

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 816 602**

51 Int. Cl.:

H01M 4/04	(2006.01)
H01M 4/134	(2010.01)
H01M 4/38	(2006.01)
H01M 10/052	(2010.01)
H01M 4/46	(2006.01)
H01M 4/1395	(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2011 PCT/US2011/062401**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2012 WO12075011**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2011 E 11844514 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020 EP 2647072**

54 Título: **Procedimiento para la deposición de nanopartículas sobre sustratos y fabricación de un dispositivo de alta densidad de energía**

30 Prioridad:

30.11.2010 US 418232 P
10.06.2011 US 201161495626 P
24.10.2011 US 201161550893 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.04.2021

73 Titular/es:

MSMH, LLC (100.0%)
1645 South River Road, Unit 8
Des Plaines, IL 60018, US

72 Inventor/es:

HAAG MICHAEL

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 816 602 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

Procedimiento para la deposición de nanopartículas sobre sustratos y fabricación de un dispositivo de alta densidad de energía

5

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

La deposición electroforética es un proceso mediante el cual las partículas que se desea que sean recubiertas o depositadas en un sustrato, son en primer lugar suspendidas coloidalmente y a continuación obligadas a salir de la suspensión y depositadas sobre un sustrato por medio de un campo eléctrico aplicado. El material de recubrimiento deseado está dispuesto como una cantidad de partículas coloidales suspendidas en un medio líquido (habitualmente acuoso). A las partículas se les ha impartido una carga superficial, y de este modo migran bajo la influencia de un campo eléctrico aplicado para ser depositadas sobre un sustrato cargado, que actúa como un electrodo. Las partículas coloidales pueden ser poliméricas, metálicas o cerámicas, siempre que puedan mantener una carga superficial.

10

15

La deposición electroforética puede ser utilizada para la aplicación de materiales coloidales cargados a cualquier sustrato que sea, o que pueda ser eléctricamente conductor. Las suspensiones coloidales acuosas son típicas de la deposición electroforética. Han sido exploradas aplicaciones de deposición electroforética no acuosa, pero están todavía en sus primeros pasos y principalmente son atractivas en aplicaciones que requieran tensiones suficientemente elevadas para electrolizar el agua, lo que puede tener como resultado el desarrollo de cantidades de oxígeno no deseadas.

20

La deposición electroforética es utilizada habitualmente para aplicar recubrimientos a artículos metálicos, tales como piezas de maquinaria, elementos metálicos estructurales, recipientes y similares. Los procedimientos de fabricación actuales para la deposición de películas delgadas sobre sustratos, tales como películas de silicio para aplicaciones fotovoltaicas, utilizan habitualmente un entorno de vacío con el objeto de disminuir las temperaturas de cristalización del material de silicio amorfo utilizado como fuente de silicio y depositado sobre el sustrato para su calentamiento y recristalización posteriores. No obstante, el proceso de deposición electroforética es más difícil de controlar a medida que disminuye el tamaño de las partículas en suspensión. Cuando se desean recubrimientos constituidos por partículas de nanoescala más pequeñas, que tienen propiedades interesantes y útiles, surge la necesidad de un proceso de deposición electroforética mejorado para proporcionar dichos recubrimientos. La presente nueva tecnología se enfrenta a esta necesidad.

25

30

Sverk V. et al. (Nanotechnology 21 (2010) 215203) da a conocer la fabricación de nanotubos de bióxido de titanio ordenados llenos de microcristales fotoluminiscentes de silicio sin productos tensoactivos.

35

CARACTERÍSTICAS

La nueva tecnología se refiere a un efecto piezoeléctrico amplificado resultante de nanocristales confinados cuánticamente de silicio y germanio, sintetizados en un estado de tensión predeterminado. El efecto piezoeléctrico de nanoescala puede ser amplificado por medio de nanopartículas que tienen un núcleo cristalino rodeado por una envoltura amorfa y/o un núcleo cristalino recubierto por un material químicamente diferente, cristalino o amorfo. El aumento del efecto piezoeléctrico de nanoescala se produce a partir de una mayor tensión relativa inducida en la interfaz de núcleo-envoltura de las nanopartículas. Las partículas son depositadas en un sustrato conductor por medio de deposición electroforética y se auto-alinean según los respectivos momentos dipolares para formar un dominio de Weiss unificado en toda la película. La tensión interna en las partículas que conforman la película puede ser incrementada intercalando átomos más pequeños, tales como litio. Intercalar litio en los nanocristales tiene como resultado un incremento adicional de la tensión interna y el consiguiente aumento en la densidad de energía que se puede conseguir en el interior de la película. Habitualmente, se deposita una película metálica para proteger la película de nanopartículas. El contacto metálico sirve asimismo como conducto para transferir la energía almacenada en la película a un dispositivo exterior.

40

45

50

Un objetivo de la nueva tecnología presente es dar a conocer un dispositivo mejorado de almacenamiento y descarga de potencia de alta densidad de energía. Los objetivos y ventajas relacionadas de la presente nueva tecnología serán evidentes a partir de la siguiente descripción.

55

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A es una vista en despiece de una película nanocristalina semiconductor depositada sobre un sustrato conductor según una primera realización de la nueva tecnología presente.

60

La figura 1B es una vista en despiece de una pluralidad de películas nanocristalinas semiconductoras separadas por capas eléctricamente conductoras que han sido depositadas sobre un sustrato conductor según una segunda realización de la nueva tecnología presente.

65

La figura 2 es una vista, en perspectiva, de un montaje para depositar la película de la figura 1 sobre un sustrato.

La figura 3 es un diagrama de proceso que muestra la fabricación de uno o varios dispositivos según la realización de la figura 1.

La figura 4 es una vista, en perspectiva, de una fotomicrografía TEM de un nanocrystal de silicio tensado que tiene una envoltura de silicio amorfo que encapsula un núcleo cristalino de silicio purificado.

5 La figura 5 es una vista ampliada de una fotomicrografía TEM de una parte del cristal de la figura 4.

La figura 6 muestra gráficamente un gráfico EDX para el cristal de la figura 4.

La figura 7A muestra gráficamente un gráfico XRD que compara el plano del cristal de silicio tensado 111 del cristal de la figura 4 con un plano estándar de silicio no tensado 111.

10 La figura 7B muestra gráficamente un gráfico XRD que compara el plano del cristal de silicio tensado 111 del cristal de la figura 4 con un plano de silicio estándar no tensado 111, corregido por las contribuciones de una capa conductora de ITO y el halo de vidrio amorfo y/o la envoltura que rodea el cristal de silicio.

La figura 8 muestra gráficamente la estructura del cristal de silicio tensado.

La figura 9 es una fotomicrografía TEM de un nanocrystal de silicio tensado que tiene planos de red observables.

15 La figura 10 es una fotomicrografía TEM de una pluralidad de nanocristales de silicio tensado, teniendo cada uno de ellos planos de la red observables.

La Figura 11 ilustra gráficamente un análisis EDX de los nanocristales de la figura 10.

La Figura 12 ilustra gráficamente un gráfico XRD para los cristales de la figura 10, que muestra el cambio del plano 111 debido a la tensión inducida.

20 La figura 13 es una imagen SEM de una capa de nanocristales de silicio menores (9 nm) depositados sobre una capa de nanocristales de silicio mayores (25 nm).

La figura 14 es una vista en despiece de una película nanocrystalina semiconductor, internamente tensada, depositada sobre un sustrato conductor según, y definiendo la fuente de tensión una tercera realización de la actual nueva tecnología.

25 La figura 15 es una vista, en despiece, de una película semiconductor nanocrystalina, internamente tensado, depositada sobre un sustrato conductor según, y en un medio electrolítico y definiendo una fuente de tensión una tercera realización de la nueva tecnología presente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERENTES

30 Con el propósito de favorecer la comprensión de los principios de la nueva tecnología, se hará referencia a continuación a las realizaciones mostradas en los dibujos y se utilizará vocabulario específico para describirlas. Sin embargo, se comprenderá por consiguiente que no se pretende ninguna limitación del alcance de la nueva tecnología, dichas alteraciones y otras modificaciones en el dispositivo mostrado, y dichas aplicaciones adicionales de los principios de la nueva tecnología tal como se muestra en este documento están contempladas como las que se le ocurrirían normalmente a un experto en la técnica a la que se refiere la nueva tecnología.

Efecto piezoeléctrico

40 La piezoelectricidad es la circunstancia especial de una carga eléctrica acumulada que surge en ciertas estructuras de material sólido debido a tensión mecánica. En general, se ha determinado experimentalmente que el efecto piezoeléctrico es una interacción lineal electromecánica entre el estado mecánico y el eléctrico en materiales cristalinos sin simetría de inversión. El efecto piezoeléctrico es un proceso reversible tal que la generación interna de carga eléctrica resultante a partir de una fuerza mecánica aplicada puede ser invertida con la generación interna de una tensión mecánica resultante de un campo eléctrico aplicado.

Efecto piezoeléctrico en semiconductores

50 En los semiconductores, los cambios en la separación interatómica como resultado de la tensión, afectan a la banda prohibida intrínseca de los semiconductores facilitando (o dificultando, dependiendo del material y de la tensión) que los electrones asciendan a la banda de conducción. El efecto piezoeléctrico de los materiales semiconductores puede ser varios órdenes de magnitud mayor que el efecto geométrico análogo en metales, y se presenta en materiales tales como germanio, silicio policristalino, silicio amorfo, carburo de silicio y cristales de silicio individuales.

55 Los efectos piezoeléctricos de los semiconductores han sido utilizados para dispositivos sensores con una diversidad de materiales semiconductores tales como germanio, silicio policristalino, silicio amorfo, y cristales individuales de silicio. Dado que el silicio es habitualmente el material elegido en casi todos los circuitos integrados, la utilización de dispositivos piezoeléctricos de silicio ha sido un área de gran interés en la investigación.

Efecto piezoresistivo en cristales individuales de silicio y germanio

60 La resistencia del silicio y del germanio puede cambiar debido a un cambio de la geometría inducido por tensión, pero asimismo debido a la resistividad del material dependiente de la tensión. La resistencia del silicio de tipo n (los portadores de carga predominantes responsables de la conducción eléctrica son electrones) cambia principalmente debido a un desplazamiento de los tres diferentes vértices conductores del cristal. El desplazamiento produce una redistribución de los portadores entre vértices con diferentes movilidades. Esto tiene como resultado movilidades

variables en función de la dirección del flujo de corriente. Un efecto menor es debido al cambio de la masa efectiva relacionado con la distorsión de la forma debida a la separación interatómica de los vértices valle en un cristal individual de silicio. En el silicio de tipo p (los portadores de carga predominantes responsables de la conducción eléctrica son huecos) los fenómenos que se están investigando actualmente son más complejos y demuestran asimismo cambios en la masa y en la transferencia de huecos.

Descripción detallada del mecanismo piezoeléctrico

La naturaleza del efecto piezoeléctrico está basada en la aparición de momentos eléctricos dipolares en sólidos. Un momento eléctrico dipolar es un vector de cantidad igual al producto de la magnitud de la carga por la distancia de separación entre las cargas. Los momentos eléctricos dipolares en sólidos pueden ser inducidos tanto por iones en emplazamientos en la red del cristal como en un entorno de carga asimétrica tal como en el tantalato de litio y en el circonato-tantalato de plomo, o pueden ser llevados a cabo directamente por medio de grupos moleculares tales como en moléculas orgánicas de azúcar. La densidad dipolar que produce la polarización es la suma de los momentos dipolares por unidad de volumen de una celda unitaria del cristal. Dado que los dipolos eléctricos son cantidades vectoriales (objetos geométricos de magnitud y dirección específicas) la densidad dipolar P es asimismo una cantidad vectorial. Los dipolos próximos entre sí tienden a estar alineados en zonas denominadas dominios de Weiss. En estas zonas alineadas que se producen entre partículas individuales, las partículas actúan como un conjunto por lo que el potencial y la polaridad de la tensión y la magnitud y la dirección de la corriente es igual a la suma de todas las partículas individuales que constituyen el cuerpo sólido completo.

Para insistir en ello, habitualmente el efecto piezoeléctrico se produce normalmente con una tensión mecánica aplicada pero también se puede manifestar por tensiones internas de fabricación en ciertos sólidos. La piezoelectricidad surge en una variación de la fuerza de polarización, en su dirección o en ambas. La magnitud y la dirección de la carga depende de las interrelaciones entre la orientación de P en el interior de las partículas individuales, la simetría de las partículas, y la tensión mecánica aplicada o la tensión interna inducida. Aunque el cambio en la densidad dipolar de un cristal individual aparece cuantitativamente como una variación de la densidad de carga superficial en las caras individuales del cristal, la energía global útil que surge en el fenómeno piezoeléctrico está provocada por la superposición de las densidades dipolares de los cristales que constituyen la pieza íntegra de material, es decir, como una suma de las celdas unitarias de cristal individuales que constituyen un cristal entero. Por ejemplo, un cubo de 1 cm^3 de cuarzo con una fuerza aplicada de forma mecánica de 500 libras en el punto adecuado puede producir una tensión de 12.500 V debido a que la fuerza resultante es la suma de todas las celdas cristalográficas unitarias individuales que constituyen el cristal entero.

Generación de potencia en estructuras cristalinas polares sintetizadas en un estado de tensión

Existen 32 clases de cristales que representan 32 posibles combinaciones de operaciones de simetría en materiales cristalinos. Cada clase de cristal incluye caras del cristal que definen de manera única la simetría de la clase. De las treinta y dos clases de cristal, veintiuna no son centro-simétricas (no tienen un centro de simetría) y de ellas, veinte presentan piezoelectricidad directa. Diez de estas incluyen las clases de cristal polar que muestran una polarización espontánea sin la aplicación de una tensión mecánica debido a un momento de dipolo eléctrico que no desaparece, asociado con la asimetría inherente a su estructura cristalina. Para cristales polares, en los que la suma de la densidad dipolar $P \neq 0$ se mantiene sin aplicar una carga mecánica, el efecto piezoeléctrico se manifiesta por sí mismo cambiando la magnitud o la dirección de P , o ambas. Expresado de otro modo, los cristales polares que pueden ser fabricados para tener una tensión interna mostrarán un efecto piezoeléctrico sin la aplicación de carga mecánica.

