

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 794**

51 Int. Cl.:

H01J 49/06 (2006.01)

H01J 37/05 (2006.01)

H01J 49/48 (2006.01)

G01N 23/2273 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.03.2012 PCT/SE2012/050251**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2013 WO13133739**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.03.2012 E 12870629 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 2823504**

54 Título: **Disposición analizadora para espectrómetro de partículas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.10.2018

73 Titular/es:

**SCIENTA OMICRON AB (100.0%)
Box 15120
750 15 Uppsala, SE**

72 Inventor/es:

WANNBERG, BJÖRN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 687 794 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

Disposición analizadora para espectrómetro de partículas

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método y a una disposición analizadora para analizar, por ejemplo, las energías, las direcciones de partida y las posiciones de partida de partículas cargadas emitidas desde una muestra emisora de partículas, y a un espectrómetro de partículas que comprende dicha disposición analizadora. En particular, la presente invención se refiere a un método y una disposición analizadora para uso en un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico.

Antecedentes

15 Un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico de acuerdo con la técnica anterior se ilustra en la figura 1. En un espectrómetro fotoelectrónico 1 de tipo con deflector hemisférico, un componente central es la región de medición 3 en la que se analizan las energías de los electrones. La región de medición 3 está formada por dos hemisferios concéntricos 5, montados sobre una placa de base 7, y con un campo electrostático aplicado entre ellos. Los electrones entran en la región de medición 3 a través de una entrada 8 y los electrones que entran en la región
20 entre los hemisferios 5 con una dirección cercana a perpendicular a la placa de base 7 son desviados por el campo electrostático, y aquellos electrones que tienen una energía cinética dentro de cierto intervalo definido por el campo de desviación alcanzarán una disposición detectora 9 después de haber viajado a través de un semicírculo. En un instrumento típico, los electrones son transportados desde su fuente (normalmente una muestra 11 que emite electrones después de la excitación con fotones, electrones u otras partículas) hasta la entrada 8 de los hemisferios por un sistema de lentes electrostáticas 13 que comprende una pluralidad de lentes L1-L3 que tienen un eje óptico común y sustancialmente recto 15.

Para la siguiente descripción, se usará un sistema de coordenadas cartesianas con un eje z a lo largo del eje óptico 15 del sistema de lentes 13 (en la mayoría de los casos un eje de simetría rotacional), y con los hemisferios simétricos con respecto al plano (y, z). Las direcciones de las trayectorias de electrones se describen mediante sus ángulos θ_x contra el plano (y, z) y θ_y contra el plano (x, z).

El sistema de lentes 13 y la disposición detectora 9 aceptarán solamente electrones que son emitidos dentro de un área limitada perpendicular al eje de las lentes 15 y dentro de un intervalo angular limitado. Además, la fuente tiene que estar situada dentro de un intervalo estrecho en la dirección z para conseguir las mejores propiedades (en términos de sensibilidad y resolución). Esto necesita montar la muestra sobre un manipulador 17 que permita tanto traslaciones como rotaciones en todas las direcciones de coordenadas, es decir seis grados de libertad.

En muchas aplicaciones de, por ejemplo, espectroscopía fotoelectrónica resuelta en ángulo (ARPES) una medición completa requiere detección completa de un ángulo sólido con una abertura total del cono de 30 grados desde un ángulo bien alineado. Dependiendo de la muestra y la energía de excitación/energía cinética, el intervalo angular requerido puede variar. Los requisitos de resolución angular también varían con la aplicación pero normalmente varían desde 1 grado descendiendo hasta mejor de 0,1 grados. En la resolución energética, el alcance deseado es de 0,5 eV descendiendo hasta 0,5 meV dependiendo de la aplicación. Con el fin de conseguir una medición de alta resolución, la disposición analizadora debe tener suficiente resolución angular y energética, pero dado que la disposición analizadora hemisférica solamente acepta electrones emitidos dentro de un intervalo angular limitado perpendicular al eje de las lentes 15, el manipulador de muestras 17 debe tener movimientos de muy alta precisión y repetibilidad. El manipulador 17 es necesario para hacer girar e inclinar de forma precisa la muestra para acumular el completo conjunto de datos de ángulo sólido de 30 grados.

La distribución energética de electrones emitidos desde una muestra está sujeta a un ensanchamiento térmico que viene dado por $\Delta E = 3,5 \cdot k_B [eV/K] \cdot T [K]$, donde ΔE es la distribución energética en eV, k_B es la constante de Boltzmann, y T es la temperatura en grados Kelvin. Por lo tanto, con el fin de conseguir la resolución energética deseada es imperativo que la muestra 11 pueda ser refrigerada a temperaturas muy bajas, por ejemplo un ensanchamiento de < 1 meV requiere una temperatura de la muestra de, como máximo, 3 K.

Los hemisferios 5 dispersan los electrones con respecto a su energía a lo largo de la dirección y en el plano detector (que coincide con el plano de la entrada 8 de la región de medición 3 en la disposición analizadora hemisférica). En la dirección x, la posición en el plano detector es una imagen directa de la coordenada x en el plano de la entrada 8 de los hemisferios 5. La entrada 8 de los hemisferios 5 está formada como una hendidura estrecha en la dirección x, denominada en lo sucesivo la hendidura de entrada de la región de medición o simplemente la hendidura de entrada. Cuando se permite a los electrones entrar en los hemisferios 5 a través de la hendidura de entrada estrecha 8, una disposición detectora bidimensional 9 proporcionará simultáneamente información sobre la distribución energética y la distribución a lo largo de la hendidura de entrada 8. La disposición detectora bidimensional 9 normalmente comprende una placa multiplicadora de electrones multicanal (MCP) 19 que está dispuesta en el mismo plano que la hendidura de entrada 8 de los hemisferios 5 y que genera una señal eléctrica medible en la

posición de un electrón entrante, que puede registrarse a continuación ópticamente mediante una pantalla de fósforo y una videocámara 21 o como un pulso eléctrico por ejemplo en una línea de retardo o un detector de ánodo resistivo. Como alternativa, algunos de los electrones seleccionados por energía pueden analizarse adicionalmente, en particular con respecto a su espín, después de abandonar la región del hemisferio a través de una abertura de salida 23 que conduce a un detector de espín 25. En un tipo de detector de espín, los electrones que abandonan los hemisferios 5 con una dirección cercana a la dirección z (negativa) son transmitidos a través de una secuencia que consiste en un primer sistema de lentes, un deflector a 90 grados y un segundo sistema de lentes sobre una diana, después de lo cual se mide la distribución de los electrones dispersados. Algunos instrumentos incluyen dos de dichos detectores de espín montados con los deflectores a un ángulo de 90 grados entre sí (es decir uno flexionado en el plano (y, z) y uno paralelo al plano (x, z)), con sus aberturas de entrada situadas en el plano de simetría (y, z) de los hemisferios, en diferentes posiciones radiales (y) en cada lado de un detector MCP.

Para un campo eléctrico dado entre los hemisferios 5, electrones de una energía cinética particular, llamada la energía de paso (E_p), golpearán el centro del detector MCP 19, y un intervalo llamado la ventana de energía estará dentro del área sensible de la MCP. La dispersión de energía (dy/dE) es inversamente proporcional a E_p , mientras que la ventana de energía es directamente proporcional a E_p . Con el fin de conseguir un compromiso adecuado entre resolución energética y tasa de información, es, por lo tanto, necesario habitualmente ajustar la energía cinética E_k de los electrones emitidos a la energía de paso apropiada. Este ajuste de energía es realizado por el sistema de lentes 13. Este consiste en una serie de elementos de lente L1-L3 en forma de electrodos concéntricos (cilindros, conos truncados, aberturas, etc.) dispuestos a lo largo del eje óptico 15, cada uno conectado a una fuente de tensión. Además de proporcionar el ajuste de energía (aceleración o retardo), el sistema de lentes 13 también permite colocar la muestra a una distancia conveniente de los hemisferios 5 y, lo más importante en el presente contexto, puede proporcionar control de la distribución de los electrones en el plano de la hendidura de entrada 8 de los hemisferios. La aceleración o el retardo está controlado directamente por la diferencia de potencial entre la muestra 11 y la entrada del hemisferio 8, mientras que las otras tensiones de lente se usan para controlar la distribución de electrones. El sistema de lentes 13 puede accionarse en dos modos diferentes, denominados modo de formación de imágenes y de resolución de ángulos (angular), respectivamente. En el modo de formación de imágenes, existe (hasta primer orden) una correspondencia punto por punto entre el punto de emisión y la posición (x, y) en el plano de la hendidura de entrada 8, independiente del ángulo de despegue desde la muestra 11. La hendidura de entrada 8 seleccionará entonces electrones que son emitidos desde un área de la muestra con la misma forma que la hendidura de entrada, y un tamaño dado por el aumento de la lente, es decir normalmente dentro de un estrecho intervalo en la dirección y. En el modo angular, las tensiones de las lentes se disponen, en su lugar, de tal manera que los electrones emitidos con el mismo ángulo (θ_x, θ_y) contra el eje de las lentes sean enfocados en el mismo punto (x, y) en el plano 26 de la hendidura de entrada 8, tal como se ilustra en la figura 2, en la que los ejes y y z se dibujan en unidades arbitrarias y a diferentes escalas. En este caso, la posición final es, en primer orden, independiente de la posición de partida, que es entonces bastante no crítica. Los electrones aceptados por la hendidura de entrada 8 tienen entonces sus ángulos de despegue en la dirección y dentro de un estrecho intervalo, definido por la anchura de la hendidura de entrada y la dispersión angular ($dy/d\theta_y$), mientras que diferentes ángulos de despegue en la dirección x se distribuyen a lo largo de la hendidura de entrada 8. La dispersión angular es, sin embargo, igual en las direcciones x e y, debido a la simetría rotacional ($dx/d\theta_x = dy/d\theta_y$) del sistema de lentes. Tanto el aumento en el modo de formación de imágenes como la dispersión angular en el modo angular pueden seleccionarse a voluntad y mantenerse constantes durante grandes intervalos en (E_k/E_p) ajustando las tensiones de las lentes de acuerdo con funciones calculadas previamente.

