

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 479 894**

21 Número de solicitud: 201201264

51 Int. Cl.:

**G21K 1/087** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**21.12.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**24.07.2014**

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

**29.08.2014**

Fecha de la concesión:

**05.10.2015**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**13.10.2015**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
(100.0%)**

**Avenida de Séneca, 2  
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GONZÁLEZ UREÑA, Ángel;  
RUDNEV, Vitaly y  
TORNERO LÓPEZ, Jesús**

74 Agente/Representante:

**PLUMET ORTEGA, Joaquín**

54 Título: **Dispositivo electroóptico y método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía**

57 Resumen:

Dispositivo electroóptico y método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía.

Se describe un dispositivo electroóptico formado por tres elementos consecutivos: una primera lente Einzel, un elemento cilíndrico y una segunda lente Einzel, cuyo uso permite enfocar y frenar haces iónicos de gran densidad y energía. Esto se lleva a cabo mediante la utilización de pulsos de voltaje aplicados al elemento cilíndrico mientras es atravesado por los iones. Paralelamente, el uso de las dos lentes Einzel permite enfocar el haz de iones y asegurar una gran densidad de corriente en el plano imagen.

Este dispositivo resulta de gran utilidad en aplicaciones espectroscópicas y analíticas para detectar especies iónicas con gran resolución y sensibilidad, así como en otros usos más tecnológicos como el grabado o la implantación iónica en la industria de semiconductores u otras similares.

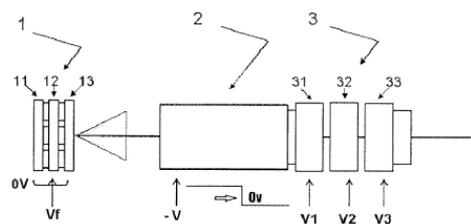


Figura 1

ES 2 479 894 B1

## **DESCRIPCIÓN**

Dispositivo electroóptico y método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía.

### **5 Sector de la técnica**

Esta invención se encuadra en el sector de las tecnologías para análisis instrumental, más concretamente en el de fabricación de aparatos para el manejo de haces iónicos.

### **Estado de la técnica**

10 Desde el comienzo de la espectrometría de masas los científicos han mostrado una cierta fascinación por estudiar la estructura, energía y reactividad de los iones, tanto positivos (cationes) como negativos (aniones). Sin embargo, los estudios espectroscópicos de estas especies han presentado serias dificultades; por una parte debido a la baja densidad de las fuentes y de otra, debido a las condiciones extremas en las que normalmente había que  
15 producirlos.

Este escenario hizo que los primeros estudios tuvieran lugar midiendo los espectros de emisión de las descargas cuya complejidad, baja densidad y variedad de estados excitados hacía difícil la asignación de bandas y la subsiguiente identificación de las especies  
20 presentes. Estas dificultades estimularon el desarrollo de técnicas sofisticadas para producir iones específicos con altos rendimientos, lo que sin duda ha conducido a que hoy día la espectroscopia iónica sea un campo científico de gran relevancia.

En la actualidad el estudio de iones moleculares y su interacción con gases o materia condensada constituye un campo científico de gran interés tanto en investigación básica  
25 como en diversas aplicaciones tecnológicas.

Áreas científicas tan diversas como: la Espectroscopia Molecular y la Química Analítica, la Astrofísica, la Física de plasmas, la Biofísica o la Implantación de iones en la industria  
30 de semiconductores, son claros ejemplos donde la experimentación con iones resulta imprescindible para el aumento del conocimiento y su desarrollo tecnológico.

El desarrollo de la espectroscopia de iones de alta sensibilidad descansa en tres aspectos esenciales para tal fin: a) la fuente de iones, b) la selección de la masa de los iones y c) su detección óptica.

5 El primer requisito implica la preparación del ion a estudiar con una gran densidad. En general todos los esquemas de producción de iones producen una mezcla de iones, por lo que la selección de su masa es imprescindible para su identificación. Sin embargo, la selección de la masa de los iones debe preservar su densidad, lo que demanda guiar los iones de una manera adecuada hacia la zona donde tiene lugar la medida con técnicas de  
10 gran sensibilidad.

En algunos esquemas experimentales se usa la espectroscopia láser para garantizar la gran sensibilidad del método, mientras que en otros esquemas los iones se almacenan, por ejemplo, en trampas para integrar la densidad o aumentar el tiempo de interacción.

15

En general, dos han sido las técnicas más empleadas para la producción de aniones: a) el bombardeo electrónico y b) la descarga eléctrica, bien continua o pulsada, de alto voltaje, generalmente en haz molecular y, específicamente, en la zona de expansión supersónica.

Estos métodos han sido aplicados por diversos grupos científicos, como por ejemplo, entre  
20 otros, los de Linenberger (Ervin K.M. and Lineberger W.C., *Advances in Gas Phase Ions Chemistry*, Ed. Adams, N.G. and Babcock, L.M. 1992), Neumark (Neumark D.M., *J. Chem. Phys.*, 2006, 125, 132303) y McCarthy (McCarthy M.C. et al, *Astrophys. J.*, 2006, 652, L141, McCarthy M.C. et al *J. Chem. Phys.*, 2008, 129, 054314) que han realizado contribuciones muy notables no solo en la espectroscopia de aniones, aislados o  
25 solvatados, es decir en forma de clusters, sino también en el estudio de su dinámica de fotodisociación.

En lo que concierne a los métodos de detección, la técnica de espectroscopia de fotoelectrones ( *Photo-Electron Spectroscopy* PES) es la más convencional y usada para  
30 analizar la estructura molecular de los aniones. En ella el anión es excitado mediante un fotón láser que extrae el electrón.

La técnica PES se ha usado para el estudio de una gran variedad de sistemas como átomos, moléculas orgánicas, complejos metal-ligando así como una gran variedad de clusters y especies aniónicas.

- 5 Por otra parte recientemente se ha desarrollado la técnica MALDI (*Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization*) para el análisis químico de biomoléculas y polímeros que, conectada a la espectrometría de masas por transformada de Fourier acoplada a la resonancia de ion ciclotrón, ha supuesto un gran avance en el análisis químico de estos compuestos. El inconveniente más notorio de estas técnicas es la gran dificultad en atrapar  
10 eficientemente los iones de mayor masa.

Los últimos años han visto un incremento notable de la investigación con haces de iones de baja energía debido a su papel relevante en Astrofísica, su creciente aplicación en grabados en sico, en el crecimiento de películas y en la implantación de iones.

