

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 976 497**

21 Número de solicitud: 202231077

51 Int. Cl.:

H01G 11/26 (2013.01)

H01G 11/10 (2013.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

19.12.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

02.08.2024

Fecha de concesión:

20.02.2025

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.02.2025

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (100.00%)

Paseo Carlos III, nº 9

11003 Cádiz (Cádiz) ES

72 Inventor/es:

ARAUJO GAY, Daniel;

PERNOT, Julien;

VILLAR CASTRO, María Del Pilar;

LLORET VIEIRA, Fernando Manuel y

EON, David

54 Título: **SUPERCONDENSADOR DE DIAMANTE Y PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DEL MISMO**

57 Resumen:

Supercondensador de diamante y procedimiento de fabricación del mismo.

La invención comprende el diseño y el procedimiento de fabricación del dispositivo que se basa en la concatenación de capas de diamante dopado tipo p y tipo n en una estructura de bisel.

El diseño hace que el número de capas sea lo relevante en la capacidad de carga almacenada y que el espesor de estas pueda ser muy pequeño. El espesor de la capa n determina a que voltajes se deberá de cargar la batería.

La invención proporciona un supercondensador de gran robustez y peso muy ligero y con tiempos de carga y descarga muy cortos.

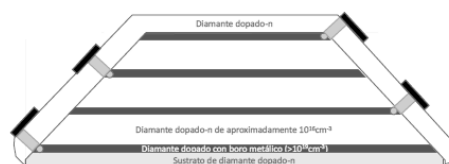


Fig. 6

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 976 497 B2

DESCRIPCIÓN

SUPERCONDENSADOR DE DIAMANTE Y PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DEL MISMO

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

Sector industrial: Energía.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 A través de las industrias generadoras de energía, el sistema de transporte utiliza una gran parte de los recursos energéticos del mundo. Es por tanto corresponsable de los contaminantes ambientales causados por la combustión de combustibles fósiles (a saber, gasolina, diésel y etanol) [1]. Una transformación global del sistema de transporte para la protección del medio ambiente, la conservación de la energía, un sistema de eficiencia energética y bajas emisiones de carbono requerirá una mejora significativa en el proceso de producción de energía a bordo y su consumo eficiente [2-4]. Esta transformación tecnológica requiere el desarrollo sistemático de
20 tecnologías eficientes en combustible y energía en el sector del transporte.

El sistema de transporte convencional emplea un sistema de propulsión basado en un motor de combustión interna (MCI), que utiliza productos derivados del petróleo para la propulsión. Se estima que, al ritmo de consumo actual, los recursos petroleros
25 mundiales actuales se agotarán en los próximos 50 años [4]. También se ha planteado una creciente preocupación por la contaminación ambiental y los cambios climáticos posteriores. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América (EE. UU.), el sistema de transporte convencional representa el 30 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), lo que provoca un calentamiento global significativo [3].
30 Además, se prevé que la población mundial crezca por encima de los 6 000 millones actuales a unos 10 000 millones en los próximos 50 años, mientras que el número de vehículos en funcionamiento aumentará de 700 millones a 2 500 millones [4]. Con el crecimiento proyectado de los automóviles pequeños y sus emisiones de CO₂, la importancia de abordar la eficiencia del combustible en el transporte por carretera es
35 significativamente importante en las agendas mundiales sobre medio ambiente,

energía y cambio climático. El sistema de transporte por carretera es responsable de aproximadamente el 20% de las emisiones globales de CO₂ de la quema de combustibles fósiles y, en la mayoría de los países, las emisiones de CO₂ debido al transporte están creciendo a un ritmo más rápido que las emisiones totales de CO₂ [2,3]. Las proyecciones para el crecimiento del transporte por carretera y la propiedad de automóviles para las próximas décadas muestran que el transporte por carretera seguirá dominándolo, a pesar del rápido crecimiento en los sectores del transporte marítimo y la aviación.

- 10 Estabilizar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y CO₂ requiere mejoras significativas para economizar combustible y reducir las emisiones del tubo de escape en el sector del transporte por carretera.