La resolución energética de los hemisferios 5 a una energía de paso dada está influida por la anchura de la hendidura de entrada 8 y la extensión angular del haz de electrones en la dirección radial a medida que entra en los hemisferios (es decir extensión en dy/dz). Para cada tamaño de la hendidura de entrada 8 existe una extensión angular correspondiente que proporciona la combinación óptima de intensidad y resolución. Para hendiduras de entrada estrechas, es decir resolución energética elevada, la extensión angular correspondiente es bastante pequeña, normalmente 1-2 grados. Esta extensión angular se define combinando la hendidura de entrada 8 con otra hendidura 27 (en lo sucesivo denominada como la hendidura de abertura) alguna distancia antes de ésta, tal como se ilustra en la figura 3. En la dirección a lo largo de la hendidura de entrada (plano (x, z)) no existen dichas restricciones en ángulos a partir de requisitos de resolución. Dado que el ángulo de salida contra el plano medio (y, z) después del hemisferio es el mismo que el ángulo de entrada (dx/dz) contra este plano (véase en la figura 1 la trayectoria en el plano medio y la trayectoria en otro plano), las direcciones de aquellos electrones que pretenden alcanzar las aberturas de entrada del detector de espín tienen que estar bastante cerca de la dirección z, sin embargo.

Con el fin de compensar el alineamiento erróneo del punto de emisión de la muestra emisora 11 con respecto al eje óptico 15 del sistema de lentes 13, un deflector que actúa en la dirección x y un deflector que actúa en la dirección y están normalmente incorporados en el sistema de lentes. Los deflectores x e y pueden estar colocados uno detrás de otro a lo largo del eje de las lentes 15, pero más a menudo se combinan en un conjunto deflector 29 de cuatro electrodos, cada uno de los cuales cubre un ángulo azimutal cercano a 90 grados (véase la figura 1).

A continuación, se describirán algunos de los problemas con espectrómetros de partículas de acuerdo con la técnica anterior, con referencia a la figura 1. Por conveniencia, la descripción se referirá principalmente al modo operativo de

resolución de ángulos (angular) del sistema de lentes 13. Debe entenderse, sin embargo, que la mayoría de los argumentos pueden aplicarse igual de bien al mapeo en el modo de formación de imágenes.

5 El requisito de refrigeración eficiente a temperaturas muy bajas implica que la muestra 11 tiene que estar en muy buen contacto térmico con el agente refrigerante, y también protegida eficazmente de la radiación de calor. Esto está en conflicto con el montaje sobre un manipulador 17 con suficientes grados de libertad para cubrir todo el intervalo angular. El movimiento mecánico de la muestra 11 también introduce el riesgo de que el área emisora o el área que es visible a la disposición analizadora del espectrómetro cambie, de manera que espectros tomados a diferentes ángulos sean también tomados inadvertidamente de diferentes partes de la muestra.

10 En cierta medida, es posible evitar mover la muestra 11 usando el deflector x y/o el deflector y descritos anteriormente para guiar electrones que comienzan fuera de eje (en modo de formación de imágenes) o con una dirección que no es a lo largo del eje óptico 15 del sistema de lentes 13 (en modo angular) hasta el centro de la hendidura de entrada 8. Un método presentado en el documento JP58200144 A2 proporciona una variación sobre este tema. La aplicabilidad práctica de cualquier enfoque de este tipo es bastante limitada, sin embargo, dado que las trayectorias que alcanzan el centro de la hendidura de entrada 8 con esta técnica formarán, en el caso general, un ángulo contra el eje óptico 15. Para desviación en la dirección y (a través de la hendidura) éstas serán entonces detenidas por la combinación que define un ángulo de la hendidura de abertura 27 y la hendidura de entrada 8, o darán origen a una pérdida inaceptable de resolución energética. En la dirección x (a lo largo de la hendidura) solamente trayectorias dentro de un intervalo angular inicial relativamente pequeño saldrán dentro del intervalo angular aceptado por un sistema detector de espín. Si la intención es utilizar toda la distribución a lo largo de la hendidura de entrada 8, existe normalmente el problema adicional de que la escala angular es distorsionada gravemente incluso para desviaciones bastante pequeñas.

25 Además, la resolución angular alcanzable depende de la dispersión angular del sistema de lentes 13. Esto se ve de la manera más clara en la dirección y, donde la resolución no puede ser mejor que la anchura de la hendidura de entrada dividida por la dispersión angular. Desde este punto de vista, a menudo es deseable ser capaz de trabajar con una gran dispersión. Por otro lado, el intervalo en θ_x que puede observarse está limitado por el más pequeño de (longitud de la hendidura de entrada del hemisferio)/(dispersión angular) y la aceptación de la abertura frontal de la lente. Con dispersión creciente, la limitación debida a la longitud de la hendidura de entrada del hemisferio puede ser entonces demasiado grave, y mucho más pequeña que la aceptación de la lente. El documento WO 2011/019457 A1 desvela un método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y un analizador de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 10.

35 El documento US 6.104.029 A desvela un espectrómetro fotoelectrónico.

El documento US 6.198.095 B1 desvela un aparato y un método para la formación de imágenes en un detector de un haz de partículas cargadas.

40 **Sumario de la invención**

Es un objetivo de la presente invención resolver o al menos mitigar uno o más de los problemas mencionados anteriormente.

45 En particular es un objetivo de la invención incrementar la resolución energética en las mediciones del espectrómetro de partículas, tales como mediciones del espectrómetro fotoelectrónico.

Este y otros objetivos se consiguen mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1

50 Además, el método comprende la etapa de desviar el haz de partículas en al menos la misma primera dirección de coordenadas al menos una segunda vez antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición.

Desviando el haz de partículas dos veces en la misma dirección de coordenadas entre la muestra emisora de partículas y la entrada de la región de medición, pueden controlarse tanto la posición como la dirección del haz de partículas en la entrada de la región de medición.

60 Preferentemente, el haz de partículas es desviado al menos dos veces en cada una de las dos direcciones de coordenadas que son perpendiculares al eje óptico del sistema de lentes antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición. Esto significa que, dado un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional que tiene su eje z a lo largo del eje óptico del sistema de lentes, el haz de partículas es desviado preferentemente al menos dos veces en cada una de las direcciones x e y aguas arriba de la entrada de la región de medición desde el punto de vista de las partículas. Con el fin de cumplir las cuatro condiciones (posición y dirección en dos direcciones ortogonales) se requieren al menos dos grados de libertad en cada dirección.

65 El método permite que una parte predeterminada de la distribución angular de las partículas que forman el haz de partículas atraviese la entrada de la región de medición. Preferentemente, las desviaciones del haz de partículas

están controladas de manera que dicha parte predeterminada de la distribución angular de las partículas atraviese la entrada de la región de medición en una dirección que es sustancialmente paralela al eje óptico del sistema de lentes. Con el fin de analizar una parte arbitraria de la distribución angular del haz de partículas (no solamente una parte que descansa a lo largo el eje x o y del sistema de coordenadas cartesianas mencionado anteriormente), la desviación del haz de partículas puede tener que llevarse a cabo dos veces en cada una de las direcciones x e y antes de la entrada del haz de partículas en la cámara de medición.

En una realización de la invención, la primera y la al menos segunda desviaciones pueden estar controladas de manera que dicha parte predeterminada de la distribución angular de las partículas incluya solamente partículas emitidas desde la muestra en una dirección de partida predeterminada (θ_{x0} , θ_{y0}) o dentro de un intervalo predeterminado de direcciones de partida.

Dado que el método hace posible hacer que partículas emitidas en direcciones que no son paralelas al eje óptico del sistema de lentes entren en la entrada de la región de medición en una dirección que es sustancialmente paralela al eje de las lentes, el criterio de que la superficie de la muestra debe estar orientada con el ángulo de emisión deseado con respecto a su paralela normal al eje de las lentes se elimina, lo que a su vez reduce la necesidad de mover la muestra de ensayo para conseguir esta orientación. Por lo tanto, la presente invención presenta un nuevo tipo de manipulación del haz de partículas que, en cierta medida, elimina la necesidad de manipulación física de la muestra de ensayo.

En particular, la manipulación del haz de partículas propuesta reduce la necesidad de inclinar y rotar la muestra de ensayo en las direcciones x e y del sistema de coordenadas cartesianas tridimensional mencionado anteriormente.

Debido a la reducida necesidad de compleja movilidad del manipulador, puede usarse un manipulador que permite que se aplique refrigeración directamente a la muestra de ensayo. Tal como se ha mencionado anteriormente, esto permite una refrigeración más eficiente de la muestra de ensayo lo que, a su vez, da como resultado resolución energética incrementada en las mediciones obtenidas por el analizador del espectrómetro. La reducida necesidad de compleja movilidad del manipulador permite que la muestra de ensayo se fije directamente sobre una placa de refrigeración permitiendo que la muestra de ensayo se refrigere a aproximadamente 2 K, lo que, con el analizador del espectrómetro de acuerdo con la invención, da como resultado una resolución energética de aproximadamente 0,7 meV siempre que se use una fuente de excitación de ancho de banda estrecho.

Además de la ventaja de resolución energética incrementada con resolución angular mantenida, un espectrómetro de partículas que comprende una disposición analizadora capaz de llevar a cabo el método descrito anteriormente puede fabricarse a un menor coste que espectrómetros que tienen manipuladores que ofrecen un complejo movimiento de la muestra de ensayo, tales como manipuladores de seis ejes.

Además, el complejo movimiento de la muestra de ensayo en dicho espectrómetro de acuerdo con la técnica anterior hace difícil irradiar de forma continua, y por lo tanto analizar, un área bien definida de la muestra de ensayo. Dado que la presente invención elimina la necesidad de complejo movimiento de la muestra de ensayo, se vuelve más fácil irradiar y analizar un área diana bien definida de la muestra de ensayo. En particular, la posición de la muestra puede mantenerse inalterada durante una larga serie de mediciones que cubren todas las direcciones dentro de un ángulo sólido que, en muchos casos, es suficientemente grande para proporcionar toda la información físicamente relevante.

