

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 453**

51 Int. Cl.:

**H01J 37/153** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2015 PCT/US2015/036117**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2016 WO16014177**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2015 E 15824198 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 3172757**

54 Título: **Método para la corrección automática del astigmatismo**

30 Prioridad:

**22.07.2014 US 201462027505 P**

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

**30.07.2020**

73 Titular/es:

**INTELLIGENT VIRUS IMAGING INC. (100.0%)  
26 Pinecrest Plaza, Suite 2  
Southern Pines, NC 28387-4301, US**

72 Inventor/es:

**SINTORN, IDA-MARIA;  
NORDSTROM, RICKARD y  
KYLBERG, GUSTAF**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 776 453 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**

Método para la corrección automática del astigmatismo

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un método para la corrección automática del astigmatismo tal como el astigmatismo en lentes de microscopios electrónicos. Más particularmente, la presente invención incluye una corrección automática del astigmatismo de la lente objetivo basándose en imágenes para microscopios electrónicos.

**Antecedentes y sumario de la invención**

10 La adquisición de imágenes de alta calidad en microscopios electrónicos requiere una cuidadosa alineación del haz de electrones y un enfoque preciso para un contraste de imagen optimizado y detalles finos. En el pasado, las características físicas y las características del microscopio electrónico han sido importantes y se han usado para realizar la alineación. El haz de electrones se alinea utilizando dispositivos electromagnéticos. Un haz de electrones desalineado da como resultado artefactos (ondas), desenfoque en la imagen y pérdida de información sobre detalles finos.

15 Una característica importante de la presente invención es que el método corrige automáticamente el astigmatismo de la lente durante el proceso de alineación utilizando solo datos de imagen y sin depender de características complicadas y engorrosas del propio microscopio. El método de la presente invención proporciona una solución a los problemas descritos anteriormente. Más particularmente, el método es para la corrección automática del astigmatismo en una dirección a través de un conjunto de lentes. Por supuesto, la presente invención no se limita a corregir en una sola dirección porque la corrección también puede realizarse en muchas direcciones  
20 simultáneamente, tal como en las direcciones x e y. Se proporciona una primera imagen en un primera configuración de astigmador de una lente. Preferiblemente, la imagen está subenfocada. Basándose en la primera imagen, un dispositivo de cálculo calcula una primera imagen del espectro de Fourier. La distribución y dirección de píxeles de dicha primera imagen del espectro de Fourier se determinan calculando un primer vector correspondiente a la dirección principal y la extensión de los píxeles brillantes, y un segundo vector es perpendicular al primer vector y correspondiente a la extensión en esa dirección. El primer vector se compara con el segundo vector. El conjunto de lentes se cambia de una primera configuración de astigmador a una segunda configuración de astigmador para proporcionar una segunda imagen subenfocada. Basándose en la segunda imagen, se calcula la segunda imagen del espectro de Fourier correspondiente. La distribución y dirección de píxeles de dicha segunda imagen del espectro de Fourier se determina calculando un tercer vector y un cuarto vector. El tercer vector se compara con el cuarto vector. Cuando el primer vector es más similar al segundo vector que el tercer vector al cuarto vector, la primera imagen se selecciona como más redonda que la segunda imagen. Cuando el tercer vector es más similar al cuarto vector que el primer vector al segundo vector, entonces la segunda imagen se selecciona como más redonda que la primera imagen. La configuración de astigmador que proporciona el espectro de Fourier con el espectro de Fourier más redondo es lo que se persigue y busca.

35 Una primera razón de vectores de la primera imagen del espectro de Fourier se compara con una segunda razón de vectores de la segunda imagen del espectro de Fourier.

Se selecciona la imagen con la razón más baja.

Las configuraciones de astigmador en x y astigmador en y se cambian a las configuraciones de astigmador que corresponden a la imagen con la razón más baja.

40 Las configuraciones de astigmador en x y astigmador en y también pueden cambiarse simultáneamente.

Se busca la configuración de astigmador que minimiza el valor de alargamiento de la imagen del espectro de Fourier.

45 La primera y la segunda imágenes se configuran a un subenfoco o un sobreenfoco. Se conoce un método para ajustar un STEM equipado con un corrector de aberración usando imágenes transformadas de Fourier a partir del documento EP 2 584 584.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una vista esquemática de ejemplos de imágenes adquiridas con diferentes configuraciones de astigmador en x y en y de lente objetivo;

la figura 2 es una vista esquemática de los espectros de Fourier correspondientes de las imágenes de la figura 1;

50 la figura 3 es una vista esquemática de una imagen observada con algunos micrómetros subenfocados a través de una lente con astigmatismo;

la figura 4 es una vista esquemática de un espectro logarítmico de Fourier de la imagen de la figura 3;

la figura 5 es una imagen circular recortada de la vista de la figura 4;

la figura 6 es la vista de la figura 5 que incluye vectores de los momentos ponderados en gris de los valores de gris dentro del círculo en el que la longitud de los vectores corresponde a los tamaños de los vectores;

la figura 7 es la misma vista que la figura 4 pero con ningún o muy poco subenfoco; y

5 la figura 8 es una vista esquemática de un flujo de información de las etapas del método de la presente invención.

