

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 091**

51 Int. Cl.:
G01N 21/47 (2006.01)
G01T 1/29 (2006.01)
G01N 23/205 (2006.01)
G02B 27/42 (2006.01)
G06K 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08862445 .7**
96 Fecha de presentación: **04.12.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2227705**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.09.2010**

54 Título: **Procedimiento y aparato para proporcionar datos de imagen**

30 Prioridad:
17.12.2007 GB 0724448

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.08.2012

73 Titular/es:
**PHASE FOCUS LIMITED
THE SHEFFIELD BIOINCUBATOR 40
LEAVYGREAVE ROAD SHEFFIELD
SOUTH YORKSHIRE S3 7RD, GB**

72 Inventor/es:
MAIDEN, Andrew

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 386 091 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

Procedimiento y aparato para proporcionar datos de imagen

La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato para proporcionar datos de imagen adecuados para generar una imagen de una región de un objeto destino. En particular, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a un proceso de generación de imágenes en el que una intensidad de radiación dispersada por un objeto destino se detecta en un plano de observación que está desplazado con respecto a un plano focal trasero de una lente (u otro elemento de enfoque de este tipo) utilizada durante la generación de imágenes.

Un ejemplo de un proceso de generación de imágenes se muestra en el documento US 3689772.

La difracción se produce cuando la luz, o cualquier fenómeno ondulatorio, interactúa con un límite entre dos medios diferentes. Ejemplos pueden ser los patrones de onda formados por el agua en torno a los diques de un puerto, o el borde difuso de una sombra, el cual estaría definido de manera muy nítida si no fuera por la difracción. Un patrón de difracción se forma cuando una onda interactúa con una estructura que contiene muchos límites de este tipo, cada uno de los cuales retardará la onda y cambiará su magnitud en distinto grado. El cambio en magnitud y el retardo de fase de la onda incidente pueden expresarse matemáticamente como la función de transmisión de la estructura de difracción, la cual es un número complejo $A \exp(j\phi)$. $0 \leq A \leq 1$ representa el cambio en magnitud, $-\pi \leq \phi \leq \pi$ representa el retardo de fase. Patrones de difracción particularmente bien definidos se forman cuando una onda que incide sobre una estructura de este tipo es coherente (es decir, cuando la posición de los picos y valles de la onda está bien definida). En este caso, la onda puede interferir de manera constructiva o destructiva para formar áreas luminosas y oscuras. El clásico experimento de las rendijas de Young ilustra bien este efecto y se ilustra en la Figura 1 junto con patrones de difracción esperados (a-c) que varían dependiendo de la separación entre las rendijas adyacentes.

Cuando la distancia entre una estructura de difracción y el plano de observación del patrón de difracción se vuelve grande, se cumple la condición de campo lejano. Los patrones de difracción formados en el campo lejano son particularmente útiles por dos razones. En primer lugar, su relación con respecto a las características de transmitancia de la estructura de difracción se modeliza de manera precisa mediante una transformada de Fourier (una función matemática ampliamente conocida y potente que también se implementa fácilmente en un ordenador). En segundo lugar, la introducción de un elemento de enfoque entre la estructura y el plano de observación provoca que se forme un patrón de difracción de campo lejano en su plano focal trasero. El elemento de enfoque puede ser una lente, una placa zonal o cualquier elemento que enfoque una onda plana incidente hacia un punto en una ubicación bien definida.

La Figura 2 ilustra la generación de imágenes de un objeto destino que dispersa radiación incidente y la manera en que puede usarse una lente como un elemento de enfoque para enfocar componentes de onda dispersadas en un plano de observación que coincide con un punto focal de la lente.

Siempre que puedan cuantificarse las distorsiones introducidas por aberraciones en el elemento de enfoque, no es necesario que la calidad del elemento de enfoque sea muy alta. Esto difiere de otros sistemas convencionales de generación de imágenes en los que la calidad de la imagen depende en gran medida de la calidad de la lente utilizada; es más fácil formar un patrón de difracción usando una lente aberrada que producir una imagen.

Pueden usarse patrones de difracción para deducir en gran medida la estructura a partir de la cual se forman, gracias a la relación de la transformada de Fourier y a un buen entendimiento del comportamiento de las ondas. Sin embargo, cuando la naturaleza de la estructura de difracción es tal que en el plano focal trasero de una lente hay una gran diferencia entre las intensidades de luz máxima y mínima sobre el área del dispositivo de grabación, pueden producirse problemas en la grabación precisa del patrón de difracción. Esto puede ocurrir normalmente cuando la estructura de difracción no tiene un gran efecto sobre la onda incidente.

Bajo estas circunstancias, cuando una onda incidente llega a la estructura de difracción, se dispersa en una pluralidad de ondas diferentes que se desplazan hacia delante en muchos ángulos diferentes. Si este efecto de dispersión es pequeño, aun así habrá una gran componente de onda que se desplaza de manera rectilínea a través de la estructura con un ángulo de dispersión de cero o de casi cero y, por lo tanto, de gran intensidad. En comparación, las ondas más dispersadas serán significativamente menos intensas. El efecto de una lente es enfocar cada componente de onda hacia un punto del plano de observación. La ubicación de este punto se determina mediante el ángulo de dispersión de la componente de onda particular, por lo que aquellas ondas con un gran ángulo de dispersión se enfocan en puntos alejados del centro del plano de observación, mientras que la gran componente de onda que se desplazó sin modificarse a través de la estructura de difracción se enfoca en un punto situado directamente en el medio. Si un dispositivo de grabación, tal como una cámara CCD, está colocada en el plano de observación, el dispositivo grabará algo similar a lo mostrado en la Figura 3. El punto luminoso situado en el centro de la figura corresponde a esta onda 'rectilínea' inalterada, los anillos y los puntos más alejados

representan las ondas dispersadas por la estructura.

Desafortunadamente, en la práctica, es muy difícil grabar este patrón porque la diferencia entre las intensidades más altas y más bajas en el plano de observación es muy grande. Los dispositivos de grabación sólo pueden capturar una parte limitada de este intervalo antes de que se saturen, debido a las altas intensidades, o de que la señal desaparezca en el ruido cuando la intensidad es baja. Véanse, por ejemplo, los documentos US 5341213 y US 6630996.

Un procedimiento conocido para grabar de manera precisa un patrón de difracción con un gran intervalo dinámico (es decir, una gran diferencia entre los niveles de intensidad más altos y más bajos) es juntar patrones recopilados por el dispositivo de grabación a diferentes longitudes de exposición. Los datos de baja intensidad recopilados a partir de patrones de alta exposición pueden combinarse con los datos de alta intensidad tomados a partir de las bajas exposiciones para producir un único patrón con un mayor intervalo dinámico, sin comprometer la sensibilidad de la cámara. De hecho, normalmente el nivel de detalle en los bordes de una primera exposición se pierde a medida que se reduce el tiempo de exposición; el centro y las extremidades del patrón sólo se reproducen fielmente en el patrón combinado. Esta técnica es razonablemente eficaz, pero se basa en un conocimiento preciso de la respuesta del CCD y en un movimiento y vibraciones mínimos del sistema entre las exposiciones; en algunos casos también puede ser difícil reducir el tiempo de exposición hasta tal punto que el centro del patrón no esté saturado. Además, el tiempo requerido para grabar todos estos datos puede ser innecesariamente largo.

Un objetivo de la presente invención es mitigar al menos parcialmente los problemas mencionados anteriormente.

Un objetivo de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para proporcionar datos de imagen adecuados para generar una imagen de una región de un objeto destino.

Un objetivo de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para detectar una intensidad de radiación dispersada por un objeto destino que eviten la saturación de los detectores situados en una región central con respecto a un patrón de difracción formado.

Un objetivo de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un procedimiento iterativo para determinar datos de imagen, en el que las etapas del proceso iterativo se incorporan para ajustarse al hecho de que un plano de observación en el que se detecta una intensidad está desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con un elemento de enfoque.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para proporcionar datos de imagen para generar una imagen de una región de un objeto destino, que comprende las etapas de:

proporcionar una radiación incidente desde una fuente de radiación;

enfocar la radiación a través de al menos un elemento de enfoque situado aguas abajo o aguas arriba de un objeto destino; y

a través de al menos un detector situado aguas abajo del elemento de enfoque, detectar una intensidad de radiación dispersada por el objeto destino, en un plano de observación desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con el elemento de enfoque.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un programa informático que comprende instrucciones de programa que hacen que un ordenador lleve a cabo el proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

Según un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para proporcionar datos de imagen para generar una imagen de una región de un objeto destino, que comprende:

una fuente de radiación que proporciona una radiación incidente;

al menos un elemento de enfoque, que enfoca la radiación, situado aguas abajo o aguas arriba de un objeto destino; y

al menos un detector situado aguas abajo del elemento de enfoque, que detecta una intensidad de radiación dispersada por el objeto destino en un plano de observación desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con el elemento de enfoque.

Realizaciones de la presente invención proporcionan un procedimiento y un aparato para proporcionar datos de imagen en los que la intensidad de radiación dispersada por un objeto destino se detecta por al menos un detector situado aguas abajo de un elemento de enfoque utilizado para enfocar la radiación. El detector está situado en un

plano de observación desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con el elemento de enfoque. Como resultado, el intervalo dinámico asociado con un patrón de difracción grabado se reduce. El elemento de enfoque puede ser una lente, una placa zonal o cualquier elemento que funcione para enfocar una onda plana incidente hacia un punto en una ubicación predeterminada. El elemento de enfoque puede ser un dispositivo de una o varias piezas.

Realizaciones de la presente invención proporcionan una modificación de una transformada de Fourier utilizada para modelizar la propagación de ondas entre un plano de observación, un plano focal trasero asociado con un elemento de enfoque, tal como una lente, y un plano asociado con un objeto destino.