En la región de medición, las partículas cargadas son desviadas por un campo electrostático y las posiciones de las partículas después de la desviación son detectadas por la disposición detectora. Dependiendo del diseño de la región de medición, la entrada de la región de medición y la disposición detectora, diversos parámetros relacionados con partículas tales como las energías, las direcciones de partida o las posiciones de partida de las partículas pueden determinarse a partir de las posiciones detectadas. Preferentemente, la detección implica detección de las posiciones de las partículas en dos dimensiones, una de las cuales representa sustancialmente las energías de las partículas y la otra que representa una distribución espacial de las partículas a lo largo de una línea en el plano de entrada de la región de medición. Dado que la distribución espacial de las partículas a lo largo de una línea en el plano de entrada (normalmente la dirección longitudinal de una entrada en forma de hendidura) proporciona información sobre las direcciones de partida o las posiciones de partida de las partículas, la disposición detectora bidimensional hace posible determinar tanto las energías como las direcciones de partida o las posiciones de partida de las partículas simultáneamente.

Otra consecuencia más de la capacidad de controlar tanto la posición como la dirección del haz de partículas en el momento de la entrada en la región de medición es que un intervalo angular más grande es accesible para detección en comparación con el caso con una única desviación del haz en cada dirección de coordenadas. Además, el intervalo angular más grande puede estudiarse con intensidad y resolución mantenidas (energética y angular). El uso de dos desviaciones en la misma dirección de coordenadas que controla tanto posición como dirección del haz de partículas en el momento de la entrada en la región de medición hace posible estudiar un intervalo angular en ángulo sólido que es definido sustancialmente por el ángulo de aceptación de la abertura frontal de la lente sin mover la muestra. Esto no es posible de forma práctica con un único conjunto de deflectores.

La presente invención también proporciona una disposición analizadora de acuerdo con la reivindicación 10. Preferentemente, el al menos segundo deflector se dispone aguas abajo del primer deflector a una distancia de éste a lo largo del eje óptico del sistema de lentes. Tal como se entiende a partir de la descripción anterior, el efecto combinado del primer y el al menos segundo deflector es controlar qué parte del haz debe entrar en la región de medición y en qué dirección, lo que permite que una parte seleccionada del haz entre en la región de medición a lo largo de la dirección del eje de las lentes (es decir el eje óptico del sistema de lentes).

La disposición deflectora está preferentemente integrada en el sistema de lentes de la disposición analizadora, lo que significa que el sistema de lentes y la disposición deflectora forman una parte integral. Esto da un diseño compacto del analizador y reduce el número de partes independientes en su interior. Sin embargo, la disposición deflectora también puede estar dispuesta aguas arriba o aguas abajo del sistema de lentes del analizador, entre dos lentes del sistema de lentes, o con los al menos dos deflectores en diferentes posiciones con respecto al sistema de lentes.

Por las razones descritas anteriormente, la disposición deflectora es preferentemente accionable para desviar el haz de partículas dos veces en cada una de las direcciones de coordenadas que son perpendiculares al eje óptico del sistema de lentes, es decir las direcciones x e y , antes de que las partículas del haz de partículas atraviesen la entrada de la región de medición.

Con este fin, la disposición deflectora puede comprender por ejemplo cuatro deflectores, dos de los cuales son accionables para desviar el haz de partículas en la dirección x y dos de los cuales son accionables para desviar el haz de partículas en la dirección y .

En una realización preferida de la invención, la disposición deflectora comprende dos conjuntos deflectores, cada uno accionable para desviar el haz de partículas en la dirección tanto x como y . Con este fin, cada conjunto deflector puede comprender dos pares de electrodos accionables para generar dos componentes perpendiculares de un campo eléctrico cuando se aplica una tensión entre los electrodos de los pares respectivos. Los cuatro electrodos de cada conjunto deflector se disponen preferentemente en una formación de simetría esencialmente cuadrípolar.

La disposición analizadora comprende además una unidad de control para controlar la detección del haz de partículas aplicando tensiones controladas a los electrodos de la disposición deflectora.

La unidad de control puede estar configurada para determinar la dirección de partida particular de partículas emitidas desde la muestra que entra en la región de medición a lo largo del eje óptico del sistema de lentes aplicando tensiones de desviación de acuerdo con funciones calculadas previamente.

En una aplicación, las tensiones serán exploradas de tal manera que una serie de ángulos de partida θ_y en la dirección y son registrados sucesivamente por el sistema de medición. Para cada θ_y , se registran un intervalo de ángulos θ_x en la dirección x limitado por la longitud de la hendidura de la entrada de la región de medición, proporcionando de este modo un mapa bidimensional de la distribución angular para cada energía dentro de la ventana definida por el sistema detector. Durante dicha exploración angular, la desviación en la dirección x se mantendrá normalmente constante, proporcionando un mapa sobre un área rectangular en (θ_x, θ_y) . Si la lente es accionada a dispersión angular elevada, una serie de dichas exploraciones con diferentes desviaciones en la dirección x pueden combinarse para dar un mapa completo por toda la aceptación angular de la abertura frontal de la lente. Para cubrir intervalos de energía que son mayores que la ventana de energía del detector, la tensión de aceleración/retardo entre la muestra y la región de medición también puede explorarse. Esta aplicación es aplicable, pero no se limita a, por ejemplo mediciones de ARPES (espectroscopía fotoelectrónica resuelta en ángulo).

En otra aplicación, las tensiones deflectoras serán ajustadas por la unidad de control de manera que partículas emitidas dentro de un ángulo sólido estrecho alrededor de una dirección seleccionada $(\theta_{x0}, \theta_{y0})$ entrarán en la región de medición a lo largo del eje óptico de la lente, y después del análisis de energía, se permite a partículas dentro de un intervalo de energía estrecho con esta dirección inicial particular entrar en un detector de espín.

En ambos casos, la unidad de control variará las tensiones en la lente y los electrodos del deflector de acuerdo con funciones calculadas previamente con el fin de mantener el enfoque y las propiedades dispersivas de la lente y de proporcionar los ángulos de desviación requeridos.

En una realización adicional de la invención, tensiones de simetría cuadrípolar están superpuestas a las tensiones deflectoras en al menos un conjunto deflector. Dichas tensiones proporcionan enfoque en un plano y desenfoque en el plano ortogonal, y pueden aplicarse con el fin de reducir distorsiones en el mapa angular.

Tal como se ha descrito brevemente anteriormente, la disposición detectora del analizador está dispuesta normalmente para detectar las posiciones de las partículas cargadas después de detección adicional de las partículas dentro de la región de medición. La magnitud de desviación de una partícula depende de la energía cinética de la partícula y, de este modo, la posición detectada de la partícula en cierta dirección es indicativa de la

energía de la partícula. Tal como también se ha mencionado anteriormente, la disposición detectora es preferentemente capaz de detectar las posiciones bidimensionales de las partículas cargadas en la región de medición con el fin de determinar tanto las energías como las direcciones de partida o posiciones de partida de las partículas. Con este fin, la disposición detectora puede comprender, por ejemplo, una placa multiplicadora de electrones multicanal (MCP) que genera una señal eléctrica medible en la posición de una partícula entrante, que puede registrarse a continuación ópticamente por una pantalla de fósforo y una videocámara o como un pulso eléctrico por ejemplo en una línea de retardo o un detector de ánodo resistivo.

La disposición analizadora se usa preferentemente en un espectrómetro de partículas del tipo con deflector hemisférico, tal como un espectrómetro fotoelectrónico hemisférico tal como se describe en la sección de antecedentes. En este caso, la región de medición puede comprender, por lo tanto, dos hemisferios concéntricos simétricos con respecto al plano (y, z) del sistema de coordenadas mencionado anteriormente. Los hemisferios pueden estar montados sobre una placa de base, y tener un campo electrostático aplicado entre ellos. Las partículas que entran en la región entre los hemisferios con una dirección cercana a perpendicular a la placa de base son desviadas por el campo, y aquellos electrones que tienen una energía cinética dentro de cierto intervalo definido por el campo de desviación alcanzarán la disposición detectora después de haber viajado a través de un semicírculo. En esta realización, la entrada de la región de medición, es decir la entrada a los hemisferios, es normalmente una hendidura a lo largo de la dirección x, lo que permite una disposición detectora capaz de detección en dos dimensiones para dar simultáneamente información sobre la distribución energética y la distribución a lo largo de la hendidura de entrada, siendo la última indicativa de las direcciones de partida o las posiciones de partida de las partículas, dependiendo del modo operativo de la disposición de lentes.

En una realización perfeccionada de la invención, la disposición analizadora comprende un detector de espín. En detectores de espín de acuerdo con la técnica anterior, solamente son aceptados electrones que entran en el detector de espín dentro de un intervalo angular estrecho alrededor del eje de su lente de entrada. En un espectrómetro de acuerdo con la técnica anterior, esto significa que los electrones también tienen que abandonar la muestra paralelos a la dirección del eje de la lente del espectrómetro. Otra ventaja más del principio propuesto de manipular el haz de electrones en lugar o además de la muestra de ensayo es que los electrones emitidos desde la muestra en cualquier dirección dentro de la aceptación del sistema de lentes pueden ser llevados a entrar en el detector de espín a lo largo de la dirección de la lente de entrada del detector de espín.

La invención también proporciona un espectrómetro de partículas, tal como un espectrómetro fotoelectrónico, que comprende una disposición analizadora tal como se ha descrito anteriormente. En una realización preferida, el espectrómetro de partículas es un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico, tal como se ha descrito anteriormente en la sección de antecedentes.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada proporcionada en lo sucesivo y los dibujos adjuntos que se dan a modo de ilustración solamente. En los diferentes dibujos, los mismos números de referencia corresponden al mismo elemento.

La figura 1 ilustra un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico de acuerdo con la técnica anterior.