**Descripción detallada**

Las figuras 1-2 son ilustraciones 100 esquemáticas de imágenes astigmáticas de objetos con formas más o menos circulares (véase la figura 1) e imágenes 120 de espectros de Fourier correspondientes (véase la figura 2). No importa lo que muestra la imagen, pero los objetos representados en la figura 1 son partículas pseudovirales. El astigmatismo en el sistema de lentes provoca ondas como artefactos y pérdida de detalle en las imágenes, correspondiendo a las imágenes del espectro de Fourier que se alargan en una dirección que se correlaciona con la dirección de la desalineación. La figura 1 muestra ejemplos de imágenes con astigmatismo en diferentes direcciones. Más particularmente, la figura 1 muestra imágenes de muestra adquiridas en diferentes configuraciones de astigmador en x y en y. Muestra 49 versiones de la misma vista en un microscopio electrónico de transmisión con diferentes configuraciones de astigmador en x y en y. Debido a que las configuraciones son diferentes, las imágenes están desenfocadas de diferentes maneras y tienen ondulaciones en diferentes direcciones. Un objeto de la presente invención es determinar qué versión es la mejor imagen (correspondiente a la imagen del espectro de Fourier con la distribución más redondeada de los píxeles). Esto es difícil de hacer simplemente usando métodos manuales y visuales que son los usados con mayor frecuencia en la actualidad. Una característica de la presente invención es que el método determina automáticamente qué imagen es la más redondeada utilizando solo datos de imagen. Esto se usa entonces para ajustar automáticamente las lentes en el microscopio para que la imagen se vuelva astigmática.

La figura 2 muestra las imágenes 120 de espectros de Fourier correspondientes. Las imágenes transformadas se alargan en direcciones que se correlacionan con la dirección de la desalineación de las lentes que se originan a partir de las configuraciones de astigmador. En general, la transformación de Fourier hace que sea más fácil observar los efectos de astigmatismo, tales como la redondez y el alargamiento, de las imágenes. Las 49 versiones de la figura 1 se muestran en la figura 2 como 49 nuevas versiones (como formas/figuras alargadas blancas) después de la transformación de Fourier. La imagen 122 en el centro tiene muy poco astigmatismo (mostrado como una imagen redonda en el espectro de Fourier). La imagen en el centro tiene una configuración de astigmador en x de 0 y una configuración de astigmador en y de 0. Debe entenderse que aunque correspondiera a otros valores de astigmador en x y en y, sería la solución porque el espectro de Fourier tiene la distribución de píxeles más circular en estas configuraciones. Cuanto más lejos del centro de la figura 2, existen más ondas y desenfoques en las imágenes y las distribuciones de píxeles aparecen más alargadas en las imágenes del espectro de Fourier. Por tanto, el ordenador cambia las configuraciones de astigmador paso a paso y determina si la imagen es más redonda o no antes de cambiar la configuración de astigmador. Como se describe en detalle a continuación, cuando se determina que la imagen se vuelve más redondeada como resultado de un ajuste de la configuración de astigmador en la dirección x o y, entonces el ordenador preferiblemente cambia la configuración de astigmador del microscopio nuevamente en la misma dirección. Cuando las imágenes no se vuelven más redondas, el ordenador puede detener la búsqueda o posiblemente cambiar la configuración de astigmador en la dirección opuesta y luego comparar la redondez.

La figura 3 muestra una imagen 124 que se observa con algo de subenfoco a través de un sistema de lentes con astigmatismo. Como se explica a continuación, el uso de subenfoco es una característica importante del método de la presente invención para evitar crear imágenes de Fourier con formas complejas. También es posible utilizar un sobreenfoco de la lente. Otra característica importante de la presente invención es que el astigmatismo se corrige buscando un alargamiento mínimo (o circuitería óptima) de las formas en los espectros de Fourier. Por tanto, un objetivo importante es seleccionar la configuración de astigmador en x y en y que crea la distribución más circular de los píxeles en el espectro de Fourier, es decir, donde no hay ningún o muy poco astigmatismo.

La corrección del astigmatismo puede realizarse al menos de dos maneras diferentes. Una manera es minimizar el alargamiento en una dirección de astigmatismo a la vez, correspondiente a un conjunto de lentes electromagnéticas, es decir, en una dirección tal como cambiando solo la configuración de astigmador en x antes de que se investiguen los cambios de la configuración de astigmador en y. Otra manera es calcular la dirección del alargamiento que corresponde a la razón del astigmatismo en x y en y, y, al mismo tiempo, optimizar las configuraciones de astigmador tanto en x como en y. El alargamiento de las imágenes en los espectros de Fourier de la figura 2 se mide usando momentos ponderados en gris. Esto también puede usarse en la situación unidimensional, es decir, ajustando la configuración en una sola dirección. Los momentos ponderados en gris son una manera de calcular la dirección de los píxeles brillantes en la imagen, es decir, la distribución de la intensidad brillante.

A continuación se muestra una descripción paso a paso del primer enfoque. El astigmatismo en x puede corregirse mediante:

1) Adquisición de una imagen y cálculo del espectro de Fourier correspondiente. La figura 3 es un ejemplo de una imagen 124 adecuada que representa partículas pseudovirales en un subenfoco de la configuración de la lente. La figura 4 es una imagen 126 que muestra el espectro de Fourier correspondiente. La parte 128 elíptica más clara o de color gris claro que se extiende a través del centro de la imagen desde la parte superior izquierda hacia la parte inferior derecha indica el astigmatismo del sistema de lentes. La parte 128 se ha marcado con una línea discontinua para que sea más fácil observar la parte elíptica. El centro también se ha marcado. El tamaño y la longitud de la parte elíptica dependen en parte del aumento y el contenido de la imagen. En general, cuando la parte de color gris claro es redonda o más redonda, entonces las configuraciones del sistema de lentes son correctas para minimizar el astigmatismo.

