

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 436**

51 Int. Cl.:

H01M 4/04 (2006.01)
H01M 4/88 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)
C30B 25/02 (2006.01)
C30B 29/40 (2006.01)
C30B 33/06 (2006.01)
H01G 9/20 (2006.01)
C30B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2017 PCT/EP2017/056029**
87 Fecha y número de publicación internacional: **21.09.2017 WO17157960**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2017 E 17717085 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3430659**

54 Título: **Método para la fabricación de electrodos de nitruro de galio-indio para dispositivos electroquímicos**

30 Prioridad:

15.03.2016 IT UA20161691

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.09.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO -
BICOCCA (100.0%)
Piazza dell'Ateneo Nuovo, 1
20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**NOETZEL, RICHARD y
SANGUINETTI, STEFANO**

74 Agente/Representante:

RUO , Alessandro

ES 2 784 436 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

Método para la fabricación de electrodos de nitruro de galio-indio para dispositivos electroquímicos

5 **Campo de la invención**

[0001] La invención se refiere a un método para la fabricación de electrodos de alta eficiencia para usarse en el campo de los dispositivos electroquímicos. Se conoce una gran diversidad de estos dispositivos, que se emplean para controlar reacciones químicas.

10

Antecedentes de la técnica y técnica anterior

[0002] Los dispositivos electroquímicos tienen unas áreas de aplicación amplias en los campos económicos y sociales más relevantes, tales como la energía, la salud y el medio ambiente. Solo por nombrar algunas, las aplicaciones de estos dispositivos incluyen células solares y generación solar de hidrógeno por descomposición del agua para la acumulación y el almacenamiento de energía solar; biosensores para diagnóstico médico, supervisión ambiental y control alimentario; y baterías, supercondensadores y células de combustible para el almacenamiento y el suministro de energía.

15

[0003] Todos estos dispositivos electroquímicos y sus aplicaciones se basan en electrodos electroquímicos eficientes caracterizados por una actividad catalítica alta de la superficie de material de electrodo junto con un área superficial grande. Muchos materiales de electrodo ampliamente usados, tales como óxidos de metal y semiconductores del grupo IV y del grupo III-V, tienen una estructura cristalina con planos cristalográficos de diferente actividad catalítica debido a las diferentes configuraciones de energía superficial y de enlace químico. Para una eficiencia de electrodo alta, se requieren la exposición de planos cristalográficos con una actividad catalítica alta para un determinado material de electrodo junto con un área superficial grande de estos planos.

20

25

[0004] La solicitud de patente JP 2009-019233 A describe un método de fabricación de electrodos que comprende, en términos generales, las etapas de depositar a alta velocidad un material sobre una superficie de un sustrato, separando el depósito obtenido en forma de polvos del sustrato; y transferir el polvo sobre un soporte conductor, por ejemplo, una lámina de cobre; para producir electrodos para baterías.

30

[0005] Una forma posible de maximizar el área superficial es desarrollar materiales de electrodo nanoestructurados, o bien mediante la utilización de nanoestructuras y microestructuras aisladas / coloidales autoensambladas o bien mediante la utilización de nanoestructuras y microestructuras de superficie de electrodo autoensambladas como nano / microparedes, nano / microescamas o nano / microhilos, varillas, columnas. Este enfoque, sin embargo, conduce inherentemente a la exposición de superficies con una actividad catalítica baja o nula debido a la minimización de la energía superficial en el proceso de formación.