Expresado de otra manera, en el caso de cristales piezoeléctricos no polares, una carga mecánica aplicada transforma el material de una clase de cristal no polar ($P = 0$) a uno polar, que tiene $P \neq 0$ y por ello da lugar a un potencial de tensión y una energía útil que pueden alimentar un dispositivo externo. No obstante, los cristales predispuestos a un estado interno de tensión tienen una estructura polar inherente para la que $P \neq 0$ y de este modo la energía puede ser descargada de la estructura sin la aplicación de una carga mecánica. Durante la descarga de la energía eléctrica, el cristal se relaja volviendo a su estado preferente de separación interatómica.

Confinamiento cuántico en nanopartículas

El confinamiento cuántico en nanocristales es un concepto importante a retener. El confinamiento cuántico en nanocristales se produce cuando el tamaño físico de la partícula es menor que su radio de Bohr del excitón característico. El radio de Bohr del excitón es la distancia física que separa un electrón cargado negativamente de su hueco cargado positivamente que queda durante la excitación. Cuando el tamaño físico de la partícula es menor que la distancia que el electrón tiene que recorrer durante la excitación, se considera que el material está confinado cuánticamente. Por ejemplo, el radio de Bohr del excitón para el germanio es de 24,3 nm; no obstante, es posible sintetizar nanocristales de germanio que sean de 1 nanómetro de diámetro. Creando nanopartículas menores que esta distancia característica, las propiedades electrónicas de las nanopartículas pueden ser ajustadas a niveles de energía discretos mediante el ajuste del tamaño de las partículas. De este modo, un agregado realizado con partículas menores que el radio de Bohr tendrá una densidad de energía mucho mayor. Si las partículas son

aproximadamente del mismo tamaño que el radio de Bohr del excitón, o incluso un poco mayores, un agregado de las partículas seguirá teniendo una densidad de energía incrementada, si no en la misma medida, como si todas las partículas fueran menores que el radio de Bohr del excitón.

5 Otro concepto importante a comprender es el de los pozos de potencial y como surgen en nanopartículas. Los pozos de potencial son el resultado directo de sintetizar partículas de dimensiones físicas que son menores que su respectivo radio de Bohr del excitón. Un pozo de potencial es la zona que rodea un mínimo local de energía potencial en nanomateriales. La energía capturada en un pozo de potencial no se puede convertir en otro tipo de energía debido a que está capturada en el mínimo local del pozo de potencial. Por consiguiente, un cuerpo no puede
10 avanzar al mínimo global de energía potencial como sucedería naturalmente según la naturaleza universal de la entropía.

Se puede liberar energía de un pozo de potencial si se añade suficiente energía al sistema de tal modo que la energía mínima local para la excitación sea suficientemente sobrepasada. No obstante, en la física cuántica la energía potencial puede escapar de un pozo de potencial sin la adición de energía debido a las características probabilísticas de las partículas cuánticas. En estos casos se puede imaginar que una partícula atraviese las paredes de un pozo de potencial sin la adición de energía al sistema.
15

Tal como se muestra en las figuras 1A a 3, la nueva tecnología presente se refiere a un procedimiento para producir un recubrimiento o una película 10 sobre un sustrato 15 bajo unas condiciones de composición y presión atmosférica ambientales, y una temperatura ambiente o algo mayor, por medio de la extracción electroforética 20 de partículas de nanoescala o de nanocristales 25 de una suspensión coloidal no acuosa 30 y la deposición sustancialmente uniforme 35 las nanopartículas 25 sobre el sustrato 15. Habitualmente, el recubrimiento o película 10 tiene un grosor menor de 1.000 nanómetros, pero puede ser más grueso. El sustrato 15 que se desea recubrir es preparado normalmente mediante una primera limpieza 40 del sustrato 15, y a continuación si el sustrato 15 no es suficientemente conductor de la electricidad, recubriendo 43 el sustrato 15 con una capa de material conductor 45 tal como plata u óxido de estaño e indio (habitualmente utilizado para preparar elementos ópticos, dado que las capas delgadas de óxido de estaño e indio son sustancialmente ópticamente transparentes).
20
25

Una suspensión no acuosa 30 de nanopartículas 25 es preparada a continuación. El medio líquido 50 de la suspensión es habitualmente un disolvente polar tal como 2-butanol, 1,2-diclorobenceno y/o acetona, o similar. Habitualmente, la composición del disolvente 50 es seleccionada teniendo en cuenta propiedades tales como su constante dieléctrica inherente, su constante de Hamaker, su miscibilidad, su viscosidad y similares. Más habitualmente, se selecciona una mezcla de disolventes no acuosos apróticos polares 55 y de disolventes no acuosos próticos polares 60, para definir el medio líquido 50 de suspensión.
30
35

Más habitualmente, se añaden pequeñas cantidades de un líquido iónico 65, tal como 1-butil-1metilpirrolinio dis(perifluorometilsulfonil)imida, a la mezcla 50 de disolventes no acuosos para facilitar la deposición de películas 10 de nanopartículas. Una cantidad predeterminada y medida de nanopartículas 25 es dispersada a continuación en la mezcla 50 de disolventes. Habitualmente, la mezcla 50 de disolventes es agitada hasta que las nanopartículas 25 son dispersadas, en general uniforme y homogéneamente, para definir una suspensión coloidal 30. Se puede añadir una solución tampón a la suspensión coloidal 30 para controlar la carga superficial sobre las nanopartículas 25. Por ejemplo, las partículas de silicio están cargadas negativamente en el intervalo de pH comprendido entre 6 y 9, mientras que las partículas de germanio están cargadas negativamente en el intervalo de pH desde aproximadamente 3 hasta aproximadamente 5.
40
45

El sustrato 15 es conectado a continuación a una fuente de alimentación 70 de corriente continua para servir como primer electrodo 75 mientras que la fuente de CC 70 de corriente continua es conectada al baño 30 de disolvente a través de un segundo electrodo o una disposición 80 de electrodos sumergidos en el mismo (tal como un electrodo de carbono) para completar un circuito eléctrico y establecer un campo eléctrico, teniendo el sustrato 15 que tiene una carga opuesta a la impartida a las partículas en suspensión 25. El sustrato 15 es habitualmente el cátodo 75 y el electrodo de carbono es habitualmente el ánodo 80. Los electrodos o las disposiciones de electrodos 75, 80 se mantienen habitualmente a una distancia de entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 4,0 centímetros de separación, dependiendo dichas variables del patrón de deposición deseado, de la forma de los electrodos 75, 80, de la forma del sustrato 15 y similares; no obstante, bajo determinadas circunstancias, la distancia de separación del electrodo puede quedar fuera del margen de 0,5 a 4,0 centímetros. La tensión aplicada es habitualmente de entre aproximadamente 3 y aproximadamente 12 voltios, dependiendo del tamaño de las partículas de nanocristal (habitualmente de dimensiones entre aproximadamente 1 y 1.000 nanómetros de diámetro, más habitualmente entre aproximadamente 2 y aproximadamente 50 nanómetros de diámetro). Las partículas 25 en la suspensión 30 migrarán electroforéticamente al sustrato 15, formando un recubrimiento sustancialmente uniforme 10 sobre el mismo.
50
55
60

Las nanopartículas 25 pueden ser de cualquier forma y geometría adecuadas y, en general, están conformadas de manera regular, y tienen habitualmente forma de bloques y, más habitualmente, en general, esférica. Habitualmente, las nanopartículas 25 están dimensionadas apretadamente, teniendo una distribución del tamaño de las partículas (PSD, particle size distribution) relativamente estrecha, para producir un recubrimiento o película 10 de
65

nanopartículas 25 que tiene una distribución de tamaño de las partículas estrecha tal como, por ejemplo, en la que la mayor parte de las partículas 25 están en el intervalo de 3 a 10 nanómetros. Alternativamente, la tensión aplicada, la corriente y/o el pH de la solución coloidal 30 pueden ser modificados para generar un control similar del tamaño de las partículas depositadas 25 cuando la solución coloidal 30 incluye una cantidad sustancial de partículas 25 que caen fuera del intervalo de tamaño objetivo. Además, variando la tensión aplicada y/o el pH del medio 30, se pueden aplicar múltiples capas 90 de nanocristales a un sustrato 15 en un orden progresivo, predeterminado, de un tamaño específico. El proceso 35 de deposición continúa hasta conseguir el grosor deseado de la película, habitualmente durante aproximadamente 30 segundos hasta aproximadamente 5 minutos para generar una capa depositada 90, habitualmente desde unos pocos centenares hasta unos pocos millares de nanómetros de grosor. Habitualmente, el proceso 35 de deposición es realizado bajo la atmósfera ambiental, no precisándose vacío.

Habitualmente, los nanocristales 25 son de una pureza muy elevada, habitualmente como mínimo de aproximadamente un 99,999 por ciento de pureza, más habitualmente de como mínimo aproximadamente un 99,99999 por ciento de pureza, y todavía más habitualmente de como mínimo aproximadamente un 99,999999 por ciento de pureza. Los nanocristales 25 pueden ser monodispersos dentro de $\pm 10\%$ del diámetro deseado y pueden ser materiales de un único cristal/un único límite de grano, pero no están limitados a estos tipos y dispersiones de tamaño. Tal como se muestra en las figuras 4 a 8, es posible asimismo depositar nanopartículas 25 que tengan una estructura multicapa del núcleo/envoltura, tal como un núcleo cristalino 130 en el interior de una envoltura amorfa 140, donde la envoltura 140 comprime el núcleo 130 para generar tensión y mantener la tensión en el mismo. Esta área superficial efectiva de la película 10 está en función del tamaño y de la forma de las partículas nanocristalinas y está gobernada por la utilización final deseada y no cambia el procedimiento de deposición. De manera similar, no existe un requisito de que el electrodo o el conjunto 80 de electrodos sea de un tamaño igual o mayor que el sustrato conductor 75 sobre el que las nanopartículas serán depositadas.

Ejemplo 1:

Ochenta miligramos de partículas de silicio de 9 nanómetros se suspenden en 10 mililitros de 2-butanol para generar una suspensión coloidal con una concentración de aproximadamente 8 miligramos de nanopartículas de silicio/1 mililitro de 2-butanol. Se añaden 10 mililitros de acetona de calidad de reactivo a la suspensión coloidal. Se añaden 300 microlitros de 1-butil-1metilpirrolinio dis(perfluorometilsulfonil)imida a la suspensión coloidal. La suspensión coloidal es calentada a una temperatura de aproximadamente 40 grados centígrados. Un sustrato de vidrio de 1 cm x 2 cm recubierto con óxido de indio y estaño y que tiene una resistencia de aproximadamente 8 ohmios/cm², está conectado al cátodo de un fuente de alimentación de CC y sumergido 1 cm en la suspensión coloidal. Un electrodo de carbono está conectado al ánodo de la fuente de alimentación de CC y está separado 1 centímetro del sustrato de vidrio en la suspensión. Un potencial de tensión de 4 voltios es aplicado a los electrodos y se permite que se mantenga durante 180 segundos mientras una película de silicio que tiene un grosor de entre aproximadamente 500 y aproximadamente 800 nanómetros se deposita en la zona del sustrato de vidrio que fue sumergida en la solución de coloides.

Ejemplo 2:

Se obtuvieron ochenta miligramos de partículas de nanocristal de germanio extremadamente puro de la firma Universal Nanotech Corporation. Las partículas de germanio se caracterizaron por tener un diámetro medio de partículas de aproximadamente 10 nanómetros cuando estaban suspendidas en un disolvente polar prótico, tal como MeOH, para generar una suspensión coloidal. Se añadió oleyalamina a la suspensión coloidal para ayudar a mantener las nanopartículas de germanio en suspensión. La suspensión coloidal se mantiene habitualmente a una temperatura de entre aproximadamente 25 y aproximadamente 40 grados centígrados. Un sustrato de vidrio de 1 cm x 2 cm recubierto con óxido de indio y estaño y que tiene una resistencia de aproximadamente 8 ohmios/cm², está conectado al cátodo de una fuente de alimentación de CC y sumergido 1 cm en la suspensión coloidal. Un electrodo de carbono está conectado al ánodo de la fuente de alimentación de CC y está separado 1 cm del sustrato de vidrio en la suspensión. Un potencial de tensión de entre aproximadamente 1,5 y 7 voltios se aplicad a los electrodos y se le permite que permanezca durante aproximadamente desde 180 segundos hasta aproximadamente 5 minutos mientras se deposita una película de germanio sobre la zona del sustrato de vidrio que fue sumergida en la solución de coloides.