2) Recorte de una imagen 129 circular que, por ejemplo, tiene un diámetro que es la mitad del lado de la imagen. No es necesario usar una imagen circular siempre y cuando los momentos ponderados en gris se calculen de la parte de la imagen que es de interés. Sin embargo, es preferible/se recomienda para tener el mismo número de píxeles que contribuyen a la distribución en todas las direcciones. El tamaño del recorte debe coincidir con el aumento proporcionado por la lente. La figura 5 ilustra la imagen 129 recortada de la imagen 126 mostrada en la figura 4. Se prefiere una imagen circular para que el radio sea el mismo desde el centro de la imagen hasta la periferia y para que haya la misma cantidad de distancia e información en todas las direcciones desde el centro. Las frecuencias más bajas en y muy cerca del centro del espectro de Fourier, y las altas frecuencias muy lejos del centro, llevan información menos importante en cuanto a indicar el astigmatismo del sistema de lentes.

3) Cálculo de la distribución de las intensidades de la imagen del espectro de Fourier, por ejemplo, utilizando momentos ponderados en gris (como las órdenes 1 y 2) de la imagen circular. También es posible utilizar un enfoque que se basa primero en hacer que la imagen del espectro de Fourier sea binaria (extrayendo la forma brillante elíptica/circular) y luego, por ejemplo, hacer un análisis de componentes principales para calcular y determinar la distribución y las direcciones principales de la forma binaria. También es posible utilizar métodos que se basan en perfiles de densidad radial. Preferiblemente, se usa un método matemático para calcular la distribución y dirección de la intensidad en la imagen.

Una fórmula adecuada para calcular momentos ponderados en gris es:

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y)$$

donde  $x$  e  $y$  son las posiciones de píxeles (coordenadas) en la imagen, e  $I(x, y)$  es la intensidad (valor de gris) en la posición  $x, y$  de la imagen. El orden del momento es  $i + j$ , por lo que hay dos momentos del orden 1,  $m_{01}$  y  $m_{10}$ , y 3 momentos de orden 2,  $m_{20}$ ,  $m_{02}$  y  $m_{11}$ .

Cuanto mayor es la intensidad, más clara se vuelve la imagen. Cuanto más claro es el píxel de imagen y más lejos está del centro, más peso se le da a la hora de calcular los momentos ponderados en gris utilizados para determinar el astigmatismo. En otras palabras, el peso de cada píxel se basa en la blancura de cada píxel y en su distancia al centro en el que a los píxeles brillantes más alejados del centro se les da más peso. Debe observarse que los píxeles muy alejados del centro (muy por fuera de la forma alargada brillante en la imagen del espectro de Fourier) no contienen información relacionada con el astigmatismo.

La figura 6 es una vista 130 que es la misma que la vista 129 de la figura 5 pero incluye los vectores 132, 134 de los momentos ponderados en gris de los valores de gris dentro del círculo en el que la longitud de los vectores corresponde a los tamaños de los vectores. Los momentos ponderados en gris pueden usarse para calcular la distribución de intensidad alrededor del punto central 138. En otras palabras, los momentos ponderados en gris se usan preferiblemente para describir las direcciones y cómo se extiende la parte 128 de color claro en las direcciones en relación con el centro 138. Entonces es posible determinar lo elíptica que es la parte 128 de color claro y lo no redonda que es. La falta de redondez de la imagen indica el nivel de astigmatismo de la lente y la dirección de la imagen contiene información sobre cómo corregir el astigmatismo. Por tanto, los momentos se utilizan para deducir la dirección principal de las intensidades en la imagen, así como cuánto más distribuidas están las intensidades a lo largo de la dirección principal en relación con la dirección ortogonal. La razón de la distribución en la segunda dirección y la distribución en la dirección principal es una medida de lo alargada que es la distribución. Debe entenderse que la razón es meramente un ejemplo ilustrativo y que pueden usarse otros parámetros de comparación, como las diferencias entre los vectores, siempre que el objetivo sea determinar un cambio en las configuraciones de astigmador que conduce a una figura más redonda en la imagen del espectro de Fourier.

4) Determinación del alargamiento que corresponde a la razón del vector 132 y 134 propio de la matriz de covarianza de momento normalizado =  $[m_{20}/m_{00}, m_{11}/m_{00}; m_{11}/m_{00}, m_{02}/m_{00}]$ . El vector 134 propio muestra el alargamiento más largo (es decir, lo larga que es la distribución de píxeles blanquecinos) y se extiende a lo largo de la dirección de la forma elíptica de color claro. El vector 132 muestra el segundo alargamiento más largo que es perpendicular al vector 134 en la imagen bidimensional. La dirección y longitud del vector 134 es la más interesante. Cuando el vector 134 tiene una longitud idéntica o cercana al vector 132, entonces la configuración de astigmador se ha configurado correctamente para compensar el astigmatismo del sistema de lentes, es decir, la razón entre los vectores es 1 o cercana a 1. Cuanto más lejos de 1 está la razón, mayor es el astigmatismo de la lente.

5) Repetición de las etapas 1-4 anteriores en un algoritmo de optimización iterativo que busca las configuraciones de astigmatador que minimizan el valor de alargamiento. Por tanto, se realizan ajustes para hacer que la razón sea lo más cercana posible a uno como sea posible en la práctica.

Puede realizarse la misma corrección para el astigmatismo en y que la corrección para el astigmatismo en x descrito anteriormente manteniendo el astigmatador en x en la mejor configuración determinada hasta ahora y repetir el procedimiento para el astigmatador en y como se hizo para el astigmatador en x descrito anteriormente. En otras palabras, la corrección para el astigmatismo en y puede realizarse manteniendo el astigmatador en x en la mejor configuración, como se determinó anteriormente, y repetir las etapas 1-5 anteriores solo para el astigmatador en y. En lugar de determinar manualmente qué imagen es la más redondeada entre todas las imágenes a lo largo de una fila en la dirección x de la figura 1, el método de la presente invención realiza esta determinación automáticamente analizando el espectro de Fourier para cada imagen y determina la cantidad de alargamiento y selecciona la imagen con el alargamiento más pequeño, después de lo cual los astigmatadores del microscopio se configuran en los valores correspondientes. En otras palabras, una vez que se ha encontrado la imagen más redondeada a lo largo de una fila en la dirección x, tal como se muestra en la figura 2, y se ha configurado el valor del astigmatador en x correspondiente en el microscopio, entonces el método puede determinar la imagen más redondeada en la dirección y a lo largo de la columna de la imagen más redondeada encontrada en la fila en la dirección x.