Para enfrentar este desafío, se están infundiando nuevos conceptos e innovaciones para hacer que los sistemas de transporte sean cada vez más eficientes energéticamente, confiables y seguros con cero emisiones o emisiones reducidas a un costo asequible. Estos novedosos conceptos e innovaciones se pueden ver en el uso de combustibles bajos en carbono como el bioetanol o el biodiesel, la sustitución de la energía del petróleo por energía eléctrica para impulsar vehículos o la generación de energía a base de hidrógeno. [4]. La mayoría de estas innovaciones se basan únicamente en la electrificación de la tecnología vehicular convencional y se agrupan bajo el género de tecnología vehicular eléctrica (EVT, por sus siglas en inglés). En EVT, los sistemas de propulsión basados en MCI están siendo reemplazados por un sistema de propulsión eléctrica (EPS, por sus siglas en inglés), ya sea parcial o totalmente, para minimizar el consumo de combustible y las emisiones del tubo de escape.

Los vehículos eléctricos de batería (BEV, por sus siglas en inglés) son principalmente la combinación de un sistema de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) y una unidad de propulsión eléctrica que juntos constituyen la potencia para impulsar las ruedas. El rango operativo limitado y el rendimiento comparativamente bajo y la limitación del sistema de almacenamiento son las principales preocupaciones con los BEV. En la última década, los EVT se aceleran a nivel mundial como competidores y alternativas sostenibles de los vehículos convencionales basados en MCI. Se están dirigiendo importantes esfuerzos y recursos para cumplir con las

expectativas del mercado de vehículos eléctricos de alto rendimiento, eficientes energéticamente, duraderos, seguros y asequibles [5]. El desarrollo tecnológico y el crecimiento de EVT ha tomado un ritmo acelerado en su hoja de ruta para superar los problemas mencionados anteriormente asociados con cada uno de los vehículos eléctricos. Por lo tanto, el sueño de tener vehículos eléctricos comercialmente viables se está convirtiendo en una realidad. Los vehículos eléctricos se están comercializando y capturando gradualmente el importante espacio del mercado [5–13].

Los sistemas de almacenamiento de energía electroquímica (EES) en términos de condensadores electroquímicos (EC, por sus siglas en inglés) y baterías han demostrado un gran potencial en la alimentación de dispositivos electrónicos portátiles y la electrificación del sector del transporte debido a sus características ventajosas de alta eficiencia de ida y vuelta, ciclos de vida prolongado y gran potencial para ser implementado con diferentes productos químicos basados en materiales baratos, sostenibles y reciclables, y con un bajo coste de mantenimiento. [14-16] Generalmente, la energía eléctrica se almacena en EES de dos maneras: directamente a través de un proceso no faradaico o indirectamente a través de un proceso faradaico.[17] Las tecnologías no faradaicas almacenan electricidad directamente de forma electrostática. Por lo general, los capacitores eléctricos de doble capa (EDLC, por sus siglas en inglés) son muy eficientes ($\approx 100\%$) y adecuados para la administración de energía (por ejemplo para la regulación de frecuencia), pero brindan una baja densidad de energía con un tiempo de descarga limitado.[18] Alternativamente, la energía eléctrica se puede almacenar convirtiéndola en energía química, lo que requiere la oxidación faradaica y la reducción de los reactivos electroquímicamente activos, y liberar reversiblemente la energía cuando se requiera. Los ejemplos típicos de sistemas faradaicos incluyen pseudocondensadores y varias baterías.

El desafío clave es la identificación de materiales de electrodos ideales que satisfagan los requisitos de alta densidad de energía/potencia y ciclo largo [19]. Se han propuesto estrategias como la disminución del tamaño de partícula [20, 21], el control de la morfología [22] y la producción de materiales híbridos [16]. Estos materiales de electrodos novedosos reducen la brecha en el comportamiento electroquímico entre los EC y las baterías, principalmente debido a la tendencia popular de aumentar la penetración mutua de materiales nanoestructurados (combinando la alta densidad de

energía de las baterías con la alta densidad de potencia de los capacitores).