Unos dispositivos fabricados a partir de nanopartículas 25 del Grupo IV se benefician de las características físicas exclusivas y gobernadas por tamaño de estas nanopartículas 25, en ocasiones denominados "puntos cuánticos". Los semiconductores son materiales que conducen la electricidad, pero solamente de manera muy deficiente. A diferencia de los metales, que tienen abundancia de electrones libres capaces de soportar la conducción eléctrica, los electrones en los semiconductores están en su mayor parte ligados. No obstante, algunos están ligados de manera tan floja que pueden ser excitados librándose de la ligadura atómica por medio de la absorción de energía, tales como procedente de un fotón incidente. Dicho suceso produce un excitón, que es esencialmente un par electrón-hueco, siendo el hueco el sitio cargado positivamente en la red que deja el electrón liberado. En la mayor parte de los cristales, se pueden crear suficientes excitones, de tal modo que se puede considerar que los electrones liberados abandonan la banda de valencia y entran en la banda de conducción. La separación física natural entre el electrón y su hueco respectivo varía de una sustancia a otra y es denominado radio de Bohr del excitón. En cristales

semiconductores relativamente grandes, el radio de Bohr del excitón es pequeño comparado con las dimensiones del cristal y el concepto de banda de conducción es válido. No obstante, en cristales semiconductores de nanoescala o puntos cuánticos, el radio de Bohr del excitón es del orden de la dimensión física del cristal o menor, y el excitón está por tanto confinado. Este confinamiento cuántico tiene como resultado la creación de niveles de energía discretos y no una banda continua. La explotación de este fenómeno, tal como por medio de recubrimientos de cristales semiconductores de nanoescala 25, puede generar dispositivos tales como células fotovoltaicas "ajustadas" a longitudes de onda específicas de fotones para optimizar la eficiencia de la transducción de energía, baterías recargables, fotodetectores, pantallas de video o monitores flexibles y similares.

10 Efecto piezoeléctrico confinado cuántico, en nanopartículas de silicio y germanio tensado

Los efectos piezoeléctricos amplificados pueden ser observados en nanocristales confinados cuánticamente 25 tales como circonato-titanato de plomo, nitruro de galio, y nitruro de indio y galio. En una realización de la nueva tecnología presente, los dispositivos 100 explotan los efectos piezoeléctricos amplificados en nanocristales confinados cuánticamente 25 de silicio y de germanio, sintetizados en un estado de tensión predeterminado (ver las figuras 4 a 22).

La tensión de fabricación en los nanocristales 25 de silicio y de germanio que define los dispositivos 100 puede ser aumentada adicionalmente intercalando pequeñas moléculas adicionales de un tamaño apropiado, tales como de litio, sodio o similares. La intercalación es la inclusión, habitualmente reversible, de una molécula entre otras dos moléculas. Los nuevos dispositivos 100 incorporan la intercalación de un pequeño átomo o ión intercalado 107, tal como de litio, en las estructuras de la red de cristal de nanocristales 25 de silicio y/o de germanio para generar nanocristales intercalados 110 con tensiones internas para tensar adicionalmente la estructura cristalina y aumentar de este modo la densidad de energía, y en consecuencia las capacidades de emisión de potencia del dispositivo 100.

Los nanocristales de silicio y/o de germanio confinados cuánticamente 25 tensados internamente instantáneamente y/o los nanocristales intercalados 110 son depositados sobre un sustrato conductor 15 en una película cohesiva 10 altamente ordenada mediante el proceso de deposición electroforética, tal como se ha comentado anteriormente. Durante la deposición, los nanocristales 25 se auto-ensamblan en una estructura altamente ordenada de acuerdo con sus momentos dipolares y definen un dominio de Weiss unificado en toda la película 10. Una vez que se ha completado la deposición electroforética 35 de las partículas 25, se deposita un contacto de metal 115 mediante evaporación térmica o similar sobre la película 10 para proteger la película 10 de nanopartículas y establecer un recorrido para que los electrones se desplacen, que se utilizará para alimentar un dispositivo externo. El contacto de metal 115 es habitualmente de un metal eléctricamente muy conductor, tal como oro, platino, plata, cobre o similar y tiene habitualmente un grosor comprendido entre aproximadamente 100 nanómetros y 400 nanómetros.

Ejemplo 3:

Una película delgada de una mezcla de nanocristales semiconductores 25 de un tamaño específico fue depositada mediante EPD sobre vidrio recubierto de ITO, tal como se describe en la anterior especificación y en los ejemplos. Los nanocristales semiconductores 25 de elevada pureza pretensados fueron obtenidos de la firma Universal Nanotech Corporation, 1740 Del Range Blvd., PMB 170, Cheyenne WY, 82009. Habitualmente, los nanocristales 25 tienen, como mínimo, aproximadamente un 99,99999 por ciento de pureza, más habitualmente como mínimo aproximadamente un 99,999999 por ciento de pureza, y todavía más habitualmente aproximadamente como mínimo aproximadamente un 99,9999999 por ciento de pureza. El sustrato 15 y la película depositada 10 fueron colocados en un entorno bajo en oxígeno a temperatura ambiente y el sustrato 15 fue enmascarado a continuación para definir una ubicación deseada de contacto posterior. A continuación, utilizando un dispositivo térmico de recubrimiento de evaporación/aspiración o similar, la película 10 fue colocada con el lado nano-recubierto hacia el material a depositar a una distancia de aproximadamente 1 a 5 cm. Se formó un entorno de alto vacío alrededor del sustrato 15 y se aplicó una combinación apropiada de tensión/corriente para vaporizar el metal que se desea depositar. El metal vaporizado fue depositado sobre el sustrato 15 para crear una capa completa 115 que es a la vez protectora y permite conexiones eléctricas. En general, este proceso de deposición puede precisar desde aproximadamente 5 segundos hasta aproximadamente 5 minutos, dependiendo del grosor deseado del contacto posterior 115. Una vez depositada la capa de metal 115, se eliminó el vacío y se permitió que la película 10 volviera al entorno habitual a temperatura ambiente. El enmascaramiento fue eliminado a continuación en un entorno bajo en oxígeno, dejando la configuración deseada de metal depositada sobre la película. Se utilizó un voltímetro y/o un amperímetro para confirmar que se estaba suministrando alimentación al dispositivo energético cuántico (QED) recién creado. Utilizando técnicas estándar de conexión eléctrica, múltiples películas 10 pueden ser conectadas en modo serie/paralelo para obtener un dispositivo 100 configurado para generar la configuración deseada de suministro de tensión/corriente. El dispositivo QED 100 fue completado y configurado para alimentar una carga deseada.

Los dispositivos 100 de energía cuántica, tales como los descritos anteriormente en el Ejemplo 3, pueden ser producidos a partir de nanocristales semiconductores 25 dispuestos en capas, tales como nanocristales de silicio. Habitualmente las películas nanocristalinas 10 incluyen una mezcla de múltiples tamaños de nanopartículas específicas, que varían desde 1 nm hasta aproximadamente 500 nm de diámetro, aunque se pueden precisar

distribuidores limitados, de tamaño monomodal para aplicaciones específicas. Dicha distribución del tamaño de las partículas (PSD) multimodal genera características de almacenamiento de alta energía y/o de transducción/generación/suministro de potencia en el dispositivo QED 100. Habitualmente, para cada modo, más del 95 por ciento de las partículas está comprendido dentro de 2 nanómetros de la dimensión del modo. En algunas realizaciones, los nanocristales 10 están dispuestos en una distribución de un tamaño bimodal o multimodal predeterminada, tal que los nanocristales 10 pueden ser depositados para aprovechar una densidad de empaquetado más eficiente (ver figura 13). Por ejemplo, se puede depositar una primera subcapa 90 de partículas 10 de mayor diámetro (tal como de 25 nm), y una segunda subcapa 90 de partículas 25 de menor diámetro (tal como de 9 nm) puede ser depositada sobre aquella, estando las partículas más pequeñas 25 dispuestas preferentemente asentadas en los intersticios definidos por las primeras partículas 25.

Tal como se muestra en la figura 14, una película de nanoalambres conductores 125, formada de materiales tales como ZnO, MgO o similares, depositada sobre la superficie de la película de nanopartículas 10, mediante técnicas tales como de evaporación al vacío o similares, puede generar efectos tales como una menor resistencia en serie y/o un incremento de la conductividad eléctrica y un incremento de las capacidades de descarga de potencia del QED. Esta película 125 puede sustituir, o añadirse a la capa metálica de soporte 115.

El grosor típico de la película de una sola capa 10 está comprendido en el intervalo de 200 nm a 1.500 nm. Se pueden conseguir tensiones que varían de 0,1 V a 18 V en 1 cm² de una película 10 de una sola capa, y han sido verificadas mediante medición. Se pueden conseguir corrientes que varían de 10µA a 50 mA en una película 10 de una sola capa y han sido verificadas mediante medición.

Un dispositivo QED 100 ha sido completado con éxito demostrando unidades individuales de QED fabricadas utilizando el procedimiento de deposición de nanopartículas EPD, descrito anteriormente en este documento. Las unidades individuales QED 100 están conectadas entre sí, en serie o en paralelo para incrementar la salida total de tensión o de corriente, respectivamente. El dispositivo QED 100 fabricado mediante la EPD de nanopartículas 25 ha demostrado la capacidad de alimentar LEDs y otros dispositivos electrónicos con necesidades de potencia similares. Se pueden utilizar combinaciones de múltiples tamaños diferentes de nanopartículas 25 y de tipos de nanopartículas 25 para generar dispositivos QED 100 que tengan características de salida específicamente deseadas, y diseñadas a medida. Se pueden utilizar múltiples capas 90 de nanopartículas 25 y se pueden intercalar o mezclar capas de metal 115 entre las capas semiconductoras 90 de material de nanopartículas. Se pueden utilizar contactos metálicos y no metálicos posteriores o delanteros 45, 115 dependiendo de la salida QED deseada. Se pueden utilizar nanopartículas 25 semiconductoras dopadas de tipo P o de tipo N (es decir, dopadas no intrínsecamente) y/o mezclar con nanopartículas 25 semiconductoras intrínsecas, según se desee.

Visión general del dispositivo de energía cuántica (QED)

En una realización, tal como la mostrada en la figura 14, la nueva tecnología presente se refiere a una batería 100 que utiliza las propiedades exclusivas de los nanocristales 25 de silicio y germanio. Los nanocristales 25 de silicio y germanio de alta pureza que varían en tamaño desde 1 nm hasta aproximadamente 1.000 nm son depositados sobre un sustrato conductor 45 mediante la utilización de deposición electroforética (EPD). Una película delgada 10 fuertemente compactada de nanocristales 25 de silicio y germanio, puede variar en grosor desde aproximadamente 100 nm hasta aproximadamente 2.000 nm, dependiendo de las propiedades deseadas de la película 10. Un contacto metálico posterior conductor 115, tal como de aluminio, oro, plata o similar es aplicado a la película delgada 10 de nanocristales semiconductores 25 en una gama de grosores desde aproximadamente 50 nm hasta aproximadamente 500 nm. Se puede utilizar evaporación térmica, evaporación por haz de electrones, recubrimiento catódico, galvanizado o similares para aplicar el contacto metálico posterior 115.

Los nanocristales de silicio y germanio son sintetizados habitualmente con un estado de tensión distribuida en los mismos que tensa ligeramente la separación atómica de la estructura cristalina. Esta distorsión o tensión de la red imparte un efecto piezoeléctrico que distorsiona la nube de electrones y da lugar a un potencial de tensión. Una energía eléctrica de corriente continua puede ser utilizada a continuación para alimentar dispositivos eléctricos. Las células individuales 100 se pueden cablear en serie o en paralelo para suministrar la tensión y el amperaje deseados, necesarios para alimentar un dispositivo específico.

Ejemplo 4

Se obtuvo una suspensión 30 de nanocristales 25 de silicio pretensados suspendidos en tolueno 50 de la firma Universal Nanotech Corporation con una concentración de aproximadamente 100 mg por 100 ml. La suspensión 30 incluye una mezcla de tamaños de nanocristales, pero la mayoría de los nanocristales 25 eran aproximadamente de una dimensión de entre 10 nm y 150 nm. La suspensión 30 fue sometida a ondas sonoras para asegurar que se obtuvo una mezcla homogénea. A continuación, aproximadamente 10 ml de la suspensión homogeneizada 30 fueron añadidos a un vaso de vidrio. Aproximadamente 10 ml de acetona fueron añadidos a continuación a la mezcla. Asimismo, se añadieron 300 microlitros de 1-butil-1-metilpirrolidinio bis(trifluorometilsulfonil)imida 65 a la mezcla para definir una mezcla 30.

A continuación, la mezcla 30 fue sometida de nuevo a ondas sonoras para asegurar la homogeneidad y fue calentada a una temperatura de 40 grados centígrados. Una varilla de agitación magnética fue utilizada durante el calentamiento para facilitar una temperatura homogénea de la mezcla 30 y para preparar la mezcla para deposición electroforética (EPD) como un baño EPD 30.

Un sustrato conductor 15 de vidrio recubierto con óxido de indio y estaño (ITO) 45 con una resistencia media de 8 ohmios por centímetro cuadrado y de dimensiones de aproximadamente 1 cm de ancho por 2,5 cm de largo se lavó 40 con una pulverización de acetona a presión y se limpió secándola. El vidrio ITO 15 fue unido a continuación al cable negativo (cátodo) 75 de la fuente de alimentación. Un electrodo de carbono 80 de alta pureza fue unido al cable positivo (ánodo) de la fuente de alimentación de CC 70. El electrodo de carbono 80 fue introducido en el baño EPD 30.

El vidrio 15 recubierto de ITO fue introducido a continuación en el baño EPD 30 a una profundidad de aproximadamente 1 cm con el lado conductor situado frente al electrodo de carbono 80 y separado a una distancia de aproximadamente 1 cm. La fuente de alimentación 70 fue activada y se aplicó una corriente mínima/despreciable de aproximadamente 4 voltios durante aproximadamente 3 minutos. Durante los 3 minutos, los nanocristales 25 fueron depositados sobre el sustrato conductor 15 y fueron observados visualmente a medida que la película 10 se engrosó y se volvió más opaca. La fuente de alimentación 70 fue desactivada y el sustrato conductor 15 fue extraído del baño EPD 30.