Para acelerar el procedimiento de corrección y hacerlo más robusto, los espectros de Fourier pueden muestrearse de maneja descendente y filtrar con un filtro de suavizado (por ejemplo, media, mediana o Gauss) antes de calcular los momentos.

Una característica importante de la presente invención es que la corrección se realiza preferiblemente con un subenfoque (o sobreenfoque) relativamente grande. Cuando la imagen está muy cerca o enfocada, el efecto de astigmatismo en el espectro de Fourier no es tan fácil de identificar y medir, y es difícil usar esos espectros para corregir el astigmatismo. Entonces, las diferentes direcciones se enfocan con un subenfoque (o sobreenfoque) ligeramente diferente debido al astigmatismo. Esto, junto con la información de detalles de imagen nítida, genera fuertes señales perturbadoras en el espectro de Fourier con respecto a la determinación de la dirección y la cantidad de astigmatismo en el sistema de lentes. En otras palabras, al configurar la muestra de modo que no se encuentre dentro o cerca del enfoque, otros factores no interfieren mucho en el defecto del astigmatismo. La figura 7 muestra una imagen 140 que tiene tanto astigmatismo como el ejemplo de la figura 6, pero la imagen correspondiente está enfocada. Al colocar la muestra en un subenfoque, el problema del astigmatismo se resuelve primero sin perturbar ningún problema asociado con tener el enfoque correcto de la lente. Al usar un subenfoque, es más fácil determinar si la redondez del espectro de Fourier mejora o no cuando se cambian las configuraciones de astigmatador del sistema de lentes. La imagen 140 muestra claramente lo difícil que es ver la dirección y la extensión del astigmatismo porque no hay un alargamiento pronunciado. Además, los espectros de Fourier también dependen del contenido de la imagen. En un caso muy poco probable, el contenido puede producir intensidad en el espectro de Fourier que hace que el método sea insatisfactorio la primera vez. Esto puede resolverse repitiendo el procedimiento de optimización en otro lugar de la imagen de muestra para asegurarse de obtener la misma respuesta.

En funcionamiento, en la figura 8 se resumen determinadas etapas del método de la presente invención. En una etapa 200 de provisión, se proporciona una imagen 202 subenfocada (tal como la primera imagen 96 en la figura 1) a un primer valor de una configuración de astigmatador en x y a un primer valor de una configuración de astigmatador en y. En una etapa 203 de cálculo, se calcula una imagen 204 del espectro de Fourier correspondiente (como la imagen 312 en la figura 2) por un dispositivo de cálculo tal como un ordenador. En una etapa 206 de determinación, el ordenador calcula los momentos 207 ponderados en gris de la imagen 204 para determinar la distribución y dirección de los píxeles en la imagen. En una etapa 208 de comparación, el ordenador compara una razón 209 o diferencia entre vectores para determinar la redondez de la imagen 204. En una etapa 210 de configuración, el ordenador cambia la configuración en el microscopio del astigmatador 211 en x (o el astigmatador en y) del primer valor a un segundo valor en el que el segundo valor es preferiblemente un aumento o disminución secuencial en comparación con el primer valor, como pasar, por ejemplo, de -0,12 a -0,08, tal como se muestra en la figura 1 para que se presente visualmente una nueva imagen en el segundo valor del astigmatador en x. Entonces se calcula la imagen del espectro de Fourier correspondiente. El ordenador puede programarse para que continúe cambiando el astigmatador en x en la misma dirección siempre que las razones de los vectores mejoren y si las razones aumentan, entonces la configuración de astigmatador en x cambia en la dirección opuesta. También es posible utilizar cambios relativamente grandes de la configuración de astigmatador al principio y luego reducir los cambios de la configuración de astigmatador en x a medida que mejoran las razones, es decir, se acercan a 1 o se determina que se ha aprobado la mejor configuración probable del astigmatador en x. Por ejemplo, si la razón se reduce gradualmente y luego comienza a aumentar, el tamaño del cambio de la configuración de astigmatador se reduce y la dirección cambia. Preferiblemente, el astigmatador en y se mantiene en el primer valor tal como -0,12 que corresponde a la primera fila en las figuras 1-2. Las figuras 1-2 muestran valores de ejemplo preferidos para el astigmatador en x y para el astigmatador en y. Los valores del astigmatador pueden diferir de un sistema a otro. También pueden usarse otros valores e intervalos. El ordenador comienza la misma iteración y realiza la etapa 203 de cálculo y la etapa 206 de determinación con el astigmatador en x configurado en el segundo valor. En la etapa 208 de comparación, se compara una segunda razón de vectores en el segundo valor con la primera razón de vectores en el primer valor de la configuración de astigmatador en x. Si la primera razón está más cerca de uno que la segunda razón, entonces el ordenador detiene la búsqueda en la dirección x. Si la segunda razón está más cerca de uno que la primera razón,

entonces el ordenador, en la etapa 210 de configuración, cambia la configuración de valor del astigmador en x del segundo valor a un tercer valor tal como -0,04. Esta iteración continúa con los valores cuarto, quinto, etc. hasta que el ordenador determina que el siguiente valor x no da como resultado una imagen más redondeada, es decir, cuando la nueva razón de vectores no está más cerca de uno en comparación con la razón de vectores asociada con el valor del astigmador en x anterior.

