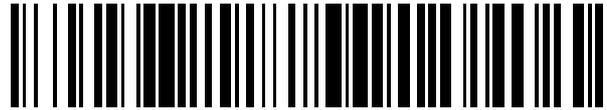


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 821**

51 Int. Cl.:

**H01M 2/08** (2006.01)

**H01M 6/18** (2006.01)

**H01M 2/02** (2006.01)

**H01M 10/052** (2010.01)

**H01M 10/058** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2009 E 09175987 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 2192638**

54 Título: **Microbatería sobre sustrato con encapsulación monolítica**

30 Prioridad:

**21.11.2008 FR 0806540**

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

**29.05.2013**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
BATIMENT "LE PONANT D" 25, RUE LEBLANC  
75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:

**BEDJAOUI, MESSAOUD y  
MARTIN, STEVE**

74 Agente/Representante:

**POLO FLORES, Carlos**

**ES 2 404 821 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

Microbatería sobre sustrato con encapsulación monolítica

5 **Ámbito técnico de la invención**

La invención se refiere a una microbatería que comprende un primer colector de corriente y un segundo colector de corriente dispuestos sobre un sustrato, un apilamiento, que comprende dos electrodos separados por una película electrolítica, estando cada electrodo unido a un colector correspondiente, uno de los electrodos siendo un ánodo a base de litio, estando dicho apilamiento recubierto por una encapsulación que comprende una capa metálica, sobresaliendo el primer colector de corriente fuera de la encapsulación, y el segundo colector estando en contacto con la capa metálica.

15 **Estado de la técnica**

Las microbaterías de litio comprenden esencialmente elementos reactivos, particularmente el ánodo que está constituido muy a menudo por componentes litiados. El litio metálico reacciona rápidamente en exposición a los elementos atmosféricos tales como el oxígeno, el nitrógeno o también el vapor de agua, conllevando un envejecimiento acelerado de la batería. Se han desarrollado protecciones para paliar estos problemas de deterioro. De este modo, las microbaterías están dotadas convencionalmente de una envuelta de protección suficientemente estanca frente a la atmósfera y perfectamente compatible con las capas utilizadas en la microbatería para prevenir cualquier fuga.

Existen dos conceptos de protección, la envuelta y la encapsulación monolítica.

Una microbatería se denomina envuelta cuando una tapa estanca a la atmósfera se ha añadido por encima de la microbatería para protegerla. Convencionalmente, el encolado de la tapa se realiza en atmósfera controlada en presencia de un gas inerte como argón. Esta tecnología presenta varios inconvenientes de los cuales los principales son la fiabilidad a largo plazo de la microbatería y la dificultad de controlar la estanqueidad de la tapa para evitar cualquier contaminación con el exterior. Además, las microbaterías envueltas tienen en general dimensiones demasiado grandes que no responden a las exigencias de los pliegos de condiciones.

En una encapsulación monolítica, la barrera, que separa los componentes de los riesgos del entorno exterior, se realiza mediante deposición de capas finas.

La patente US5.561.004 describe una microbatería con encapsulación monolítica. Como se ilustra en la figura 1, la microbatería se realiza sobre un sustrato de base 1 sobre el que se disponen un primer colector de corriente 2 y un segundo colector de corriente 3, los colectores de corriente 2 y 3 están separados por una parte 6 de sustrato. Sobre el primer colector de corriente 2 (a la izquierda en la figura 1), una capa que forma un cátodo 4 se deposita dejando una zona exterior libre 12 del primer colector 2 a la izquierda del cátodo 4, que permite realizar las conexiones eléctricas. Una película electrolítica 5 se deposita a continuación para recubrir el cátodo 4, una sección de la parte 6 de sustrato que separa los dos colectores 2 y 3 así como una parte de la zona libre del primer colector 2. Un ánodo 7 de litio se dispone por encima de la película electrolítica 5 y recubre una parte del segundo colector de corriente 3. El apilamiento cátodo/película electrolítica/ánodo se recubre a continuación con una capa de encapsulación 13 que comprende una capa de polímero y una capa metálica. La patente sugiere aislar eléctricamente la capa metálica: en efecto, sin aislamiento los dos colectores 2, 3 de la figura 1 sufren un cortocircuito. Sin embargo, la patente no precisa donde realizar el aislamiento, ni el tipo de material a utilizar. Ahora bien, las limitaciones actuales necesitan que las microbaterías de litio duren al menos 10 años, lo que corresponde para ciertos tipos de baterías a un valor barrera al oxígeno y a la humedad de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/J. La elección del material debe tener en cuenta, por lo tanto, estas limitaciones y debe ser coherente con las capas adyacentes para no deteriorarlas.