Después de la aplicación de nanocristales de silicio 25, se depositó litio sobre la película mediante galvanizado de acetato de litio disuelto en una solución de dimetilacetamida (DMA). La película 10 de nanocristales de silicio fue sumergida a continuación en la solución para la deposición electroforética de litio. Se intercalaron iones de litio 107 en las estructuras 110 de cristal de silicio durante la EPD para definir un dispositivo 100 que tenía una densidad de carga incrementada y una mejora de sus capacidades de recarga. El dispositivo 100 fue dejado secar luego en un entorno de un bajo contenido en oxígeno a temperatura elevada (aproximadamente 110 grados centígrados). Se debe tener en cuenta que aunque es conveniente aumentar la velocidad de secado, el calor no es esencial.

Al cabo de 3 horas, se aplicó un contacto metálico posterior 115 para evitar la oxidación de la película delgada 10 de silicio. Se aplicó un contacto posterior metálico 115 de aluminio de alta pureza utilizando un evaporador térmico a un grosor de aproximadamente 200 nm. Se utilizó cinta de enmascaramiento, pantallas metálicas y vidrio para controlar la ubicación del contacto metálico posterior 115 y para impedir que la capa de aluminio 115 realizara un cortocircuito con el vidrio recubierto con ITO 15.

Una vez aplicada la capa de aluminio 115, la célula QED 100 quedó completada y dispuesta para su conexión al dispositivo eléctrico deseado. Se tomó un gran cuidado en no tocar la zona de la célula con la película aplicada 10 de nanocristales de silicio para impedir cualquier cortocircuito de la célula 100. A continuación, se crearon una serie de circuitos en serie y en paralelo utilizando múltiples células 100 que fueron producidas de la misma manera. Mediante este proceso, un conjunto de QEDs 100 fueron conectados para generar más de 3,7 voltios y 50 mA. Este conjunto 100 fue conectado a una pantalla TFT de visualización y el dispositivo funcionó normalmente con el dispositivo QED 100 suministrando la energía eléctrica.

Propiedades típicas de una película de silicio de 1 cm ²	
Voltios	1,5
Amperios	0,005
Vatios	0,0075
Duración de la batería (horas)	4,8
Vatios-hora	0,36
Kilovatios hora	0,0036
Megajulios (MJ)	0,001256
Gramos de Si	0,00018632
Kilos de Si	1,8632E-07
MJ/Kg	6955,8
Gramos/vatio-hora	0,00518

Comparación de la densidad de energía		
Alcalina	0,59	MJ/Kg
de ión litio recargable	0,46	MJ/Kg
de cinc-aire	1,59	MJ/Kg
NiMH	0,36	MJ/Kg

La densidad de energía observada desde el conjunto del dispositivo QED 100 era de aproximadamente 7.000 MJ/Kg, varios órdenes de magnitud mayor que la de una célula alcalina, una batería de ión litio, y similares.

En la figura 15 se muestra otro dispositivo 100 de la realización. El dispositivo 100 es similar al descrito anteriormente con respecto a la figura 14, pero con la adición de un electrolito 165 en contacto con los nanocristales 25 intercalados que constituyen la película 10. La composición del electrolito 165 se corresponde habitualmente con la composición del agente de intercalación 107 (es decir, un electrolito de sal de litio para ser utilizado con electrodos de litio y/o intercalación de litio para generar una célula de una batería de ión de litio), de tal modo que el electrolito facilita la conducción iónica y permite que el dispositivo 100 funcione como una fuente de tensión para baterías de ión litio recargables.

5 Este proceso puede ser modificado de diversas formas para favorecer la fabricación en masa y para adaptarse a características eléctricas específicas. No es posible abarcar todas las permutaciones y, por consiguiente, se comprende que esta nueva tecnología no está limitada a los ejemplos antes detallados.

10 Si bien la nueva tecnología ha sido mostrada y descrita en detalle en los dibujos y en la descripción anterior, dicha descripción debe ser considerada como ilustrativa y no restrictiva en su carácter. Se comprende que las realizaciones han sido mostradas y descritas en la especificación anterior satisfaciendo los requisitos de mejor modo y habilitación. Se comprende que un experto en la técnica podría fácilmente realizar un número casi infinito de cambios y modificaciones insubstanciales a las realizaciones antes descritas y que no sería práctico intentar describir todas dichas variaciones de las realizaciones en la presente descripción.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para depositar una capa de nanopartículas semiconductoras (25) sobre un sustrato (15) bajo condiciones de temperatura y presión ambientales, que comprende:
- 5 suspender una pluralidad de nanopartículas semiconductoras (25), muy puras, dipolares, de silicio y/o de germanio en un disolvente polar no acuoso (50, 55, 60) para generar una suspensión (30);
 conectar un sustrato eléctricamente conductor (15) a un primer electrodo (75);
 10 colocar un segundo electrodo (80) en comunicación eléctrica con la suspensión (30);
 sumergir el sustrato (15) conductor de la electricidad en la suspensión (30);
 impartir una primera carga a las nanopartículas en suspensión (25) impartiendo una segunda carga, opuesta, al sustrato (15);
 depositar, mediante deposición electroforética, una capa uniforme (90) de las nanopartículas semiconductoras (25) de silicio y/o de germanio de la suspensión (30) en el sustrato (15) para definir un sustrato recubierto;
- 15 variar la tensión aplicada y/o el pH de la suspensión (30) para aplicar múltiples capas (90) de nanopartículas (25) al sustrato (15) en un orden gradual específico por tamaños; y
 retirar el sustrato recubierto de la suspensión (30) al aire, a una presión de aproximadamente 1 atmósfera; en el que
- 20 la temperatura de la suspensión (30) es mantenida por debajo de aproximadamente 100 grados centígrados; y las nanopartículas (25) tienen dimensiones menores de 1.000 nanómetros.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la capa uniforme de nanopartículas semiconductoras (25) tiene una distribución del tamaño de las partículas de entre 3 nanómetros y 10 nanómetros.
- 25 3. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el grosor de la capa uniforme (90) de nanopartículas semiconductoras (25) está comprendido entre 500 nanómetros y 800 nanómetros.
4. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 30 después de la eliminación, aplicar una capa eléctricamente conductora (45, 115) sobre la capa (90) de nanopartículas semiconductoras (25); y
 conectar unos contactos eléctricos a la capa eléctricamente conductora (45, 115).
5. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 35 generar un campo eléctrico entre el primer y el segundo electrodos (75, 80);
 en el que la velocidad de deposición aumenta con el incremento de la intensidad del campo eléctrico;
 en el que la capa uniforme (90) de nanopartículas semiconductoras (25) tiene un tamaño medio de las partículas y una distribución del tamaño de las partículas; y
 en el que el tamaño medio de las partículas y la distribución del tamaño de las partículas están gobernados por la
- 40 intensidad del campo eléctrico.
6. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que las nanopartículas semiconductoras (25) son piezoeléctricas; en el que las nanopartículas semiconductoras (25) se auto-alinean según sus respectivos momentos dipolares; y en el que la capa uniforme (90) de nanopartículas semiconductoras (25) define un dominio de Weiss unificado.
- 45 7. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende además intercalar la capa uniforme (90) de nanopartículas semiconductoras (25) con litio.
8. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende además la formación de una capa de metal eléctricamente conductora (45, 115) por encima del sustrato recubierto.
- 50 9. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de nanopartículas semiconductoras (25) tiene una distribución bimodal del tamaño de la partícula o partículas; y
 la operación de depositar comprende además depositar la pluralidad de nanopartículas semiconductoras (25) en una primera subcapa (90) de partículas (25) más pequeñas posicionadas de forma intersticial sobre una segunda subcapa de partículas mayores (90) para formar la capa uniforme (90).
- 55 10. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la capa uniforme (90) de nanopartículas semiconductoras (25) dipolares define una fuente de tensión piezoeléctrica.
- 60 11. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que las nanopartículas semiconductoras (25) dipolares están dopadas de forma no intrínseca.