5 Cuando se ha encontrado el mejor valor del astigmador en x, el ordenador, en una etapa 212 de configuración, cambia la configuración de astigmador 213 en y de un primer valor, tal como -0,12 tal como se muestra en las figura 1-2, a un segundo valor, tal como -0,08. El ordenador realiza la misma iteración que se hizo para la configuración de astigmador en x hasta que se encuentre la mejor configuración de astigmador en y. Sin embargo, el astigmador en x se fija en el valor determinado en la primera iteración, por lo que la etapa 210 de configuración se omite tal como se ilustra por la línea 214 discontinua en la figura 8.

10 En lugar de ajustar simplemente la configuración de astigmador en una dirección a la vez (tal como el astigmador en x), también es posible ajustar las configuraciones de astigmador en las direcciones x e y al mismo tiempo. Esto se ilustra en la figura 2 en la que la imagen 300 puede ser una imagen seleccionada como imagen inicial. El sistema investiga entonces la razón de vectores no solo de la imagen 302 (ajustando la configuración de astigmador solo en la dirección x) sino que también investiga razones como resultado de las configuraciones de astigmador de las imágenes que rodean la imagen 300, de modo que se determinan las razones de vectores de las imágenes 304, 306, 308, 310, 312, 314 y 316. El sistema selecciona entonces las configuraciones de astigmador en x y en y que dan como resultado la razón de vectores más baja, tal como se explicó anteriormente, que probablemente está más cerca del centro en comparación con la imagen 300 inicial, tal como se muestra en la figura 2. Estas etapas se repiten, como se describe en la figura 8, hasta que se encuentra la razón más baja y se determina que la imagen muestra la imagen más redonda. Estas son las configuraciones de astigmador en x y en y preferidas que deben utilizarse para compensar mejor el astigmatismo del sistema de lentes. Tal como se muestra mejor en la figura 6, el tamaño de los dos vectores 132, 134 junto con el ángulo alfa de la imagen 130 elíptica puede usarse para indicar qué dirección será probablemente la mejor. Como se indicó anteriormente, también es posible continuar simplemente en la misma dirección, sin calcular las razones en todas las direcciones, siempre que las razones mejoren, es decir, se acerquen a 1. Cuando las razones comienzan a aumentar nuevamente, el ordenador puede comenzar a investigar todas las direcciones, como se describió anteriormente.

20  
25  
30 Si bien la presente invención se ha descrito según composiciones y realizaciones preferidas, debe entenderse que pueden realizarse determinadas sustituciones y alteraciones a la misma sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para la corrección automática del astigmatismo de un sistema de lentes de un microscopio electrónico, que comprende proporcionar una primera imagen de una vista en subenfoco o sobreenfoco en una primera configuración (96) de astigmador de una lente, basándose en la primera imagen en la primera configuración (96) de astigmador, calcular una primera imagen (312) del espectro de Fourier, describir una distribución de intensidades en la primera imagen (128, 312) calculando, basándose en la primera imagen del espectro de Fourier, un primer vector (134), que representa una dirección principal de intensidades en dicha imagen, dirección principal que es la dirección con el alargamiento más largo con píxeles brillantes, teniendo el primer vector una longitud que representa el alargamiento de la parte de píxeles brillantes de la primera imagen en dicha dirección principal y un segundo vector (132) que representa una dirección ortogonal de intensidades en dicha imagen, que es ortogonal a dicha dirección principal, y una extensión de píxeles brillantes en la dirección ortogonal, teniendo el segundo vector una longitud que representa el alargamiento de la parte de píxeles brillantes de la primera imagen en la dirección ortogonal, calcular una primera razón como una razón entre la longitud del primer vector y la longitud del segundo vector, cambiar la lente de la primera configuración (96) de astigmador a la segunda configuración (98) de astigmador para proporcionar una segunda imagen de la vista en subenfoco o sobreenfoco, siendo la segunda imagen en la segunda configuración de astigmador la misma vista que la primera imagen de la vista en la primera configuración de astigmador,
- basándose en la segunda imagen y la segunda configuración (98) de astigmador, calcular una segunda imagen (314) del espectro de Fourier que describe una distribución de intensidades en la segunda imagen (314) calculando, basándose en la segunda imagen del espectro de Fourier, un tercer vector que representa una dirección principal de intensidades en dicha imagen, dirección principal que es la dirección con el alargamiento más largo con píxeles brillantes, teniendo el tercer vector una longitud que representa el alargamiento de la parte de píxeles brillantes de la segunda imagen en dicha dirección principal;
- y un cuarto vector que representa la dirección ortogonal de las intensidades en dicha imagen y una extensión de píxeles brillantes en la dirección ortogonal, teniendo el cuarto vector una longitud que representa el alargamiento de la parte de píxeles brillantes de la segunda imagen en la dirección ortogonal, calcular una segunda razón como una razón entre la longitud del tercer vector y la longitud del cuarto vector, cuando la primera razón está más cerca de 1 que la segunda razón, seleccionar la primera imagen de la vista en la primera configuración (96) de astigmador, y
- cuando la segunda razón está más cerca de 1 que la primera razón, seleccionar la segunda imagen de la vista en la segunda configuración (98) de astigmador.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende además la etapa de seleccionar una imagen que tiene la razón más baja.
3. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende además la etapa de cambiar las configuraciones de astigmador en x y astigmador en y.
4. Método según la reivindicación 3, en el que el método comprende además la etapa de cambiar simultáneamente la configuración de astigmador en x y astigmador en y.
5. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende además buscar una configuración de astigmador que minimice un valor de alargamiento de la distribución de intensidad de una imagen (128, 312) seleccionada del espectro de Fourier.

