

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 515**

51 Int. Cl.:

H01J 37/05

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2010 E 10771675 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014 EP 2481072**

54 Título: **Filtro de energía por imágenes para partículas cargadas eléctricamente y espectroscopio que incluye el mismo**

30 Prioridad:

24.09.2009 DE 102009044989

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

03.06.2014

73 Titular/es:

**FUNNEMANN, DIETMAR (100.0%)
Galenusstr. 63 D
13187 Berlin, DE**

72 Inventor/es:

FUNNEMANN, DIETMAR

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 464 515 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

Filtro de energía por imágenes para partículas cargadas eléctricamente y espectroscopio que incluye el mismo

La presente invención se refiere a un filtro de energía por imágenes para partículas cargadas eléctricamente y un espectroscopio con un filtro de energía de este tipo.

5 Los filtros de energía se usan para determinar la energía de partículas cargadas, por ejemplo electrones.

Para analizar materiales, en la espectroscopía electrónica se excitan los electrones del material a investigar. Ello es posible realizar, por ejemplo, por medio de electrones irradiados, pero también mediante rayos X o radiación ultravioleta.

10 A continuación se mide la energía cinética de los electrones. Para ello se usa un espectrómetro de electrones mediante el cual es posible determinar el número de electrones excitados con una energía cinética determinada.

Los filtros de energía por imágenes para partículas cargadas eléctricamente se conocen, por ejemplo, por el documento EP 1 559 126.

15 Este filtro de energía se basa en un analizador hemisférico. El analizador hemisférico se compone de dos hemisferios metálicos. Una tiene forma cóncava mientras la otra está conformada convexa. Los centros de curvatura de ambos hemisferios son coincidentes. A los hemisferios se le conectan diferentes voltajes, de manera que entre ambos hemisferios se produzca un campo eléctrico. Los electrones cuya energía debe ser filtrada pueden ahora ser inyectados a través de una brecha entre ambos hemisferios. Los electrones con una energía cinética que se encuentra en un intervalo de energía estrecho (también denominada energía de paso) pueden atravesar el analizador completamente y llegar a un detector dispuesto detrás de la superficie de salida. Los electrones de energía demasiado elevada impactarán sobre el hemisferio exterior, mientras que los electrones de energía demasiado baja impactarán sobre el hemisferio interior.

20 En una primera aproximación, el analizador hemisférico es enfocante, es decir que los electrones con la misma energía son enfocados en el analizador hemisférico, independientemente de su ángulo de incidencia exacto en el diafragma de salida, casi en el mismo punto en la abertura de salida. Consecuentemente, a la salida del analizador hemisférico se pueden detectar electrones de una determinada energía. Mediante el cambio del campo eléctrico entre el hemisferio interior y el hemisferio exterior se puede ajustar la energía de paso.

25 El analizador hemisférico trabaja como filtro de energía, es decir que la energía de las partículas cargadas puede ser especificada. En general, los electrones excitados chocan contra la superficie de entrada del analizador hemisférico bajo ángulos diferentes y/o posiciones diferentes.

30 Las distribuciones de posiciones y ángulos permiten, en principio, conclusiones respecto del origen de las partículas cargadas.

En el caso, por ejemplo, de irradiar una muestra con una fuente de radiación apropiada, por ejemplo una fuente de electrones, es posible extraer electrones de la superficie de la muestra o los electrones de la fuente de electrones pueden ser difractados en la superficie.

35 En el caso de que la superficie de la muestra es reproducida sobre la superficie de entrada del analizador hemisférico, la distribución local de los electrones contiene la información respecto de la constitución de la muestra en la superficie. La distribución de ángulos permite conclusiones respecto de la disposición geométrica de los átomos.

40 No obstante, la distribución de posiciones y ángulos se pierde debido a la propiedad focusante del analizador hemisférico cuando la superficie de salida es reproducida directamente sobre el detector.

Por este motivo, en el documento EP 1 559 126 ya se había propuesto usar dos analizadores hemisféricos conectados en serie. En este caso, el primer analizador hemisférico sirve para dejar pasar solamente las partículas cargadas de una energía de paso, mientras que el segundo analizador hemisférico restaura la distribución de posiciones y ángulos de las partículas cargadas.

45 Para reproducir sobre la entrada del analizador hemisférico postconectado las partículas cargadas que salen del primer analizador hemisférico se usan lentes de transferencia, es decir lentes para partículas cargadas. Mediante esta medida se produce un filtro de energía por imágenes debido a que el segundo analizador hemisférico corrige las distorsiones de imagen del primero.

50 Sin embargo, es conocido que la aberración cromática (error de color) y la aberración esférica (error de apertura) no desaparecen, básicamente, en sistemas ópticos por imágenes para detectar partículas cargadas cuando se usan lentes tubulares estáticos libres de carga espacial y simétricos por rotación. Estos errores inherentes de las lentes de transferencia limitan la eficiencia operacional del sistema y conducen a que el sistema conocido tenga solamente un

ángulo de aceptación reducido, debido a que es demasiado mala la calidad de reproducción de electrones impactantes sobre la superficie de entrada con un mayor ángulo de incidencia.