A continuación se describirán realizaciones de la presente invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 ilustra una difracción;

la Figura 2 ilustra una disposición utilizada para generar un patrón de difracción con un objeto destino;

la Figura 3 ilustra un patrón de difracción que presenta un gran intervalo dinámico;

la Figura 4 ilustra un objeto destino, una lente situada aguas abajo y una detección de un patrón de difracción en un plano de observación desplazado;

la Figura 5 ilustra un patrón de difracción capturado con un detector en la posición A de la Figura 4;

la Figura 6 ilustra un patrón de difracción capturado con un detector en la posición B de la Figura 4;

la Figura 7 ilustra un esquema iterativo de recuperación de fase; y

la Figura 8 ilustra un aparato para proporcionar datos de imagen.

En los dibujos, los números de referencia similares se refieren a partes similares.

La Figura 4 ilustra cómo puede desarrollarse y utilizarse un patrón de dispersión para determinar información de alta resolución acerca de la estructura de un objeto destino. Debe entenderse que el término "objeto destino" se refiere a cualquier espécimen o elemento colocado en la trayectoria de una radiación incidente que provoca la dispersión de esa radiación. Debe entenderse que el objeto destino debe ser al menos parcialmente transparente a la radiación incidente. El objeto destino puede tener o no alguna estructura repetitiva.

La radiación incidente 40 se aplica al objeto destino 41. Debe entenderse que el término "radiación" se considera de manera genérica y se refiere a la energía procedente de una fuente de radiación. Esto incluye, sin limitarse a, una radiación electromagnética que incluye rayos X, partículas emitidas tales como electrones y/u ondas acústicas. Tal radiación puede representarse mediante una función de onda $\psi(r)$. Esta función de onda incluye una parte real y una parte imaginaria, tal y como es sabido por los expertos en la técnica. Esto puede representarse mediante el módulo y la fase de la función de onda. $\psi(r)^*$ es la conjugada compleja de $\psi(r)$, y $\psi(r) \psi(r)^* = |\psi(r)|^2$, donde $|\psi(r)|^2$ es una intensidad que puede medirse para la función de onda.

La radiación incidente 40 se dispersa cuando atraviesa y se propaga más allá del espécimen 41. De este modo, cuando la función de onda de la radiación incidente sale del espécimen quedará modificada en amplitud y en fase con respecto a la función de onda de la radiación incidente del lado anterior al espécimen. La dispersión que se produce puede incluir la difracción y refracción de Fourier y/o la difracción de Fresnel y cualquier otra forma de dispersión en la que las características de la radiación incidente se modifican como resultado de la propagación después del espécimen.

El objeto destino dispersa la radiación en componentes de onda dispersadas 42. Debe observarse que en la Figura 4, el ancho de las colas de las flechas se selecciona para ayudar a ilustrar la proporcionalidad de la intensidad de las ondas, mientras que las puntas de las flechas muestran la dirección de desplazamiento de la onda. Un frente de onda 40 puede surgir a partir de la colimación de una fuente altamente coherente tal como un láser. Debe entenderse que pueden usarse fuentes de radiación no colimadas, en cuyo caso serán necesarias varias flechas para representar las ondas emitidas por la fuente. Cuando las ondas incidentes alcanzan el objeto destino de difracción, se produce una dispersión en la que diferentes ondas se desplazan hacia delante en muchos ángulos diferentes. Si el efecto de dispersión provocado por el objeto destino es pequeño, habrá una gran componente de onda (ilustrada mediante una flecha que tiene un gran ancho) que atraviesa de manera rectilínea la estructura con un ángulo de dispersión de cero o de casi cero. En comparación, la onda dispersada fuera del eje será significativamente menos intensa. Esto se ilustra mediante una flecha que tiene un ancho relativamente más pequeño.

Una lente 43 está situada aguas abajo del objeto destino. El frente de onda dispersado incide sobre la lente, la cual enfoca cada componente de onda hacia un punto de un plano 44. Cada componente de onda se enfoca sobre un punto respectivo del plano de observación, donde la ubicación de un punto respectivo se determina por el ángulo de dispersión de la componente de onda particular. El plano de observación 44 identificado por la referencia A de la Figura 4 corresponde a un plano focal trasero asociado con la lente específica 43 utilizada. Si un conjunto de detectores, tal como un conjunto de detectores CCD, está dispuesto en este plano, se detectará un patrón de difracción. Se formará un patrón de difracción de Fourier si los detectores están situados a una distancia D del espécimen, donde D es suficientemente grande para que el patrón de difracción se forme de manera eficaz desde una fuente puntual.

La Figura 5 ilustra un patrón de difracción detectado por un conjunto de detectores dispuesto en el plano focal trasero A como el mostrado en la Figura 4. El intervalo dinámico de un patrón de difracción capturado de este tipo es 123db. Por el contrario, según realizaciones de la presente invención, la radiación dispersada se detecta en un plano desplazado con respecto al plano focal trasero A. Este nuevo plano de observación se ilustra como el plano B en la Figura 4. Los datos con un pequeño ángulo de dispersión que incluyen la componente de onda que pasa sin modificarse a través del objeto destino se expanden ahora a través de una región situada en el centro del patrón de difracción grabado en lugar de enfocarse hacia un punto. El efecto es similar a la visión borrosa de una persona que sufre miopía. Los datos de un mayor ángulo de dispersión también se expanden, pero interferencias positivas y negativas garantizan que estas componentes conserven una intensidad aproximadamente constante. El efecto de mover el detector en un único patrón de difracción se ilustra en la Figura 6. En este caso, la luminosa área central de la Figura 5 se ha ensanchado para cubrir una mayor área del patrón grabado con una reducción correspondiente de la máxima intensidad presente en la grabación. Como resultado, el intervalo dinámico requerido para capturar de manera precisa el patrón de difracción se reduce en 14db. El intervalo dinámico del patrón de difracción ilustrado en la Figura 6 es de 106db.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la propagación de las ondas que se origina en la estructura de difracción cuando se ilumina mediante una onda plana coherente puede modelizarse usando una transformada de Fourier, siempre que el plano de observación esté en el plano focal trasero de una lente. Para que un patrón de difracción grabado más allá (o delante de) de este plano sea útil en muchas aplicaciones, debe obtenerse un modelo que incorpore la distancia de propagación adicional. Para ello, la transformada de Fourier de una función bidimensional $f(\underline{r})$ se denota como $\mathfrak{F}_\psi(\underline{v})$, donde \underline{r} y \underline{v} son vectores que describen las coordenadas en sus respectivos planos. Si $\psi(\underline{r})$ es una función bidimensional de valores complejos que representa las propiedades transmisivas de la estructura de difracción, el patrón de difracción $D(\underline{v})$ obtenido en el plano focal de la lente en la Figura 4 denominado como $D(\underline{v})$, viene dado como:

$$D(\underline{v}) = \exp\left(j \frac{\pi}{f} (1 - d_1/f) |\underline{v}|^2 \right) \mathfrak{F}_\psi(\underline{v}) \quad (1)$$

Éste es el patrón de difracción convencional, cuyo módulo es exactamente la transformada de Fourier de las estructuras de difracción $\psi(\underline{r})$. Para incorporar la propagación adicional a lo largo de la distancia d_2 en la fórmula y obtener el patrón de difracción $\Psi(\underline{k})$ en el plano de observación (donde \underline{k} es un vector xy en el plano de observación), es necesaria una convolución:

$$\Psi(\underline{k}) = Q(\underline{k}) \otimes D(\underline{v})$$

$$Q(\underline{k}) = \exp\left(j \frac{\pi}{\lambda d_2} |\underline{k}|^2 \right) \quad (2)$$

En este caso se han ignorado constantes de multiplicación en la fórmula. $Q(\underline{k})$ puede adoptar una forma diferente cuando la distancia d_2 se vuelve muy pequeña. Debe entenderse que un procedimiento totalmente equivalente consiste en acercar el plano de observación a la lente, de manera que esté dispuesto entre la lente y su plano focal trasero. En este caso, d_2 es negativa y, por lo tanto, el cambio de signo del exponente de $Q(\underline{k})$ es el único ajuste necesario para modelizar esta nueva geometría.

Para propagar frentes de onda desde el plano de observación hasta la estructura de difracción, se invierten las etapas detalladas en las ecuaciones 1 y 2.

$$D(\underline{v}) = (Q'(\underline{v}) \otimes \Psi(\underline{k})) \exp\left(-j \frac{\pi}{f} (1 - d_1/f) |\underline{v}|^2\right)$$

$$Q'(\underline{v}) = \exp\left(-j \frac{\pi}{\lambda d_2} |\underline{v}|^2\right)$$

(3)

$$\psi(\underline{r}) = \mathfrak{S}_D^{-1}(r) \tag{4}$$

Donde $\mathfrak{S}_{r(t)}^{-1}$ es la transformada inversa de Fourier de la función f.

5 Las ecuaciones 1 a 4 permiten modelizar la propagación de un frente de onda entre la estructura de difracción y el plano de observación de la Figura 4. La grabación mejorada permitida en esta configuración puede utilizarse en aplicaciones cuyo objetivo sea proporcionar información sobre la estructura de difracción y en las que la precisión del patrón grabado sea crucial para la generación de resultados satisfactorios.

10 En particular, pero no exclusivamente, las realizaciones de la presente invención pueden utilizarse en muchas aplicaciones diferentes de generación de imágenes. En una realización, el proceso se incorpora en un esquema iterativo de recuperación de fase como el descrito en el documento WO 2005/106531. En este caso, la intensidad registrada de un patrón de difracción se combina con un conocimiento a priori de la estructura de difracción para proporcionar un conjunto de condiciones que tanto la fase no conocida del patrón de difracción como los aspectos no conocidos restantes de la estructura de difracción deben cumplir. Estas condiciones se utilizan en un esquema iterativo para obtener una estimación aleatoria inicial en el objeto de difracción que se aproxime en gran medida a su función de transmisión. Un diagrama de bloques ilustra el esquema general en la Figura 7.