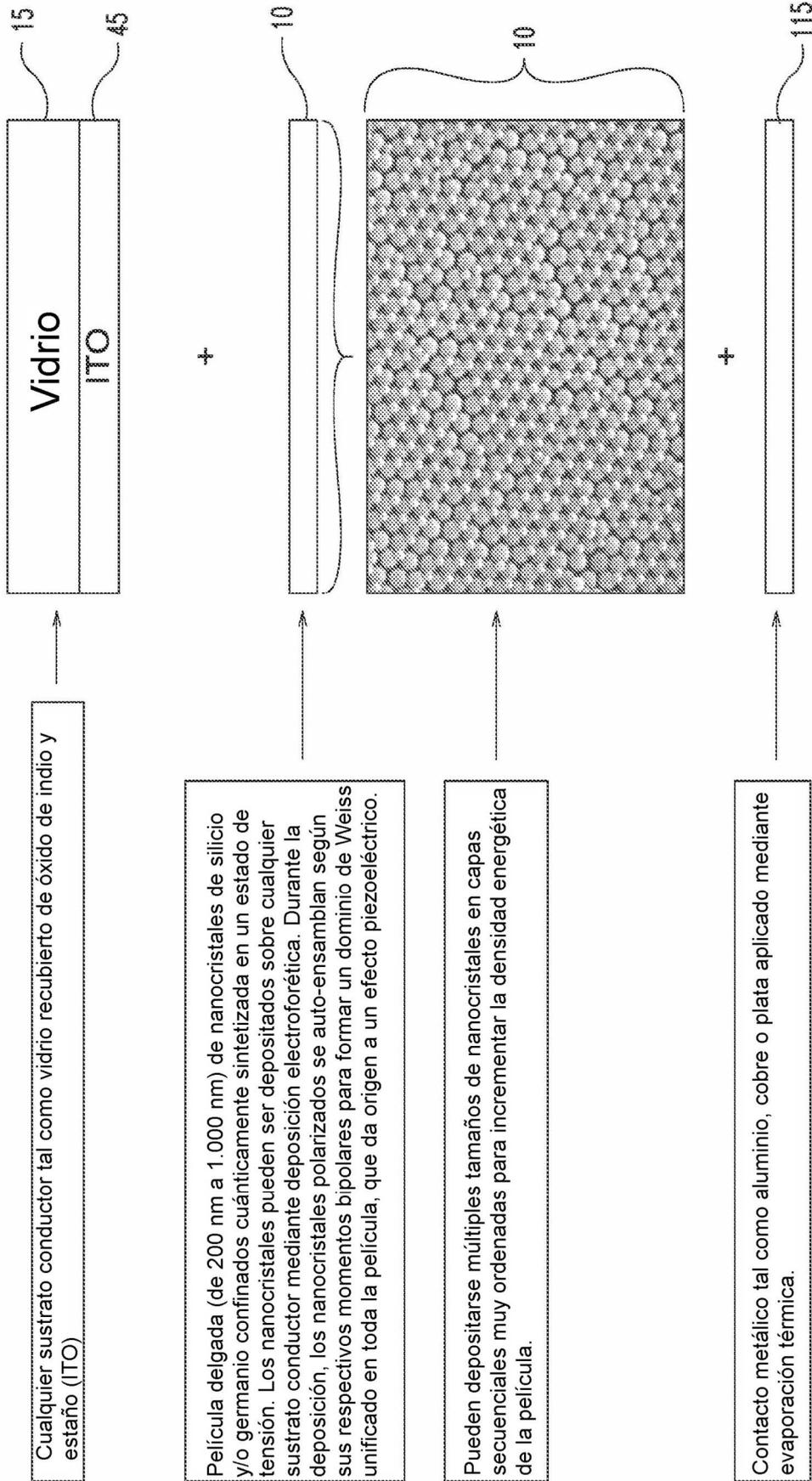


Fig. 1A

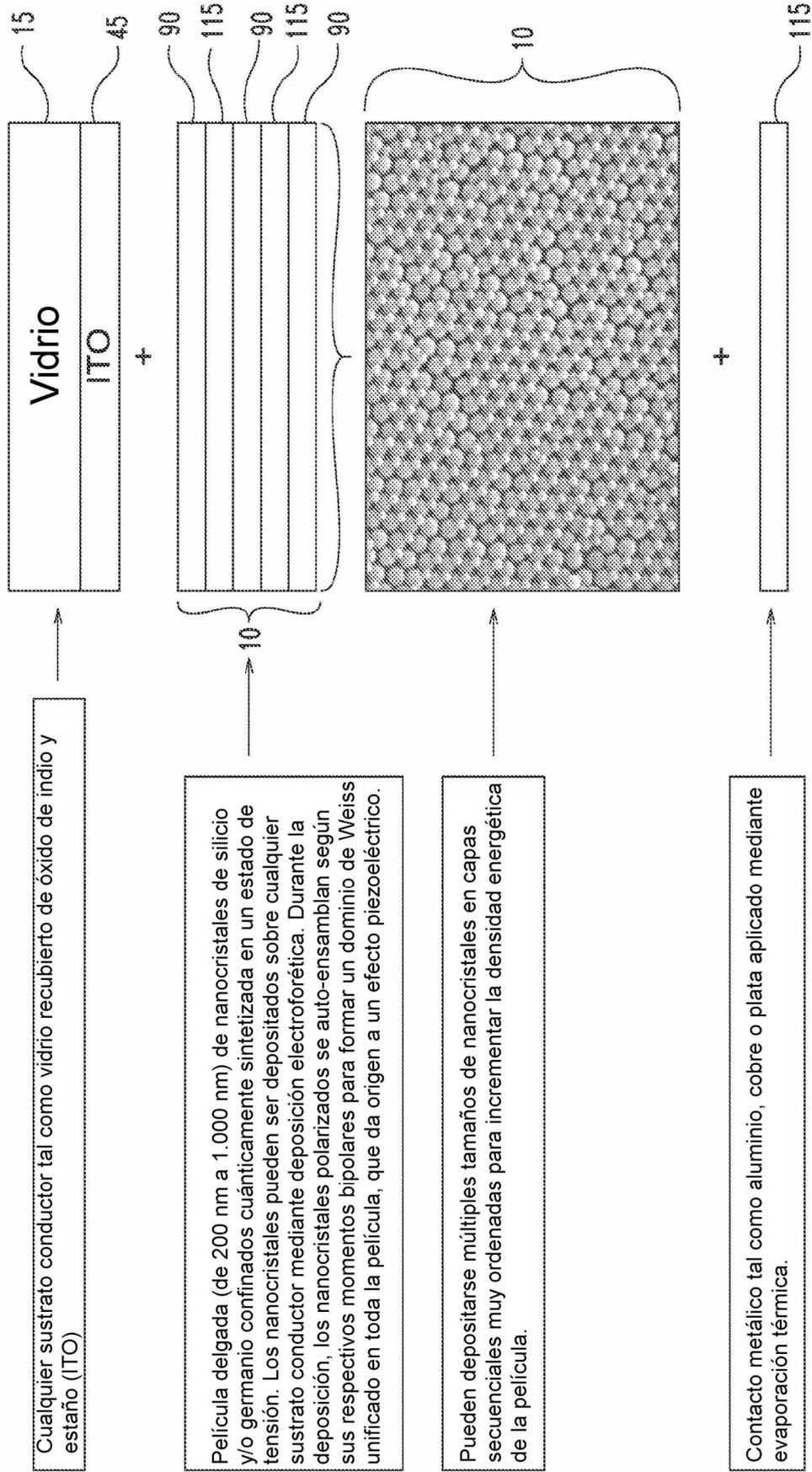


Fig. 1B

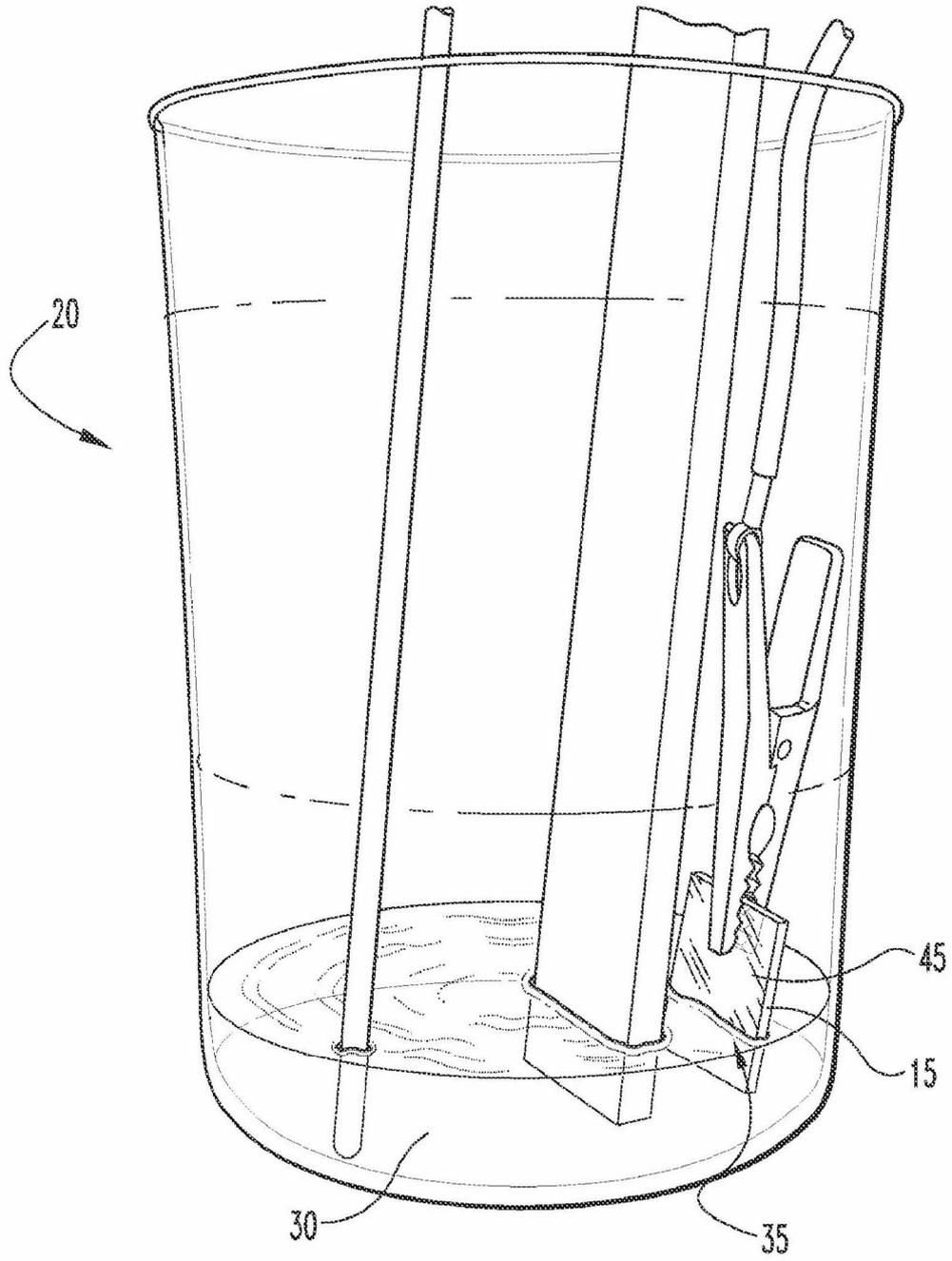


Fig. 2

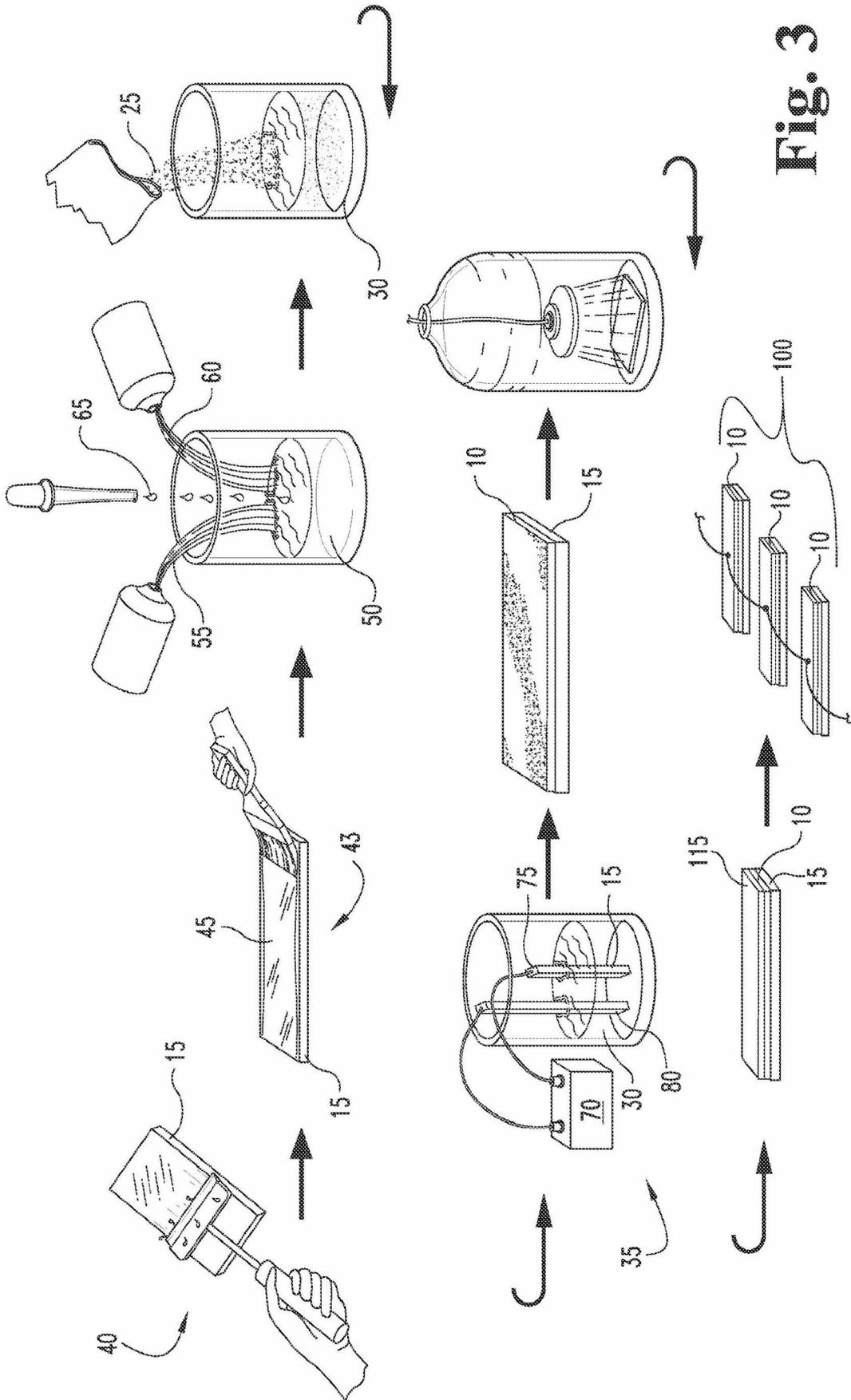


Fig. 3

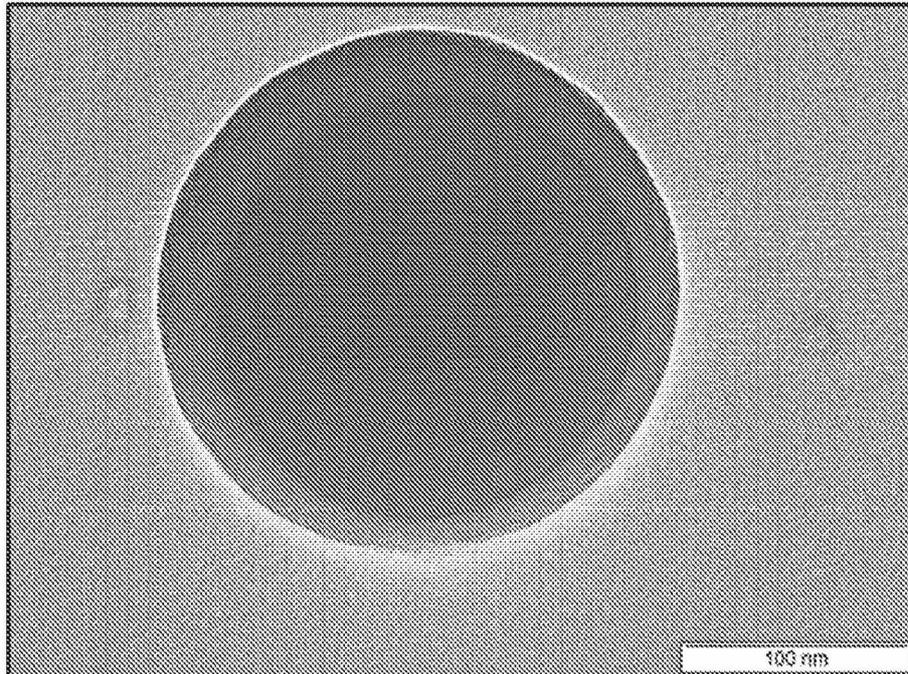


Fig. 4

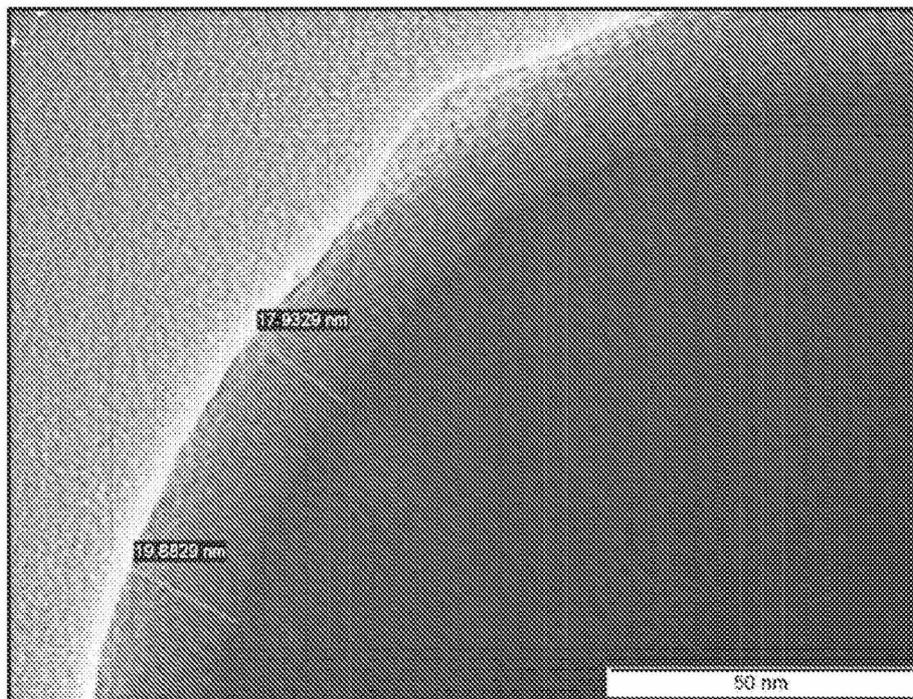


Fig. 5

Análisis de rayos X por energía dispersiva de la muestra D

Análisis elemental de una muestra de Si NC

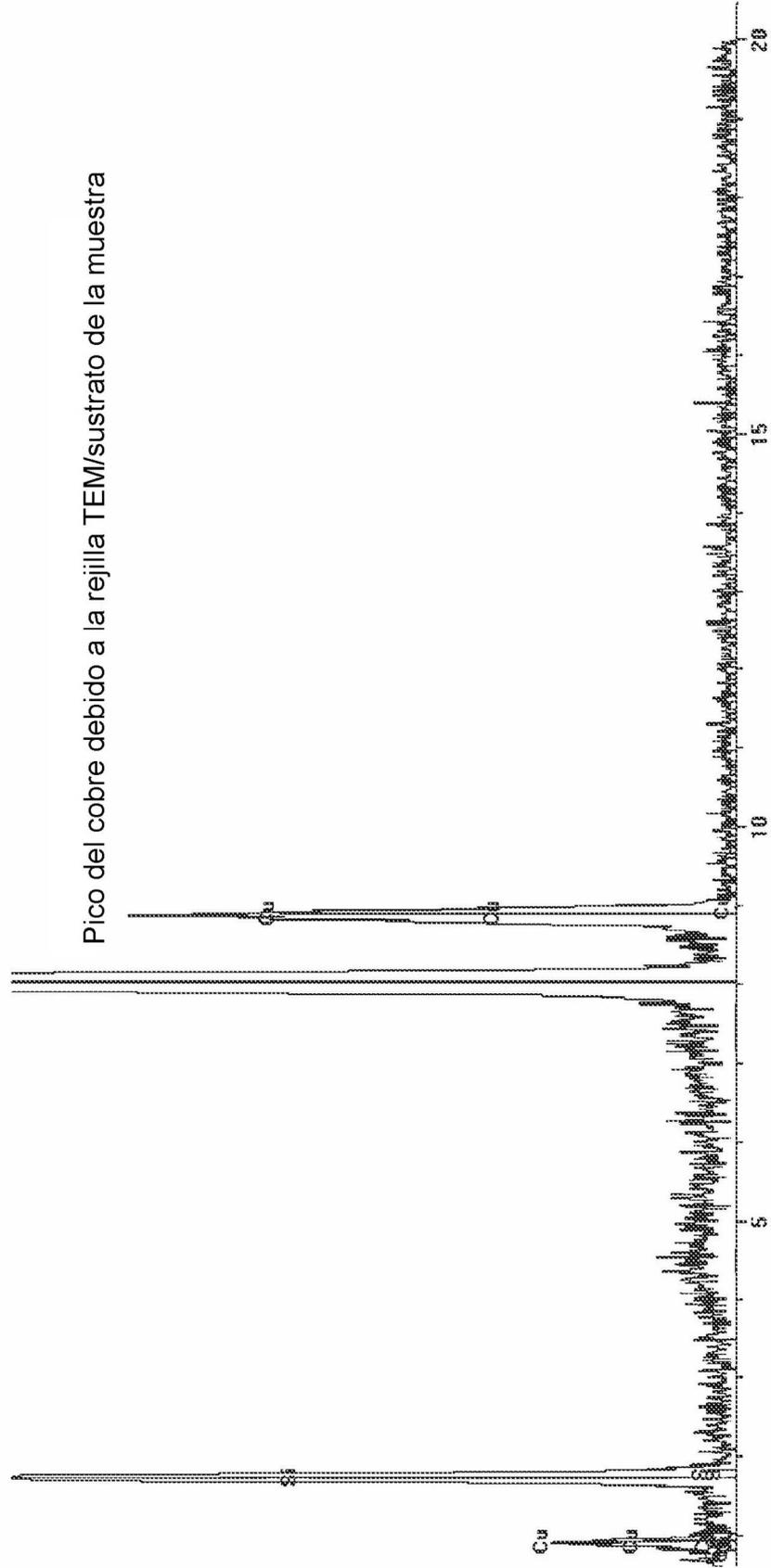


Fig. 6

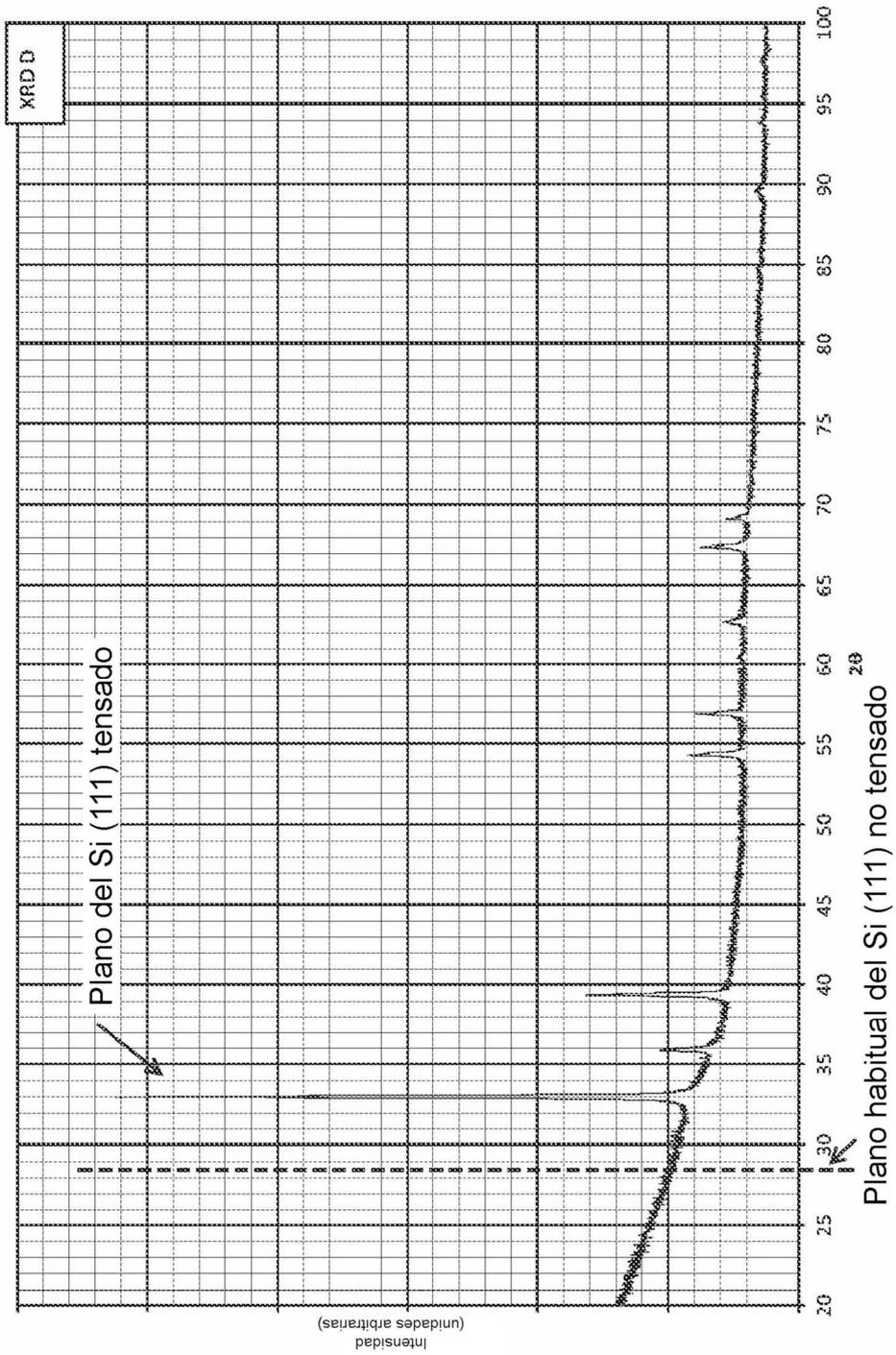