50 **Objeto de la invención**

El objeto de la invención tiene como objetivo una microbatería que tiene un valor de barrera al oxígeno y a la humedad suficiente, y cuya coherencia de los materiales que constituyen las diferentes capas evita cualquier degradación de la microbatería.

Este objetivo se alcanza mediante las reivindicaciones adjuntas y, en particular, gracias a un tapón de alúmina, de grosor inferior a 30 nm, dispuesto entre el primer colector de corriente y la capa metálica, estando el electrodo en contacto con el primer colector de corriente aislado eléctricamente de la capa metálica por el tapón de alúmina.

La invención también se refiere a un procedimiento de fabricación que comprende sucesivamente:

- la formación sobre el sustrato del primer colector de corriente y del segundo colector de corriente,
- la formación del tapón de alúmina sobre el primer colector y la realización del apilamiento,
- la encapsulación del apilamiento con una capa metálica en contacto eléctrico con el segundo colector de corriente por un lado y en contacto con el tapón de alúmina por el otro.

### Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características quedarán más claras a partir de la descripción a continuación de realizaciones particulares de la invención que se dan a título de ejemplos no limitantes y representadas en los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 ilustra una microbatería según la técnica anterior.

La figura 2 ilustra una microbatería según una realización de la invención.

Las figuras 3 a 5 ilustran un procedimiento de fabricación de una microbatería según la figura 2.

La figura 6 ilustra una segunda realización de una microbatería según la invención.

### Descripción de realizaciones particulares

Una microbatería comprende, como se ilustra en la figura 2 un primer colector de corriente 2 y un segundo colector de corriente 3 dispuestos sobre un sustrato 1. Un apilamiento convencional, que comprende dos electrodos 4, 7 separados por una película electrolítica 5, se dispone entre los dos colectores de corriente 2 y 3. Cada electrodo 4, 7 está en contacto eléctrico con un colector de corriente 2, 3 correspondiente. Uno de los electrodos es un ánodo 7 de litio o a base de litio. El apilamiento está recubierto por una encapsulación que comprende una capa metálica 8 que permite una protección óptima de dicho apilamiento frente a los ataques del entorno exterior. Para evitar cualquier cortocircuito entre los dos colectores de corriente 2 y 3, es necesario aislar la capa metálica 8 del primer colector de corriente 2 mientras se conserva un buen compromiso respecto a la permeabilidad de la microbatería. El aislamiento que responde a las limitaciones se realiza mediante un tapón 9 de alúmina dispuesto entre el primer colector de corriente 2 y la capa metálica 8 que permite una encapsulación eficaz de la microbatería. Una parte del primer colector de corriente 2 sobresale fuera de la encapsulación, haciendo a este último accesible para realizar las conexiones de la microbatería. El segundo colector de corriente 3 está, por su parte, en contacto con la capa metálica 8 de la encapsulación. Por supuesto, para evitar un cortocircuito entre el electrodo en contacto con el primer colector de corriente 2 y la capa metálica 8, estos dos elementos están aislados eléctricamente uno del otro, este aislamiento puede estar realizado por el tapón de alúmina.

