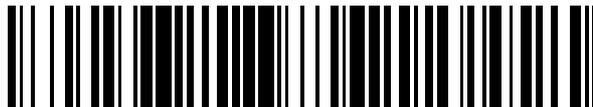


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 356**

51 Int. Cl.:

A61B 3/12 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01)

A61B 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2006 E 06790906 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 1948024**

54 Título: **Aparato de TCO de fuente de barrido**

30 Prioridad:

02.11.2005 GB 0522338

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

06.03.2013

73 Titular/es:

**OPTOS PLC (100.0%)
Queensferry House Carnegie Business Campus
Dunfermline
Fife KY11 8GR, GB**

72 Inventor/es:

**ROGERS, JOHN, A. y
HATHAWAY, MARK**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 397 356 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

Aparato de TCO de fuente de barrido

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de la tomografía de coherencia óptica (TCO) y, en particular, a TCO espectral en la que la posición en profundidad de ubicaciones de objetos se determina a partir del espectro de longitud de onda de luz dispersada desde la muestra.

Antecedentes de la invención

10 La TCO es una técnica en la que la formación de imágenes puede obtenerse en la profundidad o dirección z de una muestra, típicamente la retina del ojo. En TCO de dominio temporal convencional, la retina es explorada con un haz procedente de un interferómetro que tiene una fuente de luz que tiene una longitud de coherencia corta, típicamente del orden de varios micrómetros. Se obtiene una señal del haz devuelto en posiciones de profundidad, en la que la diferencia de trayectoria óptica es menor que la longitud de coherencia.

15 Pueden emplearse diferentes técnicas de exploración, tal como se describe, por ejemplo, en la Patente de Estados Unidos N° 5.975.697. En la llamada exploración unidimensional (*A scan*), la muestra es explorada a lo largo de un único eje en la dirección de profundidad para generar un perfil de reflectividad a lo largo del eje z en un punto particular en el plano x-y. En una exploración bidimensional (*B scan*), la muestra es explorada también en la dirección x o la dirección y para generar un corte horizontal o vertical que se extiende en el interior de la muestra. La exploración bidimensional resulta de una sucesión de exploraciones unidimensionales. En la exploración frontal, se toman cortes de imagen en el plano x-y a diferentes profundidades.

20 En TCO espectral, descrita en la Patente de Estados Unidos N° 6.377.349 de Ferscher, y L.M. Smith y C.C. Dobson, Applied Optics, 1989, vol. 28, no. 15, páginas 3339-3342, el espectro de la luz dispersada por el objeto se obtiene mediante una matriz de diodos en el plano del objeto. En este caso la exploración unidimensional óptica se obtiene a partir de una transformada de Fourier de la distribución de la intensidad espectral de la luz reflejada por el objeto. La transformación de Fourier de la amplitud espectral compleja proporciona información sobre la reflectividad de la muestra a lo largo del eje z en la muestra.

25 La TCO espectral está sujeta, sin embargo, a pérdidas del espectrómetro y efectos de polarización, que pueden reducir la resolución obtenible. En lugar de usar una fuente de banda ancha, se ha propuesto usar una fuente de banda estrecha, tal como un láser, con el fin de obtener exploraciones unidimensionales. En esta propuesta, la frecuencia del láser se modula dentro de una banda espectral definida, y la respuesta en cada frecuencia en la banda espectral se registra. La exploración con fuente de barrido elimina la necesidad de un espectrómetro, dado que las diferentes frecuencias pueden detectarse con un simple fotodetector. La exploración con fuente de barrido, sin embargo, ha estado limitada a exploraciones unidimensionales, es decir, exploraciones de eje único que se extienden en la dirección de profundidad, dado que es difícil obtener una fuente modulada de frecuencia estable con una alta velocidad de barrido que se requeriría para realizar una exploración bidimensional (una imagen de sección que se extiende en la dirección de profundidad). Por ejemplo, suponiendo una imagen de 1000 píxeles de ancho y una velocidad de imágenes de 1 fotogramas/segundo, el láser necesitaría realizar el barrido 1000 veces/segundo, lo que en la práctica es muy difícil de conseguir.