5 Partiendo del estado actual de la técnica descrito es el objetivo de la presente invención poner a disposición un filtro de energía por imágenes o bien un espectroscopio con un filtro de energía por imágenes de este tipo, que presente una mayor disolución de posición y ángulo y que pueda ser operado con un mayor ángulo de aceptación.

10 Según la invención, este objetivo se consigue mediante un filtro de energía por imágenes para partículas eléctricamente cargadas con un analizador de energía toroidal, preferentemente con un analizador hemisférico, con un plano de entrada y un plano de salida, en el que se ha previsto un elemento de reflexión para partículas eléctricamente cargadas y dispuesto de tal manera que las partículas cargadas que abandonan el analizador de energía toroidal a través del plano de salida sean reflejadas mediante el elemento de reflexión de regreso al analizador de energía toroidal, de manera que las partículas cargadas atraviesen en sentido de marcha inverso una vez más el analizador de energía toroidal.

15 En el sentido de marcha inverso no significa que las partículas cargadas tomen exactamente el mismo camino, sino que atraviesan el analizador de energía desde la superficie de salida hacia la superficie de entrada. En una forma de realización preferente, las partículas cargadas impactan bajo un primer ángulo sobre la superficie de entrada y la abandonan después de haber atravesado dos veces el analizador de energía bajo un segundo ángulo, siendo el primero y el segundo ángulo opuestos iguales, es decir que la radiación incidente, la normal y la radiación emergente están en un plano y el ángulo de incidencia y el ángulo de salida son iguales.

20 Como ya se ha descrito en el documento EP 1 559 126, no es absolutamente necesario usar un analizador hemisférico. En principio, cualquier analizador de energía toroidal es apropiado, por ejemplo también un analizador cilíndrico o un analizador de sector esférico. En el documento EP 1 559 126 se describen ejemplos correspondientes.

Aun cuando seguidamente se describe la presente invención basada en el ejemplo del analizador hemisférico particularmente preferente, se entiende que en su lugar podría usarse cualquier otro analizador de energía toroidal.

25 La disposición según la invención de un espejo de reflexión correspondiente para partículas cargadas asegura, en primer lugar, que es posible prescindir del segundo analizador de energía toroidal. En lugar de eso, las partículas cargadas son reflectadas por el espejo de regreso al primer analizador de energía toroidal.

30 En principio, es posible posicionar el espejo de reflexión directamente en el plano de salida del analizador toroidal. Sin embargo, los espejos de reflexión para partículas cargadas presentan, por regla general, una aberración fija negativa esférica y cromática no despreciable.

Por ello, en una forma de realización preferente se ha previsto que entre el plano de salida y el elemento de reflexión esté dispuesto un dispositivo de lentes de transferencia. Entonces, los dispositivos de lentes de transferencia y el elemento de reflexión pueden ser dispuestos de tal manera que las aberraciones del dispositivo de lentes de transferencia sean reducidas mediante el elemento de reflexión.

35 En este caso, el dispositivo de lentes de transferencia está diseñado de tal manera que reproduce la imagen intermedia ZB_1 en el plano de salida del analizador de energía con un aumento lineal $V_L = ZB_2/ZB_1 < 0$ sobre el elemento de reflexión como imagen intermedia del tamaño ZB_2 .

El dispositivo de lentes de transferencia puede, en principio, estar configurado tal como se describe en el documento EP 1 559 126.

40 En una forma de realización particularmente preferente el aumento lineal es $V_L = -1$. Además, es apropiado que el aumento angular V_W sea negativo y lo mejor que sea $V_W = -1$.

En una forma de realización preferente, el dispositivo de lentes de transferencia presenta al menos dos lentes para partículas cargadas eléctricamente.

45 El elemento de reflexión puede ser un espejo electrostático. Sin embargo, básicamente, es apto cualquier elemento de reflexión mediante el cual se puedan reflejar las partículas cargadas. Mediante la disposición según la invención del elemento de reflexión, las aberraciones cromáticas y/o las aberraciones esféricas del dispositivo de lentes de transferencia pueden ser disminuidas y, consecuentemente, disminuirse los requerimientos de calidad del dispositivo de lentes de transferencia sin que la resolución merme considerablemente. En principio, es más sencillo, y consecuentemente también mucho más económico, corregir los defectos de imagen del dispositivo de lentes de transferencia mediante la adaptación del elemento de reflexión que, mediando grandes complicaciones, mejorar el dispositivo de lentes de transferencia, sobre todo cuando en virtud de consideraciones teóricas el defecto de imagen del dispositivo de lentes de transferencia no puede ser reducido completamente.

50 Consecuentemente, la combinación del elemento de reflexión y dispositivo de lentes de transferencia está en condiciones de reducir los defectos de imagen, presentes básicamente al usar un dispositivo de lentes de

transferencia, y, en el caso ideal, incluso compensarlos.

Además, debido a la combinación de dispositivo de lentes de transferencia y elemento de reflexión, cuyas propiedades ópticas pueden ser influenciadas fácilmente y, en consecuencia, adaptadas, es posible que puedan ser reducidas cualesquiera otras distorsiones de imagen, eventualmente presentes y causadas por sistemas de imágenes y de transferencia externas del analizador de energía. Si, por ejemplo, las partículas cargadas son reproducidas mediante una lente sobre la superficie de entrada del analizador de energía, dicha lente causará un defecto de imagen que, asimismo, puede ser reducido e, incluso, completamente compensado en una operación de calibración mediante el dispositivo de lentes de transferencia y elemento de reflexión.

