducido por el proceso de mezcla y por tanto la aplicación del primer oscilador ópticamente paramétrico 10 queda muy limitada. Los motivos de ello radican, por un lado, en la capacidad de producción técnica de espejos de resonador de OPO 14, 15 adecuados con mayores anchos de banda. Por otro lado, las propiedades físicas de los cristales de OPO 16 limitan el rango de sintonización, siendo decisiva en particular una gran absorción en el rango lento de longitudes de onda en reposo.

30 Si en cambio para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  no se usa ninguna radiación de longitud de onda fija, sino una radiación de longitud de onda variable o sintonizable (por ejemplo de manera continua), entonces pueden evitarse las desventajas mencionadas anteriormente, ya que las limitaciones indicadas del funcionamiento del OPO no ven afectadas en este caso. Es decir que el espejo de resonador de OPO 14, 15 así como el cristal de OPO 16 no tienen que modificarse y aun así resulta un convertidor de longitudes de onda o un convertidor de frecuencias 52 que garantiza con alta calidad de radiación también una gran amplitud de sintonización.

Asimismo, por los mismos motivos puede explotarse con tal configuración el rango técnicamente complicado de longitudes de onda especialmente bajas a por debajo de 200 nm, tal como se expone a continuación aún más detalladamente.

35 En una primera configuración de la invención se usan como fuente de radiación para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  en configuraciones tales como en las figuras 1 - 3 en cada caso un láser sintonizable (no representado en detalle), usándose en lugar del espejo de acoplamiento 28 espejos de acoplamiento 29 correspondientemente de banda ancha, que dejan pasar esta radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  sintonizable en su ancho de banda completo (tal como en la figura 1) o la reflejan (tal como en las figuras 2 y 3).

40 Formas de realización especialmente preferidas del convertidor de frecuencias 52 se exponen a continuación más detalladamente mediante las figuras 4 - 6, usándose para elementos en cada caso iguales o correspondientes las mismas referencias que en las figuras 1 - 3.

45 En las formas de realización según las figuras 4 - 6 está previsto, además del primer oscilador ópticamente paramétrico 10, que contiene el dispositivo mezclador de frecuencias 18 con el cristal mezclador 20, y el dispositivo acoplador 24 incluido un espejo de acoplamiento 29 de banda ancha, todavía una fuente de radiación sintonizable 34 para proporcionar una radiación de mezclador de longitud de onda sintonizable o variable  $\lambda_{mez}$  preferentemente de manera continua.

Como fuente de radiación sintonizable 34 está previsto en las formas de realización representadas según las figuras 4 - 6 un segundo oscilador ópticamente paramétrico 36.

50 El segundo oscilador ópticamente paramétrico 36 está dotado, de manera similar al primer oscilador ópticamente paramétrico 10, de un resonador óptico 38, que presenta dos espejos de resonador 40, 41, un cristal de OPO 42, un dispositivo mezclador de frecuencias 44 con cristal mezclador 46 y un dispositivo acoplador 48 con un espejo de

acoplamiento 50 para acoplar una radiación de mezcla  $\lambda_{mez2}$ .

Las formas de realización de las figuras 4, 5 y 6 se diferencian de manera correspondiente a las configuraciones de las figuras 1 - 3 en cuanto a su configuración y disposición del dispositivo acoplador 24 así como del dispositivo desacoplador 26 del primer oscilador ópticamente paramétrico 10. La figura 4 se corresponde a este respecto con la configuración según la figura 1, la figura 5 con la de la figura 2 y la figura 6 con la de la figura 3.

La fuente de radiación 34 para la radiación de mezclador que va a acoplarse  $\lambda_{mez}$  es por consiguiente preferentemente un OPO sintonizable - segundo oscilador ópticamente paramétrico 36 - con generación de frecuencias suma interna al resonador, ya que así se proporciona una alta calidad de radiación, que es ventajosa para un proceso eficaz de mezcla de frecuencias y la generación de una radiación resultante con alta calidad de radiación. Las figuras 4 - 5 muestran a este respecto ejemplos de realización para configuraciones básicas correspondientes para un convertidor de frecuencias 52 ampliamente sintonizable.