40

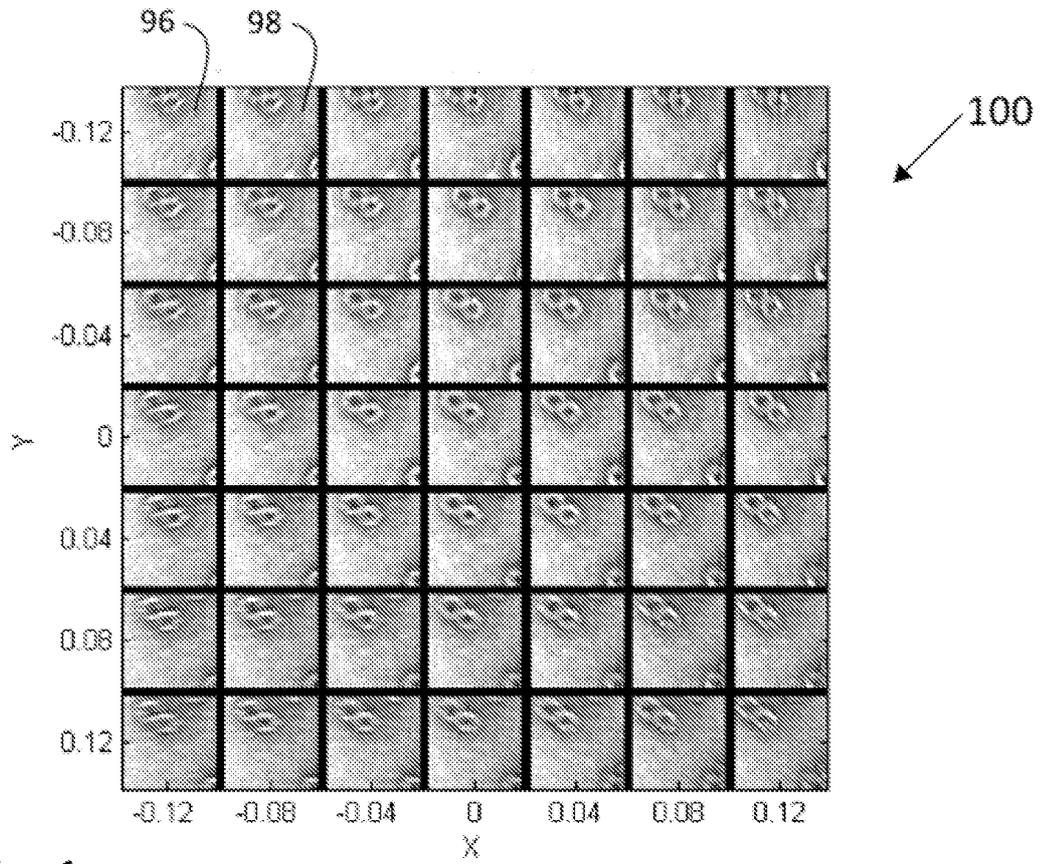


Fig. 1

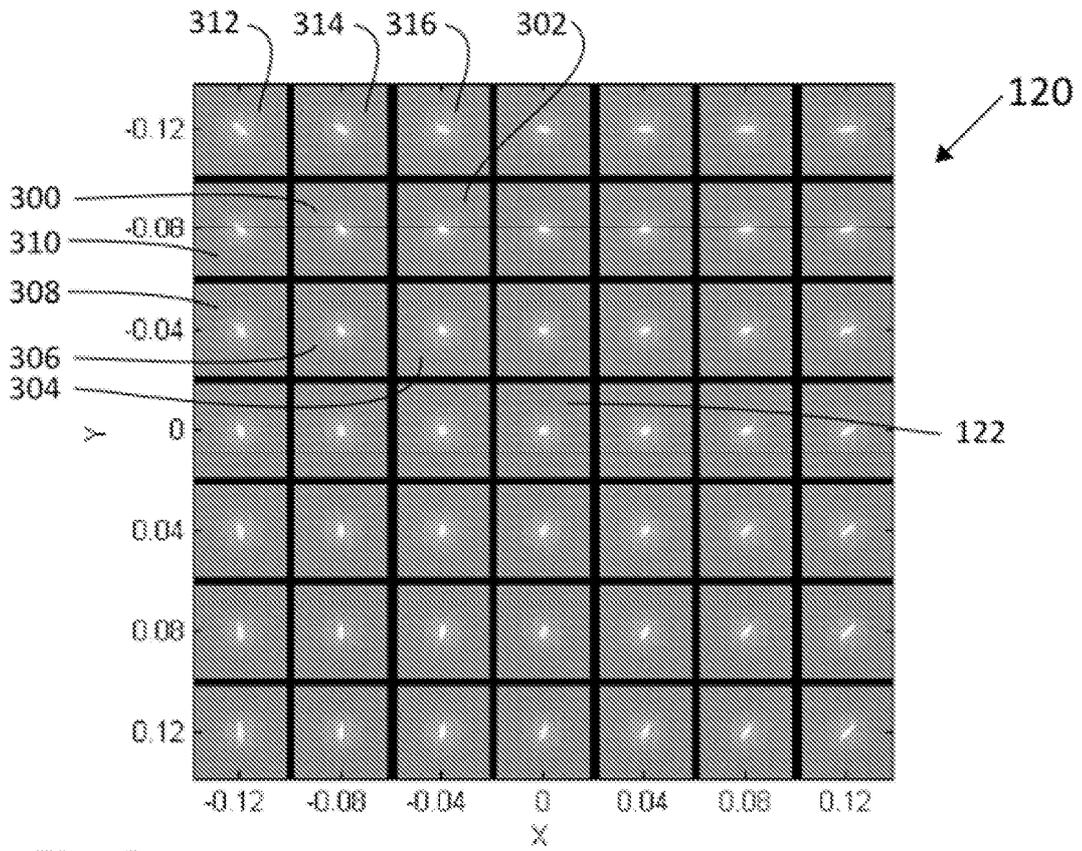


Fig. 2