15 La Figura 7 ilustra una metodología para obtener una función de onda de un objeto y, por tanto, para obtener datos de imagen que pueden usarse posteriormente para generar imágenes de alta resolución de un objeto. La Figura 7 ilustra un posible procedimiento que utiliza una realización de la presente invención ilustrada en la Figura 8 y que desplaza la abertura desde una primera posición después de medir el patrón de difracción hasta una segunda posición en la que puede medirse un segundo patrón de difracción respectivo. Debe entenderse que realizaciones de la presente invención pueden utilizar una o más posiciones de la abertura. También pueden utilizarse realizaciones en las que en lugar de desplazar la abertura, puede seleccionarse la zona del espécimen sobre la que incide una radiación débilmente enfocada. En este caso, la lente puede colocarse opcionalmente aguas arriba del objeto destino.

20 O(r) y P(r) representan funciones complejas bidimensionales, es decir, cada punto en O(r) o P(r), donde r es una coordenada bidimensional y tiene asociada un número complejo. En lo que sigue, O(r) representará físicamente una onda de salida que emanará de una función objeto que se ilumina mediante una onda plana. Por ejemplo, en el caso de la dispersión de electrones, O(r) representará la alteración en fase y amplitud en una onda incidente como resultado de atravesar el objeto de interés.

25 En lo que sigue, P(r) representa una función de iluminación, tal como la generada por un perfil cáustico o de iluminación formado por una lente u otro componente óptico, o una función de filtrado, tal como una abertura o rejilla de transmisión montada aguas abajo de la función objeto.

30 En lo que sigue, se supone que O(r) o P(r) pueden moverse entre sí en varias distancias R. La nomenclatura adoptada se escribe en lo que respecta al movimiento de P(r), aunque de manera equivalente puede usarse el movimiento de O(r) con respecto a P(r). En ambas situaciones, el valor complejo de O(r) se modifica mediante el producto de O(r) con P(r-R) para proporcionar una función de onda total de salida de $\psi(r)$, es decir,

$$\psi(\underline{r}, \mathbf{R}) = O(\underline{r})P(\underline{r}-\mathbf{R}) \quad \dots 5$$

40 Esto se cumple generalmente. Debe señalarse que hay muy pocas restricciones prácticas en la función objeto o en la función sonda/de abertura. Ninguna función puede ser una onda plana o periódica con una distancia repetitiva que sea un múltiplo de la diferencia entre diferentes valores de R. Esto se debe a que el algoritmo requiere varias mediciones diferentes para poder funcionar. En la práctica experimental, estos criterios se cumplen fácilmente.

El algoritmo funciona para obtener la fase y la intensidad de la función compleja $\psi(r,R)$. Necesita como entrada datos de la función $P(r-R)$ y una o más mediciones (preferentemente varias) de la intensidad de la función de onda en un plano que es diferente al que contiene al espécimen. Es conveniente utilizar el plano de difracción, el cual está relacionado con el plano del espécimen mediante la transformada de Fourier. En este caso, los datos de entrada medidos son las intensidades de los patrones de difracción en una o más posiciones de sonda/abertura. La utilización de datos de difracción tiene varias ventajas, como una recopilación sencilla, ningún requisito para enfocar la función de onda de salida en una imagen y la mayor resolución obtenida midiendo datos en grandes ángulos.

Sin embargo, también es posible ejecutar el algoritmo en función de un conjunto de imágenes desenfocadas medidas a alguna distancia desde la superficie de salida del espécimen/abertura. En esta situación, el propagador de espacio libre sustituye a la transformada de Fourier.

El algoritmo no está limitado a la utilización de estas dos transformadas. Pueden usarse otras transformadas eficaces para el desplazamiento desde un plano de información a otro. En lo que sigue, una transformada general T se refiere a lo que transforma una función de onda desde el primer plano, denominado plano 1, al segundo plano, denominado plano 2.

El algoritmo funciona de la siguiente manera y con referencia a la Figura 7:

1. Se empieza en la etapa S700 con una estimación en la función objeto $O_{g,n}(r)$, donde el subíndice g,n representa una onda estimada en la n -ésima iteración del algoritmo. Estas funciones están en el plano 1 (que es el plano de espacio real si se utiliza la transformada de Fourier). Preferentemente, la primera estimación de $O_{g,n}(r)$ es igual a la unidad en todos los puntos r . Esto corresponde a la ausencia de un espécimen.

2. En la etapa S701 se selecciona una abertura conocida en lo que respecta a la posición y a las características. Esto proporciona una función sonda $P(r-R)$. En la etapa S702, la estimación actual en la función objeto se multiplica por la abertura o sonda en la posición actual R , $P(r-R)$. Esto genera la función de onda de salida estimada (todavía en el plano 1) para la posición R ,

$$\psi_{g,n}(r,R) = O_{g,n}(r)P(r-R) \quad \dots 6$$

3. A continuación, en la etapa S703, se utiliza una transformada de $\psi_{g,n}(r,R)$ para obtener la función de onda correspondiente en el plano 2 (que sería el plano de espacio de difracción si se utiliza la transformada de Fourier), para esa posición R . En este caso, T se utiliza para representar alguna transformada general que normalmente será la transformada de Fourier, pero que también puede ser el propagador de espacio libre de Fresnel o alguna otra transformada adecuada para una aplicación particular del algoritmo.

$$\Psi_{g,n}(k,R) = T [\psi_{g,n}(r,R)] \quad \dots 7$$

k es la coordenada en el plano 2. (Para la transformada de Fourier, k sería la coordenada de espacio recíproco habitual. Para el propagador, k sería la coordenada xy en el plano desenfocado). Es importante señalar que $\psi_{g,n}(r,R)$ es una versión "estimada" de la función de onda real en el plano 2, ya que se ha generado mediante la función objeto estimada $O_{g,n}(r)$. Iteraciones sucesivas del algoritmo generarán versiones cada vez más precisas de $\psi_{g,n}(r,R)$. Debe observarse que $\psi_{g,n}(r,R)$ puede escribirse de la siguiente forma:

$$\Psi_{g,n}(k,R) = |\Psi_{g,n}(k,R)| e^{i\theta_{g,n}(k,R)} \quad \dots 8$$

donde $|\Psi_{g,n}(k,R)|$ es la amplitud de función de onda (estimada) y $\theta_{g,n}(k,R)$ es la fase (estimada) en el plano 2 en la iteración n , para la posición R .

En este caso, la transformada necesita modificarse como se ha descrito anteriormente con respecto a las ecuaciones 1 y 2 para tener en cuenta el hecho de que el plano de observación está desplazado con respecto al plano focal trasero de la lente.

Midiendo la intensidad del patrón de difracción usando el conjunto de detectores se obtiene información sobre la función de onda de salida transformada real. Una intensidad medida del patrón de difracción cuando la abertura está en una primera posición forma por tanto la base de una estimación de la función de onda

compleja del patrón de difracción. Sin embargo, la intensidad medida no proporciona información sobre la fase de la función de onda. En cambio, la intensidad medida puede compararse con el módulo al cuadrado de $\psi(r)$, es decir, $|\psi(r)|^2$. Una vez que se obtiene en la etapa S704 la intensidad de radiación del patrón de difracción en el plano 2, entonces puede llevarse a cabo la siguiente etapa.

- 5 4. En la etapa S705 se corrigen las intensidades de la función de onda estimada del plano 2 con respecto a los valores conocidos.

$$\Psi_{c,n}(\mathbf{k}, \mathbf{R}) = |\Psi(\mathbf{k}, \mathbf{R})| e^{i \theta_{g,n}(\mathbf{k}, \mathbf{R})} \quad \dots 9$$

donde $|\Psi(\mathbf{k}, \mathbf{R})|$ es el módulo conocido en el plano 2, es decir, la raíz cuadrada de la intensidad medida en el plano de la imagen.

- 10 5. En la etapa S706 se invierte la transformada al espacio real para obtener una nueva estimación mejorada en la función de onda de salida (en el plano 1) (T^{-1} representa la inversa de la transformada T utilizada anteriormente),

$$\psi_{c,n}(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = T^{-1}[\Psi_{c,n}(\mathbf{k}, \mathbf{R})]. \quad \dots 10$$

- 15 En este caso, la transformada de Fourier necesita modificarse según las ecuaciones 3 y 4 para tener en cuenta el hecho de que las mediciones se toman en un plano de observación desplazado.

6. En la etapa S707 se actualiza la función de onda objeto estimada en el área cubierta por la abertura o sonda, usando la función de actualización

$$O_{g,n+1}(\mathbf{r}) = O_{g,n}(\mathbf{r}) + \frac{|P(\mathbf{r}-\mathbf{R})|^\ell P^*(\mathbf{r}-\mathbf{R}) \beta (\psi_{c,n}(\mathbf{r}, \mathbf{R}) - \psi_{g,n}(\mathbf{r}, \mathbf{R}))}{|P_{\max}(\mathbf{r}-\mathbf{R})|^\ell (|P(\mathbf{r}-\mathbf{R})|^2 + \delta)} \quad \dots 11$$

- 20 donde los parámetros β , δ y ℓ se eligen de manera apropiada, y $|P_{\max}(\mathbf{r}-\mathbf{R})|$ es el valor máximo de la amplitud de $P(\mathbf{r})$. El resultado es una nueva estimación de la función objeto (S708).

La función de actualización ayuda a hacer posible la desconvolución eficaz que se produce e introduce un factor de ponderación que hace que la función objeto se actualice con mayor énfasis cuando la función sonda tiene la amplitud más grande. La constante ℓ seleccionable puede fijarse a 1. Puede seleccionarse como cualquier valor en el intervalo de 0 a 3 y no es necesario que sea un valor entero. Es útil fijar $\ell > 1$ cuando hay mucho ruido. ℓ puede seleccionarse como $\ell < 1$ cuando, debido a la geometría de dispersión, la intensidad detectada tiene la forma de un holograma de Gabor o similar. El valor δ se utiliza para impedir que se produzca una división por cero si $|P(\mathbf{r}-\mathbf{R})| = 0$. δ es un número real pequeño que se aplica habitualmente en los filtros de Weiner y normalmente (aunque no necesariamente) es más pequeño que P_{\max} y puede ser considerablemente más pequeño si el ruido presente en los datos grabados es pequeño. La constante β controla la cantidad de retroalimentación del algoritmo y puede variar de manera ventajosa entre 0,1 y 1 aproximadamente. Cuando β es menor que 0,5, la estimación anterior del objeto se considera más importante que la nueva estimación. Los valores intermedios modifican la importancia relativa de las dos estimaciones. β determina la velocidad con que se llega a una solución.