A este respecto, el pulso de la radiación que va a mezclarse - radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  - debería ser simultáneo al pulso de la radiación de OPO 22 del primer oscilador ópticamente paramétricos 10. Para ello la fuente de radiación 34 externa se acopla sincrónicamente con el primer oscilador ópticamente paramétrico 10.

Un ejemplo de realización a este respecto está representado en la figura 4. Según este ejemplo de realización, la fuente de radiación 34 externa y el primer oscilador ópticamente paramétrico 10 que recibe la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  se excitan por las fundamentales o un armónico del mismo láser de bombeo (no representado explícitamente; indicado mediante la radiación de bombeo  $\lambda_{bomb}$ ), cuya radiación de bombeo  $\lambda_{bomb}$  se reparte de manera adecuada e ambas subconfiguraciones. En el ejemplo de realización según la figura 4 está previsto a este respecto un divisor de haz 54 (por ejemplo espejo semitransparente) y un dispositivo desviador 56 (por ejemplo espejo desviador).

En función del gradiente de luz puede ser necesario para una sincronización precisa prever un trayecto de retardo óptico 58 en una de las dos subconfiguraciones. En el ejemplo de realización, el trayecto de retardo óptico 58 está formado entre la fuente de radiación 34 externa y el primer OPO 10 que recibe la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$ .

Tal como ya se explicó anteriormente en las realizaciones según las figuras 1 - 3, también puede utilizarse sin embargo, en lugar de un segundo oscilador ópticamente paramétricos 36, cualquier otra fuente de radiación sintonizable para proporcionar la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$ , por ejemplo un láser sintonizable. A este respecto han de garantizarse en la medida de lo posible la sincronización y una alta calidad de radiación.

Mediante las medidas descritas se consigue que

- a) el rango de sintonización del convertidor de frecuencias 52 con generación de frecuencias suma interna al resonador aumente considerablemente y
- b) la generación, técnicamente muy complicada, de longitudes de onda muy cortas por debajo de 200 nm se facilite esencialmente.

Esto se explica mediante las figuras 7 y 8, con las que se exponen los resultados de cálculo para la radiación de salida  $\lambda_{result}$ , representada en este caso como  $\lambda_{UV}$  para una longitud de onda en el rango UV, de los convertidores de longitudes de onda o convertidores de frecuencias 52 aquí explicados con generación de frecuencias suma interna al resonador.

Para la radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  se estableció un rango de longitudes de onda, que corresponde a la radiación que puede generarse con configuraciones según las figuras 1 - 3 con longitud de onda fija  $\lambda_{mez2}$  de la radiación de mezclador  $\lambda_{mez2}$  allí acoplada. En los ejemplos de cálculo se usó para la radiación de bombeo  $\lambda_{bomb}$  la radiación duplicada en frecuencia de 532 nm de la transición principal del láser Nd:YAG. La radiación señal  $\lambda_{señal}$  alcanza en este caso de aproximadamente 800 nm a 950 nm.

Tal como resulta evidente a partir de los diagramas, en el caso de una radiación de mezclador que va a acoplarse  $\lambda_{mez}$  en el primer OPO 10 de entre 300 y 325 nm en función de la radiación señal  $\lambda_{señal}$  pueden alcanzarse radiaciones UV  $\lambda_{UV}$  resultantes entre 215 y 245 nm (véase la figura 7). Sin embargo, si se acopla radiación de mezclador  $\lambda_{mez}$  en el rango de 230 - 250 nm, pueden alcanzarse radiaciones UV  $\lambda_{UV}$  resultantes en el rango entre 175 y 200 nm.

Gracias a estos dibujos queda claro que el rango de sintonización con la nueva configuración de OPO aumenta considerablemente.

Además, a partir de las figuras 7 y 8 puede observarse que en caso de generación de radiación UV  $\lambda_{uv}$  con la disposición aquí presentada puede aprovecharse en particular también el rango de longitudes de onda muy cortas próximas o por debajo de 200 nm, sin tener que modificar el espejo de resonador de OPO 14, 15 o 40, 41 o el cristal de OPO 16, 42.

- 5 El convertidor de frecuencias 52 mostrado en las figuras 4 - 6 puede usarse en una disposición de láser 60 para generar radiación láser sintonizable pulsada  $\lambda_{uv}$ .