15

- El método más adecuado para obtener haces iónicos intensos es extraerlos de una fuente adecuada usando un voltaje óptimo que garantice su intensidad. Normalmente la separación de las especies iónicas de distinta masa se lleva a cabo usando un filtro magnético. Posteriormente la energía cinética de los iones se cambia al valor deseado  
20 mediante el uso de lentes eléctricas, para acelerar o desacelerar los iones según la aplicación requerida.

- Al objeto de maximizar la interacción entre, por ejemplo, un láser y la nube de iones, si se trata de realizar una medida espectroscópica, el esquema experimental más usado consiste  
25 en guiar el haz iónico con una gran energía para evitar pérdidas por repulsión de carga espacial y, tras aplicar un filtro para seleccionar la masa del ion a estudiar, aplicar algún método para desacelerar el haz antes de que entre en la zona de interacción con la radiación láser.

- 30 La desaceleración de un haz iónico para reducir su energía cinética no es un tema trivial ya que el campo desacelerador actúa también como una lente cambiando, por tanto, la forma espacial del haz.

El ensanchamiento del diámetro del haz iónico debido a la repulsión de la carga espacial durante su propagación es un grave inconveniente en cualquier aparato donde se trabaje con estos haces de baja energía.

5 Dicho ensanchamiento reduce la intensidad del haz y su densidad de corriente al incidir sobre el objeto donde se quiere aplicar o al atravesar la zona de interacción donde se efectúa la medida correspondiente. Puesto que el grado de ensanchamiento aumenta con el cociente entre la velocidad radial y la velocidad axial del mencionado haz resulta necesario el uso de óptica electrostática con el fin de reducir la divergencia de estos haces.

10

Un método normalmente usado para desacelerar un haz de iones es el empleo de un electrodo de varios elementos, por ejemplo tres, llamado “lente zoom” (Liebl et al, *Re. Sci. Instrum.*, 1987, 58 (10), 1830) en el cual el cociente de desaceleración viene determinado por el cociente entre los voltajes del tercer y primer electrodo, mientras el segundo  
15 elemento, el intermedio, se usa para ajustar la distancia de la imagen, es decir, como elemento de enfoque.

En la bibliografía se han publicado diversos tipos de lentes desaceleradoras entre las que se pueden citar las de Herman de 13 electrodos (Herman et al, *Rev. Sci. Instrum.*, 1969, 40,  
20 538) que logra desacelerar haces iónicos hasta 30 eV, y la de Liebl et al (*Rev. Sci. Instrum.*, 1987, 58 (10), 1830), ambas con tres elementos, retrasando haces iónicos hasta energías de 50 eV y 100 eV, respectivamente.

También hay que citar la patente US 2002/0100880A1 donde se describe el uso de un juego de electrodos que enfocan y filtran los iones según su energía. Este desarrollo está  
25 diseñado para reducir la energía de los iones hasta energías por debajo de 1keV (típicamente 0,5keV) consiguiendo eliminar la contaminación de energía de las partículas neutras y controlar la implantación de iones en la industria de semiconductores.

Análogos desarrollos se han llevado a cabo para implantar iones en la preparación de  
30 semiconductores, procedimientos adecuados para bajas densidades de iones, como se protege en la patente US 6441382B1.

En la patente US 5196706 se describe un desacelerador de iones formado por dos lentes, cada una de tres electrodos, que permite optimizar la energía de los iones bajo determinadas condiciones para llevar a cabo la deposición de los iones, aunque en esta invención no se describe la eficiencia en la eliminación de las partículas neutras que viajan  
5 con los iones.

Recientemente se ha desarrollado un nuevo método de desaceleración de iones adecuado para su acoplamiento en la espectroscopia de resonancia de ion ciclotrón por transformada de Fourier (Frankevich V. et al, *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2001, 15, 2035) que  
10 utiliza una célula cilíndrica abierta situada antes de la cavidad de entrada a la célula del espectrofotómetro. Este nuevo método ha resultado eficaz para el análisis de iones de gran peso molecular producidos por MALDI.

El uso de varios electrodos cilíndricos se ha utilizado con gran éxito en la técnica de crecimiento de películas mediante el empleo de haces iónicos de baja energía. De hecho  
15 Shimizu S. et al (*Rev. Sci. Instrum.*, 1996, 67 (10), 3664,) desarrollaron esta técnica para producir haces iónicos seleccionados en masa y de gran densidad de corriente optimizado para la deposición de haces iónicos.

Una ventaja importante de la presente invención con respecto a los desarrollos anteriores es que usa de manera combinada, pero independiente, un electrodo cilíndrico y varias lentes tipo Einzel lo que permite realizar y optimizar, de manera independiente, no solo el frenado sino también el enfoque del haz iónico. Con ello se obtienen haces iónicos de baja energía y gran densidad característica, difíciles de alcanzar con el uso de forma individual  
20 de los componentes que forman el presente dispositivo.  
25

Este dispositivo compacto puede ser acoplado a cualquier técnica donde se utilicen haces iónicos, bien para realizar espectroscopia, bien para realizar grabado o implantación de iones.

30

### **Descripción de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo electroóptico combinado de tres elementos (fig. 1): una lente Einzel (1), un elemento cilíndrico (2) y una segunda lente

Einzel (3); cuyo uso permite desacelerar haces iónicos de gran energía gracias al uso de pulsos de voltaje aplicados al elemento cilíndrico (2), mientras es atravesado por los iones. Paralelamente, el uso de las dos lentes Einzel (1) y (3) extremas permite enfocar el haz de iones y asegurar una gran densidad de corriente en el plano imagen. El dispositivo debe  
5 instalarse a continuación de la fuente de iones mediante fijación mecánica.

La solución propuesta, Lente Einzel-Electrodo Cilíndrico-Lente Einzel (LECILE), resulta de gran utilidad para llevar a cabo estudios espectroscópicos y analíticos de gran resolución y sensibilidad de especies iónicas, así como en otros usos más tecnológicos  
10 como el grabado o la implantación iónica en la industria de semiconductores.

La fuente de iones y el detector no forman parte de la invención y puede usarse cualquier dispositivo, bien adquiriéndolos comercialmente o bien construyéndolos en los talleres disponibles en las empresas o laboratorios donde vaya a usar la técnica global. El único  
15 requisito es que la distancia entre ellos se ha de mantener constante.

El primer elemento es una lente Einzel (1) formada por tres discos (11), (12) y (13), figura 2 b), cuyos diámetros externo,  $d_1$ , e interno se pueden optimizar según la aplicación correspondiente, tanto científica de laboratorio como técnica. Esta lente sirve para enfocar  
20 los iones extraídos de la fuente hacia el interior del cilindro. Estos discos están fabricados en duraluminio, acero inoxidable o cualquier otro material conductor.