Las baterías de iones de litio muestran una densidad de energía suficiente para competir con los motores de combustión, pero tienen una clara falta de potencia (eje y), lo que hace que sea necesario combinarlas con supercondensadores para aumentar la potencia entregada. Además, ambos pierden su carga relativamente rápido, lo que hace necesario recargarlos con frecuencia. Esto es una limitación no solo para aplicaciones de alta potencia como ICE sino también para aplicaciones domésticas como computadoras portátiles, iluminación inalámbrica, aspiradoras, taladros, etc. De hecho, para muchos de esos dispositivos, el tiempo de carga y descarga es un factor importante y en este aspecto la presente patente también es sobresaliente.

Referencias

- [1] D. Streimikiene, T. Baležentis, L. Baležentien, Comparative assessment of road transport technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 20 (2013) 611–618.
- [2] Mobility 2030: “Meeting the Challenges of Sustainability”, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) July 2004a and 2004b.
- [3] International Energy Agency, Global EV outlook: Understanding the electric vehicle landscape to 2020. [Online]. Available: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVO Outlook_2013.pdf, 2013.
- [4] C.C. Chan, Y.S. Wong, Electric vehicles charge forward, *IEEE Power Energy Mag.* 2 (6) (2004) 24–33.
- [5] A. Emadi, *Transportation 2.0*, IEEE Power Energy Mag. 9 (4) (2011) 18–29.
- [6] Lalit Kumar, S. Jain, Development of Power Electronic Interface for Electric Propulsion System, PhD Dissertation, MANIT, Bhopal, India, 2016.
- [7] S.S. Williamson, A. Emadi, Comparative assessment of hybrid electric and fuel cell vehicles based on comprehensive well-to-wheels efficiency analysis, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 54 (3) (2005) 856–862.
- [8] C.C. Chan, The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles, *Proc. IEEE* 95 (4) (2007) 704–718.
- [9] A. Emadi, K. Rajashekara, S.S. Williamson, S.M. Lukic, Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 54 (3) (2005) 763–770.

- [10] K.T. Chau, Y.S. Wong, Overview of power management in hybrid electric vehicle, *Energy Convers. Manag.* 43 (2002) 1953–1968. Elsevier.
- [11] R. Ghorbani, E. Bibeau, S. Filizadeh, On conversion of hybrid electric vehicles to plug-in, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 59 (4) (2010) 2016–2020.
- 5 [12] D.P. Tuttle, R. Baldick, The evolution of plug-in electric vehicle-grid interactions, *IEEE Trans. Smart Grid* 3 (1) (2012) 500–505.
- [13] S. Srinivasaraghavan, A. Khaligh, Time management, *IEEE Power Energy Mag.* 9 (4) (2011) 46–53.
- [14] Z. Yang, J. Zhang, M. C. W. Kintner-Meyer, X. Lu, D. Choi, J. P. Lemmon, J. Liu, 10 *Chem. Rev.* 2011, 111, 3577.
- [15] Z. Yang, J. Zhang, M. C. W. Kintner-Meyer, X. Lu, D. Choi, J. P. Lemmon, J. Liu, *Chem. Rev.* 2011, 111, 3577.
- [16] G. L. Soloveichik, *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.* 2011, 2, 503
- [17] B. E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and* 15 *Technological Applications*, Springer Science + Business Media, New York 1999
- [18] L. L. Zhang, X. S. Zhao, *Chem. Soc. Rev.* 2009, 38, 2520.
- [19] C. Merlet, B. Rotenberg, P. A. Madden, P.-L. Taberna, P. Simon, Y. Gogotsi, M. Salanne, *Nat. Mater.* 2012, 11, 306.
- [20] C. Portet, G. Yushin, Y. Gogotsi, *J. Electrochem. Soc.* 2008, 155, A531.
- 20 [21] S. P. Jahromi, A. Pandikumar, B. T. Goh, Y. S. Lim, W. J. Basirun, H. N. Lim, N. M. Huang, *RSC Adv.* 2015, 5, 14010.
- [22] H. Jiang, T. Zhao, J. Ma, C. Yan, C. Li, *Chem. Commun.* 2011, 47, 1264.
- [23] P. Simon, Y. Gogotsi, B. Dunn, *Science* 2014, 343, 1210