Debido a que, según la invención, las partículas cargadas ingresan a través de la superficie de entrada del analizador de energía toroidal y también egresan después de la reflexión, se ha previsto en una forma de realización preferente un elemento separador para partículas cargadas. Las partículas incidentes pueden ser separadas de las partículas emergentes mediante dicho elemento separador.

En una forma de realización particularmente preferente, el elemento separador es realizado mediante un deflector magnético con una superficie de entrada para partículas cargadas, una superficie de filtro de energía y una superficie de salida para partículas cargadas de energía filtradas. El deflector magnético está dispuesto de tal manera que las partículas cargadas que impactan en un ángulo de incidencia α , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de entrada del deflector magnético son desviadas por el deflector magnético de tal manera que emergen en un ángulo de salida β , preferentemente menor que 20° , de la superficie del filtro de energía del deflector magnético, y bajo un ángulo de incidencia γ , preferentemente menor que 20° , impactan contra la superficie de entrada del analizador de energía toroidal y que las partículas cargadas que emergen en un ángulo de salida δ de la superficie de entrada del analizador toroidal, impactan en un ángulo de incidencia ϵ , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de filtro de energía del deflector magnético, son desviadas por el deflector magnético, de manera que abandonan bajo un ángulo de salida ζ , preferentemente menor que 20° , la superficie de salida del deflector magnético, estando previsto, preferentemente, una o más lentes entre el deflector magnético y el analizador toroidal.

En otras palabras, el deflector magnético es usado para separar del haz entrante al analizador de energía el haz emergente del analizador de energía. Los deflectores magnéticos son conocidos en el actual estado de la técnica.

El concepto superficie de filtración de energía fue adoptado para designar la superficie del deflector magnético que está de cara al filtro de energía, es decir la superficie de la que emergen las partículas cargadas no filtradas y a la que ingresan nuevamente después de la filtración de energía.

Consecuentemente, la superficie misma no debe tener propiedades filtrantes de energía, aun cuando es el caso en formas de realización especiales. Debido a que en un deflector magnético, el radio de curvatura de las partículas cargadas depende de la velocidad y, por lo tanto, de la energía, sería posible, mediante la disposición de diafragmas sobre la superficie de filtración de energía, dotar a ella misma de la propiedad de filtrar energía.

El analizador de energía por imágenes según la invención puede, en principio, ser usado en cualquier espectroscopio para partículas cargadas. Preferentemente, el analizador de energía es usado en un espectroscopio electrónico en el que las partículas cargadas a investigar son electrones.

En una forma de realización preferente, el espectroscopio presenta un detector para el registro de las partículas cargadas salientes a través de la superficie de entrada del analizador toroidal, siendo el detector, preferentemente, un detector CCD. La información posicional que poseen los electrones de energía filtrada puede ser registrada mediante el detector CCD. En este caso, el detector está, preferentemente, dispuesto de tal manera que registra las partículas cargadas emergentes de la superficie de salida del deflector magnético. En una forma de realización particular, es posible usar al menos una placa multicanal dispuesta delante de una pantalla fluorescente, de manera que el detector CCD sea parte de una cámara y con ayuda de un sistema óptico de luz reproduzca sobre el detector CCD la repartición de intensidad que se produce sobre la pantalla fluorescente.

Además, ventajosamente, el espectroscopio presenta un elemento de recepción de muestras dispuesto de tal manera que las partículas cargadas emitidas por una muestra dispuesta sobre el elemento de recepción de muestras impacten contra la superficie de entrada del analizador de energía toroidal, dado el caso después de pasar un sistema óptico de reproducción bajo un ángulo de entrada γ , preferentemente menor que 20° , o en el caso de usar un filtro de energía con deflector magnético impacten bajo un ángulo de entrada α , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de entrada del deflector magnético.

Además, puede estar prevista una fuente de radiación, preferentemente una fuente de electrones, una fuente de rayos X o una fuente de luz ultravioleta para aplicar radiación sobre una muestra recibida en el elemento de recepción de muestras. En este caso, el deflector magnético puede tener una superficie de entrada de radiación y la fuente de radiación estar dispuesta de tal manera que la radiación impacte sobre la superficie de entrada de radiación bajo un ángulo de incidencia β , preferentemente menor que 10° , y desviada por el deflector magnético de tal manera que emerge de la superficie de entrada del deflector magnético en un ángulo de salida θ , preferentemente menor que 10° , y orientado hacia el elemento de recepción de muestras. Con otras palabras, el

deflector magnético tiene una doble función. Por una parte, asegura que las partículas cargadas entrantes al analizador de energía sean separadas de las partículas salientes del analizador de energía. Por otra parte, el deflector magnético puede ser usado para separar los electrones provenientes del cañón electrónico (electrones primarios) de los electrones excitados provenientes de la muestra.