Las tecnologías actuales no permiten obtener capas gruesas de alúmina no porosa, es decir que la estanqueidad al vapor de agua, el oxígeno y el nitrógeno de un tapón 9 de alúmina realizado en capa gruesa no puede cumplir las condiciones requeridas de penetración por ejemplo inferiores a  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/J. Además, el hecho de colocar el tapón 9 de alúmina en la parte baja de la microbatería y de ponerle en contacto con la película electrolítica 5 y/o el ánodo 7 de litio, plantea un problema sobre el rendimiento de la microbatería. En efecto, durante el funcionamiento de la microbatería, los iones se desplazarán del ánodo 7 hacia el cátodo 4, y el riesgo de que el litio se difunda en las capas inferiores de la batería no es despreciable. Si el litio llegara a difundirse en el material que sirve de tapón 9, esto tendría una doble consecuencia, la disminución del rendimiento de la batería y el deterioro del tapón 9, que puede hacerle poroso a los ataques del entorno exterior, incluso conductor de la electricidad. Aunque este riesgo pueda estar parcialmente compensado por el aumento del grosor de la capa de alúmina, esto sería a expensas de la estanqueidad. Es necesario que el tapón de alúmina permita un buen compromiso entre la estanqueidad y la difusión del litio. Este compromiso se alcanza si el tapón de alúmina tiene un grosor inferior a 30 nm, y comprendido preferentemente entre 20 nm y 30 nm. En efecto, dicho tapón es estable químicamente y muy denso físicamente, es decir que presenta una porosidad muy reducida. Se han realizado ensayos sobre un apilamiento constituido por una capa de litio y por una capa de alúmina de 25 nm, estando la capa de alúmina depositada, por ejemplo, mediante deposición por capa atómica («ALD» por *atomic layer deposition* en inglés). No se ha mostrado ninguna difusión o interacción entre estas dos capas. Además, durante los ensayos, el apilamiento se sometió a un recocido a 300°C sin que ninguna interacción fuera observable. Estos ensayos mostraron por lo tanto la inercia, la estabilidad química y térmica de una capa de alúmina de grosor nanométrico en contacto con una capa de litio.

De manera general, la deposición de la capa que forma el tapón 9 de alúmina utilizando, preferentemente, la deposición por capa atómica ALD procura al tapón 9 una densidad y una disposición atómica tales que una capa

muy fina se vuelve impermeable al oxígeno al tiempo que tiene propiedades de aislamiento eléctrico. A título de contraejemplo, una capa de 80 nm de alúmina posee un coeficiente comprendido entre  $10^{-3}$  y  $10^{-2}$  g/m<sup>2</sup>/J, dicho coeficiente no es suficiente para garantizar una buena impermeabilidad.

5 Preferentemente, la capa que forma el tapón 9 de alúmina tiene un grosor comprendido entre 20 y 30 nm.

La alúmina en capa nanométrica se convierte en un material muy bueno a nivel de la característica de la penetración de gas oxidante. En efecto, puede poseer un coeficiente de penetración de  $10^{-5}$  g/m<sup>2</sup>/J inferior al máximo preferible de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/J que permite un funcionamiento prolongado de la microbatería. La realización de una capa de encapsulación de alúmina habría podido ser suficiente, sin embargo este material es relativamente quebradizo y la dilatación de la microbatería en funcionamiento habría conllevado limitaciones mecánicas que corren el riesgo de agrietar la capa de encapsulación. La capa de encapsulación una vez agrietada habría perdido todas sus propiedades de barrera frente al entorno. Por esto, se ha decidido utilizar un tapón de alúmina en capa nanométrica, cuyas propiedades de resistencia a la difusión del litio eran hasta entonces desconocidas, para completar una encapsulación metálica al tiempo que se dejan accesibles los colectores en una misma cara del sustrato.

Otros materiales tales como sílice o nitruro de silicio se ensayaron para realizar el tapón 9. La sílice se descartó ya que el coeficiente de penetración de este material es del orden de  $10^{-2}$  g/m<sup>2</sup>/J lo que es insuficiente. El nitruro de silicio también se descartó ya que su coeficiente de penetración es de  $10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>/J.

El primer colector de corriente 2, sobre el que se dispone el tapón 9 de alúmina, sobresale de la encapsulación, la zona 12 dejada libre por el saliente permite instalar un primer borne de conexión 10a, un segundo borne 10b que puede estar dispuesto sobre la capa metálica 8. Este saliente permite evitar perforar el sustrato por su cara opuesta a la microbatería para realizar las conexiones eléctricas al primer colector de corriente 2. Esto es posible gracias a la reducida permeabilidad de la capa nanométrica de alúmina que forma el tapón 9, que permite al primer colector de corriente 2 sobresalir de la encapsulación sin degradar de forma prematura la batería mientras aísla eléctricamente el primer colector de corriente 2 del segundo colector de corriente 3.