El elemento cilíndrico (2) está situado entre las dos lentes Einzel (1) y (3) y sirve para frenar el haz que incide con una energía inicial  $E_1$  hasta una energía final  $E_2$  (figura 3).  
25 Este elemento intermedio del dispositivo está fabricado en duraluminio, acero inoxidable o cualquier material otro conductor (figura 2 a).

La lente Einzel final (3) es similar a la lente (1) y está realizada en el mismo material de duraluminio, acero inoxidable o cualquier otro material conductor. Está constituida por tres  
30 discos (31), (32) y (33) de sección circular, de dimensiones ligeramente diferentes de las de la lente (1), según se detalla en la figura 2 c).

El disco (32) tiene una longitud  $L_{32}$ . Los discos (31) y el (33) son simétricos entre sí y más largos, ya que constan de dos piezas cilíndricas, de longitudes  $L_{31}$  y  $L_{32}$ ; donde el diámetro interior  $d_{32}$  se mantiene constante pero los diámetros exteriores  $d_{31}$  y  $d_{33}$  son distintos. La función de esta segunda lente es reenfoque el haz de iones que ha sido frenado en el elemento cilíndrico en un punto posterior según la aplicación deseada. Así se evita su divergencia tras su desaceleración por el elemento cilíndrico.

Los discos de cada lente van aislados con abalorios de cerámica o macor al objeto de que los tres elementos estén eléctricamente aislados. Cada uno de los tres discos tiene un pequeño agujero roscado en su parte superior para conectarlos, mediante un cable eléctrico, a un determinado potencial.

Todos los elementos mencionados tienen una sección circular con cuatro agujeros a  $90^\circ$  grados por donde se introducen sendas varillas roscadas que los engarzan para darle solidez y garantizar su alineamiento axial a lo largo de la dirección de propagación del haz de iones (figura 2 b).

Dichas varillas van roscadas en la cara externa de la fuente de iones, o bien a un disco paralelo a ella que garantice el alineamiento de este elemento LECILE con el haz inicial de iones formado en la fuente. Debe, por tanto, garantizarse que la dirección del haz de iones esté bien alineada a lo largo del eje central del dispositivo.

En esta descripción se hace uso de la incorporación de las varillas roscadas como método de fijación, pero su aplicación no queda limitada a esta solución sino que cualquier otro procedimiento de fijación es igualmente válido.

El funcionamiento del dispositivo es el siguiente:

- Se varía el voltaje del disco (12), la de enfoque, de la primera lente Einzel (1), con el fin de conseguir la máxima señal de iones en el detector. Normalmente, en la mayoría de los instrumentos estos detectores están formados por placas con microcanales que, sometidas a un voltaje positivo, amplifican la señal de iones

(negativos) en unos tres órdenes de magnitud por cada placa, así el voltaje al que cada una de ellas está sometida es del orden de mil voltios o más.

5 - El voltaje se hace variar hasta conseguir el enfoque máximo, la máxima señal, en el detector sin variar ningún otro parámetro del dispositivo cuyo diseño y operación motivan esta patente. Un ejemplo de optimización de enfoque de esta primera lente se ilustra en la figura 4.

10 - Una vez alcanzada esta primera fase se optimiza la operación del elemento cilíndrico intermedio para frenar la energía de los iones. Para ello hay que tener en cuenta que, cuando los iones con una energía cinética  $E_1$  están dentro del elemento cilíndrico, éste se conecta a un voltaje  $V$  inferior a  $E_1$  tal que los iones continúan moviéndose dentro del cilindro con una energía  $E_2$  dada por:

$$E_2 = E_1 - eV$$

15 - donde  $e$  es la carga del electrón pues en este desarrollo nos referimos a iones con una sola carga. El desarrollo es igualmente válido para iones con múltiples cargas, solo que en este caso en la ecuación anterior hay que multiplicar por el número de cargas el factor  $eV$ .

20 - En un momento dado, y antes de que los iones abandonen el elemento cilíndrico, el voltaje se lleva a cero, el cilindro se lleva a masa, con lo cual el ion sale del elemento cilíndrico con una energía inferior  $E_2$  dada por la relación anterior (figura 3).

25 Para llevar a cabo esta realización se recomienda usar un osciloscopio digital que permita medir no sólo la intensidad del haz y su tiempo de llegada, sino también grabar los pulsos que se deseen para poder realizar medidas comparativas disminuyendo notablemente el ruido que pueda tener una sola medida.

30 Hay que tener en cuenta que el voltaje  $V$  ha de ser positivo si el haz que se pretende frenar está formado por cationes y negativo si el haz estuviera formado por aniones.

El frenado del haz de iones es bastante efectivo pero tiene el inconveniente de que el haz saliente y de menor energía adquiere una divergencia mucho mayor que la del haz incidente.

- 5 Para corregir este problema se ha diseñado la segunda lente Einzel (3). Este tercer elemento del dispositivo, tras la aplicación de un voltaje a optimizar en su disco (32) y estando los disco (31) y (33) conectados a tierra, consigue enfocar de nuevo el haz de iones en el punto imagen deseado, es decir en el detector, sin que se haya frenado o acelerado la energía del haz resultante.

10

Este dispositivo se utiliza para haces de iones tanto pulsados como continuos.

#### **Modo de realización de la invención**

- Una vez formado el haz iónico mediante descarga de corona de la mezcla deseada, a  
15 continuación se optimiza la densidad y velocidad del haz usando el dispositivo objeto de esta invención.

Tanto las lentes Einzel (1) y (3) como el elemento cilíndrico (2) se han construido en duraluminio.

20

- Las dimensiones utilizadas son para la lente Einzel (1):  $L = 30$  mm y  $d_1 = 40$  mm. Está formada por tres discos (11), (12) y (13) del mismo diámetro  $d_1$  y un espesor  $e$  de 6 mm cada uno. Cada disco es atravesado por cuatro cilindros de macor, de diámetro  $d_2$  de 4 mm, para aislarlos entre sí y que se colocan entre los cuatro agujeros de los discos como se ve  
25 en la figura 2 b). El diámetro  $d_3$  de los agujeros es de 7 mm.

Dentro de las varillas cilíndricas de macor se alojan cuatro varillas cilíndricas de acero inoxidable que al ajustarse le dan solidez a todo el dispositivo. Y permite su engarce en cualquier placa o elemento de sujeción externo donde vaya finalmente colocad.