5 En otra forma de realización preferente, el plano dispersivo del analizador toroidal está dispuesto, esencialmente, perpendicular a una línea imaginaria extendida entre el elemento de recepción de muestras y el detector. Ello tiene la ventaja de que el dispositivo de lentes de transferencia y el elemento receptor están, espacialmente, claramente separados del dispositivo detector, de manera que existe una mayor libertad para la disposición y dimensionamiento de los diferentes elementos.

10 En una forma de realización preferente, el espectroscopio es un espectroscopio electrónico por imágenes ESCA ("Electron Spectroscopy for Chemical Analysis"). No obstante, alternativamente, el filtro de energía según la invención, podría ser un espectroscopio electrónico por imágenes Auger, un LEEM ("Low Energy Electron Microscope") o un microscopio de iones secundarios.

15 En otra forma de realización preferente, la distribución de ángulos de las partículas cargadas generadas en la muestra, por regla general electrones, es reproducida con energía filtrada sobre el detector. En este caso, el espectroscopio puede estar configurado como LEED ("Low Energy Electron Diffraction") o como XPD ("X-ray photoelectron diffraction").

Además, es posible usar el filtro de energía según la invención en mediciones de resolución de tiempos.

20 Otras ventajas, características y posibilidades de aplicación se aclaran mediante la descripción siguiente de una forma de realización preferente y las figuras correspondientes. Muestran:

La figura 1, una representación esquematizada de un dispositivo de lentes de transferencia,

la figura 2, una representación esquematizada de una combinación de dispositivo de lentes de transferencia y elemento de reflexión,

la figura 3, una representación esquematizada de un analizador hemisférico con elemento de reflexión y

25 la figura 4, una representación esquematizada de un espectroscopio según la invención.

En la figura 1 se muestra una representación esquematizada de un dispositivo de lentes de transferencia conocido según el estado actual de la técnica. El dispositivo de lentes de transferencia se compone de un doblete en disposición f-2f-f. Con esta disposición, el plano de salida o bien el resquicio de salida de tamaño G puede ser representado como imagen negativa de tamaño B. Tal lente de transferencia se usa, por ejemplo, entre dos analizadores hemisféricos, tal como se describe en el documento EP 1 559 126. El sistema de lentes de transferencia tiene distorsiones de imagen, en particular aberraciones esféricas y cromáticas. Básicamente, según el teorema de Scherzer, dichas distorsiones de imagen no pueden ser evitadas por completo.

30 Las distorsiones de imagen repercuten en la calidad de reproducción y la transmisión alcanzable por un espectroscopio. Además de ello, las distorsiones de imagen de tales lentes de transferencia aportan más a la imagen final que lo que es el caso en otros sistemas de lentes, debido a que el dispositivo de lentes de transferencia no amplifica. Debido a que la magnitud de las distorsiones de imagen se torna tanto mayor cuanto mayor es el ángulo espacial utilizado, en los espectroscopios conocidos es necesario delimitar el ángulo de aceptación y, consecuentemente, la intensidad transmitida.

40 Por este motivo, según la invención se usa un elemento de reflexión que refleja las partículas cargadas, por ejemplo los electrones, y los envía de regreso a través del analizador de energía toroidal. Una forma de realización del dispositivo según la invención se muestra en la figura 2. En este caso, en una forma de realización preferente se ha previsto que el elemento de reflexión 2 esté ligeramente curvado para corregir las aberraciones del doblete de lentes del dispositivo de lentes de transferencia 3.

45 Básicamente, también sería posible posicionar el espejo de reflexión 2 directamente en la salida del analizador de energía. No obstante, la mayoría de los mismos elementos de reflexión para partículas cargadas tienen una aberración fija, esférica negativa y cromática. Sin embargo, en esta posición se desea un espejo ideal sin aberración. También puede ser apropiado un espejo con aberración negativa ajustable, porque de esta manera pueden ser reducidas, eventualmente, aberraciones existentes en otra posición.

De esta manera se usa, apropiadamente, la disposición mostrada en la figura 2.

50 En la figura 3 se muestra un analizador hemisférico 30 con lente de transferencia 3 y espejo de reflexión 2. El analizador hemisférico 30 tiene una superficie de entrada 4 y una superficie de salida 1. Los electrones que ingresan en la superficie de entrada 4 del analizador son desviados gracias a la diferencia de potencial entre un hemisferio 31 interior y un hemisferio 32 exterior. Mediante el ajuste de la diferencia de potencial se puede determinar la energía

que tienen aquellos electrones que han llegado a la superficie de salida 1 del analizador de energía. Debido a la característica focusante del analizador hemisférico, todos los electrones de igual energía que impacten con ángulos de incidencia diferentes sobre la superficie de entrada 4 del analizador hemisférico son desviados al mismo punto de la superficie de salida 1. Consecuentemente, mediante el analizador hemisférico es posible contar los electrones de una determinada energía. Para modificar la diferencia de potencial es posible adjudicar un determinado número de electrones a cada valor de energía.