Un uso ventajoso en una disposición de láser 60 de este tipo es la detección de sustancias peligrosas por medio de espectrometría de movilidad iónica, por ejemplo en un espectrómetro de movilidad iónica (no representado en detalle). Un espectrómetro de movilidad iónica (IMS) es un espectrómetro apto para la detección e identificación de concentraciones muy bajas de productos químicos debido a la diferente migración de iones en una fase gaseosa por un campo eléctrico homogéneo. Los dispositivos IMS se presentan en tamaños muy distintos y suelen estar adaptados para una aplicación especial. Los dispositivos IMS son aptos para funcionar en las más diversas condiciones de entorno. Ejemplos de espectrómetro de movilidad iónica se encuentran en el documento WO 02/086946, al que se remite expresamente para más detalles para. La disposición de láser 60 con el convertidor de frecuencias 52 puede utilizarse como sistema láser UV para la ionización selectiva y eficaz de moléculas para la comprobación delicada de sustancias explosivas y otras sustancias peligrosas por medio de tal espectrómetro de movilidad iónica.

Otra posible aplicación son los sistemas LIDAR, en los que el convertidor de frecuencias puede utilizarse por ejemplo como transmisor LIDAR.

- 20 Ejemplos de sistemas LIDAR se encuentran en los documentos WO 2007/123 555, US 2007/247612, US 2007/210254 o US 2007/171397, a los que se remite expresamente para más detalles sobre sistemas LIDAR.

#### Lista de referencias

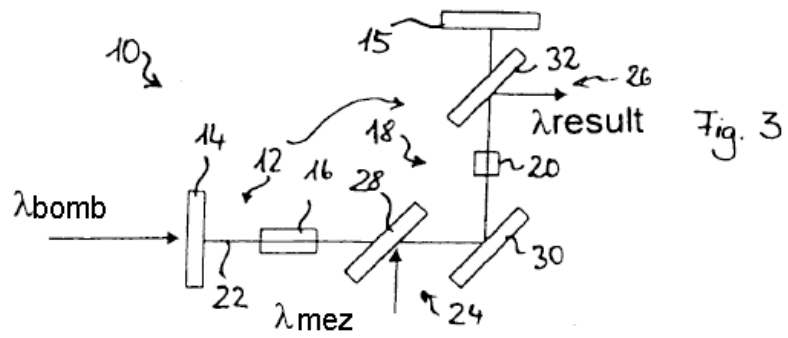
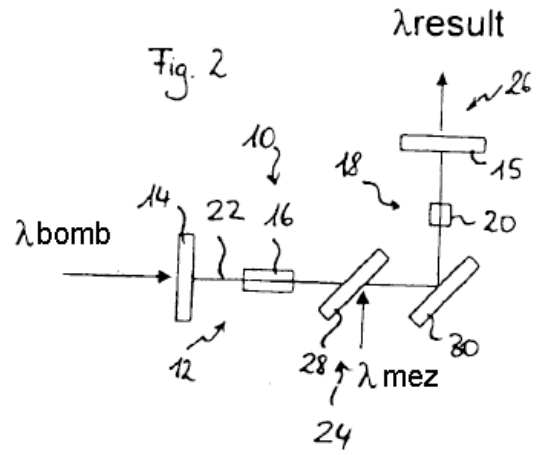
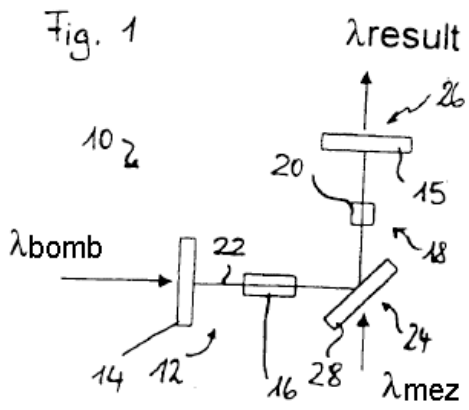
- |    |  |
|----|--|
| 10 | primer oscilador ópticamente paramétrico     |
| 12 | resonador óptico                             |
| 25 | 14 primer espejo de resonador                |
|    | 15 segundo espejo de resonador               |
|    | 16 cristal de OPO                            |
|    | 18 dispositivo mezclador de frecuencias      |
| 20 | cristal mezclador                            |
| 30 | 22 radiación de OPO                          |
|    | 24 dispositivo acoplador                     |
|    | 26 dispositivo desacoplador                  |
|    | 28 espejo de acoplamiento                    |
|    | 29 espejo de acoplamiento de banda ancha     |
| 35 | 30 espejo desviador                          |
|    | 32 espejo desacoplador                       |
|    | 34 fuente de radiación sintonizable          |
|    | 36 segundo oscilador ópticamente paramétrico |
|    | 38 resonador óptico                          |
| 40 | 40 tercer espejo de resonador                |
|    | 41 cuarto espejo de resonador                |
|    | 42 cristal de OPO                            |
|    | 44 dispositivo mezclador de frecuencias      |
|    | 46 cristal mezclador                         |
| 45 | 48 dispositivo acoplador                     |
|    | 50 espejo de acoplamiento                    |
|    | 52 convertidor de frecuencias                |
|    | 54 divisor de haz                            |
|    | 56 dispositivo desviador                     |
| 50 | 58 trayecto de retardo óptico                |
|    | 60 disposición de láser                      |
|    | $\lambda_{bomb}$ radiación de bombeo         |
|    | $\lambda_{mez}$ radiación de mezclador       |
|    | $\lambda_{mez2}$ radiación de mezcla         |
| 55 | $\lambda_{result}$ radiación resultante      |
|    | $\lambda_{señal}$ radiación señal            |
|    | $\lambda_{uv}$ radiación UV                  |