35

[0006] Entre los semiconductores mencionados, hasta la fecha el nitruro de galio e indio (InGaN) ha permitido la producción de electrodos con las eficiencias más altas por área superficial, en particular cuando se prepara en forma de material estratificado y heteroestructuras relacionadas exponiendo el plano c cristalográfico catalíticamente activo. De forma independiente, las actividades catalíticas se pueden mejorar mediante dopado o acoplamiento de (co / electro)catalizador en donde no hay aumento alguno del área superficial. Los mejores resultados se han obtenido con material de InGaN epitaxial con puntos cuánticos (QD) de superficie de InN sobre un sustrato de silicio y zafiro. Los QD son islas del material con un tamaño de unos pocos nm en todas las tres direcciones espaciales, capaces de confinar los portadores de carga (electrones y huecos) en un espacio extremadamente limitado; esta disposición da lugar a unas propiedades optoelectrónicas novedosas o potenciadas. Los QD de InN / InGaN y sus aplicaciones en los campos de las reacciones electroquímicas en general se han descrito en varios documentos, tales como "An InN/InGaN Quantum Dot Electrochemical Biosensor for Clinical Diagnosis", Naveed ul Hassan Alvi y col., *Sensors*, 2013, 13, 13917 - 13927; y "Electrocatalytic oxidation enhancement at the surface of InGaN films and nanostructures grown directly on Si(111)", Paul E. D. Soto Rodriguez y col., *Electrochemistry Communications*, 60 (2015) 158 - 162.

40

45

50

[0007] El documento "Indium-related novel architecture on GaN nanorod grown by molecular beam epitaxy", Y. H. Kim y col., *Chemical Physics Letters*, 412 (2005) 454 - 458, describe la producción de nanoestructuras independientes de GaN; no se menciona morfología particular alguna de estas nanoestructuras, en relación con los ejes de la red cristalina.

55

[0008] Las estructuras producidas por el crecimiento epitaxial de películas sobre sustratos de silicio (111) son conocidas en la técnica, por ejemplo, de la solicitud de patente JP 2004-319250 A; este documento describe la producción de capas dopadas de tipo p de InGaAs.

60

[0009] Un problema general hallado con estos materiales es la limitación de potencial, por razones geométricas / estructurales del sustrato. Principalmente, los sustratos inhiben el aumento del área superficial del material activo de electrodo sobre el cual se producen los QD. Además, el desempeño de estos materiales, aunque

65

satisfactorio, sigue siendo susceptible de mejora. El problema es, por lo tanto, cómo lograr un electrodo con un área superficial aumentada, exponiendo las superficies con una actividad catalítica alta del material activo de electrodo.

5 [0010] Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un electrodo que tiene, como el elemento activo, fragmentos de InGaN y heteroestructuras relacionadas con un área superficial aumentada y exponiendo las superficies con una actividad catalítica alta.

Sumario de la invención

10 [0011] Este y otros objetos se logran con la presente invención que, en un primer aspecto de la misma, trata de un método para la fabricación de electrodos que comprende las etapas de:

15 a) depositar epitaxialmente nitruro de galio-indio (InGaN) en forma de una capa delgada sobre una superficie de un sustrato de silicio exponiendo una cara de cristal (111), de tal modo que dicha superficie hace que el InGaN crezca exponiendo una superficie con una actividad catalítica alta;

b) separar el depósito de InGaN del sustrato;

c) fragmentar el depósito de InGaN;

20 d) transferir los fragmentos de InGaN obtenidos de este modo sobre un soporte conductor con una estructura unidimensional, bidimensional o tridimensional.

[0012] Opcionalmente, el método de la invención comprende una etapa adicional a') llevada a cabo entre las etapas a) y b), que consiste en la producción, sobre la superficie de la capa de InGaN, de unas nanoestructuras discretas de InN tridimensionales, tales como puntos cuánticos o anillos cuánticos.

25 [0013] En un segundo aspecto de la misma, la invención se refiere a los electrodos producidos por el proceso descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

30 [0014] La invención se describirá con detalle en lo sucesivo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra una capa de InGaN depositada sobre un sustrato de silicio;

- la figura 2 muestra el InGaN después de la retirada de sustrato, listo para la fragmentación a lo largo de las líneas de color negro;

35 - la figura 3 muestra una primera realización de un electrodo de la invención, en la que los fragmentos de InGaN se conectan a un hilo de material conductor;

- la figura 4 muestra una primera realización de un electrodo de la invención, en la que los fragmentos de InGaN se conectan a una lámina de material conductor; y

40 - la figura 5 muestra una segunda realización de un electrodo de la invención, en la que los fragmentos de InGaN se conectan a un material conductor formado como una estructura que presenta aberturas.