- 30 El elemento cilíndrico tiene una longitud  $L$  de 70 mm; un diámetro exterior  $d_{ext}$  de 36 mm y un diámetro interior  $d_{int}$  de 34 mm. (Figura 2 a)

La lente Einzel (3) tiene una longitud total de 63 mm y un diámetro externo  $d_{31}$  de 36 mm. Las longitudes utilizadas de los discos son:  $L_{31}= 10\text{mm}$  y  $L_{32}= 15\text{mm}$ . Los diámetros exteriores son:  $d_{31}= 38$  mm y  $d_{33}= 34$  mm, manteniéndose el diámetro interior  $d_{32}$  en 26 mm.

5

Para aislar las lentes se han utilizado piezas de macor. Todo el conjunto tiene una longitud total de 163 mm.

10

Inicialmente se trabaja con la primera lente Einzel manteniendo los potenciales de los discos a tierra y variando sólo el potencial del disco que actúa de foco. Un potencial típico con buena señal en la descarga de nitrógeno suele ser 700V, aunque éste se puede variar ligeramente según las distintas condiciones de presión. Este ajuste fino se hace de manera suave tratando de ver señal de iones en el detector colocado frontalmente al final del dispositivo. Una vez se ha visto señal, se trata de maximizar la intensidad de la señal variando suavemente el potencial del disco.

15

Optimizada la señal usando solo la descarga de Nitrógeno para mayor facilidad, se mide un espectro de tiempo de vuelo de iones  $\text{N}_2^+$  producidos en una descarga de gases  $\text{N}_2$  y posteriormente extraídos con un potencial positivo (figura 4). En ordenadas se muestra la intensidad de la señal en unidades arbitrarias. En el eje de las abscisas se registra el tiempo de vuelo: el tiempo que tardan los iones en llegar al detector desde que se conecta la primera lente Einzel (1), con el disco intermedio (12) que hace de foco, a un potencial negativo.

20

La traza superior más bien plana corresponde a un espectro de tiempo de vuelo donde no hay apenas señal pues no se ha aplicado potencial alguno a la primera lente Einzel. La traza inferior corresponde al espectro medido cuando se ha aplicado un potencial de -600V al foco (12) de la primera lente Einzel (1). Nótese el pico de señal que aparece justo debido al enfoque logrado cuando el disco central que hace de foco de la primera lente Einzel (1) es conectado a -600V.

30

Experimentos llevados a cabo recientemente con haces de aniones producidos al expandir nitrógeno con benzonitrilo muestran la eficacia de este nuevo método, tal y como se ilustra en los espectros de las figuras 5 y 6.

5 En la figura 5 se describe un espectro de tiempo de vuelo tomado tras la ionización de un haz que contiene nitrógeno. En dicha figura se observan dos picos correspondientes a este anión. El primero, el de la izquierda, que ocurre a menos tiempo y por tanto, dado que la distancia entre la fuente y el detector es fija, tiene mas energía cinética corresponde a la situación donde no se usa el elemento cilíndrico (2). Es decir, este elemento está conectado  
10 a tierra. En este caso se usa la primera lente Einzel para enfocar los iones en el detector. El pico que aparece a la derecha es el obtenido cuando se hace actuar el elemento cilíndrico (2) para retardar los iones. Nótese como en este caso el tiempo de vuelo del anión Nitrógeno aumenta en 14,1 microsegundos, es decir de aproximadamente de 19 $\mu$ s pasa a 33,1 $\mu$ s.

15

La Figura 6 muestra dos espectros de tiempo de vuelo realizados con el mismo haz iónico. En el primero se usan la lente Einzel (1) y el elemento cilíndrico (2) en las mismas condiciones que las señaladas anteriormente (figura 5). En un segundo experimento los potenciales de la primera lente Einzel (1) y del elemento cilíndrico (2) son los mismos. La  
20 única diferencia entre los dos espectros, en cuanto a parámetros experimentales, es que, mientras en primer espectro, el que tiene el primer pico de mayor intensidad, no se ha usado la segunda lente Einzel (3), en el segundo espectro, el que tiene el segundo pico con mayor intensidad, sí.

25 La comparación de ambos espectros indica claramente que cuando se usa la segunda lente Einzel (3) la señal correspondiente a los iones más lentos (mayor tiempo de vuelo) aumenta, mientras que la correspondiente al menor tiempo de vuelo disminuye. Es decir la segunda lente Einzel (3) sirve para reenfocar los iones cuya energía se ha frenado por el elemento cilíndrico (2).

30

Obviamente este dispositivo y el modo de realización pueden servir de ejemplo para su funcionamiento a pequeña escala. No obstante, los expertos en la técnica podrán encontrar

fácilmente las variaciones necesarias para aplicar este dispositivo a otra escala, incluso a escala industrial.

### **Breve descripción de las Figuras**

5 La figura 1 muestra un esquema del dispositivo objeto de esta invención.

La figura 2 muestra esquemáticamente los tres elementos del dispositivo con una vista frontal y lateral, a saber:

- 10 a) Vista lateral y frontal del elemento cilíndrico;
- b) Vista frontal y lateral de la lente Einzel I;
- c) Vistas de la lente Einzel II: a la izquierda, la vista lateral izquierda; en el centro, la vista frontal y a la derecha, la vista lateral derecha.

15 La figura 3 muestra un diagrama energético simplificado de la pérdida de energía cinética del ion que entra en el elemento cilíndrico (2).

La figura 4 muestra un espectro de tiempo de vuelo de iones  $N_2^+$  producidos en una descarga de gases  $N_2$  y posteriormente extraídos con un potencial positivo.

20 La figura 5 muestra dos espectros de tiempo de vuelo correspondientes a un haz de  $N_2$ , cuando se emplean la primera lente Einzel (1) y el elemento cilíndrico (2).

La figura 6 muestra espectros de tiempo de vuelo para el mismo haz iónico de la figura 5, cuando se emplea también la segunda lente Einzel (3).

25

### **Aplicación industrial**

La presente invención resulta de gran utilidad para llevar a cabo estudios espectroscópicos y analíticos de gran resolución y sensibilidad de especies iónicas así como en otros usos más tecnológicos como el grabado o implantación iónica en la industria de  
30 semiconductores.

**Reivindicaciones**

1. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía caracterizado porque comprende, al menos.
  - a) una primera lente Einzel (1),
  - 5 b) un elemento cilíndrico intermedio (2),
  - c) una segunda lente Einzel (3),
  - d) medios para sujetar y alinear los elementos entre sí y con el haz de iones.
  
2. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 1 caracterizado porque la primera lente Einzel (1) está formada por 10 tres discos (11), (12) y (13) cuyos diámetros externo e interno se optimizan según la aplicación en la que van a ser utilizados.
  
3. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 1 caracterizado porque el elemento cilíndrico intermedio (2) está 15 situado entre las dos lentes Einzel y porque está fabricado en cualquier material conductor.
  
4. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 1 caracterizado porque la segunda lente Einzel (3) está formada por 20 tres discos (31), (32) y (33).
  
5. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1 y 4 caracterizado porque los discos laterales (31) y (33) son 25 simétricos entre sí y más largos que el disco central.
  
6. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 4 y 5 caracterizado porque los discos (11), (12,) (13), (31), (32) y (33) de las lentes Einzel (1) y (2) están fabricados en cualquier material conductor.
  
- 30 7. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 caracterizado porque el material conductor es duraluminio.

8. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 4 y 5 caracterizado porque los discos (11), (12,) (13), (31), (32) y (33) de las lentes Einzel (1) y (2) están aislados eléctricamente entre sí por medio de piezas de cualquier material aislante.

5

9. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 4, 5 y 8 caracterizado porque el material aislante es cerámica.

10 10. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 4, 5 y 8 caracterizado porque el material aislante es macor.

11. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1, 2, 4 y 5 caracterizado porque los discos (11), (12,) (13), (31),  
15 (32) y (33) de las lentes Einzel (1) y (2) tienen un agujero roscado en su parte superior para conectarlos, mediante un cable eléctrico, a un determinado potencial.

12. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 1 caracterizado porque todos los elementos tienen cuatro agujeros a  
20 90° grados por donde se introducen los medios para sujetar y alinear los elementos entre sí y con el haz de iones y porque estos medios son cuatro varillas roscadas introducidas en dichos agujeros.

13. Dispositivo electroóptico para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 1 y 12 caracterizado porque las varillas van roscadas a la fuente  
25 de iones y porque se garantiza que la dirección del haz de iones está bien alineado a lo largo del eje central del dispositivo.

14. Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía utilizando el  
30 dispositivo electroóptico señalado en de las reivindicaciones 1-13 que comprende al menos las fases:

- incidir un haz de iones en la primera lente Einzel (1) del dispositivo;

- variar el voltaje del disco de enfoque (12) de la primera lente Einzel (1) hasta conseguir el enfoque máximo, la máxima señal, en el detector de iones;
- incidir el haz de iones en el interior del elemento cilíndrico (2);
- aplicar un voltaje determinado al elemento cilíndrico (2);
- 5 - llevar el voltaje del elemento cilíndrico (2) a cero llevando éste a masa;
- frenar o decelerar el haz de iones en el interior del elemento cilíndrico (2);
- incidir un haz de iones en la segunda lente Einzel (3) del dispositivo;
- variar el voltaje del disco de enfoque (32) de la segunda lente Einzel;
- enfocar el haz de iones saliente en el punto imagen deseado, disminuyendo su
- 10 divergencia,
- medir la intensidad del haz y grabar los pulsos para realizar medidas comparativas.

15 **15.** Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 14 caracterizado porque cuando los iones con una energía cinética  $E_1$  están dentro del elemento cilíndrico (2) y se aplica un voltaje determinado, los iones continúan moviéndose dentro de él con una energía  $E_2$  y porque  $E_2$  es menor que  $E_1$ .

20 **16.** Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 14 y 15 caracterizado porque el voltaje aplicado es tal que, multiplicado por la carga del electrón, es igual a la diferencia entre la energía cinética inicial  $E_1$  menos la energía energética final  $E_2$ .

25 **17.** Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 14 caracterizado porque trabaja con haces de iones con una energía cinética comprendida entre 0 y 10 KeV.

**18.** Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 14 caracterizado porque trabaja con haces de iones tanto positivos como negativos.

30

**19.** Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 14 y 18 caracterizado porque cuando el haz está formado por cationes el voltaje utilizado es positivo.

20. Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según las reivindicaciones 14 y 18 caracterizado porque cuando el haz está formado por aniones el voltaje utilizado es negativo.

5

21. Método para obtener haces iónicos de gran densidad y baja energía según la reivindicación 14 caracterizado porque trabaja con haces de iones tanto pulsados como continuos.

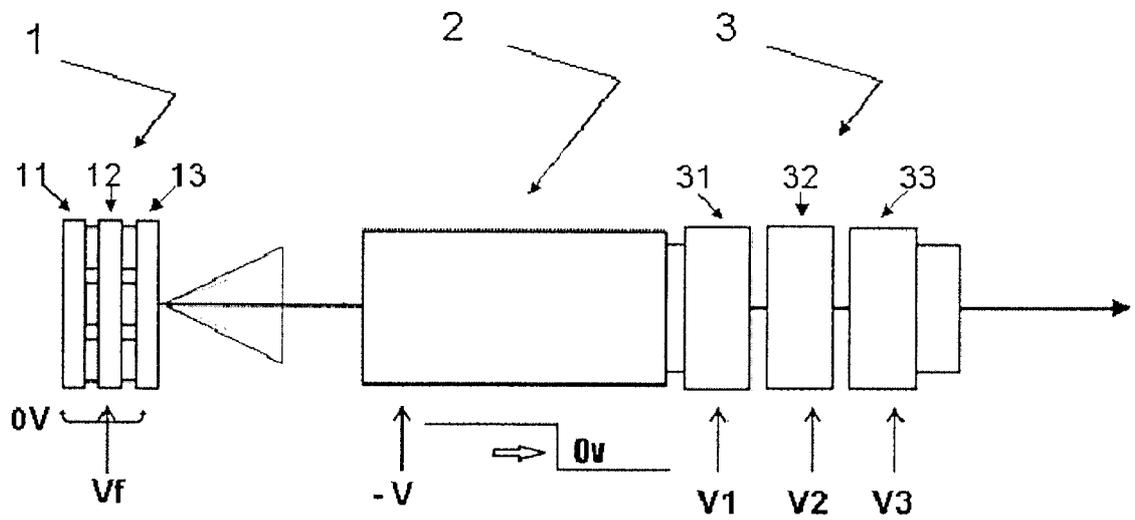
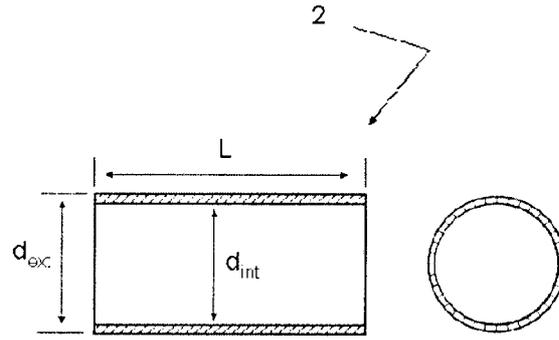
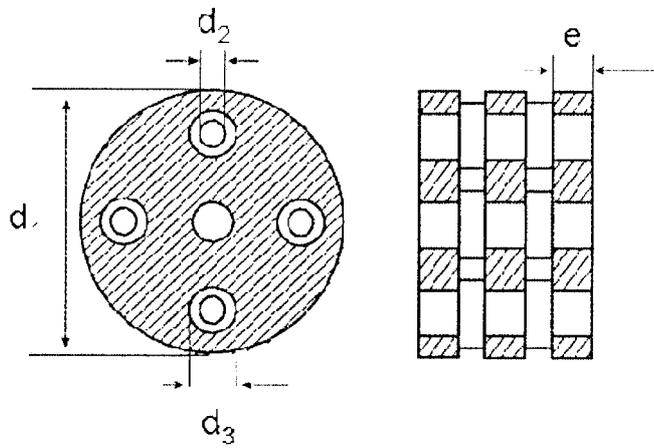