30 El artículo de Chih-Wei Lu et al., titulado "Multi-frequency-scan Optical Coherence Tomography for Resolution Beyond the Fourier Transform Limit", Lasers and Electro-Optics, 2005, Pacific Rim Conference, Tokio, Japón 30-02 de agosto de 2005, Piscataway, NJ, Estados Unidos, IEEE, 30 de agosto de 2005, páginas 191-192, enseña un interferómetro de TCO multi-frecuencia con un modulador de fase en el brazo de la muestra para conseguir resoluciones más allá del límite de Fourier.

35 El artículo de Jun Zhang et al., titulado "Swept Source Based Fourier Domain Functional Optical Coherence Tomography", Engineering in Medicine and Biology Society, 2005, IEEE-EN113S 2005, 27th Annual International Conference of Shanghai, China 01-04 de septiembre de 2005, IEEE 1 de septiembre de 2005, páginas 7230-7233, desvela un interferómetro de TCO de fuente de barrido con un modulador de fase en el brazo de referencia para mejorar el intervalo de formación de imágenes.

40 La solicitud de patente de Estados Unidos N° 2001/0045513 desvela un aparato de tomografía de coherencia óptica que usa un par de generadores de peine de frecuencias ópticas para evitar la necesidad de transmisiones mecánicas y, de este modo, acelerar la operación de detección.

Resumen de la invención

45 La presente invención emplea un láser de frecuencia modulada en el que la imagen es explorada repetidamente a alta velocidad a lo largo de una línea de exploración en el plano x-y mientras la longitud de onda del láser se modula a una velocidad relativamente baja a medida que el haz de exploración se mueve por la imagen. La transformación de Fourier de los datos resultantes produce una imagen de exploración bidimensional.

De acuerdo con la presente invención se proporciona un procedimiento de realizar formación de imágenes de TCO espectral sobre una diana, que comprende explorar repetidamente dicha diana a lo largo de una línea transversal con un haz del objeto derivado de un interferómetro de TCO que tiene una fuente de banda estrecha; barrer la longitud de onda de dicha fuente de banda estrecha sobre un intervalo de longitudes de onda a una velocidad que es lenta con respecto a la velocidad de exploración de dicha diana de modo que cada línea de exploración se realice a una frecuencia o intervalo estrecho de frecuencias particular en el intervalo de longitudes de onda; detectar el haz del objeto devuelto desde la diana para producir un conjunto de datos obtenidos de múltiples exploraciones a lo largo de dicha línea de exploración sobre dicho intervalo de longitudes de onda; y procesar dicho conjunto de datos para extraer una imagen de sección longitudinal de TCO de dicha diana que contiene información de profundidad.

5 El plano X-Y se considera normalmente la imagen o plano frontal. La exploración de acuerdo con los principios de la invención tiene lugar en este plano. Aunque se hace referencia a la exploración transversal, se apreciará que la orientación en el plano X-Y es irrelevante.

10 El procesador típicamente produce una exploración bidimensional, aunque explorando diferentes líneas en forma de trama, es posible por supuesto acumular un conjunto de puntos de datos que contienen información de la imagen tridimensional completa para la diana. Estos puntos de datos se almacenan en la memoria.

15 En efecto, puede considerarse que el procedimiento acumula la imagen a una longitud cada vez con cada exploración transversal correspondiendo a una longitud de onda, o realmente un intervalo limitado de longitudes de onda dependiendo de la velocidad de barrido con respecto a la velocidad de exploración. De acuerdo con el procedimiento de la invención, el tiempo de la exploración bidimensional es el mismo que la velocidad de barrido de la fuente, permitiendo una formación de imágenes de sección transversal mucho más rápida de lo que es posible en la técnica anterior.

La exploración preferiblemente tiene lugar hacia atrás y hacia delante a lo largo de la línea de exploración, con exploraciones en ambas direcciones generando datos.