[0015] En los dibujos, el tamaño de las diferentes partes no está a escala y, en particular, el grosor de la película de InGaN y el tamaño de los fragmentos de la misma se exageran en gran medida por claridad de representación.

45 Descripción detallada de la invención

[0016] Los inventores de la presente invención han hallado una forma simple y conveniente de obtener una estructura en la que se producen, en primer lugar, fragmentos de InGaN y heteroestructuras relacionadas, de una forma que expone una superficie catalíticamente activa; entonces, estos fragmentos se recogen y se conectan en una disposición tridimensional a un soporte de electrodo. Con este método, se obtiene una disposición en la que cada uno de dichos fragmentos mantiene expuesta la superficie sumamente catalítica, al tiempo que se aumenta el área superficial expuesta en comparación con la de la capa epitaxial original, logrando de este modo un electrodo con una eficiencia aumentada.

55 [0017] Opcionalmente, y de acuerdo con una realización preferida de la invención, los fragmentos de InGaN portan, sobre la superficie catalíticamente activa expuesta, unas nanoestructuras de InN discretas, tales como puntos cuánticos o anillos cuánticos. En la descripción y las reivindicaciones, las capas o fragmentos de InGaN que tienen nanoestructuras de InN discretas sobre una superficie se denominan "heteroestructuras relacionadas con InGaN"; además, en el resto de la descripción, siempre que se mencionan capas y fragmentos de InGaN, se pretende en todo momento que estos puedan portar nanoestructuras de InN para formar dichas heteroestructuras, a menos que se mencione explícitamente lo contrario.

65 [0018] Las etapas del proceso se han indicado como a) a d) para identificar claramente las mismas, pero esto no implica que estas etapas se deban realizar necesariamente en el orden indicado. Como será evidente a partir de la descripción que sigue, se puede intercambiar en particular el orden de las etapas b) y c), o estas se pueden llevar a cabo esencialmente de forma simultánea, como parte de una única operación. De forma similar, se puede

intercambiar el orden de las etapas c) y d), en particular cuando el soporte conductor de electrodo es una estructura bidimensional.

5 **[0019]** En la etapa a) del método de la invención, se deposita epitaxialmente InGaN en forma de una capa delgada sobre un sustrato de silicio exponiendo una cara de cristal (111). El término "capa delgada", análogo a "película delgada", es bien entendido por el experto en la materia; para los fines de la presente invención, una capa delgada es una capa que tiene preferiblemente un espesor que varía entre aproximadamente 5 nm y 5 μ m, más preferiblemente entre 10 nm y 2 μ m. En el campo de la ciencia de los materiales se conocen bien algunas técnicas de deposición adecuadas para la epitaxia y estas incluyen, entre otras, epitaxia en fase de vapor metalorgánica, una
10 modificación de la deposición química en fase de vapor, o epitaxia de haz molecular (MBE). Cuando se deposita una película epitaxial sobre un sustrato de diferente composición química, como en la presente invención, el proceso se denomina heteroepitaxia.

15 **[0020]** Con referencia a la figura 1, la epitaxia es una técnica en la que el sustrato, 12, desempeña el papel de un cristal semilla, de tal modo que la película sobre este, 11, crece a lo largo de la orientación cristalográfica deseada. En esta técnica, al conocer la superficie del material depositado que se desea exponer, es posible seleccionar un sustrato y unas condiciones de crecimiento que aseguran el crecimiento del material objetivo exponiendo la cara de cristal correcta.

20 **[0021]** En la presente invención, InGaN y heteroestructuras relacionadas se hacen crecer sobre silicio (111) como el sustrato; los sustratos de silicio cortados a lo largo de la cara (111) se emplean ampliamente en el campo y están disponibles en el mercado. Sobre el silicio (111), una capa de InGaN crece epitaxialmente a lo largo del eje c y, en consecuencia, expone el plano c, que tiene una actividad catalítica alta.