No obstante, en este caso se pierde la información de posiciones y ángulos, es decir la información respecto del ángulo de incidencia en la superficie de entrada del analizador hemisférico y la información de posición de la que, sin embargo, podrían sacarse conclusiones acerca de la posición de procedencia de las partículas cargadas. Por este motivo, los electrones emergentes del plano de salida 1 del analizador de energía son reproducidos mediante el dispositivo de lentes de transferencia 3 sobre el elemento de reflexión 2 y reflejados allí, de manera que los electrones reflejados son reproducidos mediante el dispositivo de lentes de transferencia 3 sobre el plano de salida 1 del analizador de energía. A continuación, los electrones pasan a través del analizador de energía en sentido inverso, de manera que del plano de salida 4 salen del analizador de energía en el sentido de la flecha. Por lo tanto, el analizador de energía es atravesado dos veces. A continuación, los electrones emergentes son separados de los electrones entrantes mediante un campo magnético a describir más adelante.

Mediante el uso del elemento de reflexión 2 que sirve como espejo de corrección es posible reducir considerablemente las distorsiones de imagen del dispositivo de lentes de transferencia 3.

En la figura 4 se muestra un espectroscopio según la invención. Una muestra 7 a investigar está dispuesta en un portamuestras. La muestra puede ser irradiada mediante un haz de rayos X 8. Alternativamente o en combinación con ello, también es posible aplicar sobre la muestra electrones 21 de un cañón electrónico. Para aplicar electrones 21 del cañón electrónico sobre la muestra se ha previsto un deflector magnético 5 que desvía los electrones 21 de tal manera que son reproducidos sobre la muestra mediante el objetivo 10 y la lente de inmersión 9. Los rayos X 8 y/o los electrones 21 interactuarán con la superficie de la muestra 7 a investigar y, según el potencial ajustado, son reflejados allí o extraen electrones.

La energía de los electrones así como la dirección del haz o la distribución de la posición permiten la conclusión acerca de las propiedades de la muestra. Consecuentemente, los electrones extraídos son reproducidos en el deflector magnético 5 mediante la lente de inmersión 9 y el objetivo 10. El deflector de campo magnético 5 desvía los electrones de tal manera que mediante una lente 6 los reproduce sobre el plano de entrada 4 del analizador de energía 30, que en este caso es un analizador hemisférico y se compone de un hemisferio 31 interior y un hemisferio 32 exterior.

Mediante la selección de la diferencia de potencial entre el hemisferio 31 interior y el hemisferio 32 exterior y la anchura del resquicio de salida 1 del analizador de energía se determina la energía que tienen aquellos electrones que salen del resquicio de salida 1. Dichos electrones son reproducidos sobre el elemento de reflexión 2 por medio del dispositivo de lentes de transferencia 3, que refleja los electrones de tal manera que son retroreproducidos sobre el resquicio de salida 1 por medio del dispositivo de lentes de transferencia 3. Los electrones reflejados pasan entonces nuevamente por el analizador hemisférico 30 y emergen del analizador de energía por medio de la superficie de entrada 4. Después son enfocados nuevamente por la lente 6 al deflector de campo magnético que pasa los electrones emergentes a través de un sistema de transferencia 13 compuesto de un detector 15, lentes de transferencia 16 y lentes intermedias 17.

Los electrones son reproducidos, entonces, por medio del deflector 18 y la lente de proyección 19 sobre un detector 20 que, en este caso, es un detector CCD.

Por lo tanto, el espectroscopio se compone de las lentes de objetivo 19, del deflector de campo magnético 12, del sistema de transferencia 13, del dispositivo de proyección/ detección 14 y del analizador de energía 30.

En la figura 4, el plano dispersivo del analizador de energía 30 se encuentra en el plano del papel, en el que se extiende también una línea imaginaria entre la muestra 7 y el detector 20. Sin embargo, es apropiado que el plano dispersivo se encuentre perpendicular al plano del papel, ya que entonces, debido a la separación espacial del dispositivo de proyección/ detección 14 y elemento de reflexión 2, existe una mayor libertad para el dimensionamiento y posicionamiento de los diferentes componentes.

Lista de referencias

- 1 resquicio de salida
 - 2 elemento de reflexión
 - 3 dispositivo de lentes de transferencia
 - 5 4 superficie de entrada
 - 5 deflector de campo magnético
 - 6 lente
 - 7 muestra
 - 8 haz de rayos X
 - 10 9 lente de inmersión
 - 10 objetivo
 - 12 deflector de campo magnético
 - 13 sistema óptico de transferencia
 - 14 dispositivo de proyección/ detección
 - 15 15 detector
 - 16 lentes de transferencia
 - 17 lentes intermedias
 - 18 deflector
 - 19 lente de proyector
 - 20 20 detector
 - 21 electrones
 - 30 analizador de energía
 - 31 hemisferio interior
 - 32 hemisferio exterior
- 25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Filtro de energía por imágenes para partículas eléctricamente cargadas, con un analizador de energía toroidal (30), preferentemente con un analizador hemisférico, con un plano de entrada y un plano de salida, caracterizado por un elemento de reflexión (2) para partículas cargadas eléctricamente dispuesto de tal manera que las partículas cargadas que abandonan el analizador de energía toroidal (30) a través del plano de salida son reflejadas mediante el elemento de reflexión (2) de regreso al analizador de energía toroidal (30), de manera que las partículas cargadas atraviesen en sentido de marcha inverso una vez más el analizador de energía toroidal (30).
- 10 2. Filtro de energía según la reivindicación 1, caracterizado porque entre el plano de salida y el elemento de reflexión está dispuesto un dispositivo de lentes de transferencia (3), presentando el dispositivo de lentes de transferencia (3), preferentemente, un aumento lineal de $V_L = ZB_2/ZB_1 < 0$ y particularmente preferente entre - 0,9 y -1,1, y lo mejor de -1.
- 15 3. Filtro de energía según la reivindicación 2, caracterizado además porque el dispositivo de lentes de transferencia (3) presenta al menos dos elementos lenticulares para partículas cargadas eléctricamente.
4. Filtro de energía según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el elemento de reflexión (2) es un espejo electrostático.
5. Filtro de energía según una de las reivindicaciones 1 a 4, con un deflector magnético (12) con una superficie de entrada (4) para partículas cargadas, una superficie de filtro de energía y una superficie de salida para partículas cargadas de energía filtradas, dispuesto de tal manera que