20 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para realizar formación de imágenes de TCO espectral sobre una diana, que comprende un escáner para explorar repetidamente dicha muestra a lo largo de una única línea de exploración transversal con un haz del objeto derivado de un interferómetro de TCO que tiene una fuente de banda estrecha; un modulador para barrer la longitud de onda de dicha fuente de banda estrecha sobre un intervalo de longitudes de onda a una velocidad que es lenta con respecto a la velocidad de exploración de dicha diana, de modo que cada línea de exploración se realiza a una frecuencia o intervalo estrecho de frecuencias particular en el intervalo de longitudes de onda; un detector para detectar el haz del objeto devuelto desde la diana para producir un conjunto de datos obtenidos de múltiples exploraciones a lo largo de dicha línea de exploración sobre dicho intervalo de longitudes de onda; y un procesador para procesar dicho conjunto de datos para extraer una imagen de sección de TCO de dicha diana que contiene información de profundidad.

25 El escáner es preferiblemente un escáner galvanométrico, por ejemplo un escáner de resonancia de 16 KHz. Una velocidad de exploración adecuada es de 32.000 veces por segundo.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá a continuación con más detalle, a modo de ejemplo solamente, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático de un aparato de TCO con una fuente de frecuencia modulada;

40 La figura 2 es un diagrama espectral de la luz lanzada al interior del interferómetro.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La figura 1 es un diagrama de bloques de un aparato de TCO de fuente de barrido de acuerdo con los principios de la invención. Aunque la invención se ha descrito en relación con fibra óptica, se apreciará que también puede implementarse en sistema óptico en volumen.

45 Un láser 10, que tiene una frecuencia central de 750 nm produce un haz de luz del objeto que es barrido sobre un intervalo de 700 - 800 nm tal como se muestra en la figura 2. La potencia de luz procedente del láser 10 es lanzada al interior de fibra óptica 11 que forma parte de un interferómetro, desde donde pasa a través del divisor/combinador 12 a la interfaz óptica, que en la realización preferida comprende un escáner galvanométrico 13 para explorar la diana 14. Ésta es típicamente la retina de un ojo, aunque el aparato puede usarse para explorar cualquier diana parcialmente transparente donde se requiera información de profundidad. El escáner galvanométrico 13 explora la diana 14 en una forma de trama.

50 Una parte del haz de entrada pasa a través del divisor/combinador 12 a la fibra óptica 15 para formar el haz de referencia. La luz procedente de la fibra óptica 15 emerge en la unidad de ajuste de la longitud de la trayectoria óptica 30 que incluye espejos 31, 32, colocados en ángulos de 45° y vuelve a través de la fibra óptica 19. La unidad

de ajuste 30 permite que la diferencia de la trayectoria óptica entre el haz del objeto y el haz de referencia se ajuste, pero a diferencia del caso de TCO de dominio temporal, no es necesario modificar la diferencia de trayectoria óptica para realizar una exploración de profundidad en la diana.

5 La luz procedente del haz de referencia y el haz del objeto devuelto se combina en el divisor/combinador 20, donde interfiere, y produce dos haces de salida diferenciales en las fibras ópticas 21, 22, que son detectados por los fotodetectores 24 en una unidad de detección equilibrada 23. En TCO espectral convencional, la luz es detectada por un espectrómetro. En el caso de TCO de fuente de barrido, es suficiente usar simplemente un fotodetector, dado que durante un barrido de frecuencia, diferentes instantes de tiempo corresponden a diferentes frecuencias. Por supuesto, no es necesario usar una unidad de detección equilibrada. Los haces del objeto y de referencia
10 combinados pueden pasarse directamente a un único fotodetector.

La TCO espectral opera en el dominio de frecuencia. Esta característica mejora la velocidad de formación de imágenes drásticamente, mientras que las pérdidas reducidas durante una única exploración mejoran la señal con respecto a ruido proporcional al número de elementos de detección. La detección paralela en múltiples intervalos de longitud de onda limita el intervalo de exploración, mientras que el ancho de banda espectral completo establece la
15 resolución axial.