La figura 2 ilustra trayectorias de partículas a través del sistema de lentes del espectrómetro fotoelectrónico mostrado en la figura 1.

La figura 3 ilustra una hendidura de abertura y una hendidura de entrada de la región de medición del espectrómetro fotoelectrónico mostrado en la figura 1.

La figura 4 ilustra un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención.

Las figuras 5A y 5B son vistas desde el extremo de dos conjuntos deflectores de una disposición analizadora de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención.

La figura 6 ilustra partes de una disposición analizadora de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención.

La figura 7 ilustra una manera ilustrativa en la que pueden aplicarse tensiones deflectoras a electrodos de los conjuntos deflectores mostrados en las figuras 5A y 5B.

Las figuras 8A y 8B ilustran trayectorias de partículas a través del sistema de lentes de una disposición analizadora de acuerdo con la invención, sin o con potenciales deflectores aplicados.

Las figuras 9A a 9C ilustran cómo partes seleccionadas de la distribución angular de partículas emitidas pueden ser desviadas de acuerdo con los principios de la invención.

Descripción detallada

5 La figura 4 ilustra un espectrómetro de partículas 30 de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. Además de las diferencias descritas en lo sucesivo, los componentes y la funcionalidad del espectrómetro de partículas 30 son idénticos a los componentes y la funcionalidad del espectrómetro fotoelectrónico 1 de tipo con deflector hemisférico de acuerdo con la técnica anterior, descrito en la sección de antecedentes con referencia a las
10 figuras 1 a 3. Los elementos mostrados en la figura 4 que corresponden a elementos en las figuras 1 a 3 se proporcionan con los mismos números de referencia y se omiten descripciones adicionales de los mismos.

El espectrómetro de partículas 30 es, por lo tanto, un espectrómetro fotoelectrónico de tipo con deflector hemisférico que comprende una disposición analizadora adaptada para análisis de energías y direcciones de partida o
15 posiciones de partida de partículas cargadas emitidas desde una muestra emisora de partículas 11.

Tal como se ve en la figura 4, la disposición analizadora incluye una disposición deflectora 31 que comprende un primer conjunto deflector 29 y un segundo conjunto deflector 29'. Cada uno de los primer y segundo conjuntos deflectores está concebido y configurado de acuerdo con el conjunto deflector individual 29 de la figura 1, descrito en
20 la sección de antecedentes.

Con referencia simultánea a las figuras 5A y 5B que ilustran vistas del extremo del primer conjunto deflector 29 y el segundo conjunto deflector 29', respectivamente, esto significa que cada uno del primer y el segundo conjuntos deflectores comprende cuatro electrodos 33A-33D, 33A'-33D', cada uno de los cuales cubre un ángulo azimutal cercano a 90 grados. Los dos electrodos dispuestos de forma opuesta en cada conjunto deflector forman un par de electrodos 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' accionable para generar un campo eléctrico entre ellos mediante aplicación de una tensión deflectora, V_x , V_y , y accionable de este modo para desviar las partículas cargadas que pasan entre los electrodos del conjunto deflector en una dirección de coordenadas. Cada dicho par de electrodos forma, por lo tanto, un deflector para desviar las partículas cargadas en una dirección de coordenadas.
25

Dado un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional con su eje z a lo largo del eje óptico 15 del sistema de lentes 13, y con los hemisferios 5 simétricos con respecto al plano (y, z), un par de electrodos 33A/33C, 33A'/33C' de cada conjunto deflector 29, 29' está dispuesto para desviar las partículas cargadas en la dirección x, y el otro par de electrodos 33B/33D, 33B'/33D' de cada conjunto deflector 29, 29' está dispuesto para desviar las partículas cargadas en la dirección y. Un par de electrodos dispuestos para desviar las partículas cargadas en la dirección x se denominará en lo sucesivo, algunas veces, como un deflector x, y un par de electrodos dispuestos para desviar las partículas cargadas en la dirección y se denominará en lo sucesivo, algunas veces, como el deflector y.
30

Tal como se ilustra en la figura 6, que muestra una vista más detallada de partes de la disposición analizadora, las tensiones deflectoras aplicadas a los electrodos 33A-33D, 33A'-33D' de los conjuntos deflectores 29, 29' están controlados por una unidad de control 35. La misma unidad de control 35 también puede estar configurada para controlar las tensiones de las lentes aplicadas a una pluralidad de electrodos concéntricos que constituyen las lentes L1-L3 del sistema de lentes 13.
35

El signo y la magnitud de la tensión deflectora, V_x , V_y , aplicadas entre cada par de electrodos 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' de la disposición deflectora 31 pueden estar controladas independientemente por la unidad de control 35. Tal como se ilustra en las figuras 5A y 5B, la tensión deflectora del deflector x 33A/33C en el primer conjunto deflector 29 se indica como V_{x1} , y la tensión deflectora del deflector x 33A'/33C' en el segundo conjunto deflector 29' se indica como V_{x2} . Del mismo modo, las tensiones deflectoras de los deflectores y 33B/33D, 33B'/33D' en los primer y segundo conjuntos deflectores se indican como V_{y1} y V_{y2} , respectivamente.
40

Por lo tanto, los electrodos deflectores 33A-33D, 33A'-33D' en cada conjunto deflector 29, 29' están dispuestos de manera que una tensión, ΔV_x , aplicada entre un par de electrodos opuestos 33A/33C, 33A'/33C' proporciona desviación solamente en la dirección x y una tensión, ΔV_y , entre el par ortogonal 33B/33D, 33B'/33D' proporciona desviación en la dirección y solamente. A continuación, cualquier desviación requerida ($\Delta x'$, $\Delta y'$) puede conseguirse a través de la aplicación de una combinación de tensiones para desviación en las direcciones x e y. Mediante una combinación apropiada de las tensiones aplicadas a los electrodos deflectores, es entonces, para cualquier combinación de ángulos de entrada de las partículas cargadas en el sistema de lentes 13, posible conseguir simultáneamente que la dirección de salida desde la región deflectora, es decir la dirección de las partículas cargadas cuando han pasado el último deflector de la disposición deflectora 31, sea paralela al eje de las lentes 15, y que la salida se produzca a lo largo de este eje. Esto significa que la trayectoria para esta dirección particular no resulta sustancialmente cambiada por la parte del sistema de lentes 13 que está situada después de la disposición deflectora 31 (es decir aguas abajo de la disposición deflectora desde el punto de vista de las partículas).
45
50
55
60

Tal como se ilustra en la figura 7, tensiones V_q de simetría cuadrupolar pueden superponerse sobre las tensiones deflectoras V_x , V_y aplicadas a los electrodos de los conjuntos deflectores. Aunque la figura 7 solamente muestra el
65

primer conjunto deflector 29 debe entenderse que tensiones V_q de simetría cuadrupolar pueden superponerse a las tensiones deflectoras en cualquiera o ambos de los primer 29 y segundo 29' conjuntos deflectores. Estas tensiones superpuestas, V_q , también están controladas por la unidad de control 35 para conseguir enfoque en un plano y desenfoco en el plano ortogonal, reduciendo de este modo distorsiones en el mapa angular.

5 Las figuras 8A y 8B son diagramas que muestran las proyecciones en el plano (y, z) de algunas trayectorias a través del sistema de lentes 13 para diferentes direcciones de partida de partículas cargadas a partir de la muestra emisora de partículas 11 (ubicada en $z = 0$ y con una pequeña extensión alrededor de $y = 0$ en los sistemas de coordenadas ilustradas) sin y con potenciales deflectores ΔV_x , ΔV_y , aplicados a los primer y segundo conjuntos deflectores 29, 29' durante el modo operativo angular del sistema de lentes 13. El eje vertical de los diagramas muestra la coordenada y del sistema de coordenadas tridimensional descrito anteriormente, y el eje horizontal muestra la distancia desde la muestra en la dirección z del mismo sistema de coordenadas, es decir la distancia desde la muestra a lo largo del eje óptico 15 del sistema de lentes 13. Los ejes se dibujan en unidades arbitrarias y a diferentes escalas. Las trayectorias ilustradas mediante líneas continuas son trayectorias de partículas emitidas desde la muestra 11 a un ángulo de despegue de 0 grados con respecto a el eje óptico 15 del sistema de lentes mientras que las trayectorias ilustradas mediante líneas discontinuas y líneas de rayas y puntos ilustran trayectorias correspondientes para ángulos de despegue de 4 y 8 grados, respectivamente.

20 La figura 8A ilustra trayectorias cuando el sistema de lentes 13 es accionado en un modo angular, sin tensiones deflectoras aplicadas a los conjuntos deflectores 29, 29'. Las partículas emitidas en el eje de las lentes 15 son guiadas a través del sistema de lentes bajo la influencia de las diferentes lentes L1-L3 (véase las figuras 4 y 6) hasta el centro del plano 26 de la hendidura de entrada 8. Las partículas emitidas con otros ángulos (θ_x, θ_y) respecto al eje de las lentes serán enfocadas a otras posiciones definidas en el plano de la hendidura de entrada 26.

25 La figura 8B ilustra trayectorias cuando el sistema de lentes 13 es accionado en un modo angular, con tensiones deflectoras V_x , V_y aplicadas. En esta realización a modo de ejemplo, las tensiones deflectoras aplicadas a los electrodos 33A-33D, 33A'-33D' de los conjuntos deflectores 29, 29' están controladas de manera que una parte de la distribución angular de las partículas, concretamente la parte que comprende partículas emitidas con un ángulo de despegue de 8 grados respecto al eje de las lentes 15, es guiada hasta el centro del plano de la hendidura de entrada 8, donde entra en la región de medición 3 en la dirección del eje de las lentes 15. Partículas emitidas con otros ángulos (θ_x, θ_y) respecto al eje de las lentes serán enfocadas a otras posiciones definidas en el plano de la hendidura de entrada.