δ es un parámetro que puede fijarse a un valor fijo o que puede variar. Indica la cantidad de ruido presente en los datos grabados y se utiliza para atenuar la manera en que se lleva a cabo la actualización en respuesta a estas circunstancias. Si hay buenas condiciones para la recopilación de datos, es decir, con una alta corriente de haz (alto flujo), lo que implicaría un bajo ruido granular, entonces es más seguro utilizar los resultados recopilados para actualizar la estimación. Por consiguiente, el valor de δ puede ser una pequeña fracción de P_{\max} (por ejemplo, inferior a una décima parte).

La expresión:

$$\frac{|P(\mathbf{r}-\mathbf{R})|^\ell}{|P_{\max}(\mathbf{r}-\mathbf{R})|^\ell} \quad \dots 12$$

maximiza el efecto de actualización de regiones en las que $|P(r-R)|$ es grande. Esto es útil ya que estas regiones reciben la mayor cantidad de radiación incidente y, por lo tanto, contienen información con una relación de señal a ruido relativamente alta. Esta información es claramente más valiosa que la información de regiones en las que incide muy poca radiación, la cual está afectada en gran medida por el ruido.

5 Para la situación en la que $\beta = 1$, $\ell = 0$ y $\delta = 0$, y la función $P(r-R)$ es una máscara, es decir, puede representarse mediante una región en la que su valor es la unidad y cero en el resto de ubicaciones, o una función de soporte, el algoritmo tiene algunas similitudes con el algoritmo de Fienup ampliamente conocido. Si en esta situación solo se utiliza una posición R , entonces el algoritmo se simplifica y es matemáticamente idéntico al algoritmo de Fienup básico. Si se utiliza más de una posición R , el algoritmo tiene ventajas considerables con respecto a
10 procedimientos conocidos, incluyendo el hecho de que no experimenta problemas de unicidad y que puede contemplarse un mayor campo visual.

Después de actualizar el cálculo en curso de la estimación, el algoritmo mostrado en la Figura 7 prosigue con la selección de una nueva posición R que se solapa, al menos en parte, con la posición anterior. El solapamiento debe ser preferentemente superior al 20% y es preferentemente del 50% o superior. Esto puede conseguirse
15 moviendo la abertura en la dirección de la flecha P mostrada en la Figura 8 en una cantidad predeterminada o haciendo que la radiación de iluminación incida sobre una región diferente del objeto destino. Debe entenderse que realizaciones de la presente invención pueden proporcionar de manera satisfactoria datos de imagen de una zona de un objeto destino sin ningún cambio en la ubicación de una abertura o radiación incidente. En tales realizaciones, después de la etapa S708, el algoritmo vuelve a la etapa S702. En lugar de cargar la estimación inicial de la función objeto $O(r)$ en la nueva estimación de $O(r)$ de la etapa S708, se carga en. En cada iteración, la
20 nueva estimación de la función objeto se aproximará cada vez más a la función objeto real ya que en cada iteración se añade información de la intensidad conocida y, por tanto, la componente de amplitud conocida de la radiación incidente, para mejorar la precisión de la estimación.

Sin embargo, el procedimiento más preferible es pasar a una nueva posición R que solape en parte la posición anterior, como se muestra en la Figura 7.
25

En la etapa S709 se identifica una función sonda conocida $P(r-R_2)$ en la segunda posición y, después, la etapa mencionada anteriormente se repite para multiplicar la nueva estimación generada en la etapa S708 por la nueva función sonda conocida identificada en la etapa S709. Esto se ilustra en la etapa S710. Efectivamente, esto genera una función de onda de salida después del espécimen o después de la abertura, dependiendo de la realización
30 pertinente. La función de onda de salida resultante se propaga en la etapa S711 para proporcionar una estimación del patrón de dispersión que debe detectarse en esa posición. El patrón de difracción se mide en la etapa S712, que proporciona información de intensidad y, por tanto, información de amplitud acerca de la función de onda transformada. La información de intensidad se utiliza para corregir la amplitud de la función de onda transformada, mientras se conserva la información de fase en la etapa S713. Esta función de onda corregida se propaga de
35 manera inversa a través de la transformada de Fourier (cuando la imagen se forma en el campo lejano), a través de la transformada de Fresnel cuando la imagen se forma en una ubicación en la que la difracción de Fresnel es dominante o a través de cualquier otra transformación adecuada. Esto se ilustra en la etapa S714. La estimación en curso de $O(r)$ se corrige entonces según la función de actualización mostrada anteriormente en la etapa S715 y el resultado es una nueva estimación de la función objeto ilustrada en la etapa S716.

40 En esta fase, la iluminación o abertura puede desplazarse adicionalmente hasta una tercera posición u otra adicional. De nuevo, es preferible una ubicación en la que se produzca algún solapamiento entre ubicaciones iluminadas anteriormente. De esta manera puede recorrerse opcionalmente todo el objeto destino. Como alternativa, la nueva estimación generada en la etapa S716 puede repetirse sin un posicionamiento adicional conociendo resultados de patrón de difracción conocidos. En la Figura 7, el procedimiento iterativo se ilustra como
45 un procedimiento repetitivo que vuelve a la etapa S702, en la que la nueva estimación generada en la etapa S716 se introduce en la fase de multiplicación en lugar de la estimación inicial de la función objeto suministrada en la etapa S700.

El procedimiento iterativo puede repetirse hasta que se produzca un evento predeterminado. Por ejemplo, la iteración puede repetirse un número predeterminado de veces, por ejemplo 1000 veces o hasta que la suma de los errores al cuadrado (SSE) sea lo bastante pequeña. La SSE se mide en el plano 2 como
50

$$SSE = \frac{(|\psi_{q,n}(\mathbf{k}, \mathbf{R})|^2 - |\psi(\mathbf{k}, \mathbf{R})|^2)^2}{N} \quad \dots 13$$

donde N es el número de píxeles en la disposición que representa la función de onda.

Durante el proceso de iteración, la estimación más actualizada de la función objeto proporciona una estimación en curso de esa función objeto. Cuando el proceso de iteración finaliza debido a que se produce un evento determinado, la estimación en curso de la función objeto proporciona datos de imagen en las posiciones que están iluminadas por la radiación incidente o que se seleccionan por la ubicación de una abertura posterior al objeto destino. Estos datos de imagen incluyen información de amplitud y de fase que pueden usarse posteriormente para generar una imagen de alta resolución de la región seleccionada del objeto destino.

La Figura 8 ilustra un aparato para proporcionar datos de imagen que pueden utilizarse opcionalmente para generar una imagen de una región de un objeto destino según la realización descrita anteriormente ilustrada en las Figuras 4 y 7. Debe entenderse que la región representada mediante imágenes puede ser todo o una parte, o partes, del objeto destino. Además, aunque el aparato mostrado en la Figura 8 ilustra un modo de transmisión, realizaciones de la presente invención pueden utilizarse con un objeto destino total o parcialmente reflectante con una realineación adecuada de la disposición óptica. Una fuente de radiación 800 proporciona iluminación sobre una abertura 801 que selecciona una parte de la radiación para iluminar una región correspondiente de un objeto destino 51. La radiación incidente está asociada con una función de onda incidente 802 y con una función de onda de salida 803. Esta función de onda de salida se propaga a través de una distancia D , donde un patrón de difracción se forma sobre un conjunto de detectores 804. De manera ventajosa, la distancia D es lo bastante larga como para que la función de onda de salida propagada 803 forme un patrón de difracción de Fourier en el campo lejano. El conjunto de detectores proporciona al menos un detector que puede detectar la intensidad de radiación dispersada por el objeto destino 51. Se proporciona un dispositivo localizador 805, que puede ser un microactuador y que puede localizar el objeto destino en una o más ubicaciones según se desee con respecto al conjunto de detectores y/o la abertura 801. De esta manera, la radiación procedente de la fuente 800 puede aplicarse sobre diferentes ubicaciones de la superficie aguas arriba del objeto destino 51.

Se utiliza una lente 806 para enfocar, al menos débilmente, la radiación sobre el conjunto de detectores. La lente utilizada está asociada con un plano focal trasero respectivo que está separado del plano de los detectores del conjunto de detectores en una distancia de separación d_2 . Debe apreciarse que puede utilizarse cualquier elemento de enfoque adecuado según el tipo de radiación utilizado. Además, el elemento de enfoque puede ser un dispositivo de una o varias piezas.

Una unidad de control 807 proporciona señales de control al microactuador y también recibe resultados de mediciones de intensidad desde cada uno de los detectores de píxel del conjunto de detectores 804. La unidad de control 807 incluye un microprocesador 808 y un medio de almacenamiento de datos 809 junto con una interfaz de usuario 810 que puede incluir una pantalla de usuario y un teclado de entrada de datos de usuario. La unidad de control puede conectarse a un dispositivo de procesamiento adicional, tal como un ordenador portátil 811 o un PC para un control remoto. Como alternativa, debe entenderse que la unidad de control 807 puede proporcionarse mediante un ordenador portátil o un PC. La unidad de control 807 puede controlar automáticamente la producción de datos de imagen en tiempo real. Como alternativa o adicionalmente, un usuario puede usar la interfaz de usuario 810 para seleccionar áreas del objeto destino para la generación de imágenes o para proporcionar entradas de datos de usuario adicionales.