## REIVINDICACIONES

1. Convertidor de frecuencias óptico no lineal (52) con un primer oscilador ópticamente paramétrico (10), OPO, que presenta un resonador óptico (12) con espejos de resonador (14, 15) y un cristal de OPO óptico no lineal (16) para la generación de una radiación de OPO (22), estando el resonador óptico (12) configurado para hacer que la radiación de OPO oscile de un lado a otro entre los espejos de resonador (14, 15), y un dispositivo mezclador de frecuencias (18) previsto en el interior del resonador (12) entre los dos espejos de resonador (14, 15) con un cristal mezclador óptico no lineal (20) para mezclar la radiación de OPO (22) con una radiación de mezclador ( $\lambda_{mez}$ ), para generar mediante generación de frecuencias suma una radiación resultante ( $\lambda_{result}$ ), presentando el primer oscilador ópticamente paramétrico (10) un dispositivo acoplador (24) y estando prevista una fuente de radiación sintonizable (34) para proporcionar radiación de mezclador sintonizable ( $\lambda_{mez}$ ), que puede acoplarse a través del dispositivo acoplador (24) como radiación de mezclador en el dispositivo mezclador de frecuencias (18), caracterizado porque la fuente de radiación sintonizable (34) presenta un segundo oscilador ópticamente paramétrico (36).
2. Convertidor de frecuencias según la reivindicación 1, caracterizado porque es un convertidor de frecuencias pulsado (52).
3. Convertidor de frecuencias según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el primer oscilador ópticamente paramétrico (10) y la fuente de radiación sintonizable (34) están sincrónicamente acoplados.
4. Convertidor de frecuencias según la reivindicación 3, caracterizado porque está prevista una fuente pulsada común, para proporcionar una radiación de bombeo común ( $\lambda_{bomb}$ ) tanto al primer como al segundo oscilador ópticamente paramétrico.
5. Convertidor de frecuencias según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el segundo oscilador ópticamente paramétrico (36) es un oscilador ópticamente paramétrico sintonizable con generación de frecuencias suma interna al resonador.
6. Convertidor de frecuencias según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo acoplador (24) presenta un espejo de acoplamiento (29) para acoplar la radiación de mezclador sintonizable ( $\lambda_{mez}$ ) en el resonador (12) que contiene el dispositivo mezclador de frecuencias (18) del primer oscilador ópticamente paramétrico (10) y por que el espejo de acoplamiento (29) está configurado en banda ancha de tal manera que es o bien permeable o bien reflectante al menos para una gran parte del rango de frecuencias o para la totalidad del rango de frecuencias de la fuente de radiación sintonizable (34).
7. Convertidor de frecuencias según la reivindicación 6, caracterizado porque el espejo de acoplamiento (29) presenta un grado de reflexión de más del 90 %, preferentemente de más del 95 %, para el rango de frecuencias de la radiación de OPO (22) del primer oscilador ópticamente paramétrico (10) y un grado de transmisión de más del 50%, preferentemente de más del 90 %, para el rango de frecuencias de la radiación de mezclador sintonizable ( $\lambda_{mez}$ ) que va a acoplarse.
8. Convertidor de frecuencias según la reivindicación 6, caracterizado porque el espejo de acoplamiento presenta un grado de transmisión de más del 90 %, preferentemente de más del 95 %, para el rango de frecuencias de la radiación de OPO (22) del primer oscilador ópticamente paramétricos (10) y un grado de reflexión de más del 50%, preferentemente de más del 90 %, para el rango de frecuencias de la radiación de mezclador sintonizable ( $\lambda_{mez}$ ).
9. Convertidor de frecuencias según una de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque el espejo de acoplamiento (29) está a un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la radiación (22) del primer oscilador ópticamente paramétrico (10).
10. Disposición de láser (60) para la generación de radiación láser sintonizable pulsada, caracterizada por un convertidor de frecuencias (52) según una de las reivindicaciones anteriores.
11. Procedimiento de espectrometría de movilidad iónica, caracterizado por el uso de una disposición de láser (60) según la reivindicación 10 para ionizar moléculas.
12. Disposición LIDAR, caracterizada por un convertidor de frecuencias según una de las reivindicaciones 1 a 9.
13. Procedimiento para generar radiación láser sintonizable pulsada ( $\lambda_{result}$ ;  $\lambda_{uv}$ ) usando un proceso ópticamente no lineal en un primer oscilador ópticamente paramétrico (10), que presenta un resonador óptico (12) con espejos de resonador (14, 15) y un cristal de OPO óptico no lineal (16) para la generación de una radiación de OPO (22),