35 En esta realización a modo de ejemplo, el primer conjunto deflector 29 curva las trayectorias de partículas "hacia abajo", mientras que el segundo conjunto deflector 29' curva en la dirección opuesta de tal manera que la trayectoria seleccionada se aproxime gradualmente al eje de las lentes 15. Las trayectorias que comienzan con otras direcciones abandonarán el sistema de lentes en posiciones que están todas desplazadas sustancialmente la misma cantidad, manteniendo la dispersión sustancialmente igual que sin desviación.

40 Las figuras 9A-9C también ilustran cómo partes seleccionadas A, B de la distribución angular de partículas emitidas pueden desviarse, de manera que la parte seleccionada entre en la entrada 8 de la región de medición 3 en una dirección que es sustancialmente paralela al eje óptico 15 de la disposición de lentes que usa el concepto de la invención descrito en el presente documento, sin importar el ángulo de despegue θ_x , θ_y desde la muestra 11. Las figuras 9A y 9B ilustran la distribución angular del haz de partículas, indicado mediante el número de referencia 39, y la figura 9C muestra estas distribuciones angulares mapeadas sobre el plano de entrada del hemisferio 26 después de la desviación del haz de partículas.

50 Las figuras 9A y 9C ilustran conjuntamente una desviación deseada de una parte A de la distribución angular del haz de partículas, y las figuras 9B y 9C ilustran conjuntamente una desviación deseada de una parte B de la distribución angular del haz de partículas, partes A y B que comprenden partículas seleccionadas para ser analizadas en la región de medición 3 con respecto a, por ejemplo, sus energías, direcciones de partida, posiciones de partida o espín. De acuerdo con el ejemplo ilustrado en la figura 8B, dos desviaciones en una única dirección de coordenadas (la dirección y) es suficiente para hacer que cualquier parte seleccionada A de la distribución angular dentro de la banda limitada por las líneas verticales discontinuas en la figura 9A entre en la región de medición en una dirección que es sustancialmente paralela con el eje de las lentes 15, mientras que se requieren dos desviaciones en cada una de las dos direcciones de coordenadas perpendiculares al eje de las lentes 15 (es decir las direcciones x e y) para hacer que cualquier parte seleccionada B de la distribución angular dentro de la banda limitada por las líneas verticales discontinuas en la figura 9B entre en la región de medición en una dirección que es sustancialmente paralela con el eje de las lentes. A cualquier parte seleccionada de la distribución angular entre las líneas verticales discontinuas en la figura 9B, con su centro en (θ_x, θ_y) , se le puede hacer entrar en la región de medición si la tensión V_x se establece para hacer que trayectorias con la dirección de partida fijada $\theta_x \neq 0$ salgan con $x = 0$ y $dx/dz = 0$, mientras que la tensión V_y se modifica para hacer que direcciones sucesivas θ_y salgan con $y = 0$ y $dy/dz = 0$.

65 Una vez más con referencia a la figura 6, el primer 29 y el segundo 29' conjuntos deflectores están dispuestos concéntricamente alrededor del eje óptico 15 del sistema de lentes 13, separados por cierta distancia, de manera

que las partículas cargadas pasen entre los pares de electrodos 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' de los conjuntos deflectores en su camino entre la muestra emisora de partículas 11 y la entrada 8 de la región de medición 3. Para diferentes aplicaciones, el número de elementos de lente en la disposición de lentes 13 y/o la longitud de la disposición de lentes completa 13 (incluyendo la disposición deflectora integrada 31) pueden variar sustancialmente dado que diferentes aplicaciones pueden requerir diferentes combinaciones de elementos de lente individuales L1, L2, L3. Preferentemente, ninguno de los deflectores de la disposición deflectora 31 debe estar ubicado más cerca del extremo del elemento de lente L2 dentro del que está dispuesto que aproximadamente el radio de un elemento de lente desde un extremo de dicho elemento de lente L2. Además, la distancia entre el primer 29 y el segundo 29' conjuntos deflectores debe ser preferentemente al menos el radio del elemento de lente L2 dentro del cual los conjuntos deflectores están dispuestos. Por lo tanto, cuando el primer 29 y el segundo 29' conjuntos deflectores están dispuestos dentro del mismo elemento de lente L2 que tiene cierto radio del elemento de lente, el primer conjunto deflector 29 está preferentemente ubicado a una distancia de al menos el radio de un elemento de lente desde la parte frontal del elemento de lente L2, y el segundo conjunto deflector 29' está preferentemente ubicado a una distancia de al menos el radio de un elemento de lente tanto desde el primer conjunto deflector 29 como desde el extremo del elemento de lente L2. Esto es para evitar comunicación cruzada de potencial electrostático entre el primer y el segundo conjunto deflector así como con el fin de dar a la partícula cargada algún tiempo para cambiar su dirección antes de entrar en el siguiente deflector.

Además, los deflectores 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' de la disposición deflectora 31 están situados preferentemente con respecto a los elementos de lente L1-L3 de la disposición de lentes 13 de manera que la región que contiene los electrodos deflectores y su separación está sustancialmente libre de campos eléctricos diferentes de los generados por los propios electrodos deflectores. Con este fin, tal como se ilustra en las figuras 5A y 5B, los electrodos deflectores 33A-33D, 33A'-33D' están preferentemente dispuestos dentro de un tubo cilíndrico 41, 41' con sus potenciales eléctricos remitidos al potencial de este tubo. Por lo tanto, en la realización preferida en la que la disposición deflectora 31 comprende dos conjuntos deflectores 29, 29', que comprenden, cada uno, cuatro electrodos 33A-33D, 33A'-33D', los electrodos de cada conjunto deflector forman sectores cilíndricos con una simetría rotacional cuádruple para formar un conjunto deflector conformado de forma sustancialmente cilíndrica, conjunto deflector cilíndrico que está dispuesto dentro de un tubo cilíndrico externo 41, 41'.

Aunque integrados en el sistema de lentes 13 en la realización a modo de ejemplo ilustrada en los dibujos, debe apreciarse que los deflectores 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' de la disposición deflectora 31 pueden estar dispuestos de otras maneras en relación con el sistema de lentes 13 y el elemento de lente individual L1-L3 del mismo. Por ejemplo, la disposición deflectora 31 y todos sus deflectores podrían estar colocados en una "posición aguas arriba" entre la muestra 11 y la parte frontal del sistema de lentes 13 o en una "posición aguas abajo" entre la salida del sistema de lentes 13 y la hendidura de entrada 8 de los hemisferios 5. Dichas disposiciones pueden ser ventajosas en algunas circunstancias, en la medida en que desacoplan además la desviación y las acciones de la lente. Por ejemplo, para un sistema que está dedicado completamente a la observación de una única dirección cada vez (por ejemplo un sistema de detección de espín dedicado), una posición aguas arriba de la disposición deflectora 31 podría permitir un intervalo angular más grande que la solución integrada. La distancia incrementada entre la muestra 11 y la disposición de lentes 13 daría, sin embargo, como resultado una reducción desfavorable de la aceptación angular para aplicaciones normales. Con una posición aguas abajo position de la disposición deflectora 31, la distancia incrementada entre el último elemento de lente activo L3 y la hendidura de entrada 8 de la región de medición 3 reduciría la flexibilidad en dispersión e intervalo de energía.

Por lo tanto, en una realización preferida de la invención, los deflectores 33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D' de la disposición deflectora 31 están dispuestos en relación con los elementos de lente individuales L1-L3 de la disposición de lentes 13 de manera que al menos una lente actúe sobre el haz de partículas antes de la primera desviación del mismo, y al menos una lente actúe sobre el haz de partículas después de la última desviación del mismo. Además, todos los deflectores de la disposición deflectora 31 están dispuestos preferentemente dentro del mismo elemento de lente L2 del sistema de lentes 13, lo que significa que todos los deflectores de la disposición deflectora están rodeados por el mismo potencial eléctrico. Esto es ventajoso, ya que facilita el control de las tensiones deflectoras y las tensiones de la lente requeridas para hacer que una parte deseada de la distribución angular del haz de partículas atraviese la entrada 8 de la región de medición 3 en paralelo con el eje de las lentes 15.

Tal como se ha descrito anteriormente, en un diseño preferido, los electrodos deflectores están conformados como sectores cilíndricos empaquetados dentro de dos conjuntos deflectores 29, 29' con una simetría rotacional cuádruple, y los dos conjuntos deflectores son idénticos tanto en sección transversal como en longitud. Sin embargo, debe entenderse ninguna de estas características es esencial para el funcionamiento de la disposición analizadora. Electrodo planos o conformados de otra manera son concebibles y podrían presentar ventajas, por ejemplo para reducir distorsiones de los patrones angulares. Disposiciones con 8 (o 4n) polos en al menos uno de los conjuntos también son posibles. La simetría de reflexión con respecto a los planos (x, z) y (y, z) es altamente deseable desde el punto de vista práctico, pero no estrictamente necesaria.

Debe entenderse también que la invención no está limitada a las realizaciones descritas anteriormente, sino que puede modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones subsiguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar al menos un parámetro relacionado con partículas cargadas emitidas desde una muestra emisora de partículas (11), que comprende las etapas de:

- 5 formar un haz de partículas de dichas partículas cargadas y transportar las partículas entre dicha muestra emisora de partículas (11) y una entrada (8) de una región de medición (3) por medio de un sistema de lentes (13) que tiene un eje óptico sustancialmente recto (15),
 10 desviar el haz de partículas en al menos una primera dirección de coordenadas (x, y) perpendicular al eje óptico del sistema de lentes antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición,
 desviar el haz de partículas en al menos la misma al menos una primera dirección de coordenadas (x, y) al menos una segunda vez dentro del sistema de lentes y antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición,
 15 detectar las posiciones de dichas partículas cargadas en dicha región de medición, siendo las posiciones indicativas de dicho al menos un parámetro,

caracterizado por que

el sistema de lentes se acciona en modo de resolución angular, de manera que las partículas cargadas emitidas con el mismo ángulo contra el eje óptico se enfocan al mismo punto en el plano de la entrada de la región de medición.