En funcionamiento, la fuente de radiación 800 ilumina la abertura 801 con radiación. El actuador 805 coloca de manera selectiva el objeto destino 51 bajo el control de la unidad de control 807. La radiación forma un patrón de difracción detectado en ubicaciones respectivas por cada uno de los detectores del conjunto de detectores 804. Los resultados de estos detectores se introducen en la unidad de control y pueden almacenarse en el medio de almacenamiento de datos 809. Si solo se utiliza una posición para obtener datos de imagen, el microprocesador utiliza esta información detectada junto con instrucciones de programa que incluyen información sobre el algoritmo descrito anteriormente para obtener los datos de imagen. Sin embargo, si se necesitan una o más posiciones adicionales antes de completar los datos de imagen, la unidad de control envía señales al actuador 805, el cual coloca el espécimen en otra ubicación seleccionada. El actuador 805 puede colocar el espécimen en una de muchas posiciones diferentes. Después de la recolocación se mide un patrón de difracción adicional formado en el conjunto de detectores y los resultados se almacenan en la unidad de control. Como un ejemplo, el conjunto 804 puede ser un conjunto CCD de 1200 x 1200 píxeles. Si no se necesitan mediciones de intensidad adicionales, los datos de imagen pueden generarse en esta fase mediante la unidad de control según los dos conjuntos de resultados recién almacenados usando el algoritmo mencionado anteriormente. Los datos de imagen sin procesar pueden mostrarse o utilizarse para algunos fines o una imagen de alta resolución generada a partir de los datos de imagen puede mostrarse en la interfaz de usuario 810 o en una pantalla remota de un PC u otro dispositivo de este tipo.

Realizaciones de la presente invención proporcionan por tanto un procedimiento iterativo para obtener datos relacionados con un objeto destino. El procedimiento iterativo puede aplicarse de manera inteligente para poder integrarse en sistemas de iluminación generalizados. En los mismos, la función de transmitancia de una abertura está definida débilmente o un haz de radiación puede enfocarse débilmente. La lente y la abertura, o la lente o la

apertura, forman una función de iluminación localizada. En realizaciones alternativas, en lugar de obtener información de un objeto, si el objeto es bien conocido, puede obtenerse información relacionada con la radiación o con la propia apertura.

5 Aunque se han descrito realizaciones de la presente invención con respecto a la generación de imágenes de un objeto destino usando datos recopilados, debe apreciarse que realizaciones de la presente invención pueden aplicarse a la generación de datos per se y que no siempre es necesario generar una imagen física a la que mire un usuario. Un uso particular en el que la generación y la manipulación de datos sin procesar pueden usarse sin la generación de imágenes es el campo técnico del control de procesos. Evidentemente, también pueden aplicarse otros ejemplos en los que no sea necesario formar una imagen. Para el control de procesos, generalmente es necesario que los productos producidos por un proceso se fabriquen con determinadas tolerancias. Es decir, las dimensiones de un producto o, de hecho, algunas otras características tales como la transparencia o el color, deben estar dentro de un intervalo de valores predeterminado. Realizaciones de la presente invención pueden utilizarse en modo de transmitancia o en modo reflectivo para establecer un valor asociado con características respectivas de un producto y determinar si estas características tales como longitud, ancho, peso, forma y/o transparencia, o similares, satisfacen tolerancias de fabricación. Debe apreciarse que la verificación puede llevarse a cabo en tiempo real sin analizar o incluso producir una imagen del producto. Simplemente se genera una simple indicación visible y/o audible cuando un producto presenta una característica que no está dentro de intervalos de satisfacción predeterminados.

20 Debe apreciarse que las realizaciones de la presente invención pueden utilizarse para proporcionar datos relacionados con un objeto destino 2D o 3D. Una metodología para la generación de imágenes 3D se da a conocer en el documento GB0709796.7.

25 Realizaciones de la presente invención proporcionan un procedimiento para obtener datos de imagen adecuados para generar posteriormente una imagen de alta resolución de una parte de un espécimen a una resolución limitada por longitud de onda. De esta manera, se proporcionan un procedimiento y un aparato que pueden producir datos de imagen que tienen una resolución mucho mayor que la resolución requerida para colocar de manera precisa un aparato utilizado para obtener esa información. En el caso de una radiación de longitud de onda muy corta (subatómica) la mejora de la resolución puede ser de 40 o más en comparación con la técnica anterior. En algunos casos, la resolución se verá afectada por los propios movimientos atómicos.

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento para proporcionar datos de imagen para generar una imagen de una región de un objeto destino (41), que comprende las etapas de:

proporcionar una radiación incidente (40) desde una fuente de radiación;

5 enfocar la radiación a través de al menos un elemento de enfoque (43) situado aguas abajo o aguas arriba de un objeto destino (41); y

a través de al menos un detector situado aguas abajo del elemento de enfoque (43), detectar una intensidad de radiación dispersada por el objeto destino (41), en un plano de observación desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con el elemento de enfoque (43).

10 2.- El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:

enfocar la radiación dispersada por el objeto destino (41) con el elemento de enfoque (43) situado aguas abajo del objeto destino (41) o enfocar la radiación procedente de la fuente de radiación con el elemento de enfoque (43) situado aguas arriba del objeto destino (41).

3.- El procedimiento según la reivindicación 2, que comprende además las etapas de:

15 proporcionar datos de imagen en respuesta a la intensidad detectada a través de un proceso iterativo.

4.- El procedimiento según la reivindicación 3, que comprende además las etapas de:

detectar la intensidad de radiación dispersada por dicho objeto destino (41) con la radiación incidente (40) o en una abertura posterior al objeto destino en una primera posición con respecto al objeto destino (41);

volver a posicionar la radiación incidente (40) o la abertura con respecto al objeto destino (41); y

20 posteriormente, detectar la intensidad de radiación dispersada por dicho objeto destino (41) con la radiación incidente (40) o la abertura en una segunda posición; en el que

dichos datos de imagen se proporcionan en respuesta a la intensidad detectada en dichas primera y segunda posiciones.

25 5.- El procedimiento según la reivindicación 3 ó 4, en el que dicha etapa de proporcionar dichos datos de imagen comprende las etapas de:

estimar una función objeto que indique al menos una característica de dicha región del objeto destino (41) o

estimar una función objeto que indique al menos una característica de una función de onda posterior al objeto destino inmediatamente antes de una abertura posterior al objeto destino; y

30 volver a estimar de manera iterativa dicha función objeto, donde la precisión de una estimación en curso de la función objeto mejora con cada iteración.

6.- El procedimiento según la reivindicación 5, que comprende además las etapas de:

multiplicar la función objeto estimada por una función sonda que indica al menos una característica de la radiación incidente (40) en dicho objeto destino (41) o multiplicar la función objeto estimada por una función sonda que indica al menos una característica de una abertura posterior al objeto destino;

35 proporcionar una función de onda de salida en respuesta a un resultado de dicha multiplicación;

propagar la función de onda de salida para proporcionar una estimación de un patrón de dispersión esperado; y

corregir al menos una característica de dicho patrón de dispersión esperado según una intensidad detectada.

7.- El procedimiento según la reivindicación 6, que comprende además las etapas de:

40 invertir la propagación del patrón de dispersión esperado corregido para proporcionar una función de onda de salida actualizada; y

actualizar la estimación en curso de la función objeto en respuesta a dicha función de onda de salida actualizada según la función:

$$O_{g,n+1}(r)=O_{g,n}(r)+U(r)(\Psi_{c,n}(r,R)-\Psi_{g,n}(r,R))$$

8.- El procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicha función de actualización es:

$$U(r) = \frac{\beta |P(r-R)|^l P^*(r-R)}{|P_{\max}(r-R)|^l (|P(r-R)|^2 + \delta)}$$

5 9.- El procedimiento según la reivindicación 6, en el que dicha etapa de propagación comprende una transformada de Fourier modificada.

10.- El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende además las etapas de:

proporcionar una transformada de Fourier modificada dada como:

$$\Psi(\underline{k})=Q(\underline{k})\otimes D(\underline{v})$$

10 donde $D(\underline{v})$ es una definición de un patrón de difracción esperado en el plano focal trasero y $Q(\underline{k})$ es un factor de modificación sensible al desplazamiento del plano de observación con respecto al plano focal trasero.

11.- El procedimiento según la reivindicación 10, que comprende además las etapas de:

proporcionar la convolución de un patrón de difracción esperado con un factor de modificación $Q(\underline{k})$ dado como:

$$Q(\underline{k}) = \exp\left(j \frac{\pi}{\lambda d_2} |\underline{k}|^2\right)$$

15 donde d_2 es el desplazamiento del plano de observación con respecto al plano focal trasero.

12.- El procedimiento según la reivindicación 6, en el que dicho patrón de dispersión esperado corregido se corrige según:

$$\Psi_{c,n}(\underline{k},R)=|\Psi(\underline{k},R)|e^{j\theta_{g,n}(\underline{k},R)}$$

20 donde $\Psi_{c,n}(\underline{k},R)$ es una función de onda corregida, $|\Psi(\underline{k},R)|$ es la amplitud conocida en el plano 2 y $\theta_{g,n}(\underline{k},R)$ es la fase estimada en el plano 2; o

en el que la propagación se calcula según:

$$\Psi_{g,n}(\underline{k},R)=T[\Psi_{g,n}(r,R)]$$

donde $\Psi_{g,n}(\underline{k},R)$ es la función de onda estimada en el plano 2, T indica una transformada y $\Psi_{g,n}(r,R)$ es la función de onda estimada en el plano 1; o

25 en el que dicha propagación inversa se calcula según:

$$\Psi_{c,n}(r,R)=T^{-1}[\Psi_{c,n}(\underline{k},R)]$$

donde $\Psi_{c,n}(r,R)$ es una función de onda estimada en el plano 1, T^{-1} ilustra un procedimiento de transformada inversa y $\Psi_{c,n}(\underline{k},R)$ es una función de onda corregida en el plano 2.

30 13.- El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que dicha radiación incidente (40) comprende un campo de ondas sustancialmente localizado; y/o

en el que el procedimiento comprende además la etapa de:

proporcionar dichos datos de imagen para la región de dicho objeto destino (41) en tiempo real.