25 **[0022]** La epitaxia también permite la fabricación de heteroestructuras con un diseño óptimo para maximizar la actividad de superficie. En la realización preferida de la invención, unos puntos cuánticos o anillos cuánticos de InN se hacen crecer sobre una capa de InGaN. En este sistema, los inventores de la presente invención han observado una actividad catalítica potenciada debido a una densidad alta de estados de donantes superficiales positivamente cargados y a la repulsión cuántica de los electrones fuera de los puntos, dejando donantes no compensados.
30

[0023] En la etapa b) del método de la invención, la película epitaxial 11 se separa del sustrato 12. Esto se puede llevar a cabo mediante cualquier técnica adecuada: por ejemplo, es posible retirar el sustrato mecánicamente, por ejemplo, mediante esmerilado mecánico o ataque químico en seco selectivo; como alternativa, es posible atacar químicamente (ataque químico en húmedo) el sustrato de forma selectiva, aprovechando una solubilidad diferente de los dos materiales en un disolvente adecuado. También es posible combinar el esmerilado mecánico y el ataque químico, en donde la mayor parte del sustrato se retira en primer lugar mediante esmerilado mecánico, y la parte final se retira mediante ataque químico. En la descripción que sigue y en las reivindicaciones adjuntas, por "separación" se entiende cualquier operación que logre el resultado de separar físicamente la capa epitaxial de InGaN (y heteroestructuras relacionadas) del sustrato de silicio, permitiendo la recuperación de la primera.
35

40 **[0024]** El resultado de esta etapa del método de la invención puede ser una película independiente, como se muestra, por ejemplo, como el elemento 21 en la figura 2. Entonces se necesita una etapa c) como una etapa de método separada, en la que la película obtenida de este modo se rompe en fragmentos, 22, por ejemplo, a lo largo de las líneas 23 ilustradas en la figura. Métodos posibles para romper la película 21 en fragmentos son un golpe mecánico o vibración, posiblemente con la ayuda de agitación ultrasónica. Esto proporciona un parámetro de diseño adicional, debido a que el tamaño promedio resultante de los fragmentos de InGaN dependerá de la fuerza del choque mecánico o vibración en agitación ultrasónica. Una vez que se ha roto la película 21, los fragmentos de InGaN se recogen y se pueden separar en fracciones de diferentes rangos de tamaño, por ejemplo, por centrifugación y separación, con el fin de estrechar la distribución de tamaños y obtener un comportamiento más homogéneo y controlado del electrodo final.
45
50

[0025] También es posible que la propia etapa de separación provoque la rotura de la película en fragmentos, debido a la resistencia mecánica escasa de las películas muy delgadas, o si la película está desconectada, o tiene grietas o es porosa. En este caso, en la práctica, las etapas b) y c) del método tienen lugar de forma simultánea, o la segunda poco después y como una consecuencia directa de la primera.
55

[0026] La última etapa del método de la invención, d), consiste en la transferencia de los fragmentos 22 de la película 21 sobre un soporte conductor, y en provocar la adhesión de estos fragmentos a dicho soporte.

60 **[0027]** El soporte puede tener cualquier forma. Este puede ser esencialmente unidimensional, bidimensional o tridimensional. Los soportes unidimensionales son hilos, que pueden ser rectos o curvos. Los soportes bidimensionales son habitualmente láminas (planas o curvas) de materiales conductores. Por último, el soporte puede tener una forma tridimensional y, en particular, puede tener una estructura que presenta aberturas, tal como una red, un material textil, una estructura de tipo esponja o de tipo jaula; estas últimas estructuras tienen la ventaja
65 de una superficie expuesta más alta por unidad de volumen del electrodo en su conjunto.