Fig. 7A

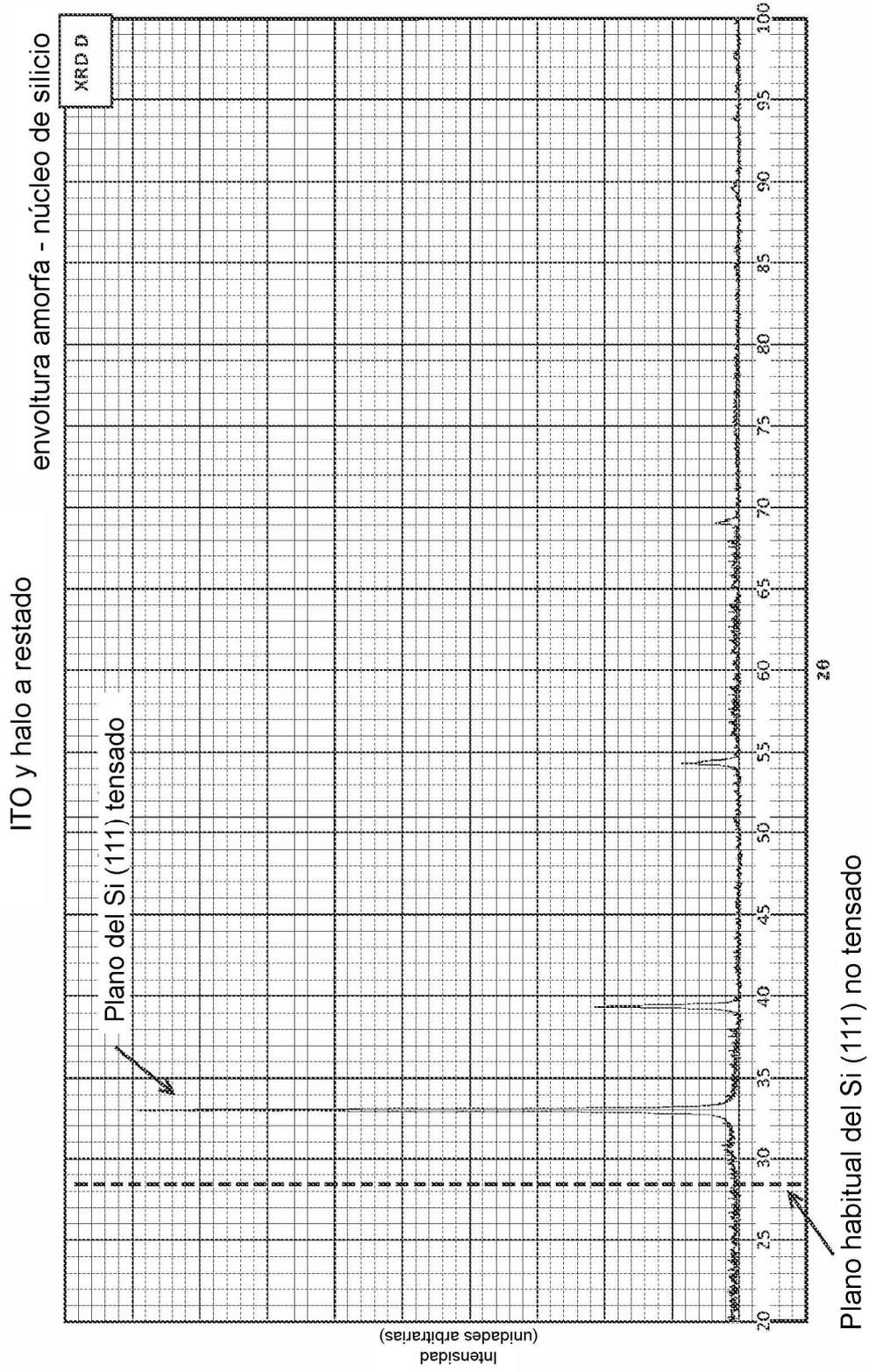


Fig. 7B

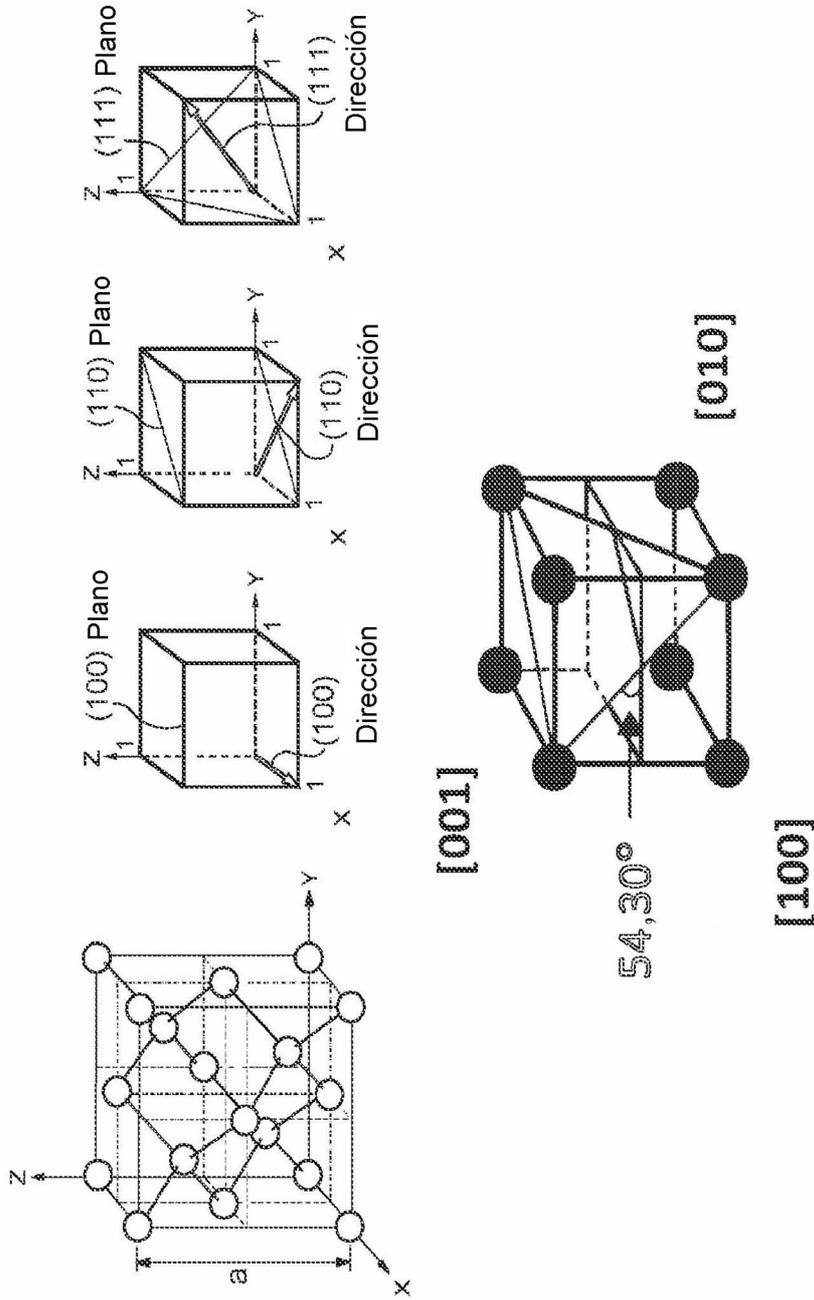


Fig. 8

Cristal de silicio no tensado

Ángulos de silicio cristalino entre planos

ÁNGULO	(100)	(110)	(010)	(001)	(101)
(100)	0	45	90	90	45
(011)	90	60	45	45	60
(111)	54,7	35,3	54,7	54,7	35,3

Cristal de silicio tensado

Ángulos del análisis XRD A entre planos

ÁNGULO	(100)	(110)	(010)	(001)	(101)
(100)	0	45	92,75	92,75	45
(011)	92,75	60	45	45	60
(111)	54,30	32,95	54,30	54,30	32,95