14.- Un programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo

el proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

5 15.- Un producto de programa informático que presenta en el mismo medios de código de programa informático, cuando se carga dicho programa, para hacer que el ordenador ejecute un procedimiento para mostrar una imagen de una región de un objeto destino (41) en una pantalla de usuario, determinando el ordenador datos de imagen para generar dicha imagen en respuesta a las mediciones de intensidad detectadas y calculas según el procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

16.- Aparato para proporcionar datos de imagen para generar una imagen de una región de un objeto destino (41), que comprende:

una fuente de radiación que proporciona una radiación incidente (40);

10 al menos un elemento de enfoque (43), que enfoca la radiación, situado aguas abajo o aguas arriba de un objeto destino (41); y

al menos un detector situado aguas abajo del elemento de enfoque (43), que detecta una intensidad de radiación dispersada por el objeto destino (41) en un plano de observación desplazado con respecto a un plano focal trasero asociado con el elemento de enfoque (43).

15 17.- El aparato según la reivindicación 16, que comprende además:

al menos una unidad de localización que localiza el objeto destino (41) en una ubicación predeterminada y que localiza una radiación incidente (40) o una abertura, situada aguas abajo del objeto destino (41), en una o más ubicaciones con respecto al objeto destino (41).

18.- El aparato según la reivindicación 16 o la reivindicación 17, que comprende además:

20 al menos una unidad de procesamiento que proporciona datos de imagen en respuesta a una intensidad detectada de radiación dispersada.

19.- El aparato según la reivindicación 18, en el que dicha unidad de procesamiento comprende:

un microprocesador;

un medio de almacenamiento de datos para almacenar datos e instrucciones para dicho microprocesador; y

25 medios para proporcionar instrucciones para mover uno de dicha radiación incidente (40) o dicha abertura o un objeto destino localizado (41); y/o

en el que dicha unidad de procesamiento comprende además:

30 una interfaz de usuario que comprende un dispositivo de entrada de datos de usuario para permitir que un usuario introduzca datos, y una pantalla de usuario para mostrar dichos datos de imagen o una imagen de alta resolución generada a partir de dichos datos de imagen.

20.- El aparato según la reivindicación 16, en el que dicha fuente de radiación comprende una fuente de radiación coherente; o

en el que dicha fuente de radiación es un generador de haces de electrones o un generador de haces de rayos X.

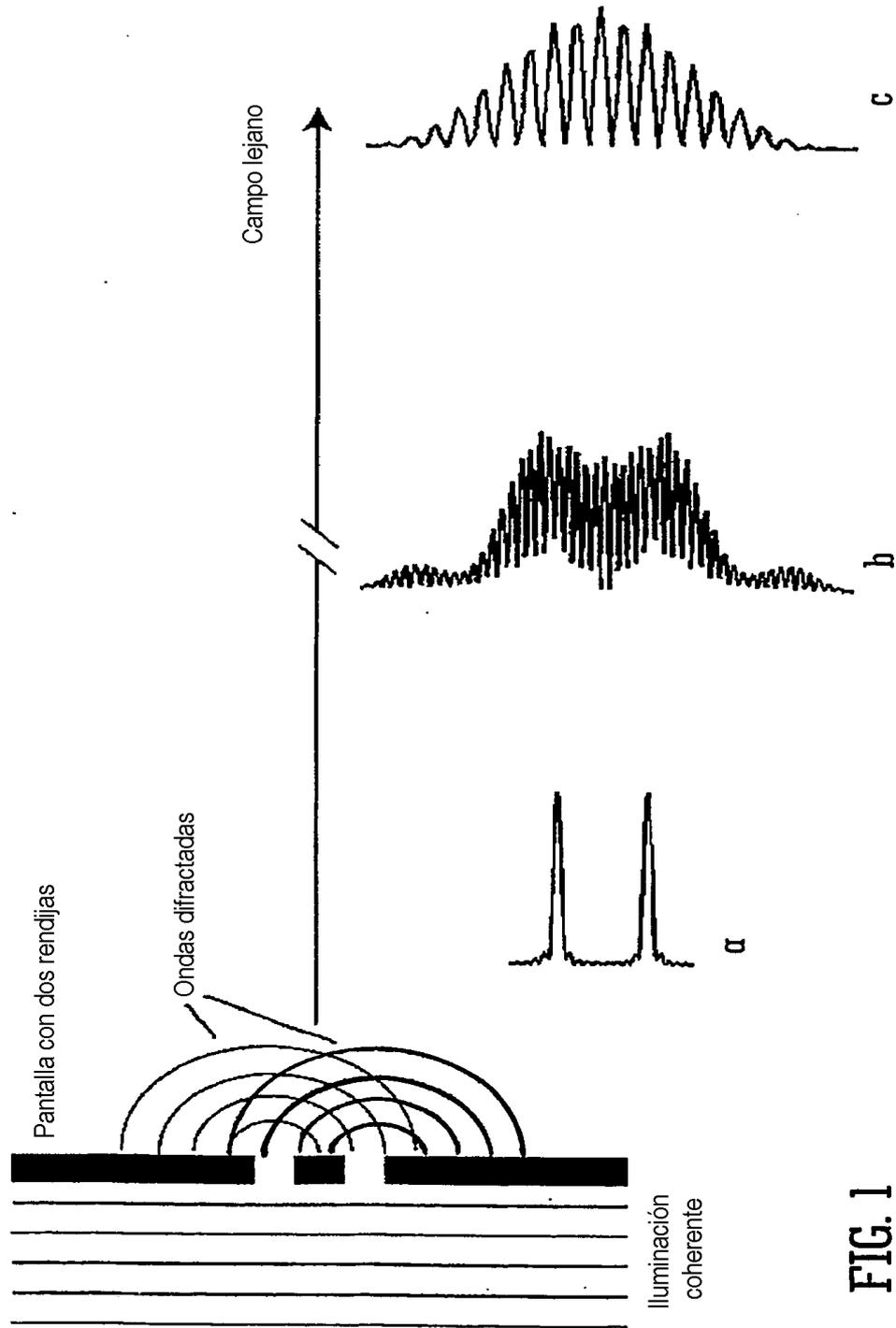


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

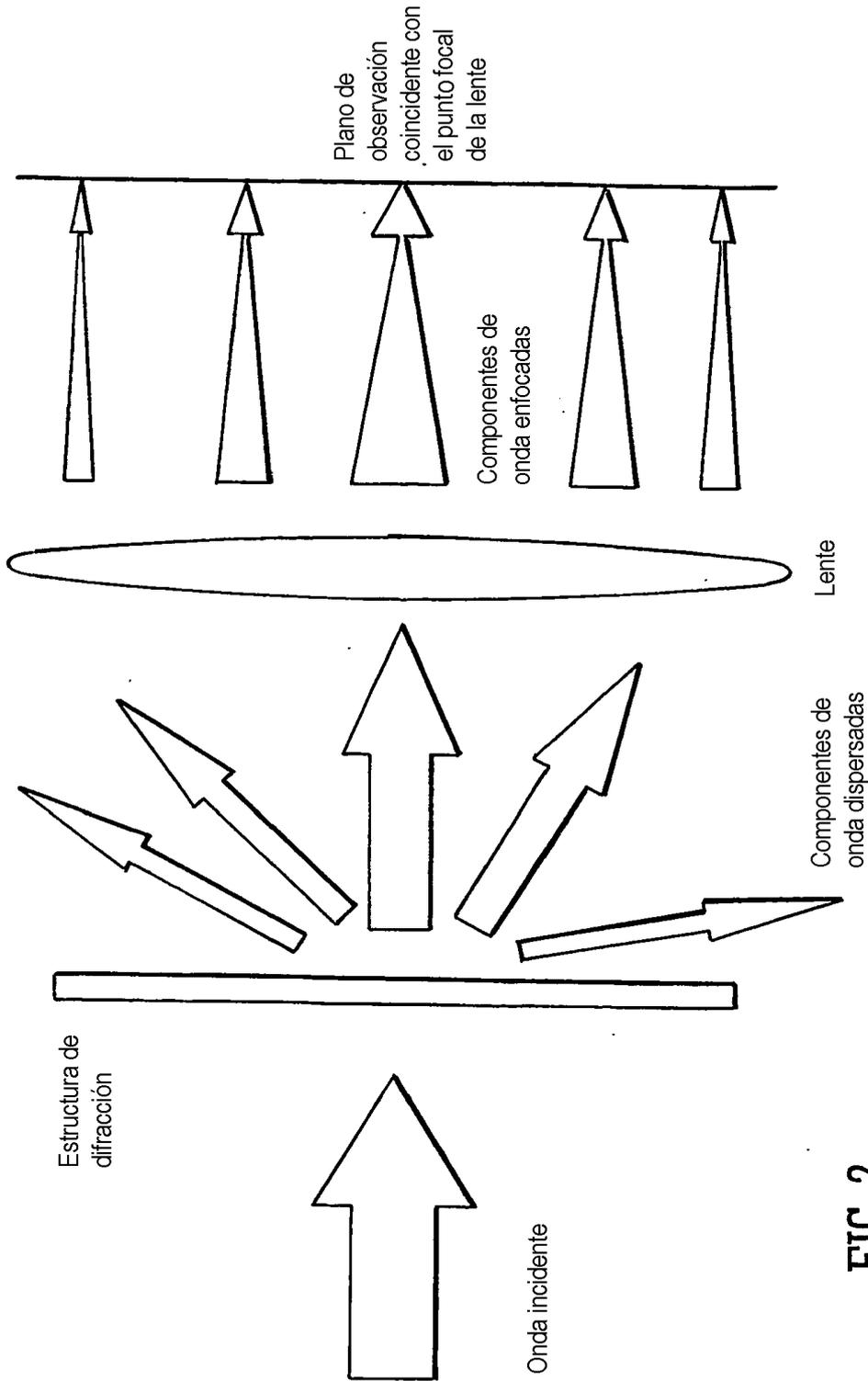


FIG. 2
(TÉCNICA ANTERIOR)