[0028] Estas realizaciones alternativas se representan esquemáticamente en las figuras 3, 4 y 5; en la figura 3, el soporte conductor tiene la forma de un hilo, 31; en la figura 4, el soporte conductor tiene la forma de una lámina plegada, 41; en la figura 5, se ilustra un soporte conductor en forma de una red tridimensional, 51; en todos los casos mostrados en las figuras 3, 4 y 5, unos fragmentos 22 de la película 21 se adhieren sobre el soporte conductor.

[0029] Más detalladamente, la figura 3 muestra un electrodo unidimensional (30) producido de acuerdo con una primera realización alternativa posible de la invención, en el que el soporte es un hilo 31, mostrado en una disposición doblada genérica, pero que también podría ser recto o estar enrollado, sobre el cual se adhieren unos fragmentos 22 de InGaN.

[0030] La figura 4 muestra un electrodo bidimensional (40) producido de acuerdo con una segunda realización alternativa posible, en la que el soporte es una lámina (41) de material conductor, que puede doblarse, plegarse o enrollarse, para generar una disposición tridimensional de unos fragmentos de material activo de electrodo 22 con un área superficial aumentada por área geométrica.

[0031] Por último, la figura 5 muestra otra realización de la invención, en la que los fragmentos (22) de material activo de electrodo se unen a un soporte conductor tridimensional 51, obteniendo un electrodo (50) con una estructura tridimensional. Algunas realizaciones posibles de la estructura conductora tridimensional comprenden una estructura de tipo esponja o jaula o un material textil conductor. Este segundo caso permite obtener electrodos con la actividad más alta, debido a que los fragmentos 22 no están confinados a la superficie de una lámina bidimensional (con independencia de cuánto se puede plegar esta lámina para dar una forma enrevesada), sino que, más bien, dichos fragmentos se distribuyen tanto sobre la superficie geométrica externa del electrodo como también sobre las superficies internas del mismo, con un área superficial aumentada por área / volumen geométrico.

[0032] El soporte se puede producir con cualquier material conductor, en particular los establecidos para soportar partículas de óxido de metal o semiconductoras coloidales. Los ejemplos de materiales que se pueden usar para producir soportes bidimensionales son láminas de aluminio, el uso de las cuales es conocido para la producción de supercondensadores, y fibras y películas de polímero conductor, que se han usado para aplicaciones de sensores. En el caso de los soportes tridimensionales, son ejemplos de materiales útiles las fibras textiles conductoras envueltas en nanotubos de carbono, redes de nanotubos de carbono puro o conjuntos de escamas de grafeno, que se han usado en células de combustible y supercondensadores.

[0033] La transferencia de los fragmentos de InGaN sobre el soporte conductor y la consolidación de la estructura se pueden llevar a cabo adoptando la tecnología establecida para las estructuras coloidales. Se notifican métodos ilustrativos para facilitar la transferencia de los fragmentos sobre el soporte conductor, por ejemplo, en la solicitud de patente US 2006/0278534 A1, e incluyen sumergir el sustrato en un medio líquido que contiene los fragmentos y agitar o burbujear la suspensión líquida. Preferiblemente, los fragmentos y el soporte conductor también se cargan, de tal modo que la unión de las nanopartículas en la superficie del soporte conductor tiene lugar por medio de unión electrostática. Para estabilizar la estructura resultante, es posible emplear una membrana electrolítica polimérica (como se conoce bien en el campo de las células de combustible), por ejemplo, una membrana a base de Nafion® (Nafion es una marca comercial registrada de E. I. du Pont de Nemours and Company).

[0034] Por lo tanto, un proceso habitual de acuerdo con la invención comprende, por lo tanto, las siguientes etapas:

- proporcionar un sustrato de Si (111);
- hacer crecer una capa epitaxial de InGaN sobre el sustrato de silicio con una superficie superior nanoestructurada;
- retirar el sustrato de silicio por ataque químico en KOH;
- romper la capa de InGaN en fragmentos pequeños, por ejemplo, mediante agitación ultrasónica;
- transferir los fragmentos a un soporte de electrodo conductor (por ejemplo, una lámina de aluminio);
- cubrir la estructura resultante con una membrana de Nafion® por inmersión.