20 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera desviación del haz de partículas se efectúa por medio de un primer deflector (33A/33C, 33B/33D), y la al menos una segunda desviación del haz de partículas se efectúa por medio de al menos un segundo deflector (33A'/33C', 33B'/33D') dispuesto aguas abajo del primer deflector a una distancia de este a lo largo del eje óptico (15) del sistema de lentes (13).

25 3. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el haz de partículas es desviado al menos dos veces también en una segunda dirección de coordenadas (y) perpendicular a la primera dirección de coordenadas (x) y al eje óptico (15) del sistema de lentes (13) antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición (3).

30 4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que todas las desviaciones del haz de partículas tienen lugar dentro del sistema de lentes (13), lo que significa que al menos una lente (L1) actúa sobre las partículas antes de la primera desviación del haz de partículas y al menos una lente (L3) actúa sobre las partículas después de la última desviación del haz de partículas.

35 5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una desviación del haz de partículas se efectúa por medio de un conjunto deflector (29) que comprende cuatro electrodos (33A-33D) dispuestos en una formación de simetría esencialmente cuadripolar en la que los cuatro electrodos forman dos pares de electrodos (33A/33C, 33B/33D) que sirven como deflectores en una dirección de coordenadas respectiva (x, y),
 40 que comprende además las etapas de:

- aplicar una primera tensión deflectora (V_x) entre uno de los dos pares de electrodos (33A/33C) del conjunto deflector (29);
 45 aplicar una segunda tensión deflectora (V_y) entre el otro par de electrodos (33B/33D) del conjunto deflector (29),
 y
 aplicar tensiones ($\pm V_q$) de simetría cuadripolar a los electrodos (33A-33D) del conjunto deflector (29), superpuestas a dichas tensiones de desviación (V_x, V_y).

50 6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de controlar las desviaciones del haz de partículas de manera que una parte predeterminada (A, B) de la distribución angular (39) de las partículas que forman el haz de partículas atraviese la entrada (8) de la región de medición (3).

7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además la etapa de controlar las desviaciones del haz de partículas de manera que dicha parte predeterminada (A, B) de la distribución angular de las partículas
 55 atraviese la entrada (8) de la región de medición (3) en una dirección que es sustancialmente paralela al eje óptico (15) del sistema de lentes (13).

8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho al menos un parámetro se refiere a al menos uno de:

- 60 las energías de las partículas cargadas;
 las direcciones de partida de las partículas cargadas; y
 el espín de las partículas cargadas.

65 9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de detectar las posiciones de las partículas cargadas implica detectar las posiciones en dos dimensiones, una de las cuales es

indicativa de las energías de las partículas y una de las cuales es indicativa de las direcciones de partida de las partículas.

5 10. Una disposición analizadora para determinar al menos un parámetro relacionado con partículas cargadas emitidas desde una muestra emisora de partículas (11), que comprende:

una región de medición (3) que tiene una entrada (8) que permite a dichas partículas entrar en la región de medición,

10 un sistema de lentes (13) para formar un haz de partículas de dichas partículas cargadas y transportar las partículas entre dicha muestra emisora de partículas y dicha entrada de la región de medición, teniendo dicho sistema de lentes un eje óptico sustancialmente recto (1),

15 una disposición deflectora (31) que comprende un primer deflector (33A/33C, 33B/33D) para desviar el haz de partículas en al menos una primera dirección de coordenadas (x, y) perpendicular al eje óptico del sistema de lentes antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición,

15 dicha disposición deflectora (31) comprende además al menos un segundo deflector (33A'/33C', 33B'/33D') accionable para causar la desviación del haz de partículas en al menos la misma primera dirección de coordenadas (x, y) al menos una segunda vez dentro del sistema de lentes y antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición (3),

20 una disposición detectora (9) para detectar las posiciones de las partículas cargadas en la región de medición, siendo dichas posiciones indicativas de dicho al menos un parámetro,

caracterizada por que

25 las tensiones de lente del sistema de lentes está dispuestas de tal modo que las partículas cargadas emitidas con el mismo ángulo contra el eje óptico están enfocadas al mismo punto en el plano de la entrada de la región de medición.

30 11. La disposición analizadora de acuerdo con la reivindicación 10, en la que el segundo deflector (33A'/33C', 33B'/33D') está dispuesto aguas abajo del primer deflector (33A/33C, 33B/33D) a una distancia de este a lo largo del eje óptico (15) del sistema de lentes (13).

35 12. La disposición analizadora de acuerdo con las reivindicaciones 10 u 11, en la que la disposición deflectora (31) es accionable para causar la desviación del haz de partículas al menos dos veces también en una segunda dirección de coordenadas (y) perpendicular a la primera dirección de coordenadas (x) y al eje óptico (15) del sistema de lentes (13) antes de la entrada del haz de partículas en la región de medición (3).

40 13. La disposición analizadora de acuerdo con la reivindicación 12, en la que la disposición deflectora (31) comprende al menos un conjunto deflector (29) que comprende cuatro electrodos (33A-33D) dispuestos en una formación de simetría esencialmente cuadripolar en la que los cuatro electrodos del conjunto deflector forman dos pares de electrodos (33A/33C, 33B/33D) que sirven como deflectores en una dirección de coordenadas respectiva de dichas primera (x) y segunda (y) direcciones de coordenadas.

14. La disposición analizadora de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende además una unidad de control (35) configurada para aplicar tensiones individuales a cada uno de los electrodos (33A-33D).

45 50 15. La disposición analizadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en la que la disposición deflectora (31) y el sistema de lentes (13) están dispuestos de manera que al menos un elemento de lente (L1) del sistema de lentes está situado aguas arriba de todos los deflectores (33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D') de la disposición deflectora y al menos otro elemento de lente (L3) del sistema de lentes está situado aguas abajo de todos los deflectores de la disposición deflectora.

16. La disposición analizadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en la que todos los deflectores (33A/33C, 33B/33D, 33A'/33C', 33B'/33D') de la disposición deflectora (31) están dispuestos dentro del mismo elemento de lente (L2) de la disposición de lentes (13).

55 17. La disposición analizadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en la que la disposición deflectora (31) forma una parte integrante del sistema de lentes (13).

60 18. La disposición deflectora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, que comprende además una unidad de control (35) accionable para hacer que la disposición deflectora (31) desvíe el haz de partículas de manera que una parte predeterminada (A, B) de la distribución angular (39) de las partículas que forman el haz de partículas atraviese la entrada (8) de la región de medición (3).

65 19. La disposición analizadora de acuerdo con la reivindicación 18, en la que la unidad de control (35) es accionable para hacer que la disposición deflectora (31) desvíe el haz de partículas de manera que dicha parte predeterminada (A, B) de la distribución angular (39) de las partículas atraviese la entrada (8) de la región de medición (3) en una dirección que es sustancialmente paralela al eje óptico (15) del sistema de lentes (13).

- 5 20. La disposición analizadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 19, en la que la disposición deflectora (9) está configurada para determinar las posiciones de las partículas cargadas en dos dimensiones, una de las cuales es indicativa de las energías de las partículas y una de las cuales es indicativa de las direcciones de partida de las partículas.
- 10 21. Un espectrómetro de partículas para analizar una muestra emisora de partículas (11), **caracterizado por que** el espectrómetro de partículas comprende una disposición analizadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-20.
22. Un espectrómetro de partículas de acuerdo con la reivindicación 21, siendo dicho espectrómetro de partículas un espectrómetro fotoelectrónico (30) del tipo de deflector hemisférico.