estando el resonador óptico (12) configurado para hacer que la radiación de OPO oscile de un lado a otro entre los espejos de resonador (14, 15), y un dispositivo mezclador de frecuencias (18) previsto en el interior del resonador (12) entre los dos espejos de resonador (14, 15) con un cristal mezclador óptico no lineal (20) para mezclar la radiación de OPO (22) con una radiación de mezclador ( $\lambda_{mez}$ ), para generar mediante generación de frecuencias suma una radiación resultante ( $\lambda_{result}$ ),  
5 con la etapa de: acoplar una radiación de longitud de onda sintonizable ( $\lambda_{mez}$ ) como radiación de mezclador en el dispositivo de mezcla de frecuencias (18) del primer oscilador ópticamente paramétrico (10), caracterizado por  
10 generar la radiación de mezclador de longitud de onda sintonizable que va a acoplarse ( $\lambda_{mez}$ ) por medio de un segundo oscilador ópticamente paramétrico (36).



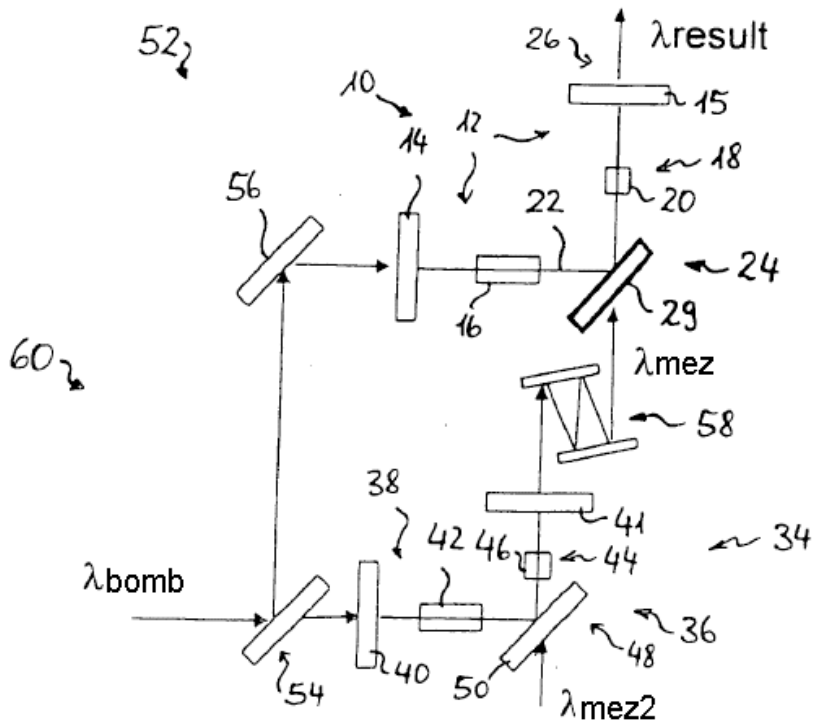


Fig. 4

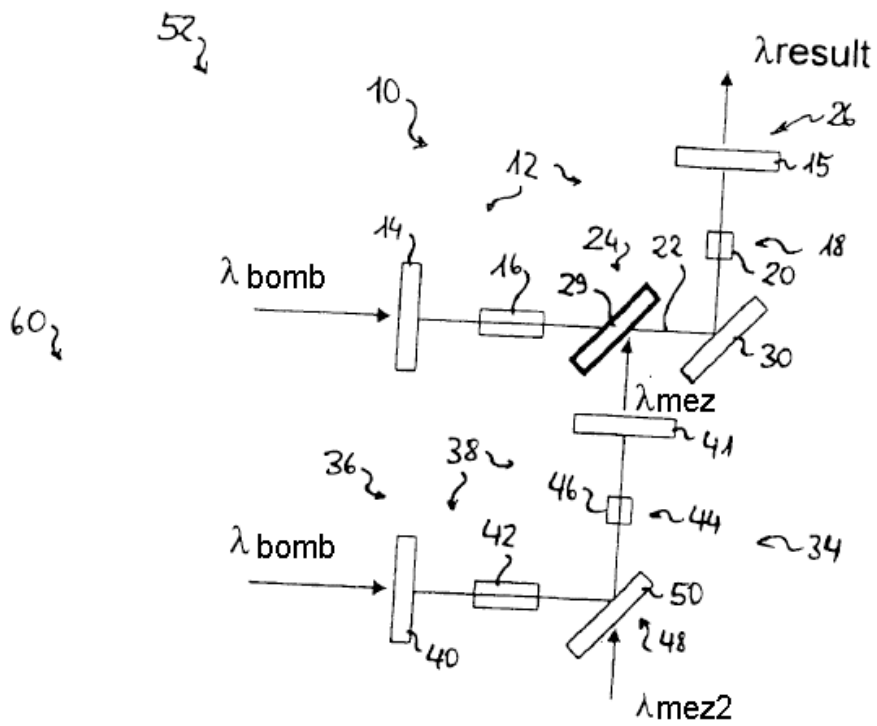
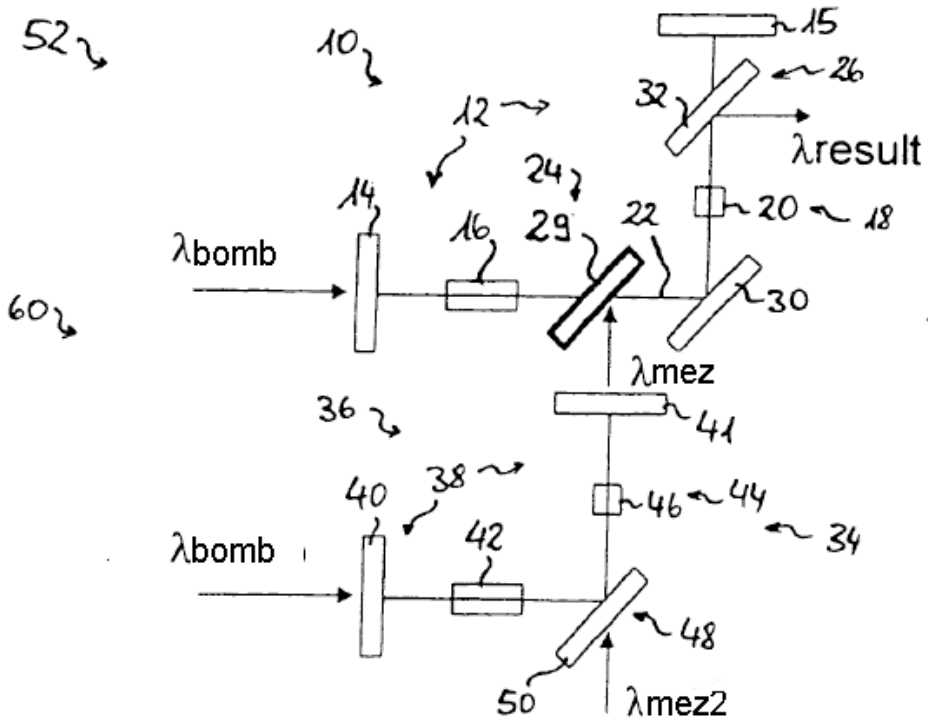