Según el ejemplo de realización particular ilustrado en la figura 2, la microbatería se realiza sobre un sustrato 1 de base sobre el que se disponen los primer y segundo colectores de corriente 2, 3 separados por una parte 6 de sustrato. Un cátodo 4 se dispone sobre el primer colector de corriente 2 (a la izquierda en la figura 1), y el tapón 9 de alúmina está unido al cátodo 4 a la izquierda de este último dejando una zona libre 12 del colector a la izquierda del tapón de alúmina 9. La película electrolítica 5 recubre la totalidad del tapón 9 (figura 2) y al menos una sección de la parte 6 del sustrato que separa los dos colectores de corriente 2 y 3. En este caso, la película 5 también puede cubrir una parte del tapón 9 de alúmina. La película electrolítica 5 también puede recubrir la totalidad de la parte 6 del sustrato 1, que separa los dos colectores de corriente 2 y 3, y una zona del segundo colector 3: esto permite aumentar el volumen del electrolito sin aumentar su grosor. El ánodo 7 a base de litio se dispone por encima de la película electrolítica 5 y está en contacto eléctrico con el segundo colector de corriente 3. El ánodo 7 también puede recubrir completamente la película electrolítica 5 y, por lo tanto, estar en contacto con el tapón 9 de alúmina. El apilamiento cátodo/película electrolítica/ánodo puede estar recubierto por una encapsulación que comprende una capa de recubrimiento 11, preferentemente, de polímero, y a continuación por una capa metálica 8. Aunque la capa metálica 8 habría podido depositarse directamente por encima del ánodo 7, su deposición habría deteriorado el litio que constituye el ánodo 7, conllevando de este modo una pérdida de rendimiento de la batería. Es por esto que una capa de recubrimiento 11 que recubre completamente el ánodo se deposita antes de recubrir el apilamiento con la capa metálica 8 hasta los dos colectores de corriente 2 y 3. Además, la capa de polímero puede presentar una rugosidad de superficie más reducida que la del ánodo. De este modo, las prestaciones de la capa de barrera metálica aumentan. El segundo colector 3 está en contacto eléctrico con la capa metálica 8 de encapsulación y el primer colector 2 está aislado eléctricamente de la capa metálica por el tapón 9 de alúmina. Por supuesto, si la capa de recubrimiento 11 está a la vez en contacto con el primer colector y el segundo colector, este último es aislante eléctricamente para evitar cualquier cortocircuito.

Según una segunda realización ilustrada en la figura 6, el cátodo 4 se dispone sobre el segundo colector de corriente 3. La película electrolítica 5 recubre el cátodo 4, la parte 6 de sustrato y una parte del primer colector de corriente 2. El ánodo 7 de litio se dispone por encima de la película electrolítica, y está en contacto eléctrico con el primer colector de corriente 2. Una capa de recubrimiento 11 de polímero recubre el apilamiento. La encapsulación se completa con el tapón de alúmina 9 dispuesto sobre el primer colector de corriente 2 y con una capa metálica 8, aislada del primer colector de corriente 2 por el tapón de alúmina 9, y en contacto con el segundo colector de corriente 3. El primer colector sobresale fuera de la encapsulación para permitir la realización de un primer borne de conexión 10a. Un segundo borne de conexión 10b está unido a la capa metálica 8.

Para evitar un cortocircuito del apilamiento con la capa metálica 8, el electrodo en contacto con el primer colector de corriente 2 debe estar aislado eléctricamente de la capa metálica 8. Este aislamiento puede realizarse mediante la

capa de recubrimiento 11, por ejemplo de polímero, intercalada entre la capa metálica 8 y el apilamiento. Por supuesto, como se ha descrito anteriormente, el tapón 9 de alúmina participa también de este aislamiento eléctrico.

El procedimiento de realización de la microbatería comprende al menos las siguientes etapas:

5 - la formación sobre el sustrato 1 del primer colector de corriente 2 y del segundo colector de corriente 3,

10 - la formación de un tapón 9 de alúmina, de un grosor inferior a 30 nm, y preferentemente comprendido entre 20 y 30 nm, sobre el primer colector de corriente 2 y la realización del apilamiento que comprende la película electrolítica 5 intercalada entre el ánodo 7 y el cátodo 4,

- la encapsulación del apilamiento con una capa metálica 8 en contacto eléctrico con el segundo colector 3 por un lado y en contacto con el tapón de alúmina 9 por el otro.