20 las partículas cargadas que impactan en un ángulo de incidencia α , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de entrada (4) del deflector magnético (12) son desviadas por el deflector magnético (12) de tal manera que emergen en un ángulo de salida β , preferentemente menor que 20° , de la superficie del filtro de energía del deflector magnético (12), y bajo un ángulo de incidencia γ , preferentemente menor que 20° , impactan contra la superficie de entrada del analizador de energía toroidal (30) y

25 que las partículas cargadas que emergen en un ángulo de salida δ de la superficie de entrada del analizador toroidal (30), impactan en un ángulo de incidencia ϵ , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de filtro de energía del deflector magnético (12), son desviadas por el deflector magnético (12), de manera que abandonan bajo un ángulo de salida ζ , preferentemente menor que 20° , la superficie de salida del deflector magnético (12), estando previsto, preferentemente, una lente de inmersión (9) entre el deflector magnético (12) y el analizador toroidal (30).
- 30 6. Espectroscopio para partículas cargadas, con un filtro de energía según una de las reivindicaciones 1 a 5, siendo el espectroscopio, preferentemente, un espectroscopio electrónico.
7. Espectroscopio según la reivindicación 6, con un detector (15) para el registro de las partículas cargadas emergentes a través de la superficie de entrada del analizador toroidal (30), siendo el detector (15), preferentemente, un detector CCD y, particularmente preferente, un multiplicador de placas de canales con pantalla fluorescente y detector CCD subsiguiente.
- 35 8. Espectroscopio según la reivindicación 7 con un filtro de energía según la reivindicación 6, estando previsto que el detector (15) detecte las partículas cargadas emergentes a través de la superficie de salida del deflector magnético (12).
9. Espectroscopio según una de las reivindicaciones 6 a 8, con un elemento de recepción de muestras dispuesto de tal manera que las partículas cargadas emitidas por una muestra (7) dispuesta sobre el elemento de recepción de muestras impacten contra la superficie de entrada del analizador de energía toroidal (30), eventualmente después de atravesar un sistema óptico de reproducción bajo un ángulo de entrada γ , preferentemente menor que 20° o, en el caso de usar un filtro de energía según la reivindicación 6 impacten bajo un ángulo de entrada α , preferentemente menor que 20° , sobre la superficie de entrada del deflector magnético (12).
- 40 10. Espectroscopio según la reivindicación 9, con una fuente de radiación, preferentemente un cañón electrónico, para aplicar radiación sobre una muestra (7) recibida en el elemento de recepción de muestras.
11. Espectroscopio según la reivindicación 10, con un filtro de energía según la reivindicación 5, caracterizado además porque el deflector magnético (12) tiene una superficie de entrada de radiación y la fuente de radiación está dispuesta de tal manera que la radiación impacta sobre la superficie de entrada de radiación bajo un ángulo de incidencia η , preferentemente menor que 10° , y desviada por el deflector magnético (12) de tal manera que emerge de la superficie de entrada del deflector magnético (12) en un ángulo de salida θ , preferentemente menor que 10° , y es orientado hacia el elemento de recepción de muestras.
- 50 12. Espectroscopio según una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado además porque el plano dispersivo del analizador toroidal (30) está dispuesto, esencialmente, perpendicular a una línea imaginaria extendida entre el elemento de recepción de muestras y el detector (15).

13. Espectroscopio según una de las reivindicaciones 6 a 12, caracterizado además porque es un espectroscopio electrónico ESCA.