25

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La presente invención consiste en el procedimiento para la fabricación de una batería/supercondensador de diamante basado en una estructura multicapa dopada 30 con nitrógeno y boro. Concretamente, consiste en un procedimiento para la fabricación de una novedosa estructura formada por la repetición de epicapas de diamante monocristalino dopado con boro y nitrógeno alternativamente.

Con la aplicación del procedimiento propuesto, las distintas capas de la estructura se 35 ponen en contacto por sus extremos, en una estructura de bisel con un recubrimiento de diamante homoepitaxial dopado n posterior, obtenido con crecimiento lateral que

impide ruptura dieléctrica. De esta forma, el dispositivo actuará como batería/supercondensador.

El procedimiento incorpora las etapas necesarias para la fabricación del dispositivo,
5 muchas de ellas novedosas y nunca utilizados hasta la fecha para estas aplicaciones.

Un segundo aspecto de la invención es el dispositivo obtenido por el procedimiento de fabricación empleado.

10 La nueva generación de baterías busca conseguir un área más grande y una distancia más pequeña entre placas. Esta es la motivación en los enfoques de tipo 2D, como los supercapacitores, donde el área es muy grande en un volumen pequeño [23].

Aquí, sin embargo, se maximiza el almacenamiento de energía, es decir, se maximiza
15 la energía específica, utilizando un enfoque diferente. La configuración geométrica es una pila multicapa con una distancia mínima entre las placas. Por lo tanto, todo el volumen participa en la superficie de las placas y no se permiten espacios muertos.

Si bien es cierto que este mismo enfoque se puede utilizar para supercapacitores,
20 en ellos energía total que se puede almacenar está limitada por la ruptura del campo dieléctrico, que es mucho más pequeña que para los sólidos y se acumula después de un breve tiempo de respuesta, ya que los iones deben moverse de un electrodo al otro en un material acuoso.

25 Sin embargo, para el caso de los supercondensadores, tal configuración de capa sobre capa da como resultado que la energía específica acumulada (es decir, por unidad de masa) no dependa del espacio, d , entre las capas metálicas, ni del área, A , si se alcanza el campo de ruptura. Además, siempre se puede almacenar la misma energía para un volumen definido de forma independiente.

30

Para la aplicación como supercondensador, los materiales ideales son aquellos con un campo de ruptura muy alto. Esto convierte al diamante en el candidato ideal.

El diamante intrínseco es un aislante eléctrico, sin embargo, se le puede dar un
35 carácter conductor mediante el uso de impurezas como dopantes. De esta forma, con

un dopaje relativamente alto, se logra que el diamante tenga un comportamiento metálico. Este es el caso cuando se utiliza boro en unos valores en el rango de 10^{19} - 20^{21} cm^{-3} .

- 5 A priori, la estructura ideal para el condensador es la formada por capas p++/intrínsecas. Sin embargo, una vez las capas p++ se polarizan, los portadores pueden introducirse en la capa aislante ya que no hay barreras en la estructura.

Es por lo tanto conveniente utilizar una estructura p++/n+/p++ de forma que la capa
10 dopada tipo n actúe como barrera a los portadores dentro de la estructura. De esta forma, la limitación de dicha configuración es el espesor de la capa de depleción inducida en las interfases p++/n+ que hace obligatorio un espesor mínimo para la capa n del orden de 40 nm (dependiendo del nivel de dopaje).