[0035] En comparación con los casos conocidos en los que el material activo de electrodo está presente en forma de una capa delgada sobre un sustrato, los electrodos de la invención ofrecen la ventaja de que los fragmentos 22 presentan una superficie expuesta más grande: para cada fragmento 22, el área superficial catalíticamente activa casi se duplica (el lado posterior y frontal), conduciendo de este modo a un área expuesta grande de la superficie con una actividad catalítica alta del material activo de electrodo y, por último, a una actividad electroquímica aumentada.

[0036] Otra posibilidad, que no cae dentro del alcance de la invención reivindicada, es que la película epitaxial 21 se transfiere inicialmente sobre un soporte conductor 2D. En este caso, al doblar el soporte conductor 2D, se fracturará la capa de InGaN. En esta posibilidad, que no cae dentro del alcance de la invención reivindicada, la etapa d) se lleva a cabo antes de la etapa c).

REIVINDICACIONES

1. Método para la fabricación de electrodos, que comprende las etapas de:
- 5 a) depositar epitaxialmente nitruro de galio-indio (InGaN) en forma de una capa delgada (11) sobre una superficie (12) de un sustrato de silicio exponiendo una cara de cristal (111), de tal modo que la capa de InGaN crece epitaxialmente a lo largo del eje c y, en consecuencia, expone el plano c;
- b) separar el depósito de InGaN (21) del sustrato;
- 10 c) fragmentar el depósito de InGaN;
- d) transferir los fragmentos (22) de InGaN obtenidos de este modo sobre un soporte conductor (31; 41; 51) con una estructura unidimensional, bidimensional o tridimensional.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una etapa adicional a') llevada a cabo después de la etapa a), en la que se producen puntos cuánticos o anillos cuánticos de InN sobre dicha capa de InGaN.
- 15 3. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que las etapas b) y c) tienen lugar de forma simultánea, o la etapa c) inmediatamente después y como una consecuencia directa de la etapa b).
4. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa a) se lleva a cabo mediante epitaxia en fase de vapor metalorgánica o epitaxia de haz molecular (MBE).
- 20 5. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa b) se lleva a cabo mediante una técnica seleccionada de entre esmerilado mecánico, ataque químico en seco selectivo, ataque químico en húmedo o combinaciones de los mismos.
- 25 6. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa c) se lleva a cabo mediante choque, vibración, agitación ultrasónica o combinaciones de los mismos.
7. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, después de la etapa c), los fragmentos obtenidos se separan en fracciones de diferentes rangos de tamaño, recuperando una o más fracciones de una distribución de tamaños estrecha para usarse en la etapa d).
- 30 8. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa d) se lleva a cabo al preparar una suspensión de los fragmentos obtenidos en la etapa c) en un medio líquido, sumergir el soporte conductor con una estructura unidimensional, bidimensional o tridimensional en dicha suspensión, y burbujear o agitar dicha suspensión.
- 35 9. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa d) comprende adicionalmente llevar a cabo una operación de adherir dichos fragmentos a dicho soporte conductor por medio de unión electrostática.
- 40 10. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa d) comprende adicionalmente llevar a cabo una operación de estabilizar la estructura resultante usando una membrana electrolítica polimérica.
- 45 11. Electrodo (30; 40; 50) producido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los fragmentos de InGaN transferidos sobre un soporte conductor con una estructura unidimensional, bidimensional o tridimensional exponen el plano c.
- 50 12. Electrodo (30) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el soporte conductor (31) tiene una estructura unidimensional y tiene la forma de un hilo recto, doblado o enrollado sobre el cual se adhieren unos fragmentos (22) de InGaN.
- 55 13. Electrodo (40) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el soporte conductor (41) tiene una estructura bidimensional y tiene la forma de una lámina plana o curva sobre la cual se adhieren unos fragmentos (22) de InGaN.
- 60 14. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el soporte conductor es una lámina de aluminio.
- 60 15. Electrodo (50) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el soporte conductor (51) tiene una estructura tridimensional y tiene la forma de una red, un material textil, una estructura de tipo esponja o de tipo jaula sobre las superficies de los cuales se adhieren unos fragmentos (22) de InGaN.
- 65 16. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 15, en el que el soporte conductor es una fibra textil envuelta en nanotubos de carbono, una red de nanotubos de carbono puro o un conjunto de escamas de grafeno.