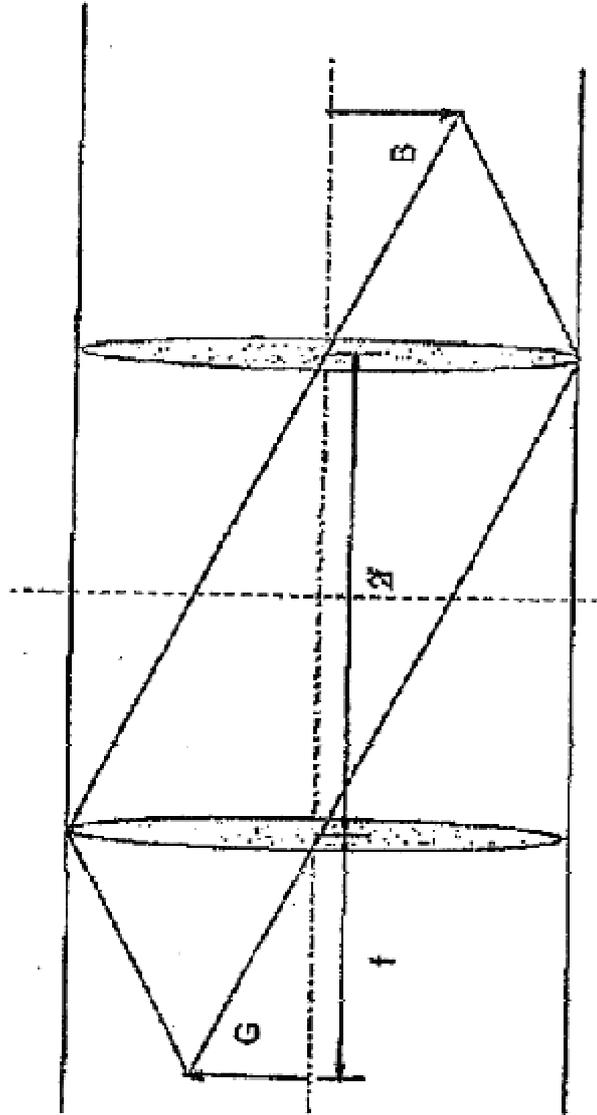


Figure 1

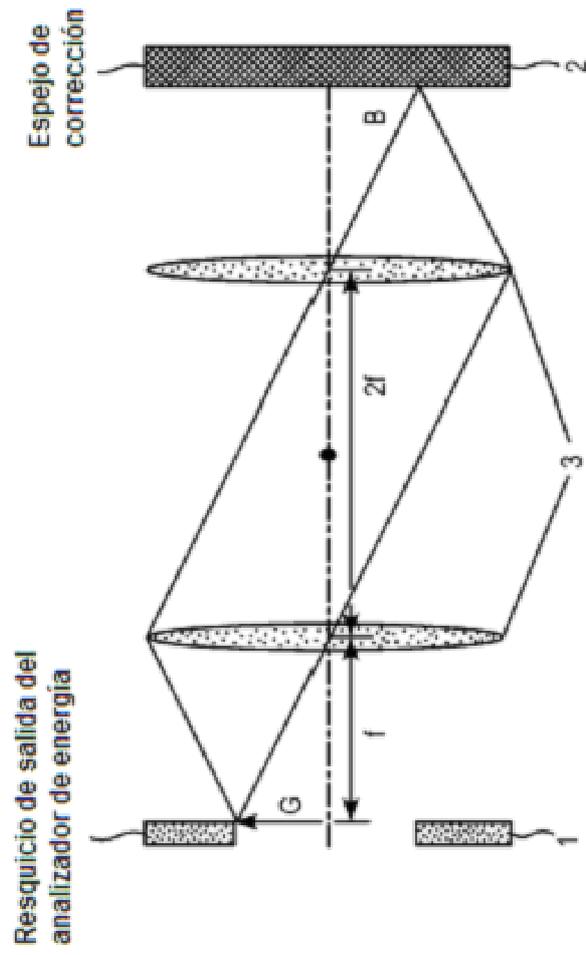


Figura 2