La salida de la unidad de detección 23 se pasa al ordenador 40, que está conectado a un dispositivo de visualización 41 y una memoria 21. El ordenador también actúa como un modulador que controla la salida de frecuencia/longitud de onda mediante el láser 10 y la exploración del escáner galvanométrico 13.

En funcionamiento, el ordenador controla el escáner galvanométrico 13 para explorar la diana a una velocidad muy alta, típicamente muchos miles de veces por segundo. Un escáner de resonancia de 16 KHz, que puede explorar a la velocidad de 32.000 líneas/segundo, es adecuado. El ordenador controla a continuación el láser para barrer la frecuencia (o longitud de onda) a una velocidad baja con respecto a la velocidad de exploración del escáner galvanométrico 13. En el caso de una exploración bidimensional, o exploración de sección longitudinal, el escáner galvanométrico explora hacia atrás y hacia delante a una velocidad alta a lo largo de una única línea de exploración.
20 Mientras hace esto, la frecuencia de la fuente es barrida a una velocidad que es lenta con respecto a la velocidad de exploración de la diana. Cada línea de exploración es realizada, de este modo, de forma efectiva a una frecuencia particular, o al menos en un intervalo estrecho de frecuencias determinadas por el cambio de frecuencia de la fuente durante cada exploración transversal.

Cada línea de exploración produce un subconjunto de puntos de datos, correspondiendo cada punto de datos a un punto de imagen en la línea de exploración a una longitud de onda particular en el intervalo de longitudes de onda. El número de los puntos de imagen a través de la línea de exploración depende de la resolución del sistema, que se determina mediante la velocidad de sincronización del sistema de captura en el ordenador. Los puntos de datos capturados se almacenan en la memoria 41.
30

Múltiples exploraciones contienen a continuación información obtenida a diferentes longitudes de onda a medida que la longitud de onda de la fuente es barrida lentamente con respecto a la exploración. Almacenando los puntos de datos de múltiples exploraciones, la información de profundidad puede extraerse de una manera similar a TCO espectral convencional.
35