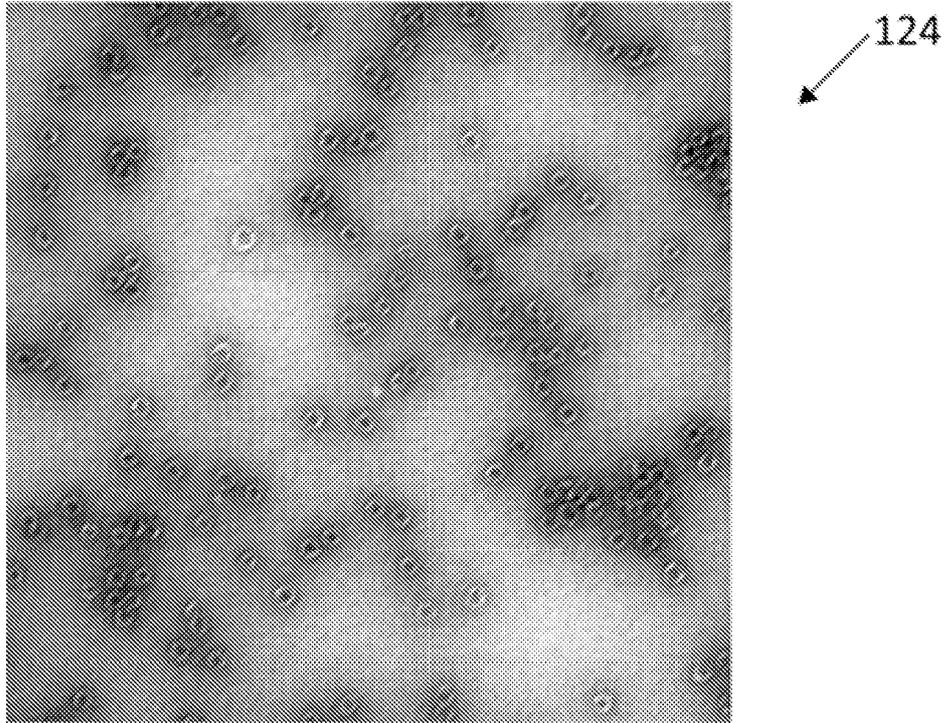


Fig. 3

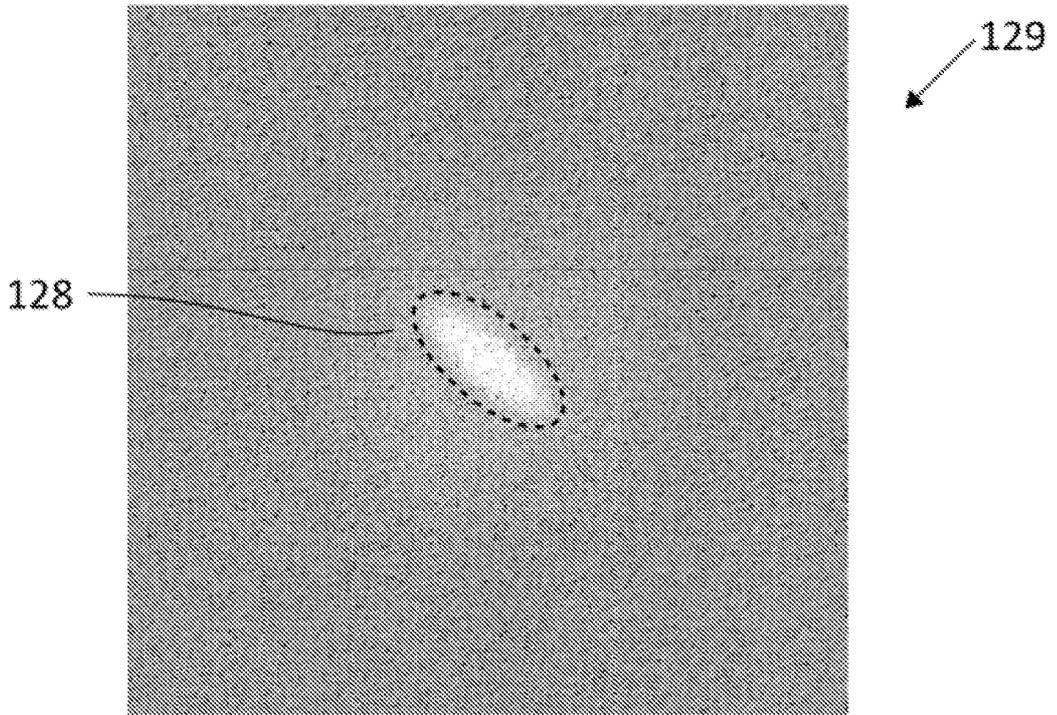


Fig. 4

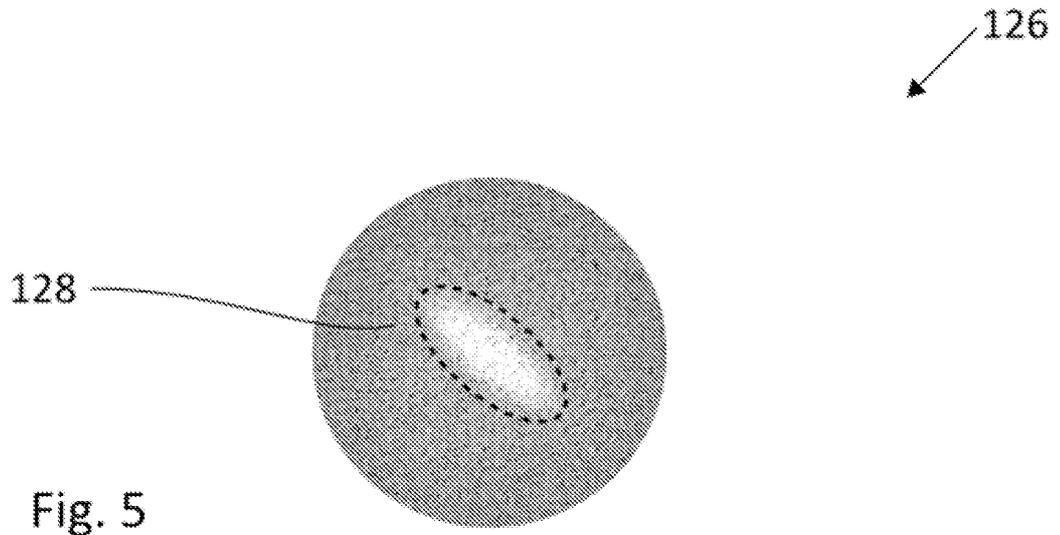