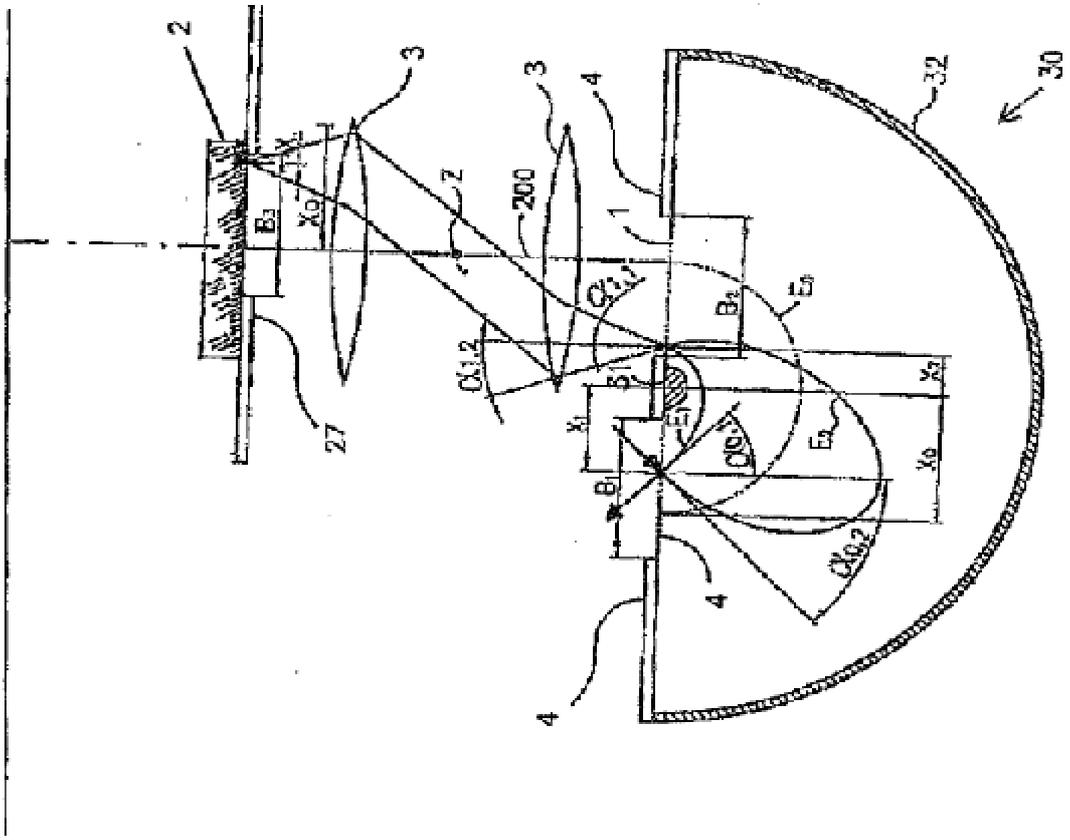


Figura 3

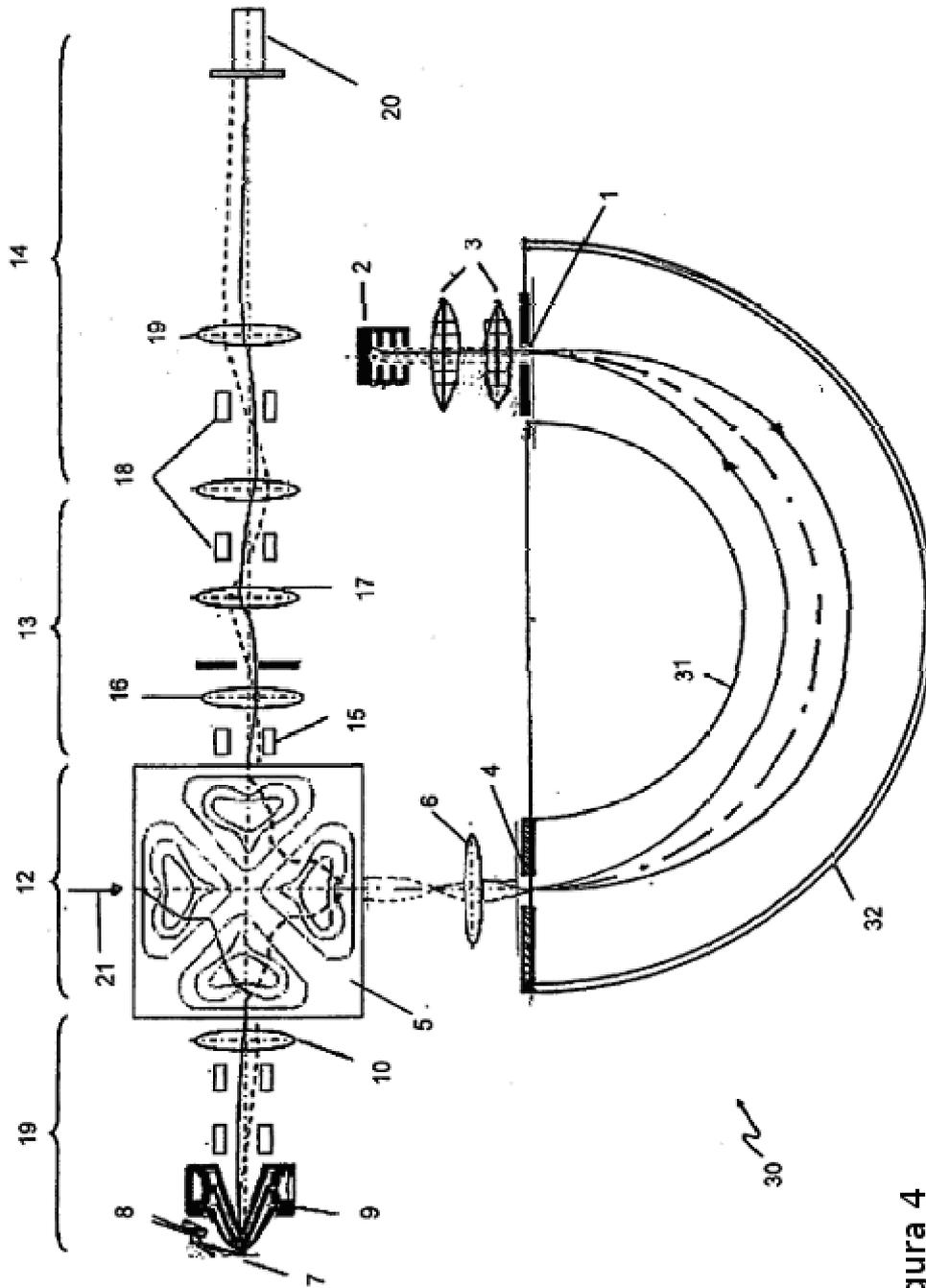


Figura 4