- 15 En el diamante, los dopantes de tipo n más comunes son el nitrógeno y el fósforo. Para aplicaciones electrónicas, el fósforo es el más utilizado gracias a su energía de ionización más baja (pero aun así grande). Sin embargo, el radio covalente más corto del nitrógeno (71 pm frente a los 111 pm del fósforo) hace que estas impurezas sean más fáciles de introducir en la red cristalina del diamante.

20

ETAPA I: Para la fabricación de la batería es por tanto necesario crecer, mediante MPCVD en homoepitaxia sobre un sustrato de diamante monocristalino tipo I extremadamente fino ($1\mu\text{m}$ espesor), varias bicapas (del orden de 40) p++/n+.

- 25 Las capas se crecerán dopadas con boro ($10^{17} \text{ cm}^{-3} < [\text{B}]$) y nitrógeno ($[\text{N}] > 10^{15} \text{ cm}^{-3}$). El espesor de la capa n determina a que voltajes se deberá de cargar la batería. En efecto se debe de aplicar un voltaje tal que la capa esté al borde de la ruptura dieléctrica. Con dopado nitrógeno, la barrera de potencial que impide el paso de las cargas en la capa n estará definida en el momento del crecimiento y una vez
30 encapsulado el dispositivo, esta barrera estará fijada definitivamente, ya que no incidirá luz en el dispositivo semiconductor.

- ETAPA II:** Los bordes de la estructura crecida necesitan ser biselados para facilitar el contacto vertical, aumentar su área y evitar el voltaje de ruptura de la superficie
35 (aumenta la separación entre contactos). Este proceso se lleva a cabo mediante corte

por láser. El ángulo de corte debe ser tal que el plano de biselado resultante se corresponda con la orientación cristalográfica (111) que favorecerá el posterior crecimiento lateral de diamante.

- 5 **ETAPA III:** Sobre el plano biselado, las capas de diamante conductoras, p++, deben marcarse. Esto puede realizarse con láser, mediante una grafitización local sobre la capa (marcando con un punto). La grafitización mediante laser permite hacer posteriormente visible la zona, una vez crecida la capa n que recubrirá todo el dispositivo. Permitirá por lo tanto seleccionar la zona, el tamaño y la profundidad del
- 10 área de forma precisa mediante la optimización de las condiciones de irradiación. La localización de las capas p++ para marcarlas con láser (un punto) se podrán hacer mediante un microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) en modo conducción (C-AFM). Se recomienda hacer todo el proceso en un solo equipo (laser y C-AFM) para poder localizar así la zona de interés por AFM y realizar inmediatamente
- 15 la grafitización por láser sin modificar la posición de la muestra.

- ETAPA IV:** Una vez localizada las capas p++, se podrán contactar, pero puede producirse la ruptura dieléctrica en superficie del diamante puede ocurrir. Para evitarlo, la superficie debe por ello pasivarse. Esta pasivación se puede realizar creciendo una
- 20 capa de diamante de tipo n encima de la estructura (esta incluye a las superficies orientadas (100) y (111)) modulando crecimiento homoepitaxial lateral y vertical.

- ETAPA V:** Los contactos se realizan a través de esta capa dopada n usando nuevamente grafitización láser local. El marcado previo de la capa p++ facilita su
- 25 localización. Sobre estas columnas grafitadas se deposita el contacto metálico. Para hacer esto, se puede usar electrolitografía seguida de un proceso de deposición física de fase vapor (PVD, por sus siglas en inglés).

- ETAPA VI:** Por último, el dispositivo se deberá emplazar y conectar eléctricamente en
- 30 un empaquetado resistente al alto voltaje similar a los que se usan en la electrónica de alta potencia.

- Mediante la aplicación del procedimiento descrito, se obtiene un supercondensador de diamante, compuesto por una capa de diamante monocristalino tipo I, sobre la que se
- 35 disponen varias bicapas de diamante tipo p y tipo n, dopadas con boro ($10^{17} \text{ cm}^{-3} <$

[B] < 10^{23} cm^{-3}) y con nitrógeno ([N] > 10^{15} cm^{-3}), las cuales presentan una superficie exterior biselada, para facilitar el contacto vertical, aumentar su área y evitar el voltaje de ruptura de la superficie, pasivizada mediante el crecimiento de una capa de diamante tipo n, sobre la cual se encuentran los contactos metálicos, coincidiendo con la ubicación de las capas de diamante conductoras, p++.