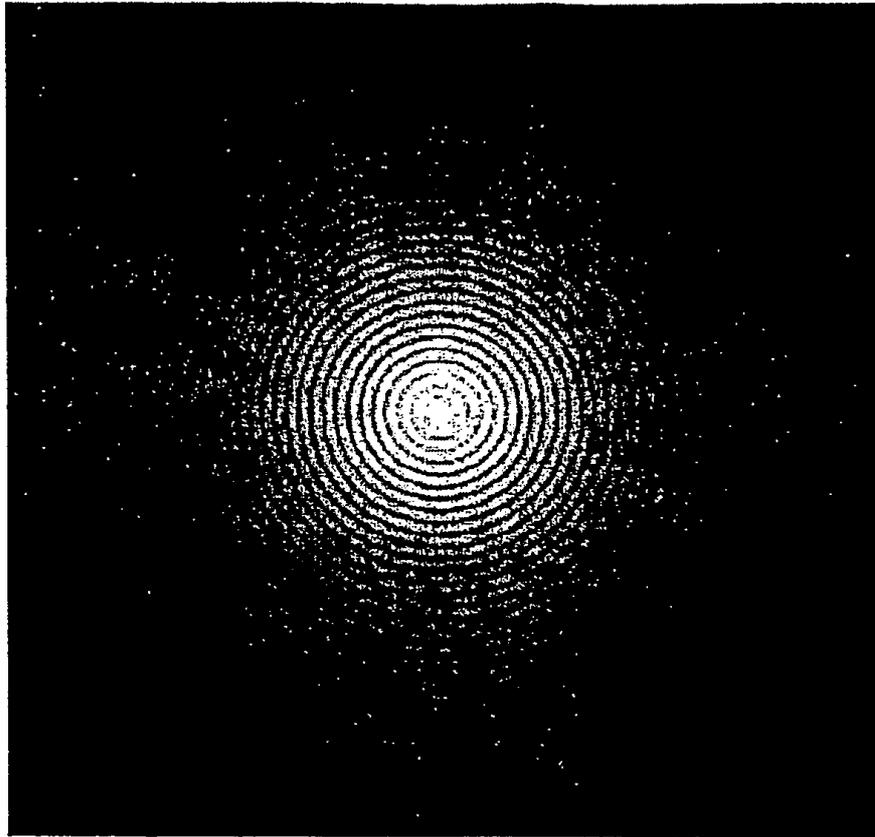


FIG. 3
(TÉCNICA ANTERIOR)

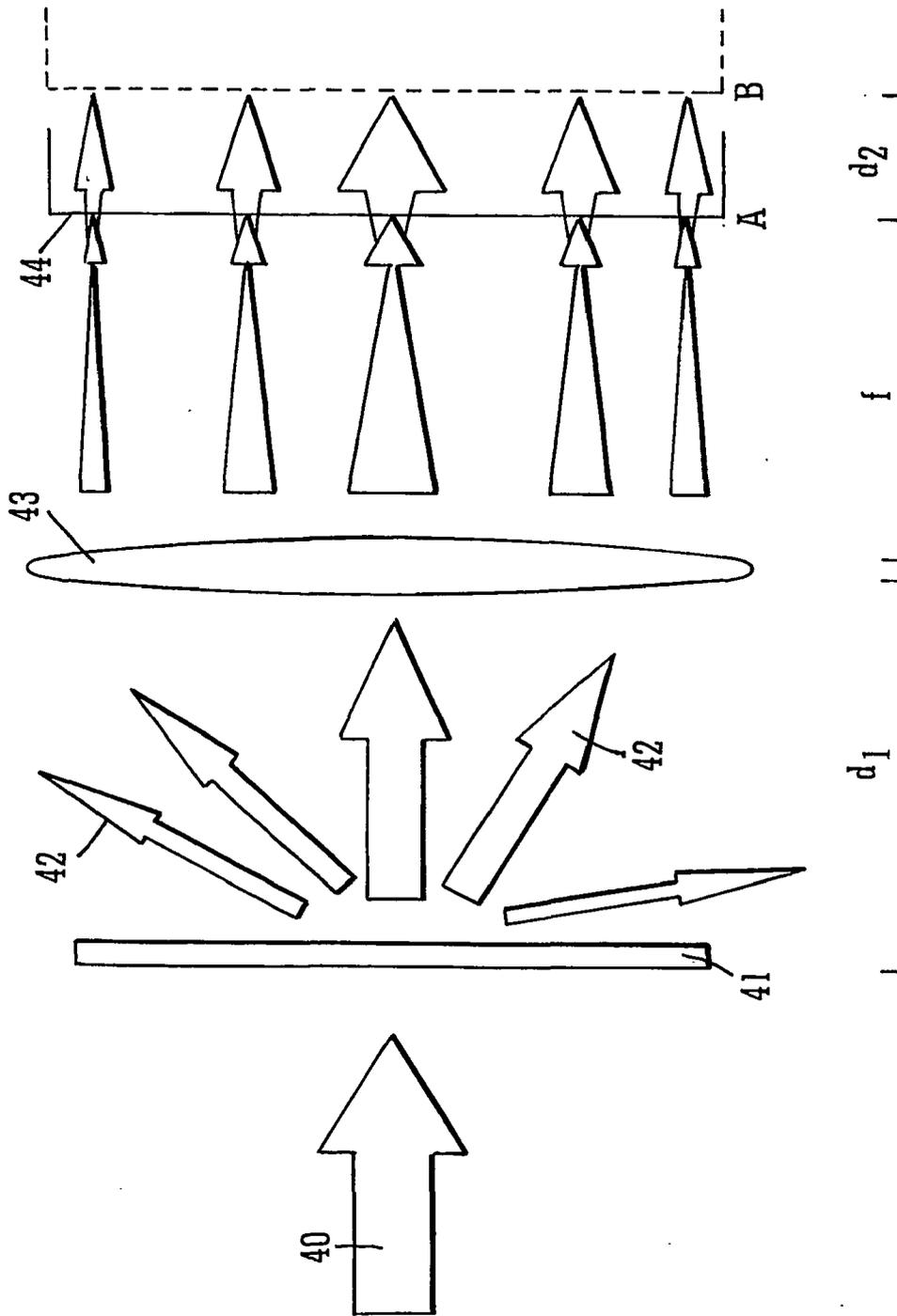


FIG. 4

Patrón de difracción desde un objeto transmisor capturado en el punto focal (f) de una lente