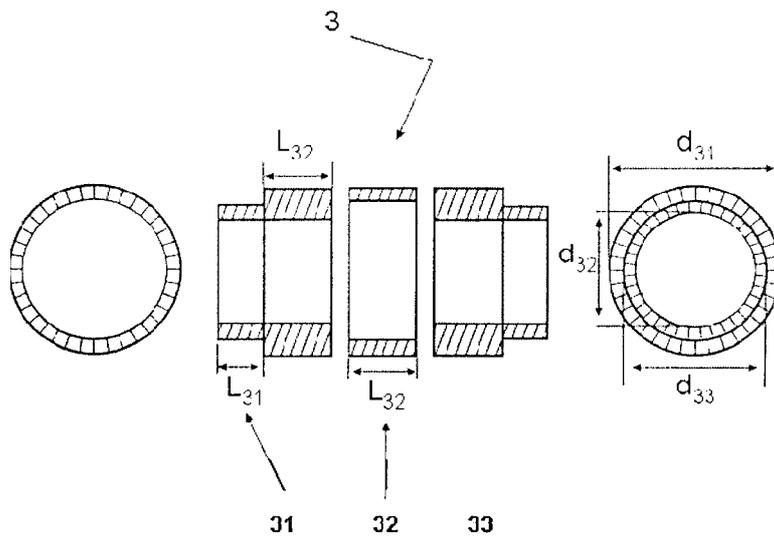
Figura 1



(a)



(b)



(c)