Calculados mediante el programa de análisis Jade XRD

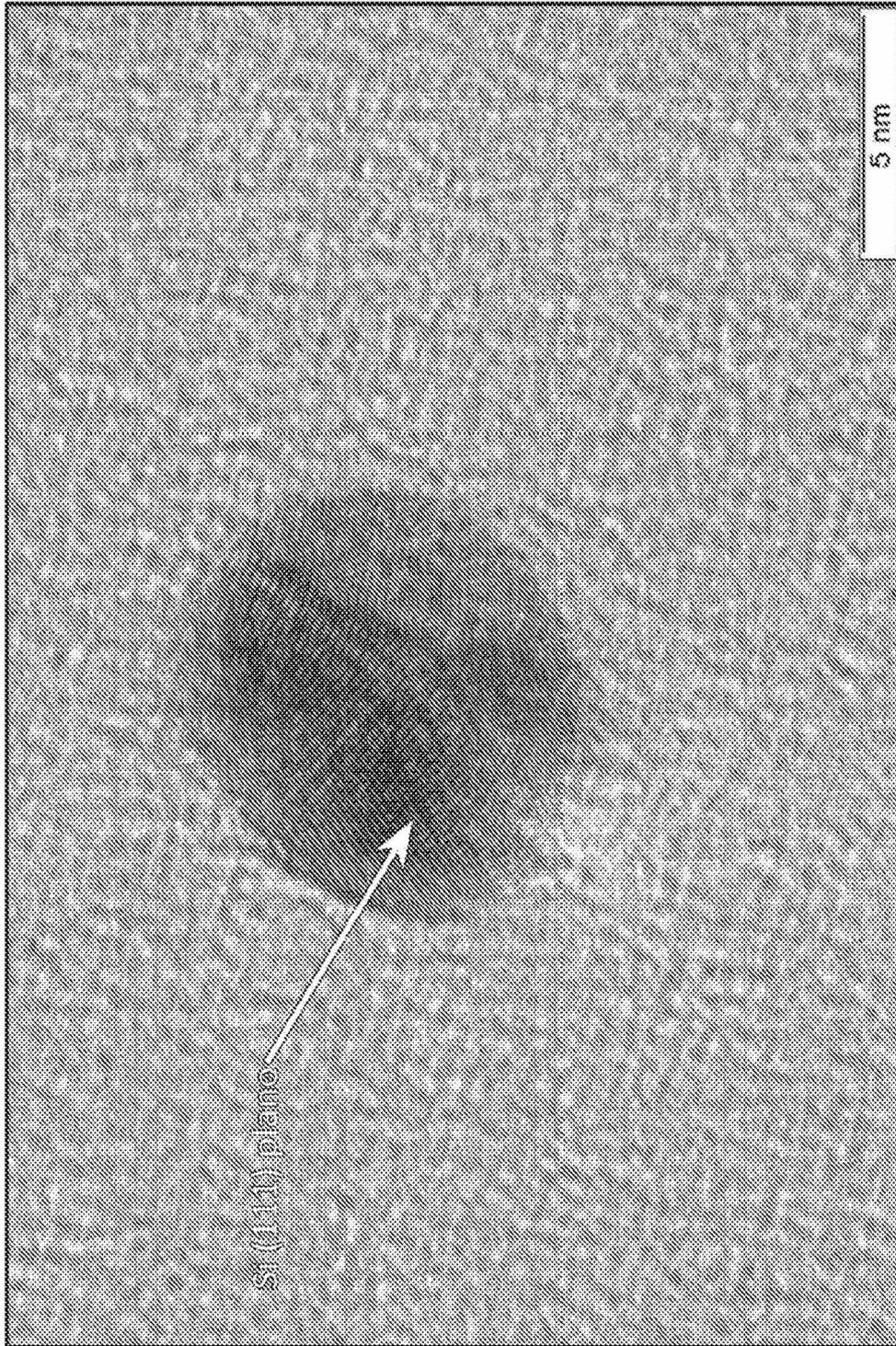
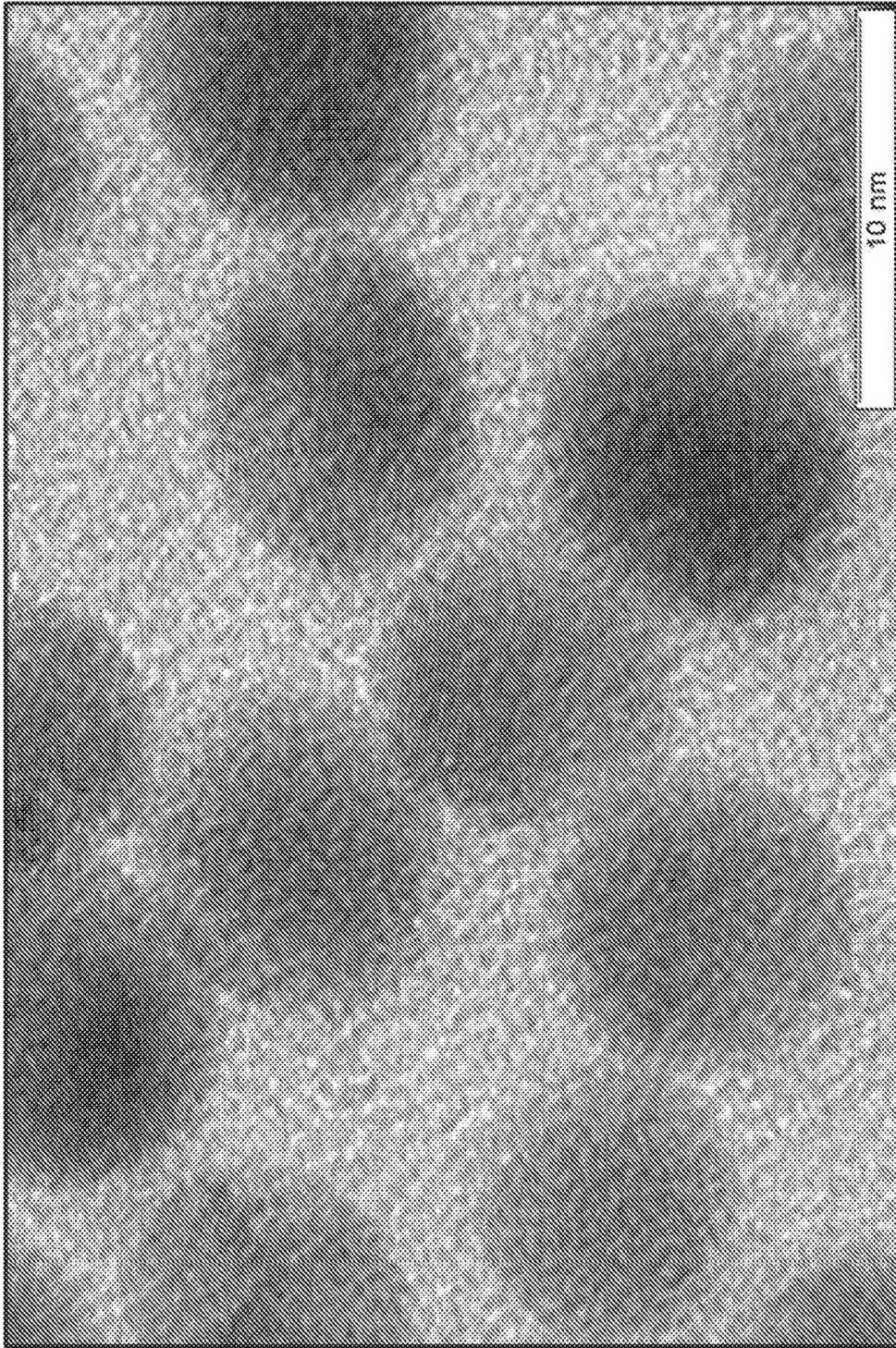


Fig. 9

110



110

Fig. 10

Análisis de rayos X por energía dispersiva de la muestra D

Análisis elemental de una muestra de Si NC

Pico del cobre debido a la rejilla TEM/sustrato de la muestra

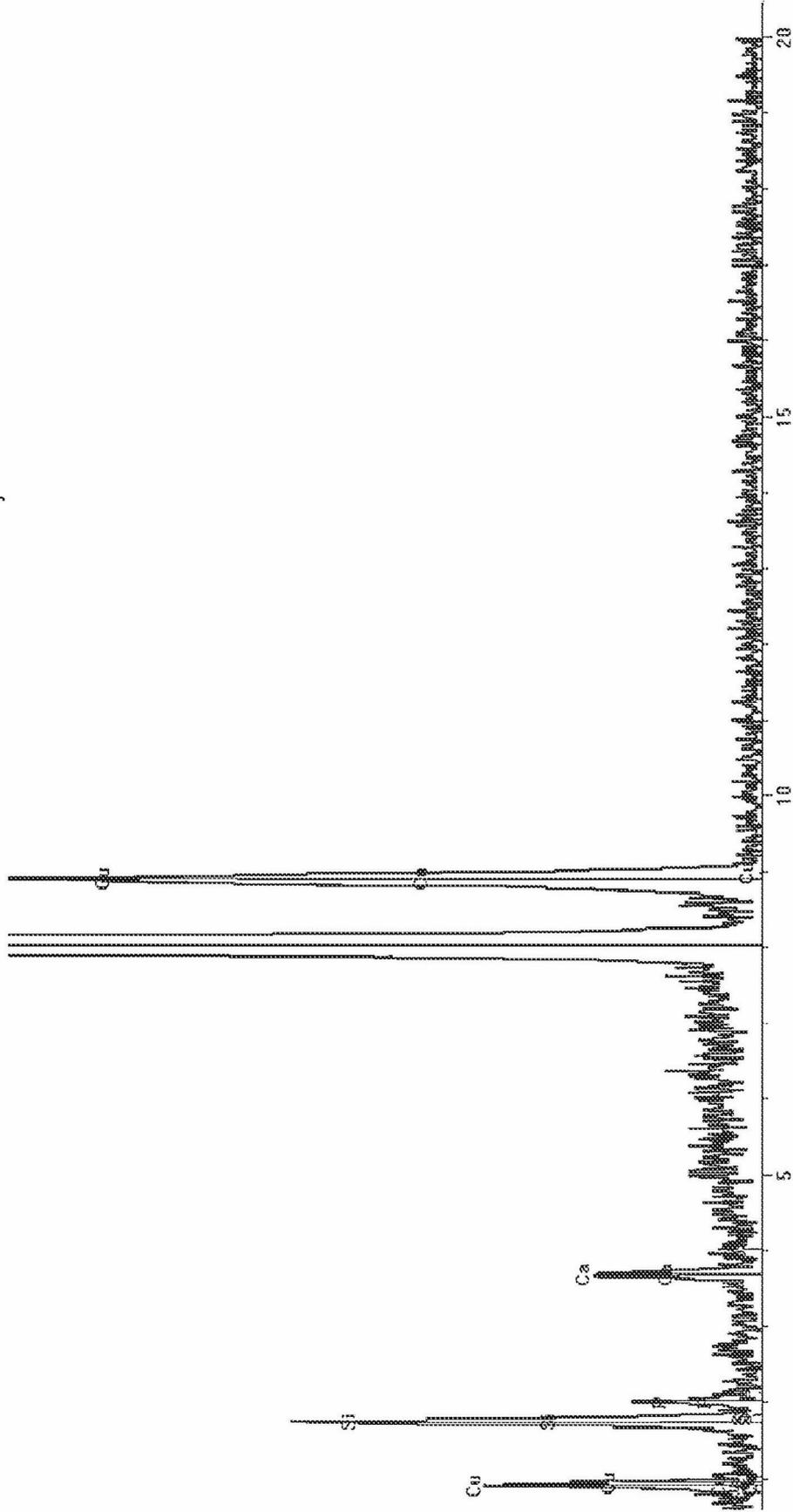
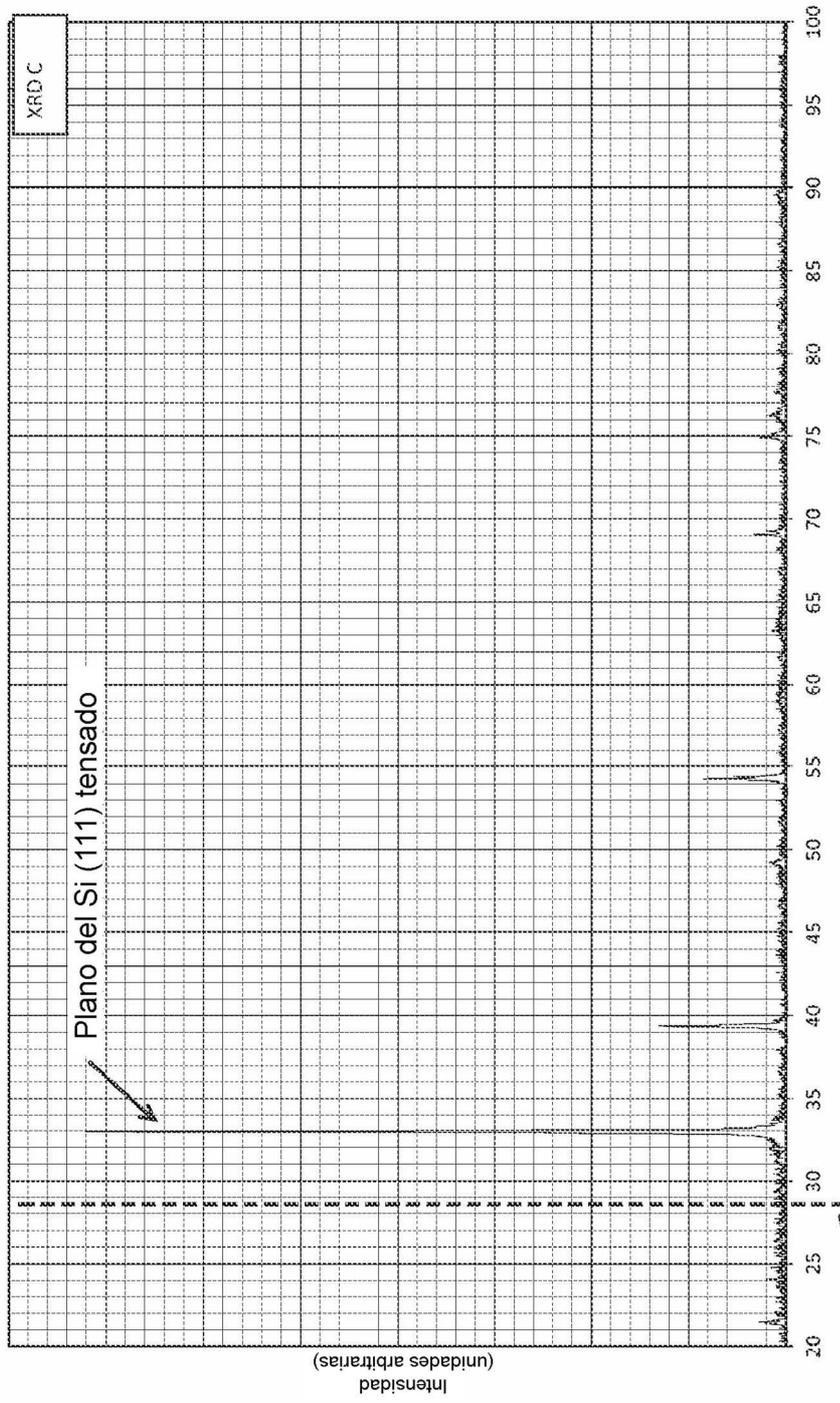