Fig. 5

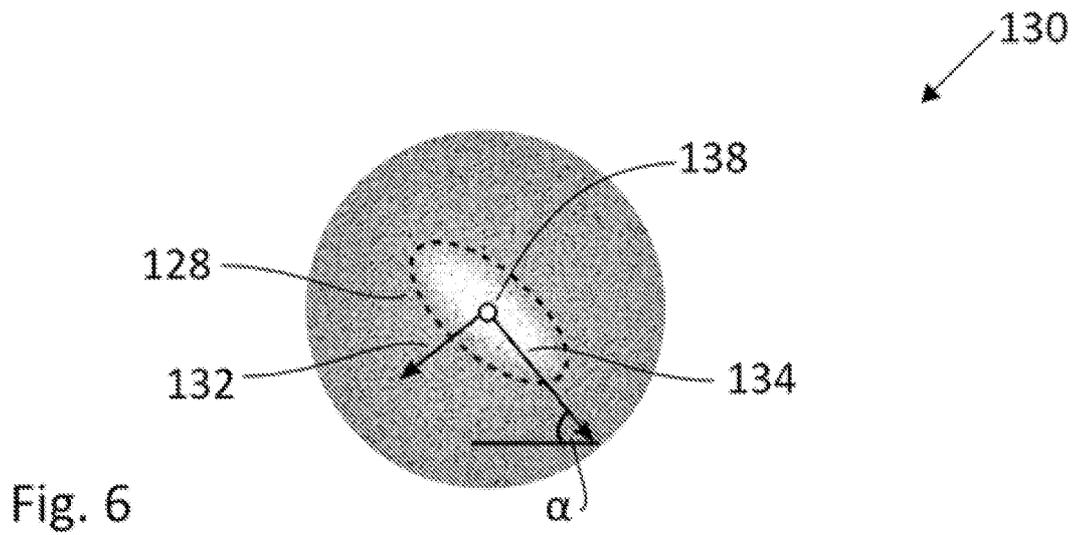


Fig. 6

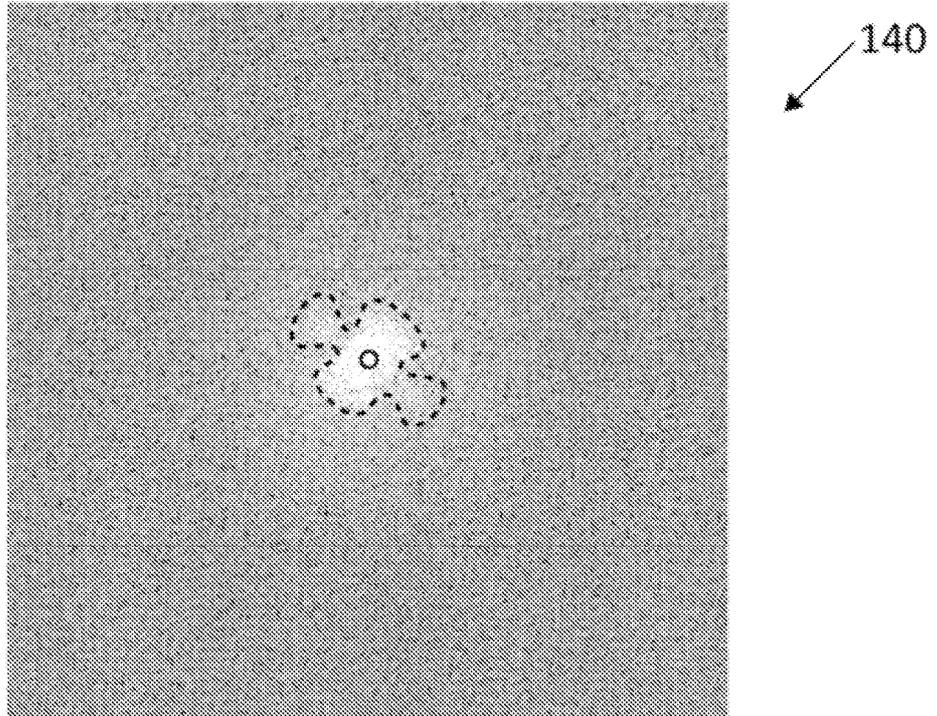


Fig. 7

Fig. 8