15 Según un ejemplo de realización particular ilustrado en las figuras 2 a 5, el procedimiento de realización de la microbatería comprende una primera etapa que consiste en formar sobre un sustrato 1 de soporte los primer y segundo colectores de corriente 2, 3 sobre una misma cara del sustrato 1 de soporte (figura 3), estando estos dos colectores de corriente 2, 3 separados por una parte 6 de sustrato. Los sustratos utilizados son generalmente vidrio, silicio o silicio nitrurado. El silicio nitrurado presenta la ventaja de una mayor resistencia a la difusión del litio, por lo tanto será preferido. Esta etapa de formación de los primer y segundo colectores de corriente 2, 3 puede realizarse mediante cualquier tipo de técnica de deposición en capas finas tales como deposición física en vapor (PVD por «Physical Vapor Deposition» en inglés) o deposición química en vapor (CVD por «Chemical Vapor Deposition» en inglés). Preferentemente, los primer y segundo colectores 2, 3 están hechos de titanio, de tungsteno o de oro, y tienen un grosor de aproximadamente 200 nm.

25 A continuación, se deposita una capa de alúmina para formar el tapón 9 sobre el primer colector 2, dejando a uno y otro lado del tapón 9 una zona libre del primer colector de corriente 2. Este tapón 9 de alúmina tiene un grosor inferior a 30 nm, preferentemente comprendido entre 20 y 30 nm, y se realiza mediante deposición por capa atómica (ALD por «atomic layer deposition» en inglés) a temperatura ambiente. Por temperatura ambiente, se entiende una temperatura comprendida entre 20°C y 60°C. El cátodo 4 se forma a continuación a la derecha del tapón 9 (en la figura 4). Este cátodo 4 está en contacto con el tapón 9 de alúmina y tiene un grosor superior al grosor del tapón 9 de alúmina. El cátodo se extiende, preferentemente, desde el tapón 9 al extremo del primer colector de corriente 2 que está orientado hacia el segundo colector de corriente 3. El cátodo 4 se deposita, preferentemente, mediante procedimientos convencionales tales como evaporación al vacío o pulverización catódica. Generalmente, el cátodo 4 puede estar hecho de oxisulfuro de titanio TiOS, de pentóxido de vanadio V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o de disulfuro de titanio TiS<sub>2</sub>. Una de las ventajas del procedimiento ALD es la reducida temperatura empleada. De este modo, los otros materiales ya depositados no corren el riesgo de deteriorarse al contrario que en los procedimientos de deposición convencionales de sílice o de nitruro de silicio que exigen temperaturas de deposición del orden de 400°C.

40 Debido a esto, el cátodo 4 puede, por lo tanto, depositarse tanto antes como después de la realización del tapón. Sin embargo, puede ser ventajoso realizar previamente el conjunto sustrato/colectores/tapón durante una primera etapa en un armazón convencional de deposición y a continuación transferir este conjunto a otro armazón dedicado a las deposiciones de las capas específicas del apilamiento de la microbatería.

45 La etapa siguiente consiste en depositar la película electrolítica 5, preferentemente, de LiPON. Generalmente, ésta está elaborada mediante pulverización catódica (PVD) o mediante deposición química en fase de vapor («CVD» por chemical vapor deposition en inglés). Se preferirá la pulverización catódica ya que permite obtener una capa continua de grosor muy reducido y sin defectos. Su grosor es del orden de 1,5 µm. La película electrolítica 5 está, preferentemente, formada para recubrir por un lado el cátodo 4 y una parte del tapón 9 y al menos una parte de la parte 6 del sustrato 1 que separa los dos colectores (figura 5). Preferentemente, la película electrolítica 5 recubre la totalidad de la parte que separa los dos colectores 2, 3 y una parte del segundo colector 3.

55 Después de la deposición de la película electrolítica 5, se forma, por ejemplo mediante pulverización, el ánodo 7 de litio cuyo grosor medio es, preferentemente, de 3 µm. Este último se deposita de manera que esté en contacto eléctrico con el segundo colector de corriente 3 y la película electrolítica 5. Según una variante, el ánodo 7 recubre la totalidad de la película electrolítica, y está en contacto con una parte del tapón 9 de alúmina (figura 2).

60 Para terminar, la microbatería es encapsulada para protegerla de la humedad del aire. La etapa de encapsulación comprende la deposición de una capa de recubrimiento que recubre totalmente el apilamiento cátodo/película electrolítica/ánodo. Esta capa de recubrimiento 11 es, preferentemente, una capa no sometida a tensiones y alisante de polímero tal como parileno. Una capa alisante es una capa que permite reducir la topografía de superficie después de su deposición, es decir tener una superficie más plana después de la deposición que antes de la