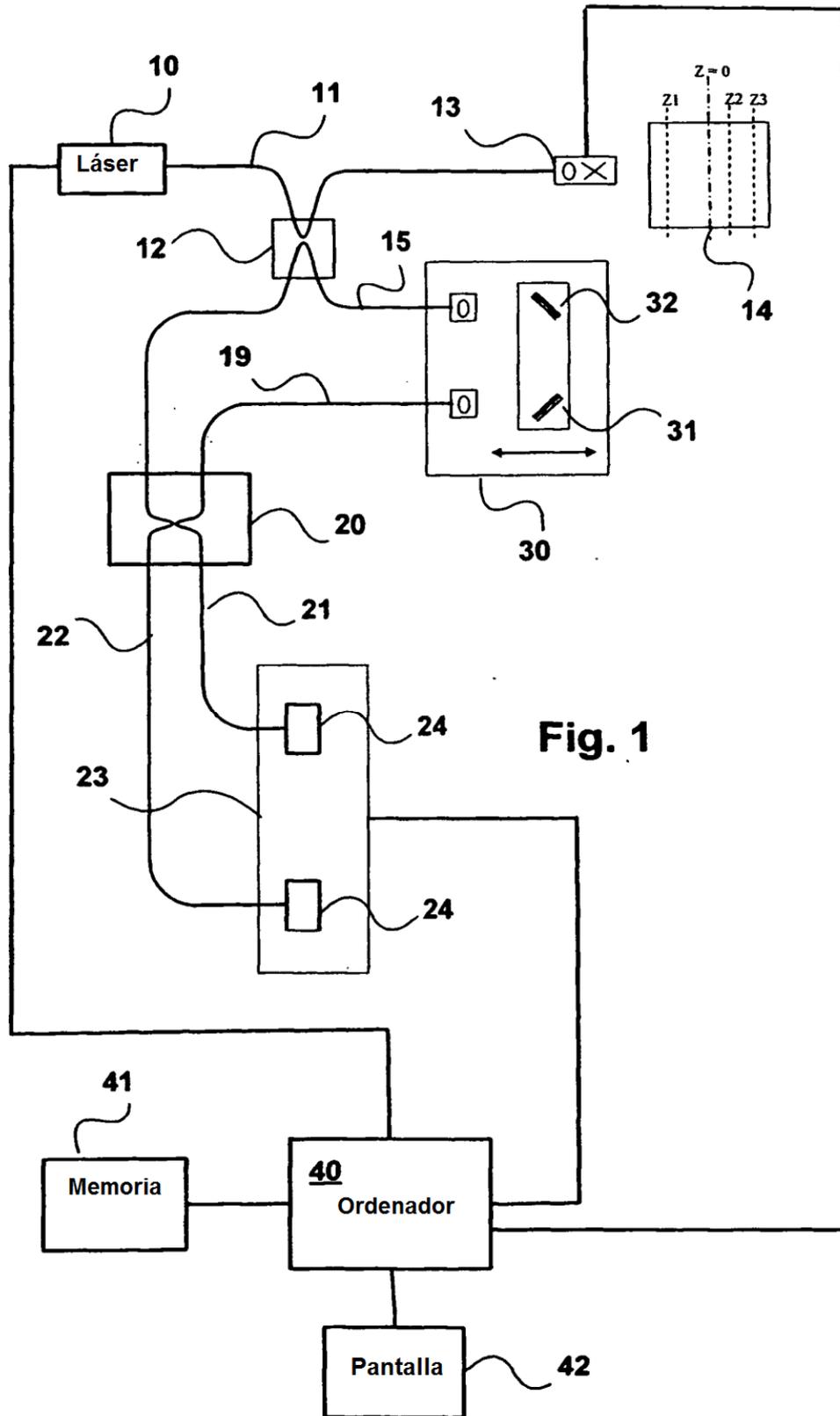
El ordenador 40 realiza una transformada Rápida de Fourier sobre los datos y extrae información de la imagen que se extiende en la dirección de la profundidad en una cantidad que depende del intervalo de frecuencia sobre el que se barre la fuente. Múltiples exploraciones a lo largo de una única línea de exploración permiten información para construir una imagen de sección longitudinal (exploración bidimensional). Explorando en diferentes coordenadas en la dirección Y, puede construirse una imagen tridimensional completa de la diana. El ordenador muestra a continuación los datos obtenidos como una imagen de exploración bidimensional en el dispositivo de visualización 42.
40

A diferencia de la técnica anterior, la fuente de barrido no tiene una alta velocidad de barrido, así que puede hacerse estable. Además, existe una mejora considerable de la relación señal con respecto a ruido.
45