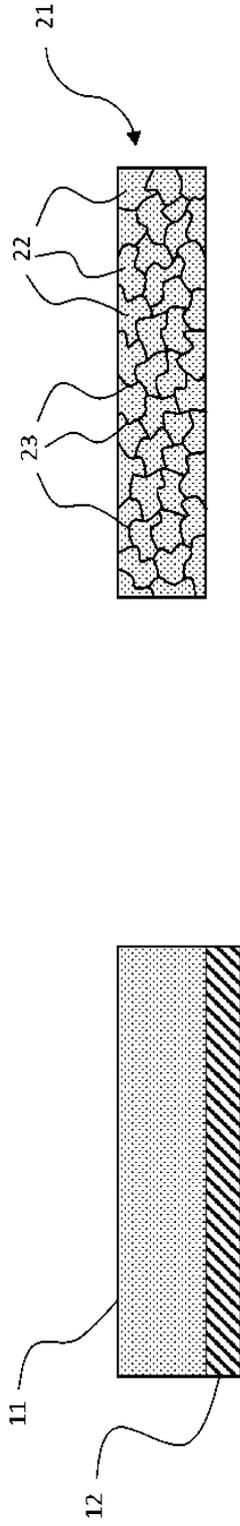


Fig. 2

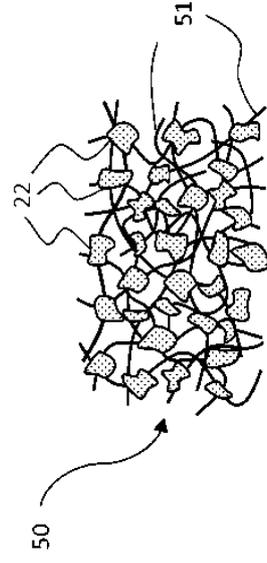


Fig. 3

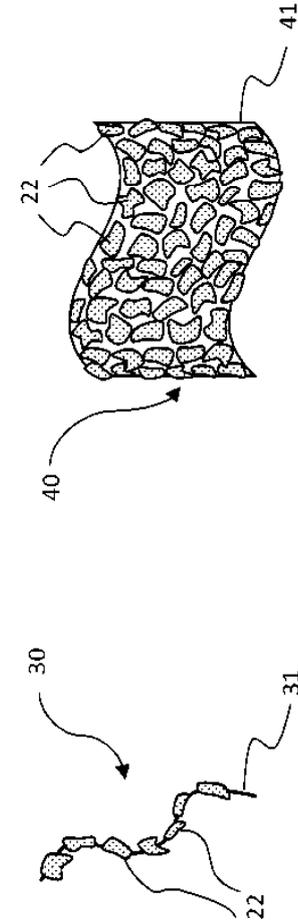


Fig. 4

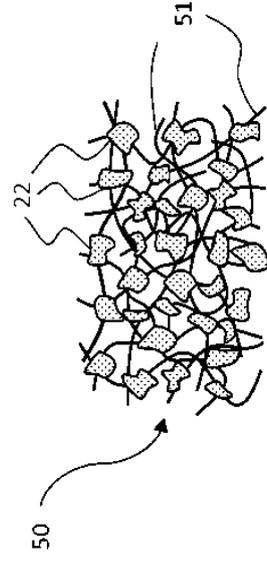


Fig. 5