- deposición. Esta capa de recubrimiento 11 permite, además, absorber las tensiones mecánicas de la microbatería en funcionamiento. Preferentemente, esta capa de recubrimiento tiene un grosor comprendido entre 2 y 5  $\mu\text{m}$ , por ejemplo 3  $\mu\text{m}$ , y puede obtenerse mediante evaporación al vacío. La capa de polímero no siendo, ella misma, suficiente para proporcionar estanqueidad a la microbatería, está recubierta por la capa metálica 8 unida eléctricamente al segundo colector 3 y en contacto con el tapón 9 de alúmina que garantiza que no es posible ningún cortocircuito entre los dos colectores de corriente 2, 3. La capa metálica 8 de encapsulación se selecciona, preferentemente, entre el grupo formado por titanio, platino, aluminio, cobre o una aleación de estos materiales.
- 5
- 10 Por supuesto, el procedimiento descrito anteriormente puede adaptarse para realizar la microbatería representada en la figura 6.

**REIVINDICACIONES**

1. Microbatería que comprende un primer colector de corriente (2) y un segundo colector de corriente (3) dispuestos sobre un sustrato (1), un apilamiento, que comprende dos electrodos (4, 7) separados por una película electrolítica (5), estando cada electrodo (4, 7) unido a un colector correspondiente, siendo uno de los electrodos un ánodo (7) a base de litio, estando dicho apilamiento recubierto por una encapsulación que comprende una capa metálica (8), sobresaliendo el primer colector de corriente (2) fuera de la encapsulación, y estando el segundo colector (3) en contacto con la capa metálica (8), microbatería **caracterizada porque** un tapón (9) de alúmina, de grosor inferior a 30 nm, se dispone entre el primer colector de corriente (2) y la capa metálica (8), estando el electrodo en contacto con el primer colector de corriente (2) aislado eléctricamente de la capa metálica (8) por el tapón (9) de alúmina.
2. Microbatería según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el tapón (9) de alúmina tiene un grosor comprendido entre 20 y 30 nm
3. Microbatería según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada porque** la encapsulación comprende una capa de recubrimiento (11) de polímero intercalada entre la capa metálica (8) y el apilamiento.
4. Procedimiento de fabricación de una microbatería según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** comprende sucesivamente:
- la formación sobre el sustrato (1) del primer colector de corriente (2) y del segundo colector de corriente (3),
  - la formación del tapón (9) sobre el primer colector (2) y la realización del apilamiento,
  - la encapsulación del apilamiento con una capa metálica (8) en contacto eléctrico con el segundo colector de corriente (3) por un lado y en contacto con el tapón (9) de alúmina por el otro.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** uno de los electrodos es un cátodo, en contacto con el primer colector de corriente, estando dicho cátodo hecho de un material seleccionado entre TiOS, TiS<sub>2</sub> o V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 y 5, **caracterizado porque** el tapón de alúmina se deposita mediante deposición por capa atómica (ALD) a una temperatura comprendida entre 20°C y 60°C.

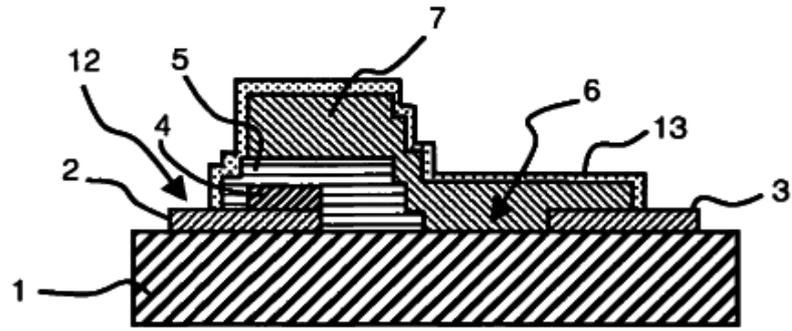


Figura 1 (Técnica anterior)