Fig. 11

ITO y halo a restado



Plano habitual del Si (111) no tensado

Fig. 12

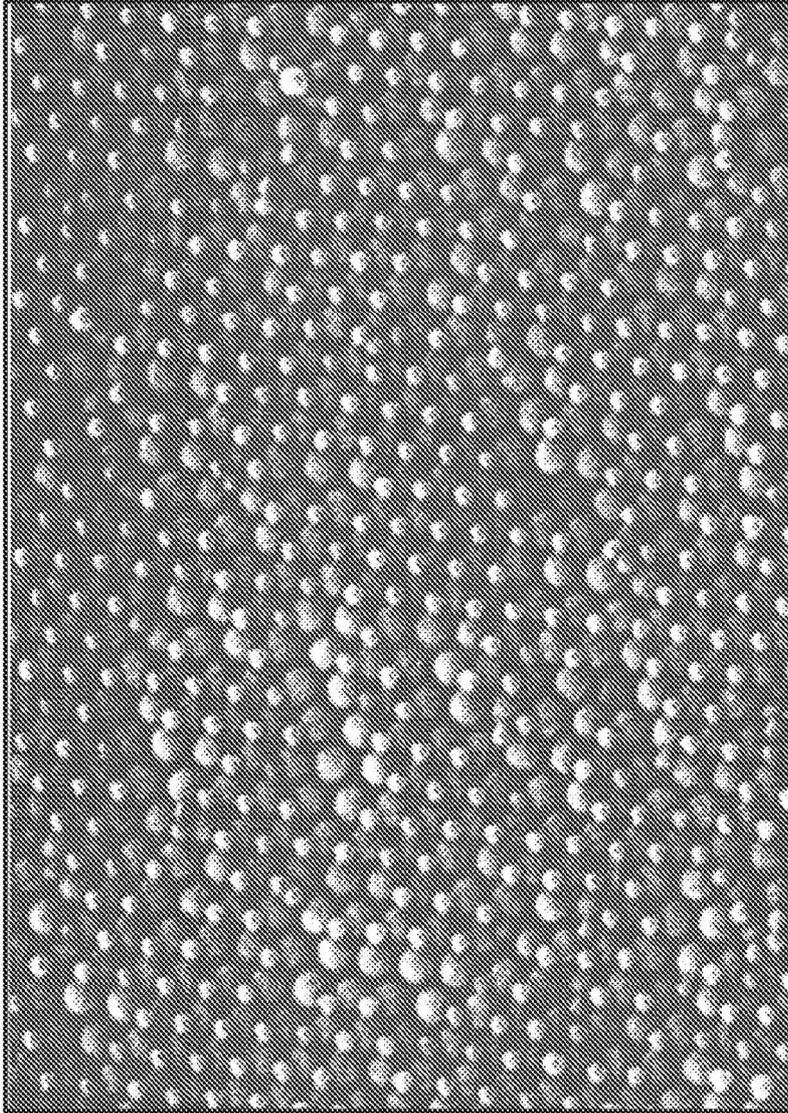


Fig. 13

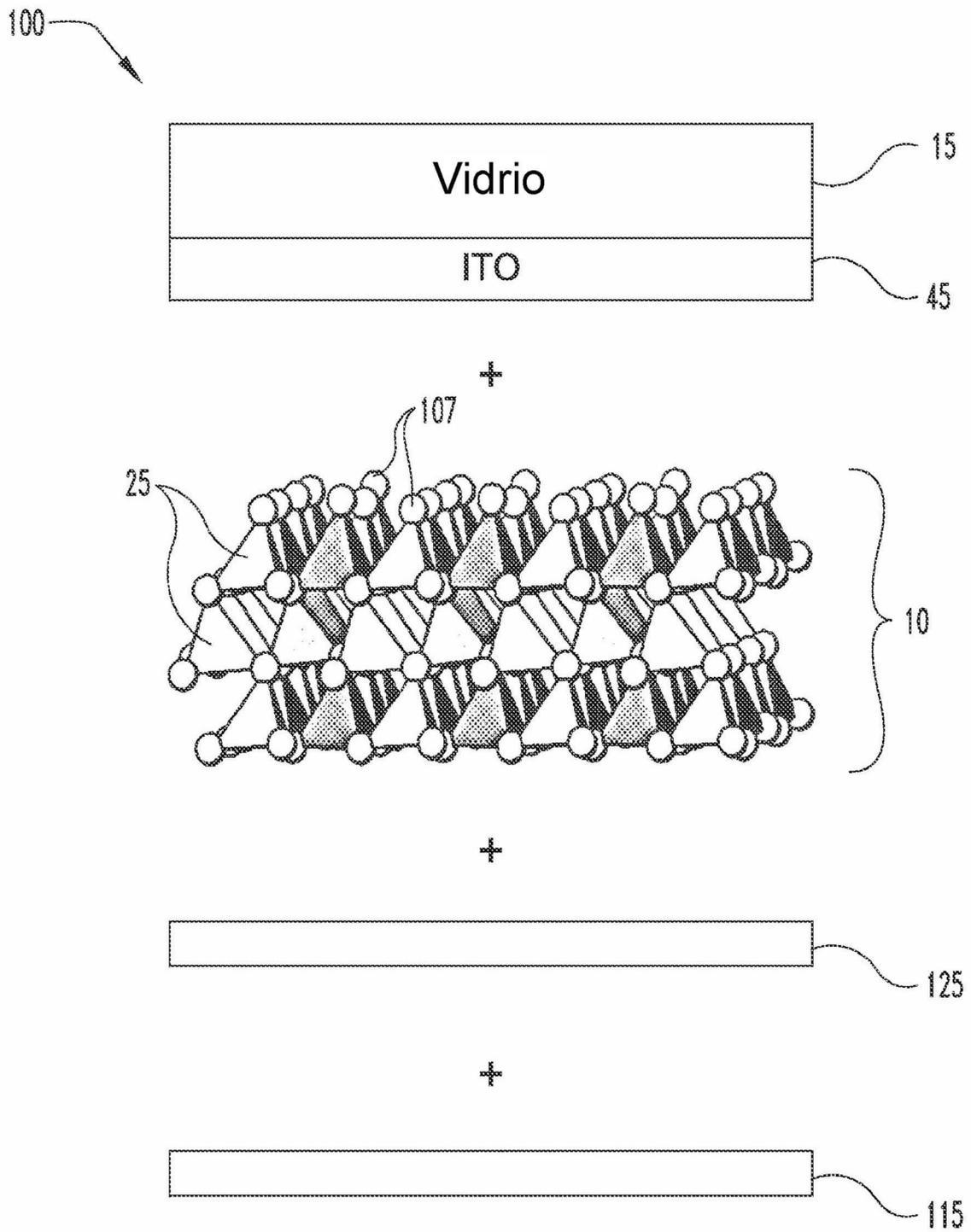


Fig. 14

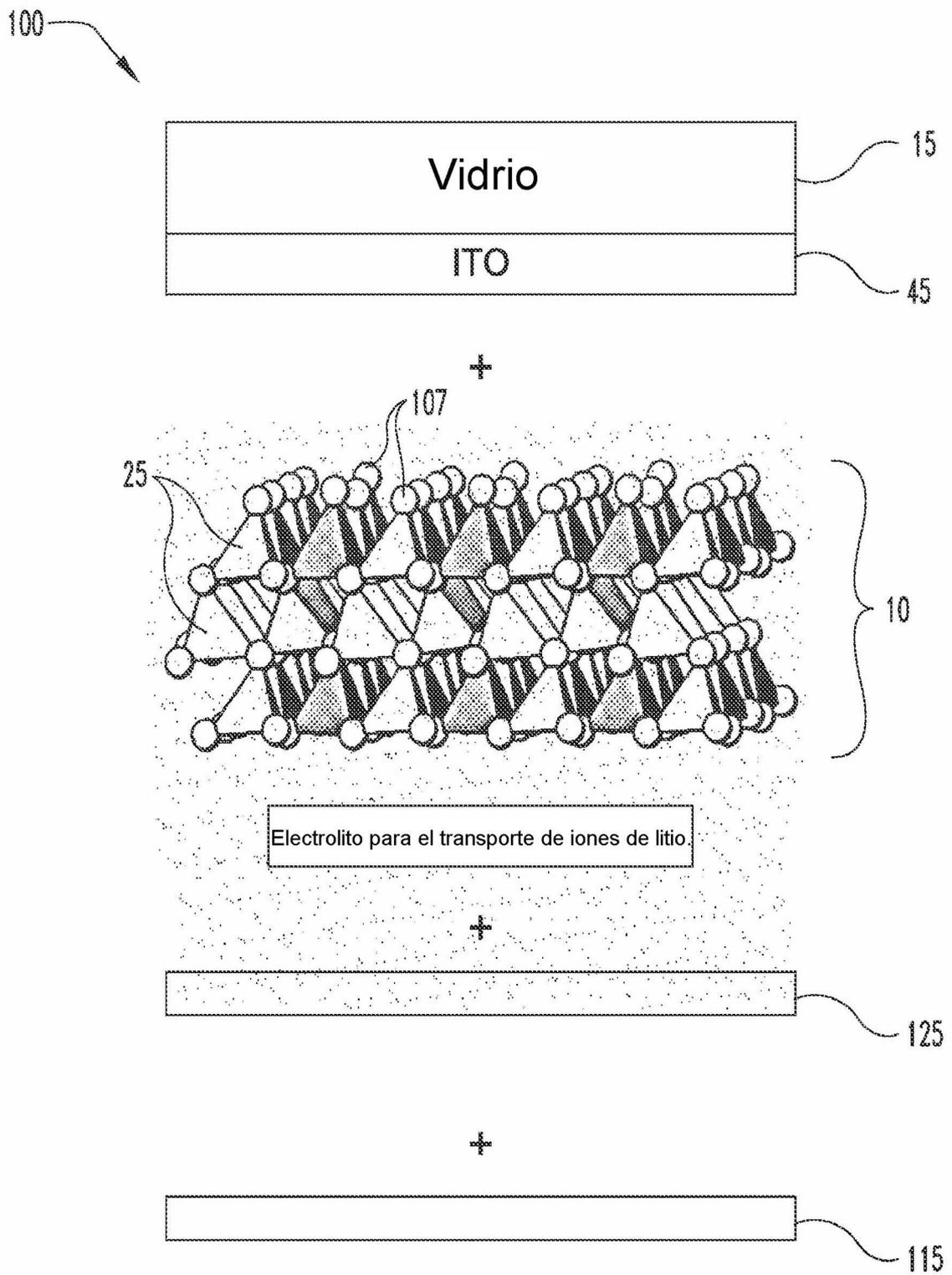


Fig. 15

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Documentos de patentes citados en la descripción

• **SVREK V et al.** *Nanotechnology*, 2010, vol. 21, 215203

10