Figura 2

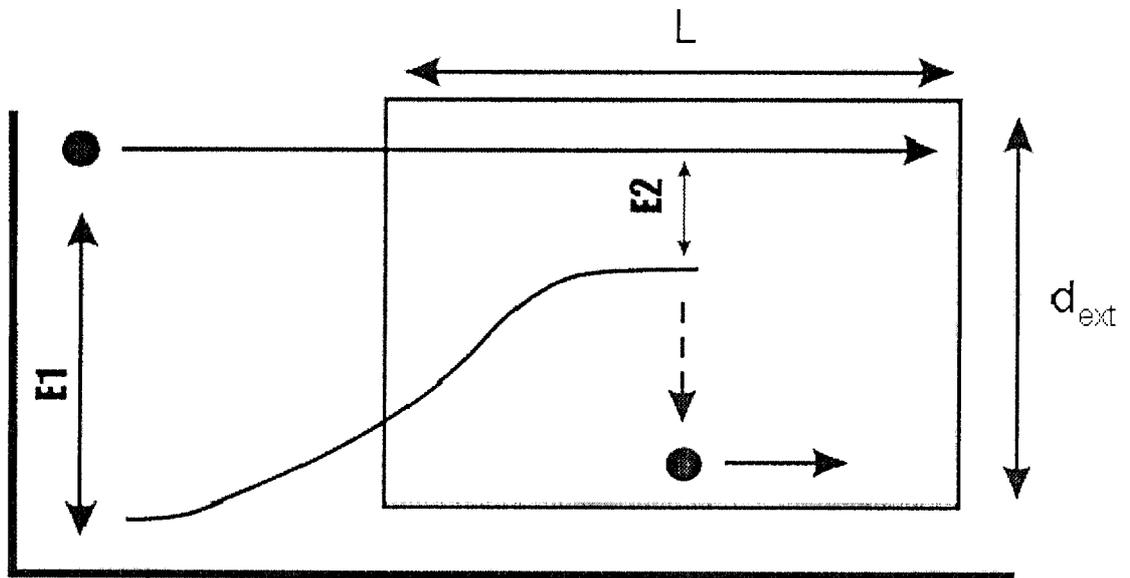


Figura 3

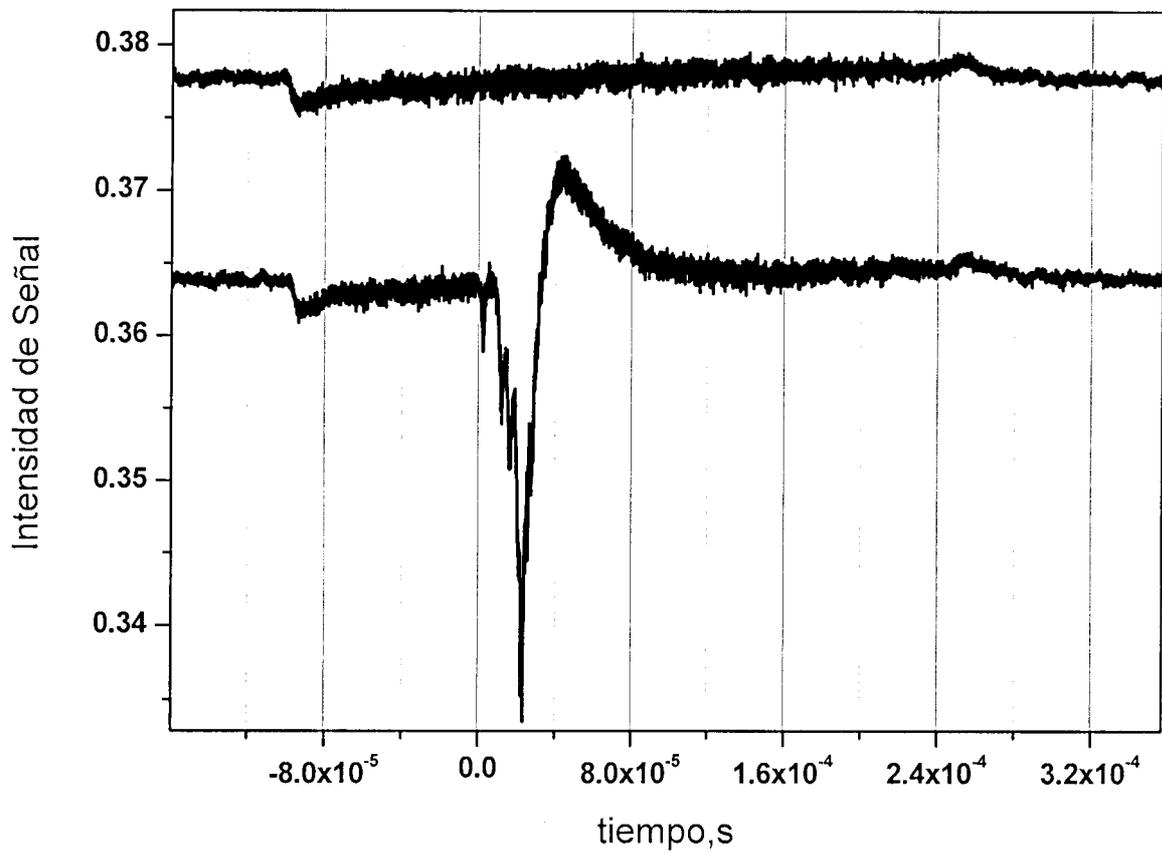


Figura 4

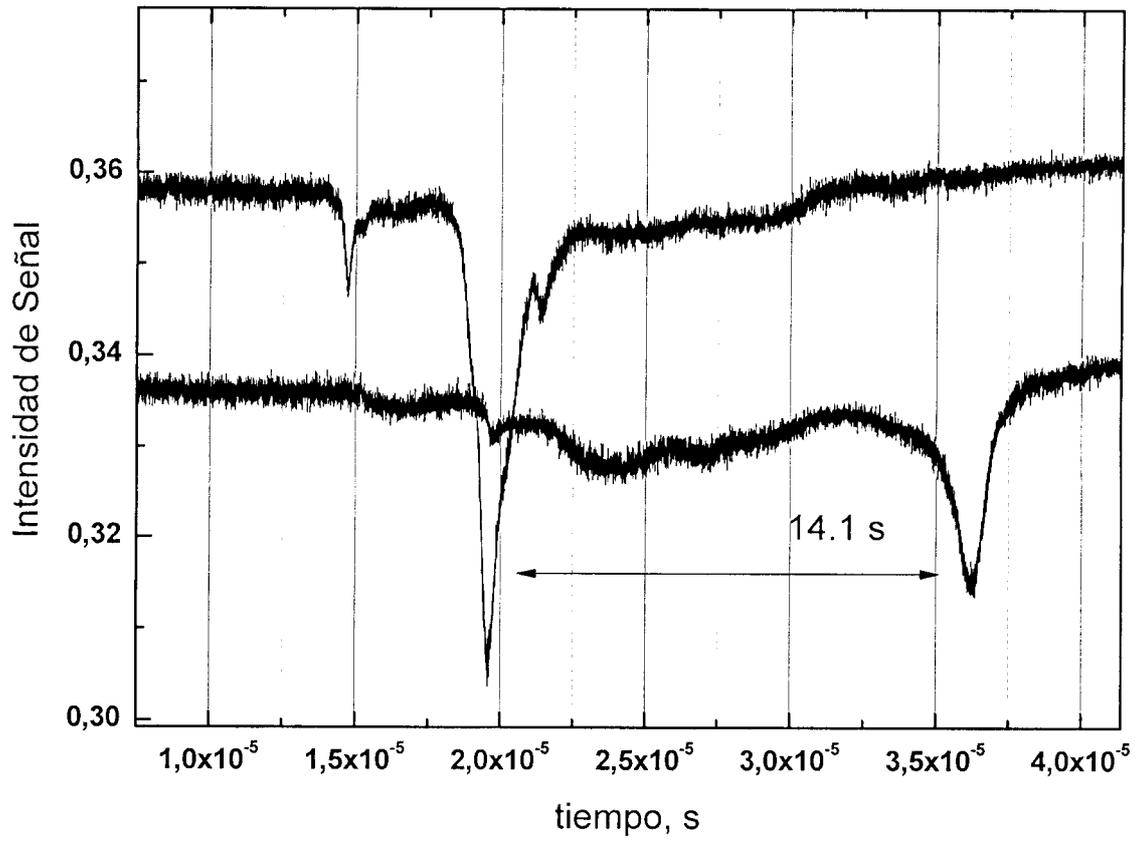


Figura 5

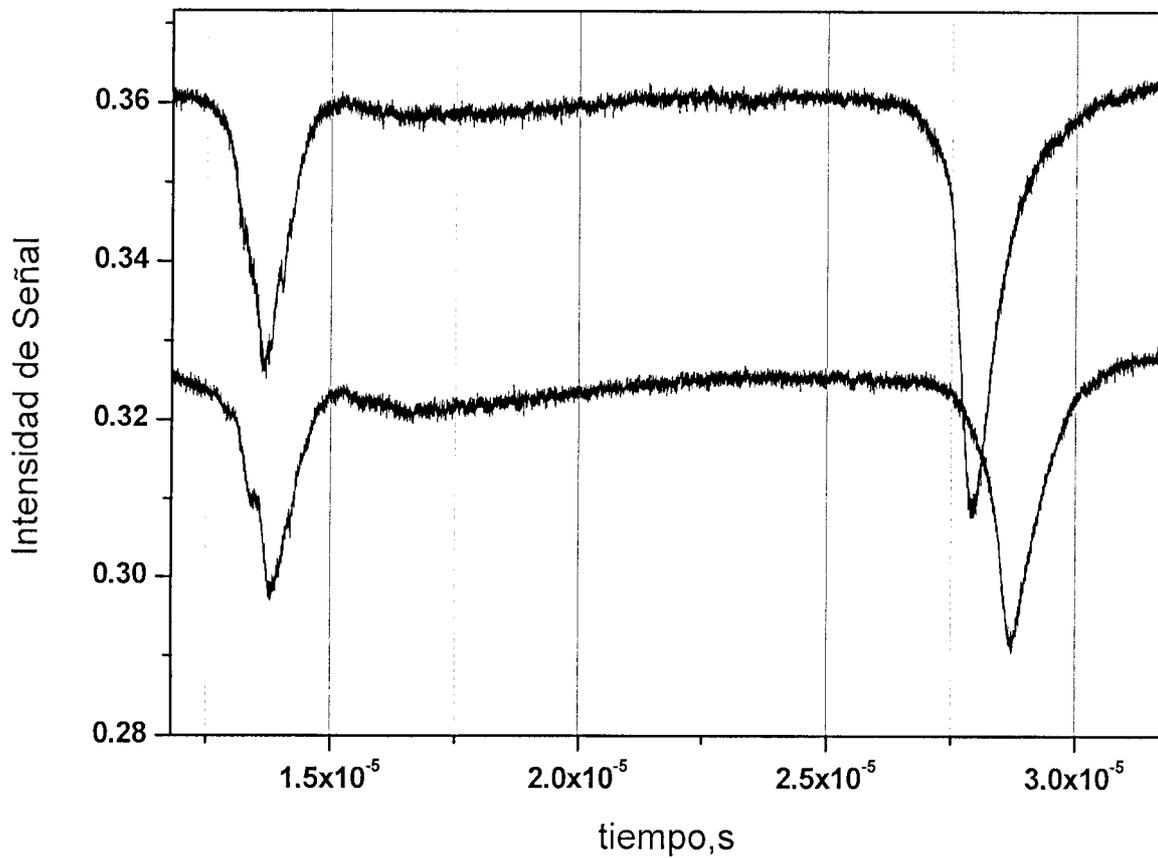


Figura 6



- ②① N.º solicitud: 201201264  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 21.12.2012  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G21K1/087** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2007021162 A1 (CEBT CO., LTD.) 22.02.2007, resumen; párrafos [2]-[3],[5]-[6],[8]-[10],[19]-[26]; figura 1.	1,2,4,6,7,11-13
Y A		8-10 14-21
Y	WO 2008090380 A1 (NFAB LIMITED) 31.07.2008, resumen; página 9, línea 29 – página 10, línea 33; página 11, línea 14 – página 12, línea 2; página 12, líneas 12,25 – página 14, línea 12; figuras 2A,3,11,12.	8-10
A		1-6,11,12,14-18,21
X	WO 2007021163 A1 (CEBT CO., LTD.) 22.02.2007, resumen; párrafos [8]-[10],[22]; figura 2.	1,2,4,6,7,11-13
A	WO 0031769 A2 (ETEC SYSTEMS, INC.) 02.06.2000, todo el documento.	1-13
A	CHANG, T. H. P. et al.: "Electronbeam microcolumns for lithography and related applications", J. Vac. Sci. Technol. B 14(6), nov/dic 1996, American Vacuum Society, págs. 3774-3781.	1-21

Categoría de los documentos citados

- X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

- O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
20.08.2014

Examinador  
Ó. González Peñalba

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G21K, H01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 20.08.2014

#### Declaración

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-21	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 3, 5, 14-21	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1, 2, 4, 6-13	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

#### Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2007021162 A1 (CEBT CO., LTD.)	22.02.2007
D02	WO 2008090380 A1 (NFAB LIMITED)	31.07.2008

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1, 2, 4 y 6-13 de la presente Solicitud carece de actividad inventiva por poder ser deducida del estado de la técnica de un modo evidente por un experto en la materia.

En efecto, partiendo del documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con las categorías X e Y para dichas reivindicaciones y considerado el antecedente tecnológico más próximo al objeto en ellas definido, se describe en él un dispositivo electroóptico capaz de obtener haces iónicos (especificados en el caso particular de electrones, pero que pueden ser de otro tipo cambiando simplemente la fuente) de gran densidad y baja energía (se recoge explícitamente la capacidad de modificación de la energía del haz, y su capacidad de concentración se explicita también, por ejemplo, en el haz concentrado que incide sobre la muestra en la Figura 1), que comprende:

a) una primera lente de Einzel (lente de fuente 3 de la Figura 1 -no se menciona explícitamente como una lente de Einzel, pero se alude al uso de tales lentes en la parte de antecedentes de la descripción, y la configuración de la lente 3 es en todo análoga a estas-),

b) un elemento cilíndrico intermedio (deflector 4; Figura 1),

c) una segunda lente de Einzel (lente de enfoque 6; Figura 1).

Se comprueba, por tanto, que la única diferencia técnica entre el dispositivo de D01 y el definido en la reivindicación 1 de esta Solicitud es la presencia explícita, en este último, de medios para sujetar y alinear los elementos entre sí y con el haz de iones. Tales medios constituyen, sin embargo, una solución a un problema técnico secundario, concomitante con el esencial de la invención pero distinto de este, cual es la sujeción alineada de los componentes del dispositivo, para la que no se aportan, por lo demás, características diferenciadoras con respecto a lo ya conocido en el estado de la técnica. La incorporación de estos medios al dispositivo de D01 puede considerarse, por lo tanto, una mera yuxtaposición de elementos que actúan de manera conocida para obtener los fines esperados, sin que de su combinación se desprendan efectos sorprendentes o inesperados. El experto de la técnica recurrirá de un modo evidente a tales medios para resolver dicho problema de alineamiento para el que el dispositivo de D01 no recoge ninguna solución, por lo que dicha reivindicación primera carece de actividad inventiva con respecto a D01, según el Art. 8 de la vigente Ley de Patentes.

Un razonamiento similar puede hacerse en relación con las reivindicaciones 2, 4, 6, 7 y 11-13, que recogen elementos o detalles constructivos asociados a problemas secundarios y ya resueltos de análoga manera en el estado de la técnica (por ejemplo, el uso de materiales conductores específicos para los discos de las lentes de Einzel, ya conocidos, o los detalles sobre las conexiones y elementos de alineación, también existentes en el estado de la técnica de los dispositivos conformadores de haces iónicos), y que carecen también, en consecuencia, de actividad inventiva con respecto a D01.

Y, por último, los materiales aislantes entre los discos de las lentes de Einzel recogidos en las reivindicaciones 8-10, que no se mencionan explícitamente en D01, sí se recogen desde un punto de vista genérico en el documento D02 (citado también en el IET con la categoría Y en combinación con D01 para dichas reivindicaciones) para la resolución del problema del aislamiento entre elementos sometidos a tensión, por lo que cabe concluir, por el mismo razonamiento, que estas reivindicaciones 8-10 carecen de actividad inventiva con respecto a la combinación de D01 y D02, según el mencionado Art. 8 LP.