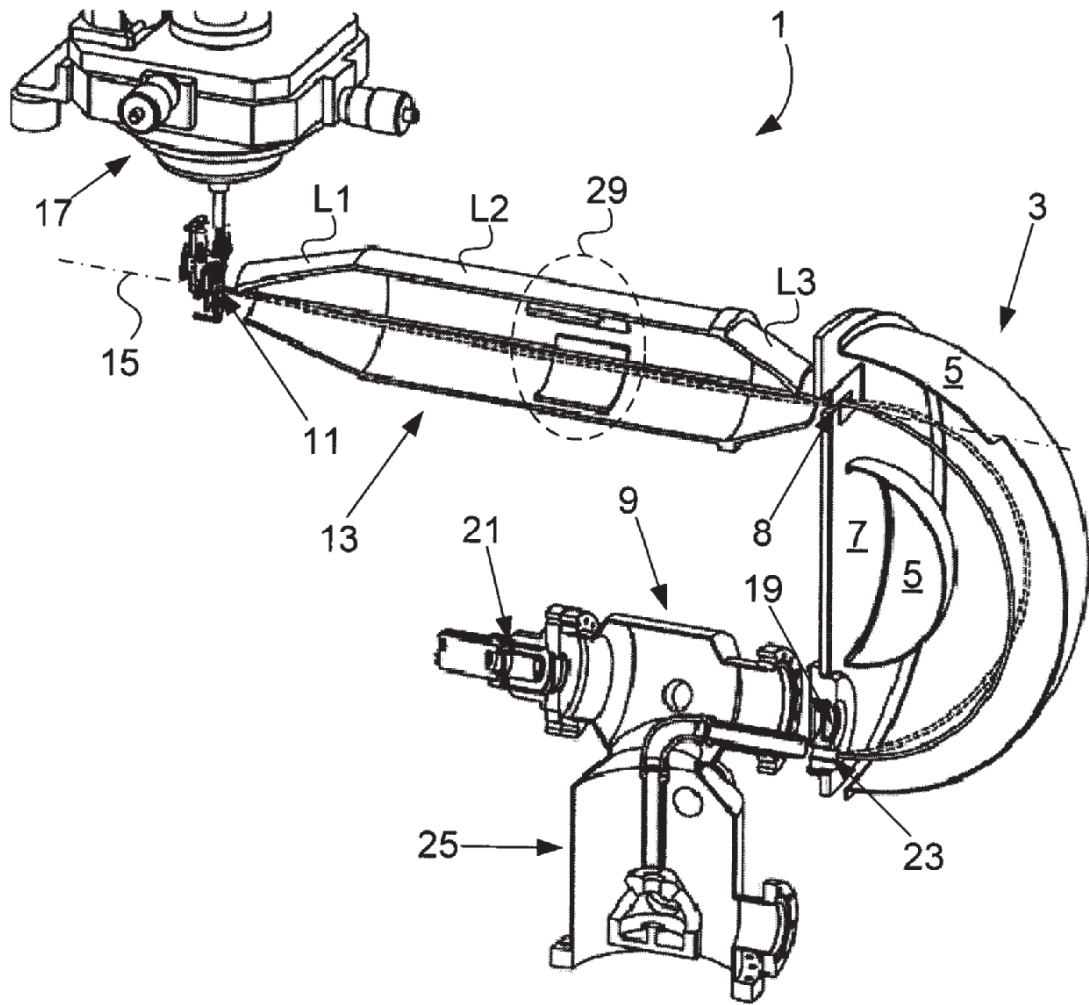


FIG 1

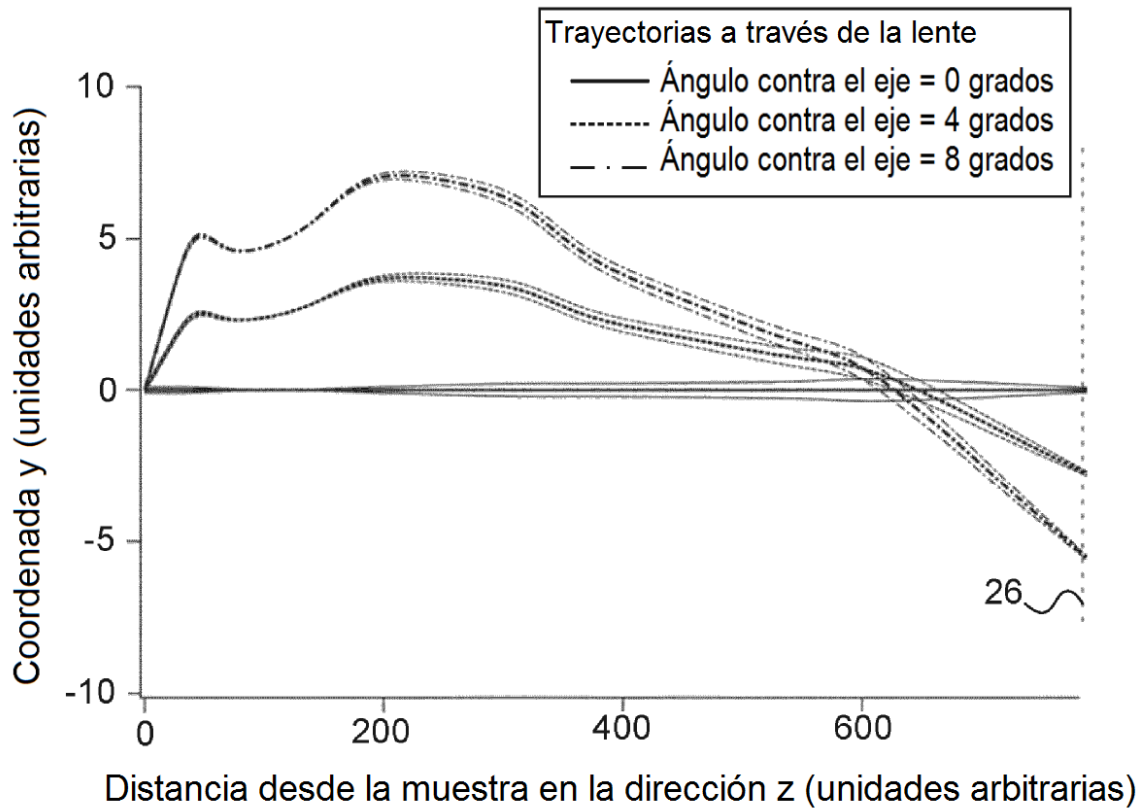


FIG 2

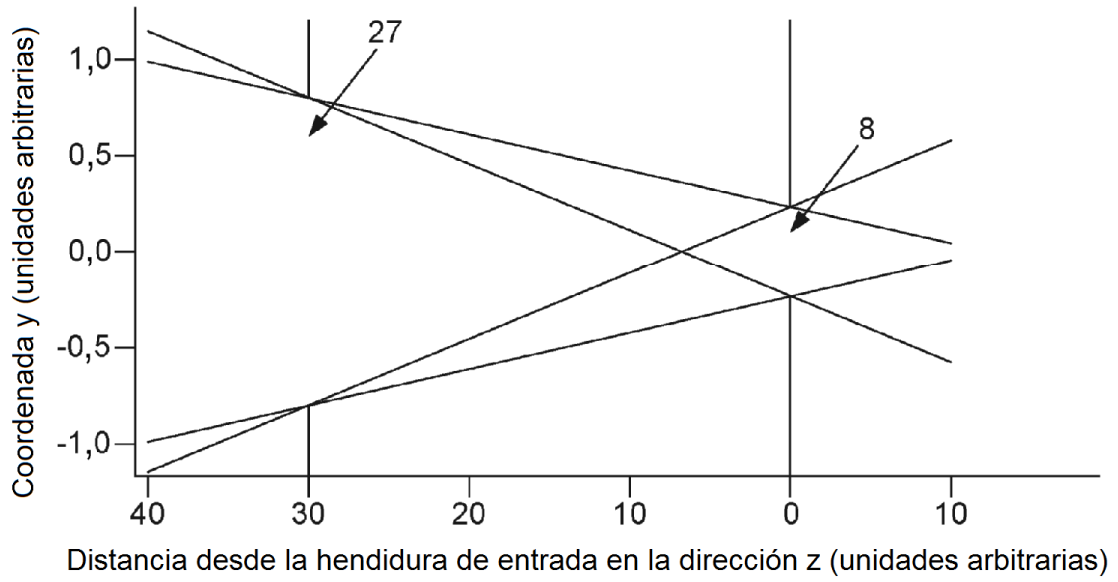


FIG 3

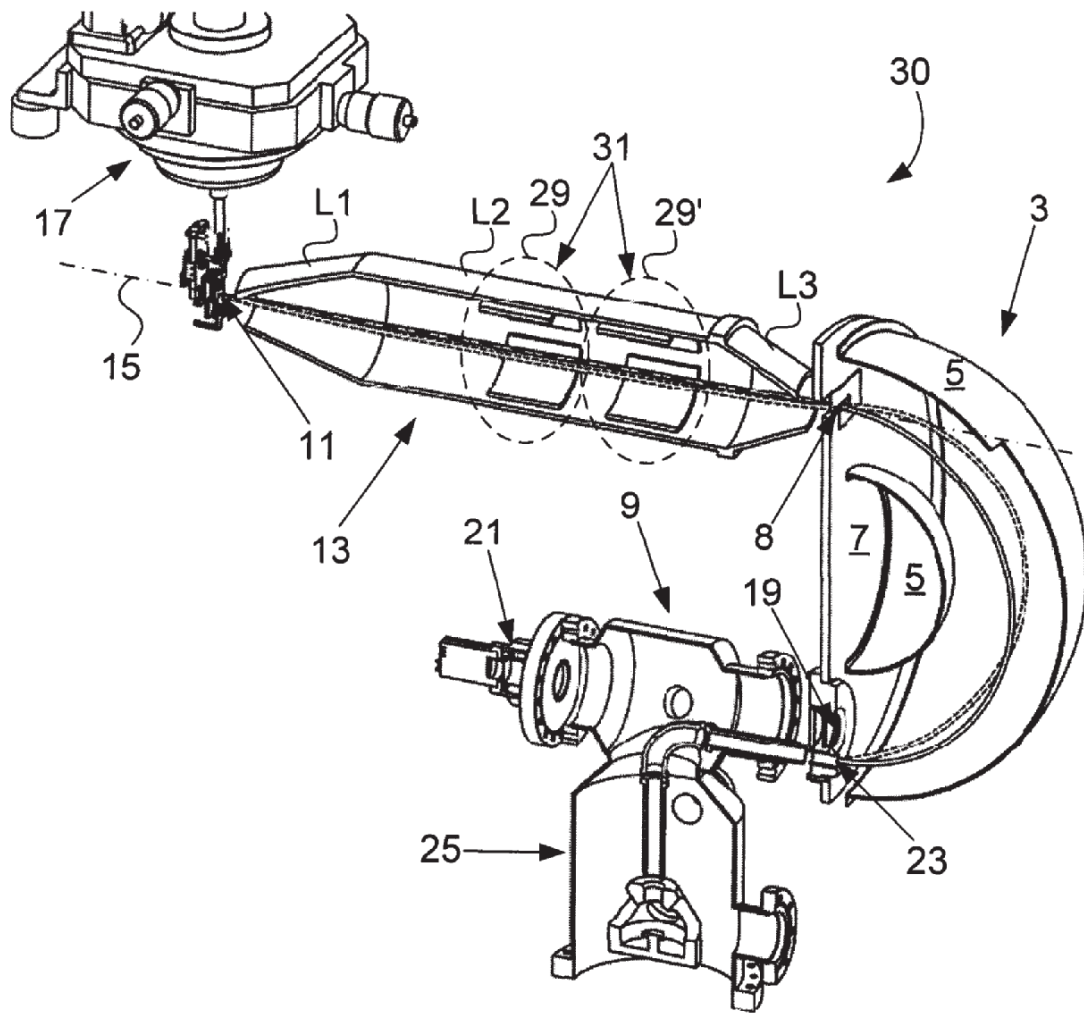
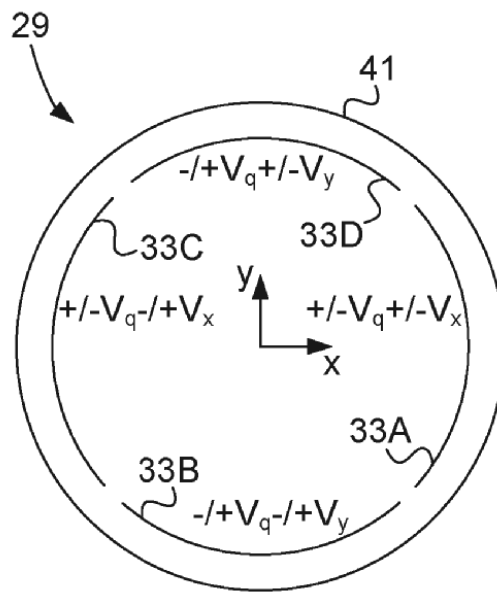
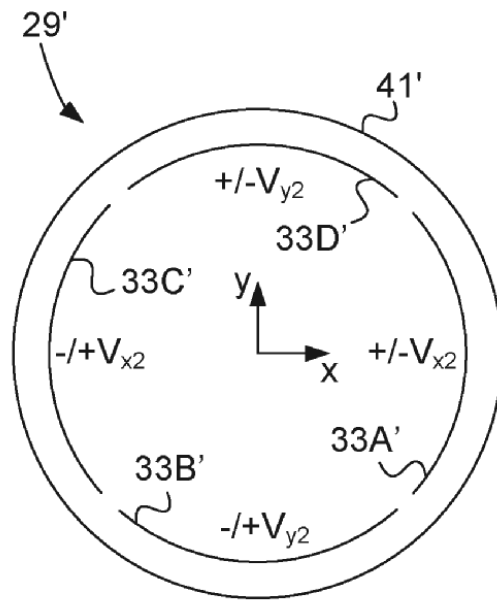
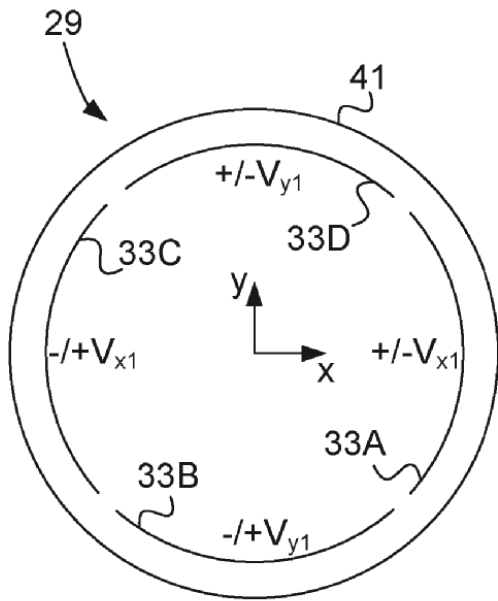