Este supercondensador de diamante presenta un biselado en su superficie exterior que deja las caras orientadas en la dirección cristalográfica 111.

Una característica básica del supercondensador de diamante objeto de la invención es que el espesor de la capa n determina a qué voltaje de debe cargar el dispositivo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Figura 1: Conjunto de capas dopadas p++/n+ que se deben crecer sobre un sustrato de diamante delgado. Se corresponde con la Etapa I de fabricación.

Figura 2: Corte por láser para biselar los bordes de la placa para más contactos y para evitar el voltaje de ruptura de la superficie. El ángulo debe corresponder a un plano de superficie (111) para facilitar el nuevo crecimiento del diamante. Se corresponde con la Etapa II de fabricación.

Figura 3: Grafitización láser local para marcar la posición de la capa de diamante p++. La localización de la capa se debe realizar utilizando un equipo AFM en modo de conducción en la misma configuración experimental que el láser para obtener imágenes AFM y grafitización láser al mismo tiempo. Se corresponde con la Etapa III de fabricación.

Figura 4: Recrecido de diamante (tipo n) para pasivar la superficie y evitar la ruptura de superficie. Las condiciones de crecimiento deben modularse para permitir el crecimiento de la capa en ambas superficies (100) y (111). Se corresponde con la Etapa IV de fabricación.

Figura 5: Grafitización láser local para realizar el contacto a través de la capa de pasivación dopada n. Se corresponde con la Etapa V de fabricación.

Figura 6: Deposición de contacto de metal a través de electrolitografía (Ti/Pt/Au) y posterior proceso de PVD. Se corresponde con la Etapa V de fabricación.

5

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A continuación, se describe un modo de realización preferente del objeto de la invención desarrollada.

10

Sobre un sustrato delgado y convenientemente pulido tipo I de orientación (100), se crecen 40 bicapas p++/n+ mediante MW PE CVD. Cada bicapa está compuesta por una capa altamente dopada con boro de 50 nm de espesor ($[B]=10^{19} \text{ cm}^{-3}$) y una capa dopada con nitrógeno de 100 nm de espesor ($[N]=10^{15} \text{ cm}^{-3}$). Cada capa debe crecerse en un reactor diferente para evitar así la contaminación cruzada.

15

A continuación, se cortan con láser los bordes de la superficie siguiendo una orientación 111. Esta superficie superior biselada exhibe un área seccional más grande de las capas crecidas, haciéndolas más fáciles de encontrar por C-AFM, además de aumentar la separación entre contactos.

20

Una vez encontradas las diferentes capas mediante C-AFM, las capas p++ (las de comportamiento metálico) se marcan mediante irradiación láser. Usando por ejemplo un láser de 535 nm y 0,5 NA, se dibuja una columna grafitada en cada capa dopada con boro.

25

La muestra se vuelve a introducir en el reactor CVD, donde se crece una nueva capa de tipo n ($[N]=10^{16} \text{ cm}^{-3}$) de 200 nm que paise la superficie. Esta capa por tanto debe cubrir toda la superficie, incluidas las caras biseladas 111. Para favorecer el crecimiento a lo largo de la orientación 111, el crecimiento se realizará con bajo porcentaje de metano.

30

Sobre esta capa biselada se realizarán los contactos metálicos (Ti/Pt/Au) por electrolitografía seguido de un proceso PVD. Previo a la deposición de los contactos, la zona se grafitizará mediante láser local. Esta grafitización se realiza en la misma

35

ubicación que las columnas grafitadas anteriores de la capa p++, que son fáciles de encontrar gracias al carácter translúcido de la última capa.

5 Finalmente, el dispositivo debe instalarse y conectarse eléctricamente en un empaquetado resistente a alto voltaje similar a los usados en electrónica de alta potencia.