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para realizar formación de imágenes por tomografía de coherencia óptica espectral sobre una diana (14), que comprende:
 - 5 explorar repetidamente dicha diana a lo largo de una única línea de exploración transversal con un haz del objeto derivado de un interferómetro de tomografía de coherencia óptica que tiene una fuente de banda estrecha (10);
 - barrer la longitud de onda de dicha fuente de banda estrecha sobre un intervalo de longitudes de onda a una velocidad que es lenta con respecto a la velocidad de exploración de dicha diana, de modo que cada línea de exploración se realiza a una frecuencia o intervalo estrecho de frecuencias particular en el intervalo de longitudes de onda;
 - 10 detectar el haz del objeto (21, 22) devuelto desde la diana para producir un conjunto de datos obtenidos de múltiples exploraciones a lo largo de dicha línea de exploración sobre dicho intervalo de longitudes de onda; y
 - procesar dicho conjunto de datos para extraer una imagen de sección de tomografía de coherencia óptica longitudinal de dicha diana (14) que contiene información de profundidad.
 - 15
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha diana (14) es explorada al menos 10.000 veces por segundo.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha imagen de tomografía de coherencia óptica es una imagen de sección longitudinal (exploración bidimensional).
- 20 4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha diana (14) es explorada repetidamente a lo largo de diferentes líneas de exploración transversales (Z1, Z2, Z3) para obtener información de imagen tridimensional a partir de la diana (14).
5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho procesamiento implica realizar una transformada de Fourier sobre dicho conjunto de puntos de datos.
- 25 6. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicha fuente de banda estrecha (10) es un láser de longitud de onda barrida.
7. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha diana es explorada con un escáner de resonancia de 16 KHz.
- 30 8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha exploración se realiza hacia atrás y hacia delante a lo largo de una línea de exploración (Z), con exploraciones en cada dirección produciendo datos.
9. Un aparato para realizar formación de imágenes por tomografía de coherencia óptica espectral sobre una diana (14), que comprende:
 - 35 un escáner (13) para explorar repetidamente dicha diana (14) a lo largo de una única línea de exploración transversal con un haz del objeto derivado de un interferómetro de tomografía de coherencia óptica que tiene una fuente de banda estrecha (13);
 - un modulador (40) para barrer la longitud de onda de dicha fuente de banda estrecha (10) sobre un intervalo de longitudes de onda a una velocidad que es lenta con respecto a la velocidad de exploración de dicha diana (14) de modo que cada línea de exploración se realiza a una frecuencia o intervalo estrecho de frecuencias particular en el intervalo de longitudes de onda;
 - 40 un detector (24) para detectar el haz del objeto devuelto desde la diana para producir un conjunto de datos obtenidos de múltiples exploraciones a lo largo de dicha línea de exploración sobre dicho intervalo de longitudes de onda; y
 - un procesador (40) para procesar dicho conjunto de datos para extraer una imagen de sección de tomografía de coherencia óptica longitudinal de dicha diana que contiene información de profundidad.
 - 45
10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicho escáner (13) está configurado para explorar la diana al menos 10.000 veces por segundo.
11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9 ó 10, en el que dicho escáner (13) está controlado para explorar repetidamente la diana a lo largo de diferentes líneas de exploración transversales para obtener información de imagen tridimensional.
- 50 12. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que dicho procesador (40) está configurado para realizar una transformada de Fourier sobre dicho conjunto de puntos de datos.
13. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicha fuente de banda estrecha (10) es un láser de longitud de onda barrida.

14. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que dicho escáner (13) está configurado para explorar hacia atrás y hacia delante a lo largo de la línea de exploración (13).



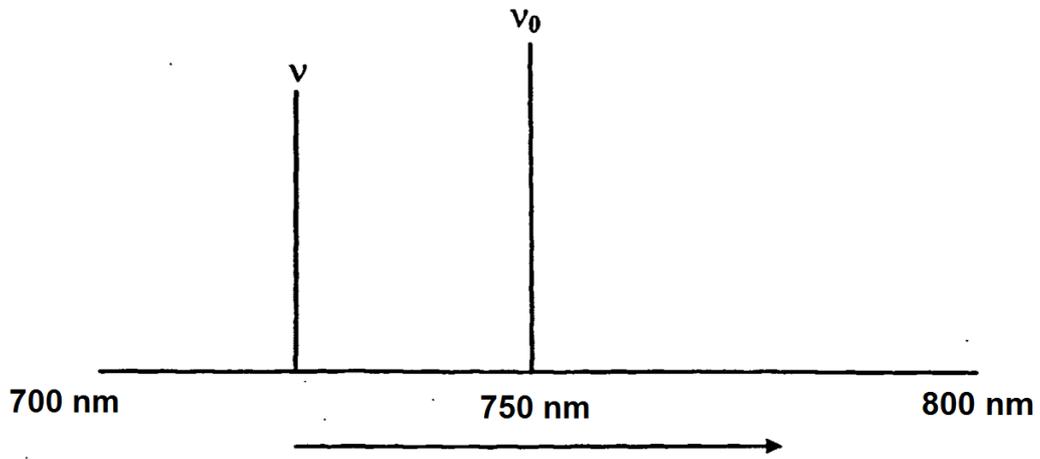


Fig. 2