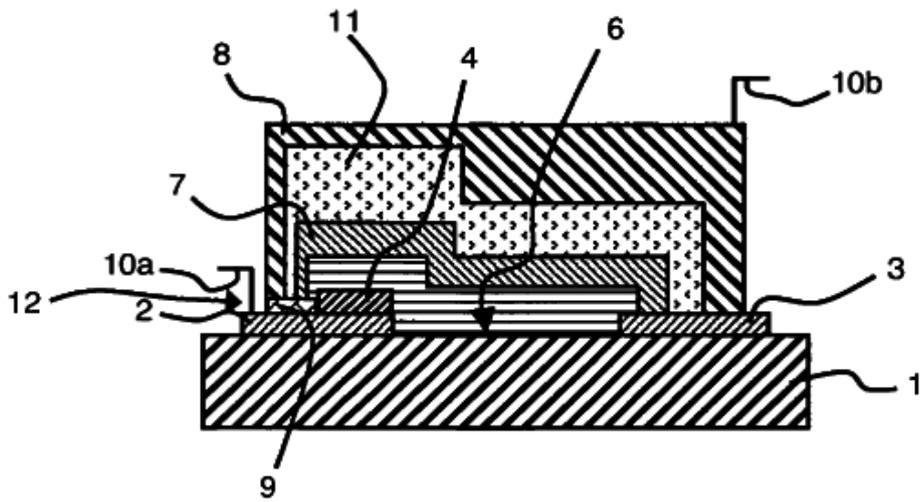


Figura 2

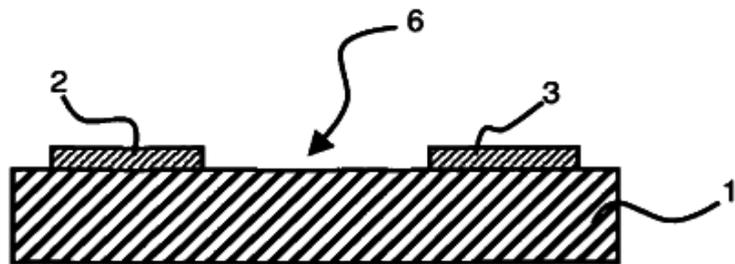


Figura 3

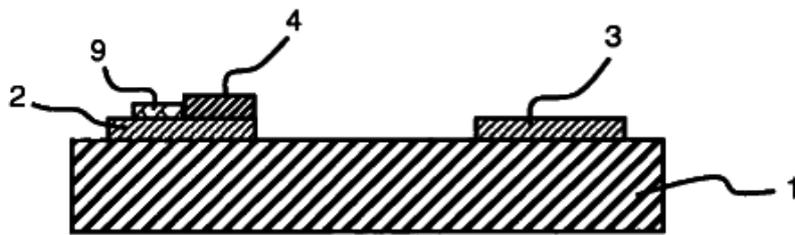


Figura 4

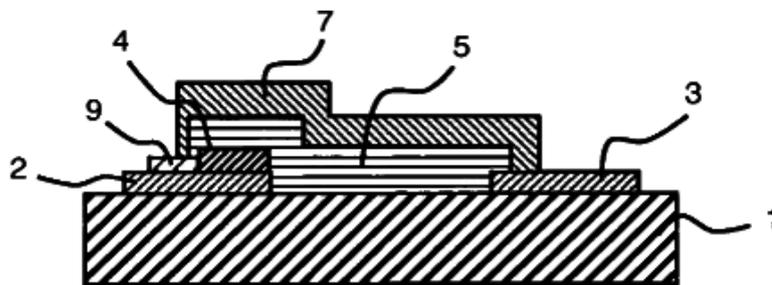


Figura 5

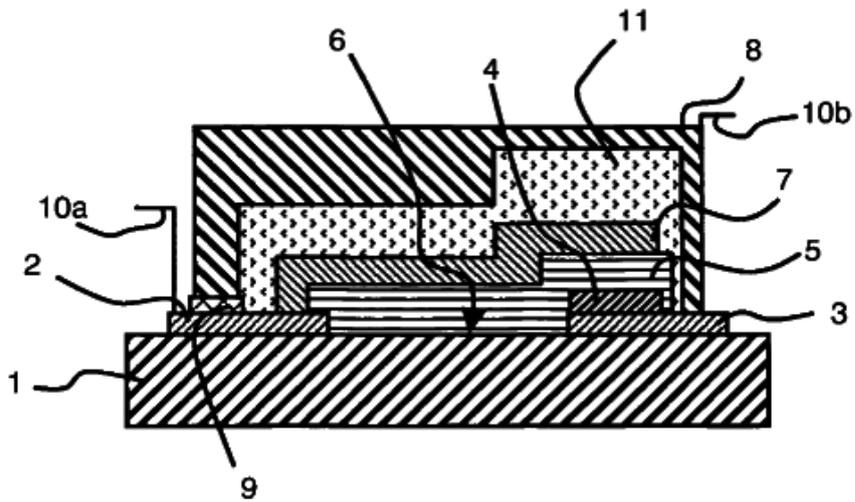


Figura 6