Fig. 5



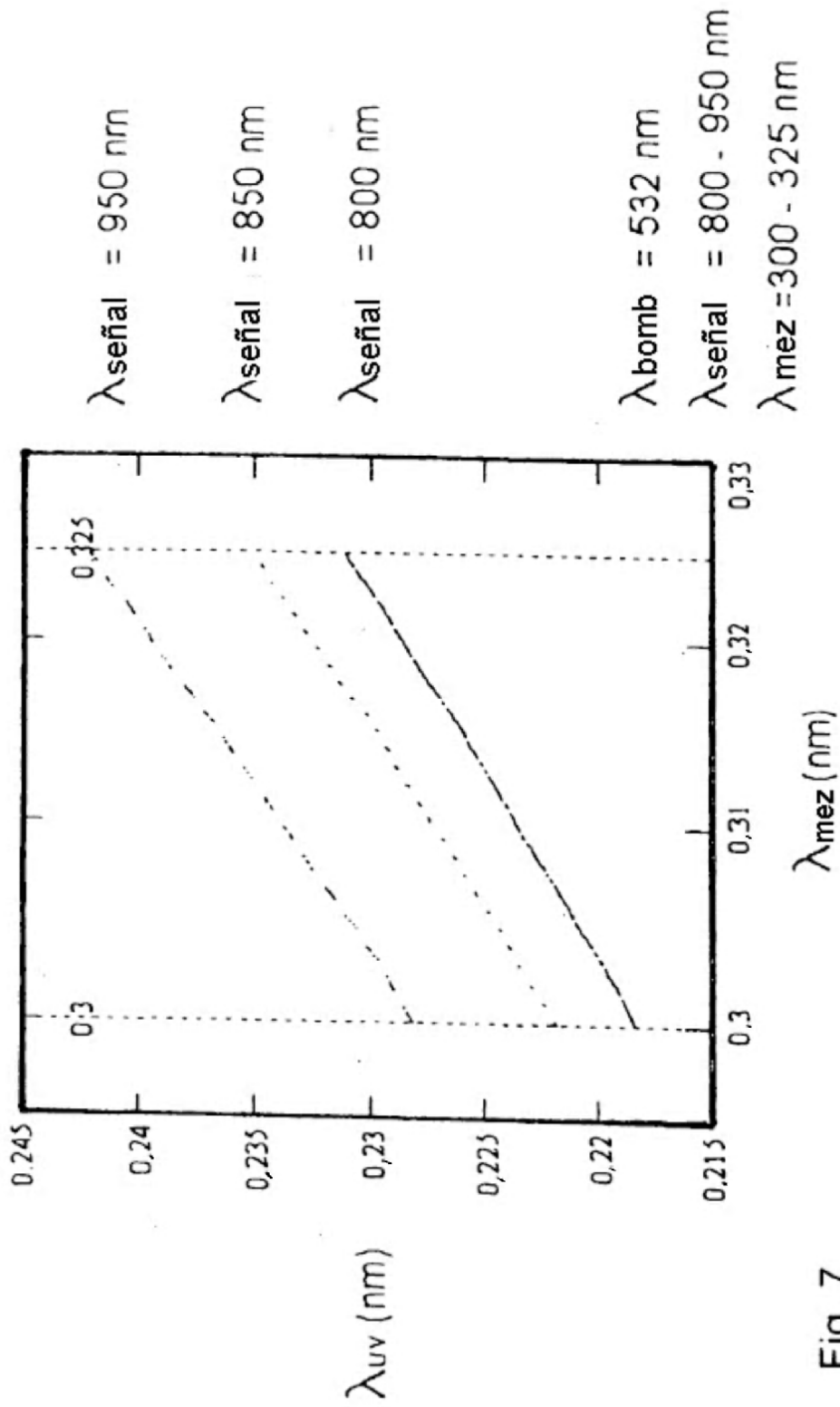