FIG 4



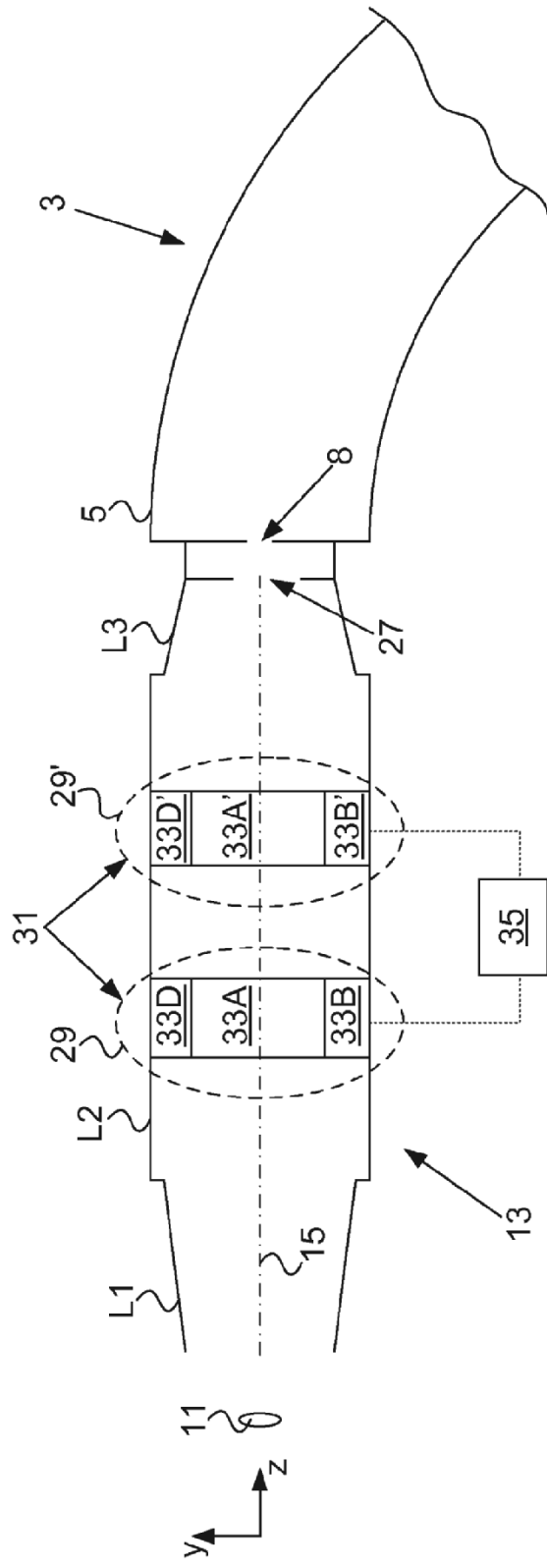


FIG 6

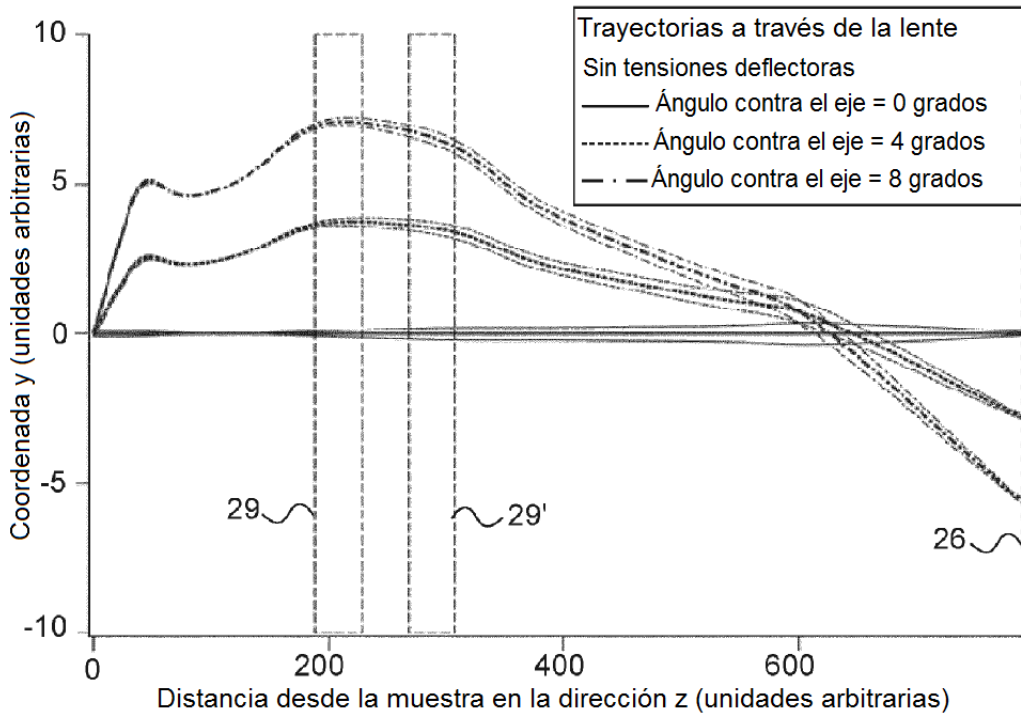


FIG 8A

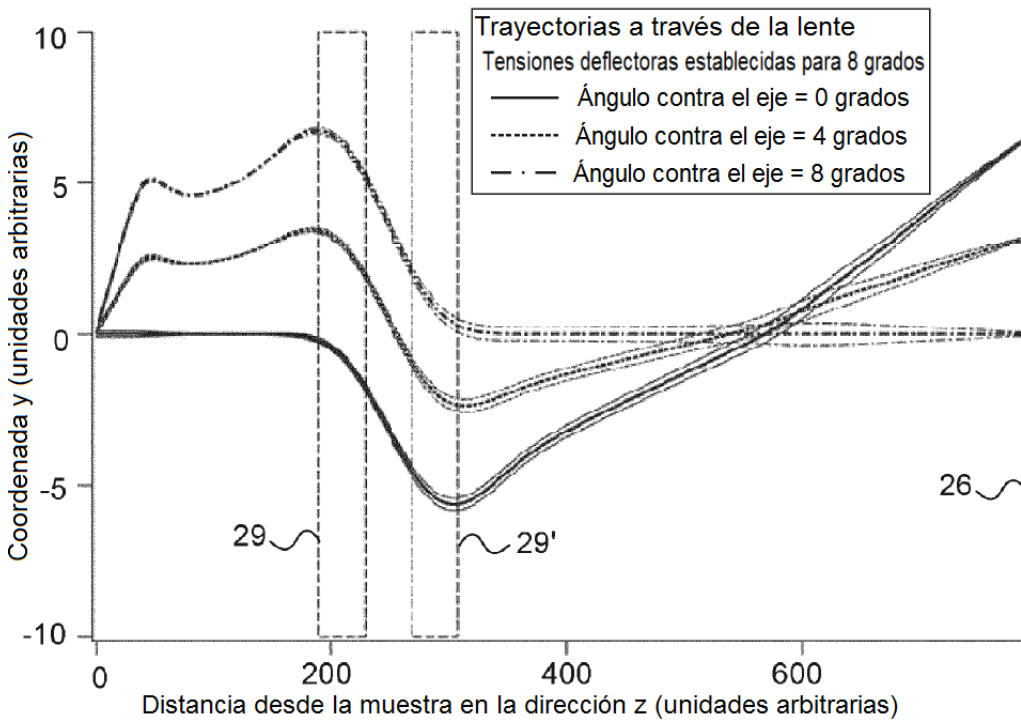


FIG 8B