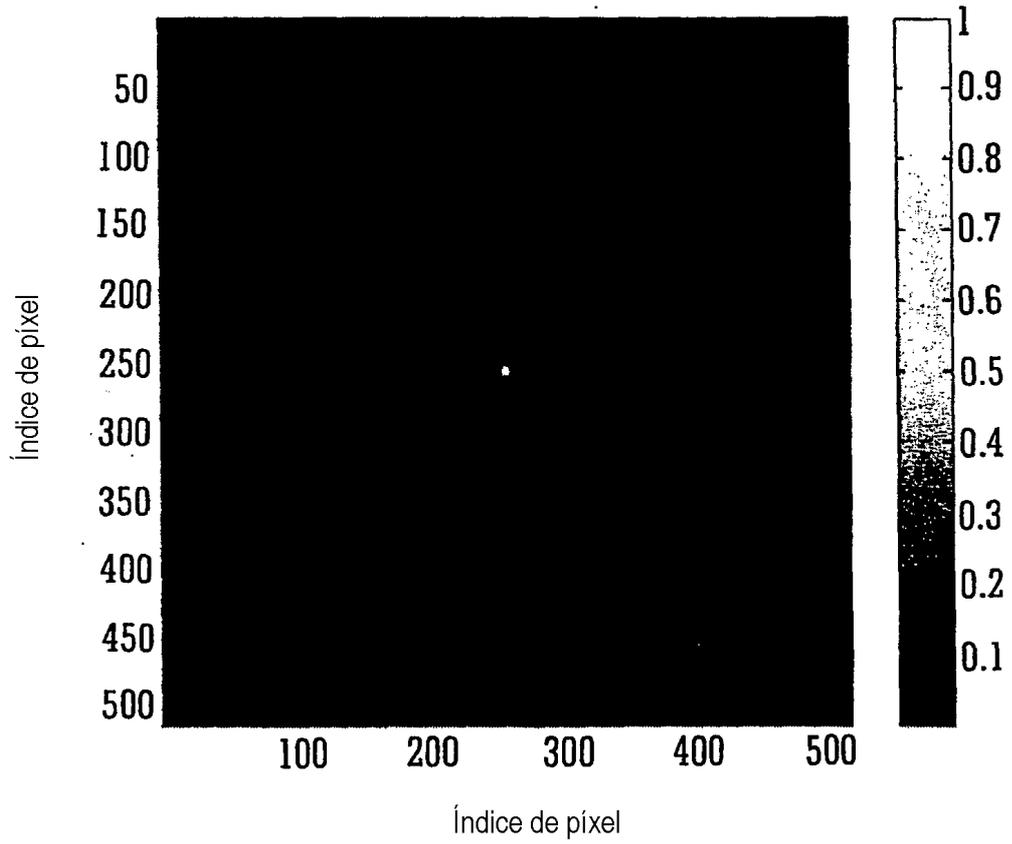


FIG. 5

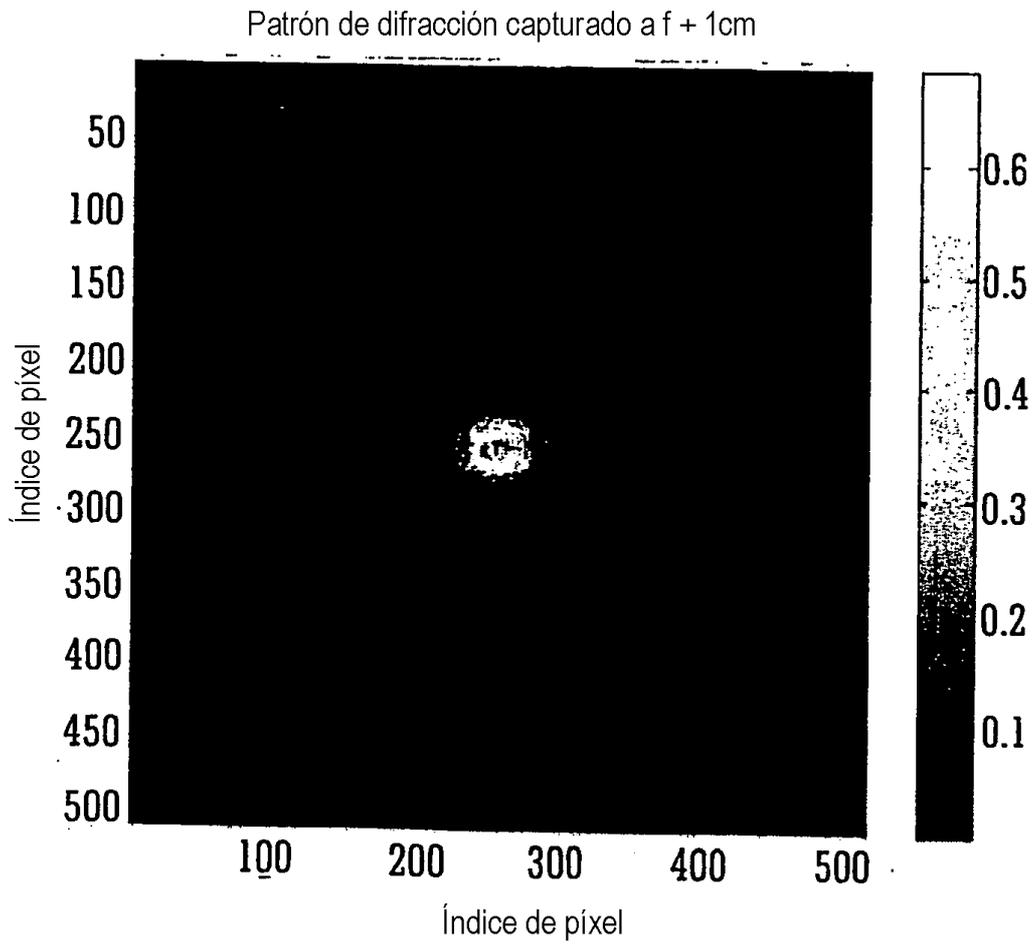


FIG. 6

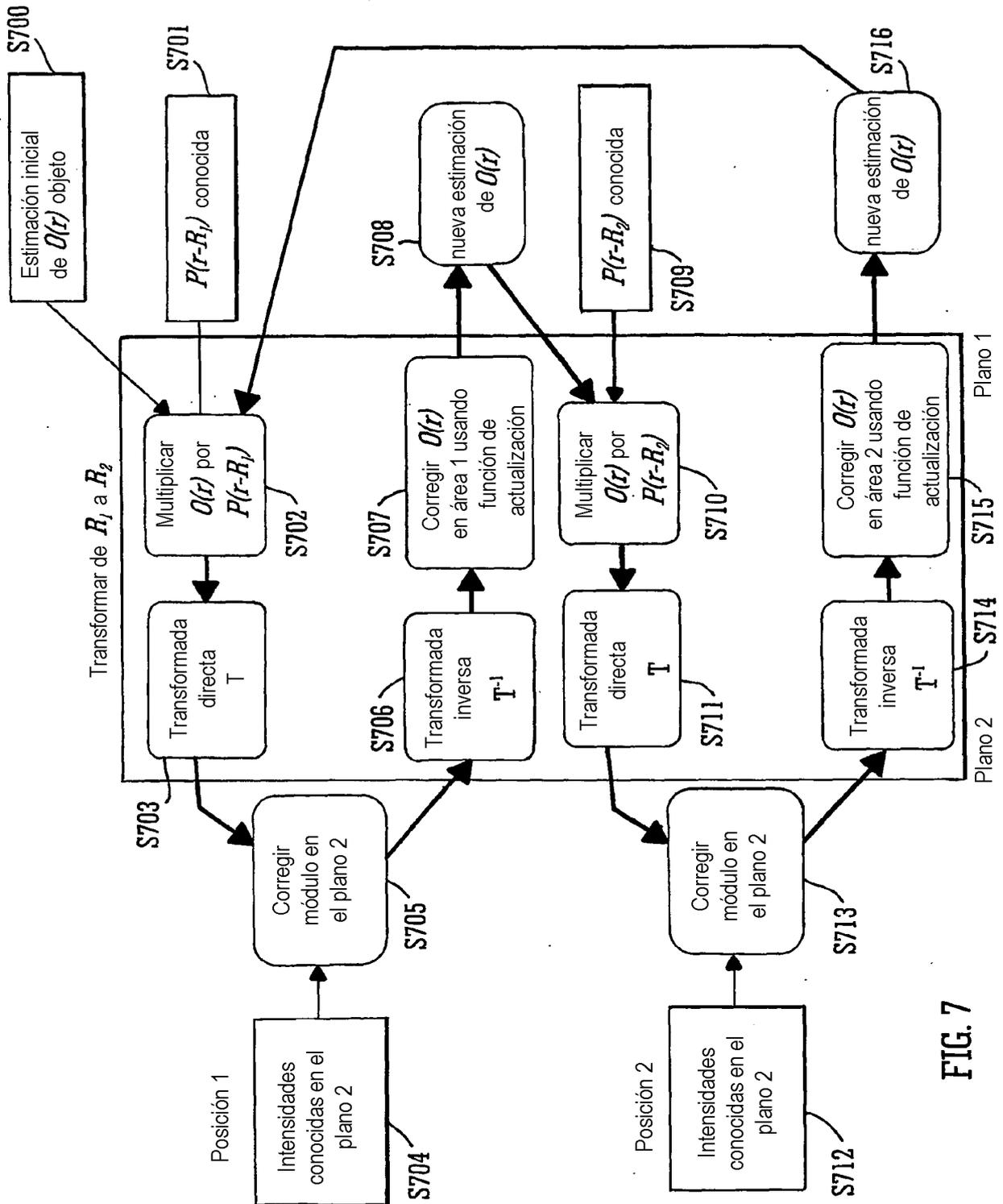


FIG. 7

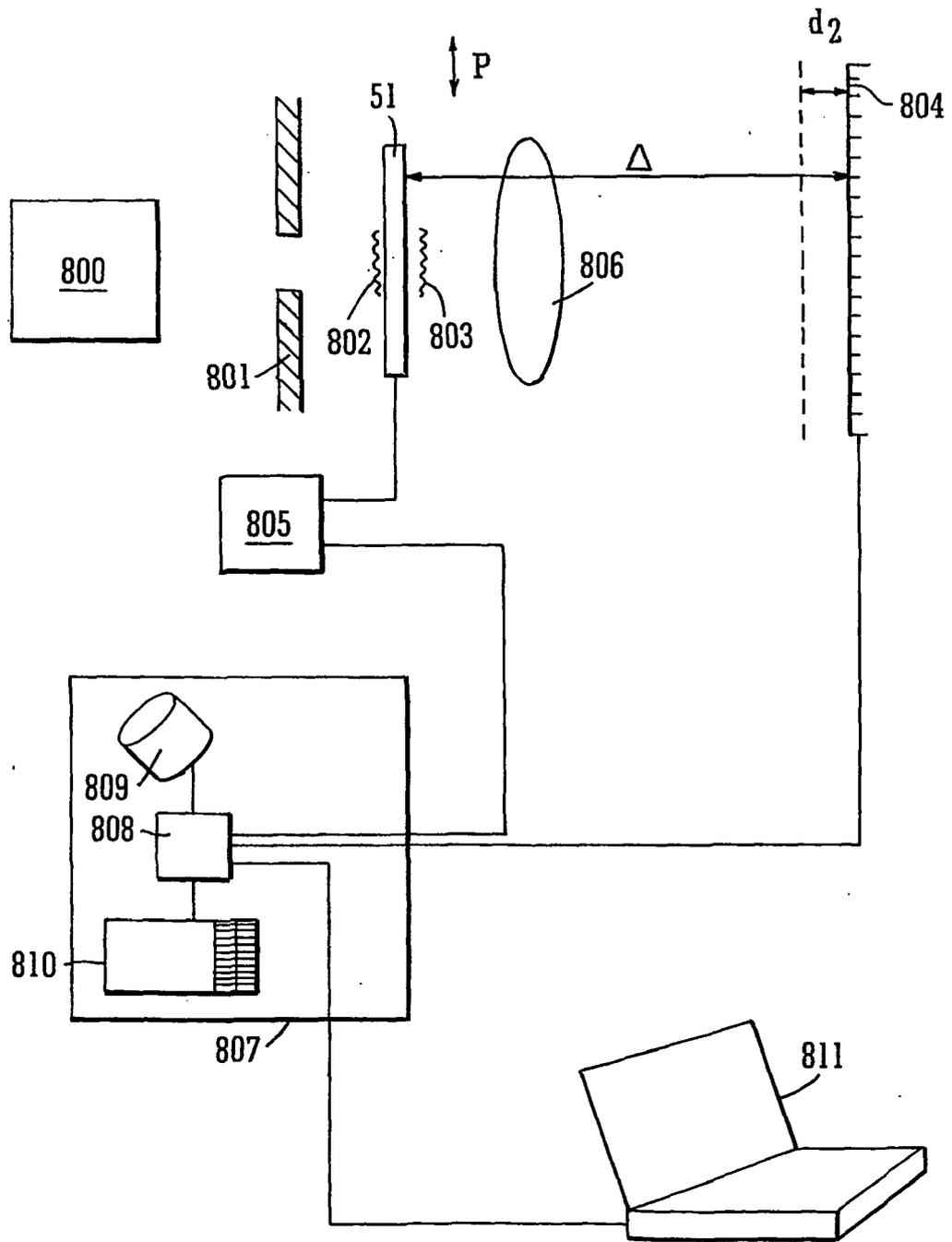


FIG. 8