Fig. 7

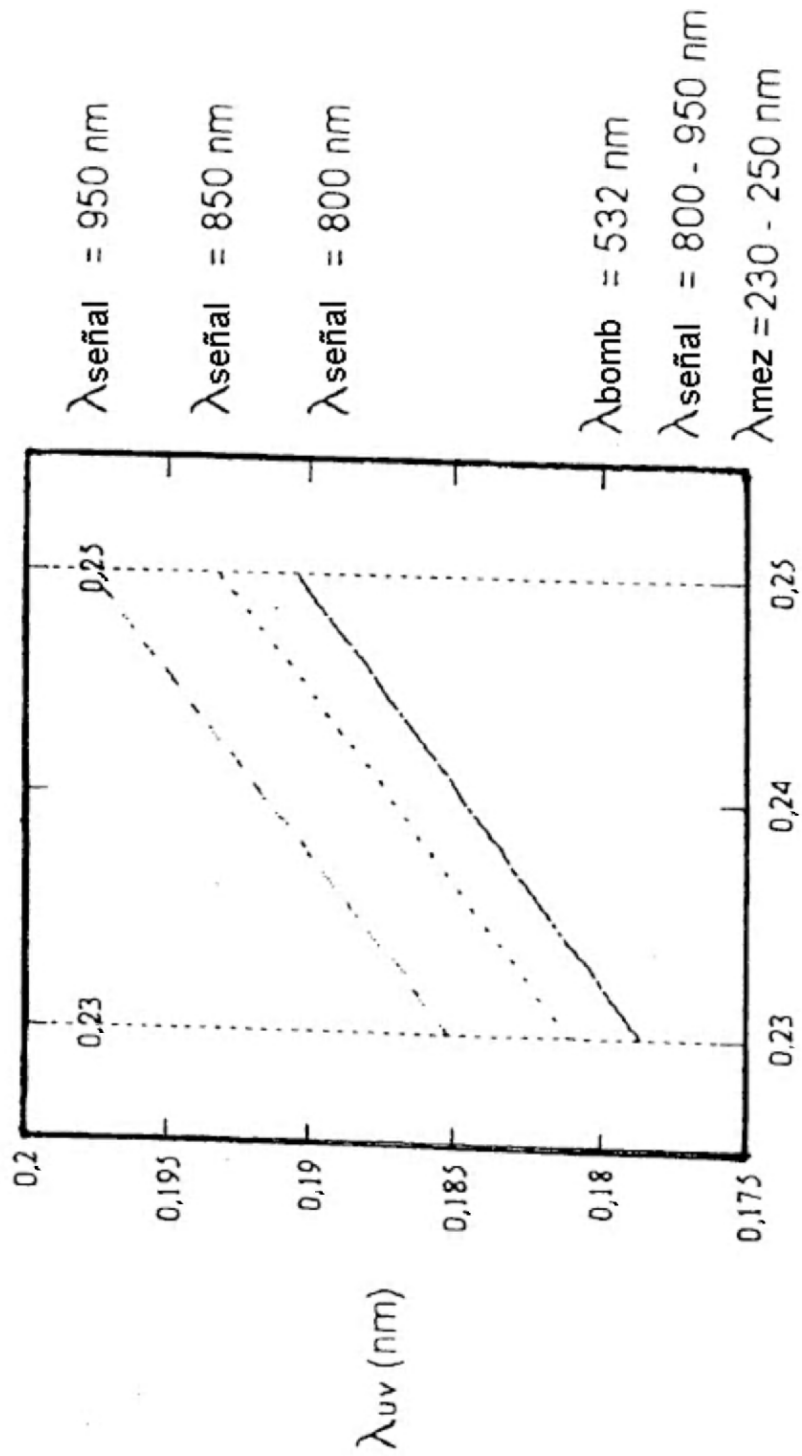


Fig. 8