REIVINDICACIONES

1. Supercondensador de diamante, compuesto por una capa de diamante monocristalino tipo I, sobre la que se disponen varias bicapas de diamante tipo p y tipo n, dopadas con boro ($10^{17} \text{ cm}^{-3} < [\text{B}] < 10^{23} \text{ cm}^{-3}$) y con nitrógeno ($[\text{N}] > 10^{15} \text{ cm}^{-3}$), las cuales presentan una superficie exterior biselada, para facilitar el contacto vertical, aumentar su área y evitar el voltaje de ruptura de la superficie, pasivizada mediante el crecimiento de una capa de diamante tipo n, sobre la cual se encuentran los contactos metálicos, coincidiendo con la ubicación de las capas de diamante conductoras, p++.
2. Supercondensador de diamante, según reivindicación 1, caracterizado por que el biselado que presenta su superficie exterior deja las caras orientadas en la dirección cristalográfica 111.
3. Supercondensador de diamante, según reivindicación 1, caracterizado por que el voltaje de carga del dispositivo se modula mediante el espesor asignado a la capa n.
4. Procedimiento de fabricación del supercondensador de diamante, que comprende la realización de las siguientes etapas, llevadas a cabo sobre un sustrato de diamante monocristalino tipo I:
 - a) Crecimiento mediante MPCVD en homoepitaxia de varias bicapas p++/n+, dopadas con boro ($10^{17} \text{ cm}^{-3} < [\text{B}]$) y nitrógeno ($[\text{N}] > 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)
 - b) Biselado de los bordes de la estructura crecida mediante corte por láser, grabado químico o cualquier otra técnica, en un ángulo cuyo plano de biselado corresponda con la orientación cristalográfica (111).
 - c) Sobre el plano biselado, marcar las capas de diamante conductoras, p++, con láser, mediante una grafitización local sobre la capa.
 - d) Crecimiento de una capa de diamante de tipo n encima de la estructura, incluyendo a las superficies orientadas (100) y (111), modulando crecimiento homoepitaxial lateral y vertical.
 - e) Fabricar los contactos a través de esta capa dopada n usando nuevamente grafitización láser local.

f) Emplazar y conectar eléctricamente el dispositivo en un empaquetado resistente al alto voltaje similar a los que se usan en la electrónica de alta potencia.

- 5 5. Procedimiento de fabricación del supercondensador de diamante, según reivindicación 5, caracterizado por que la localización de las capas p++ para marcarlas con láser (un punto) se realiza mediante un microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) en modo conducción (C-AFM).

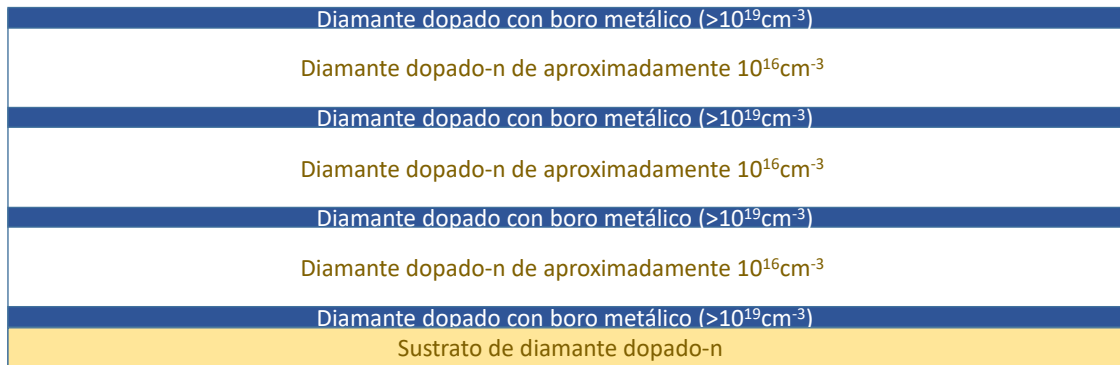


Fig. 1

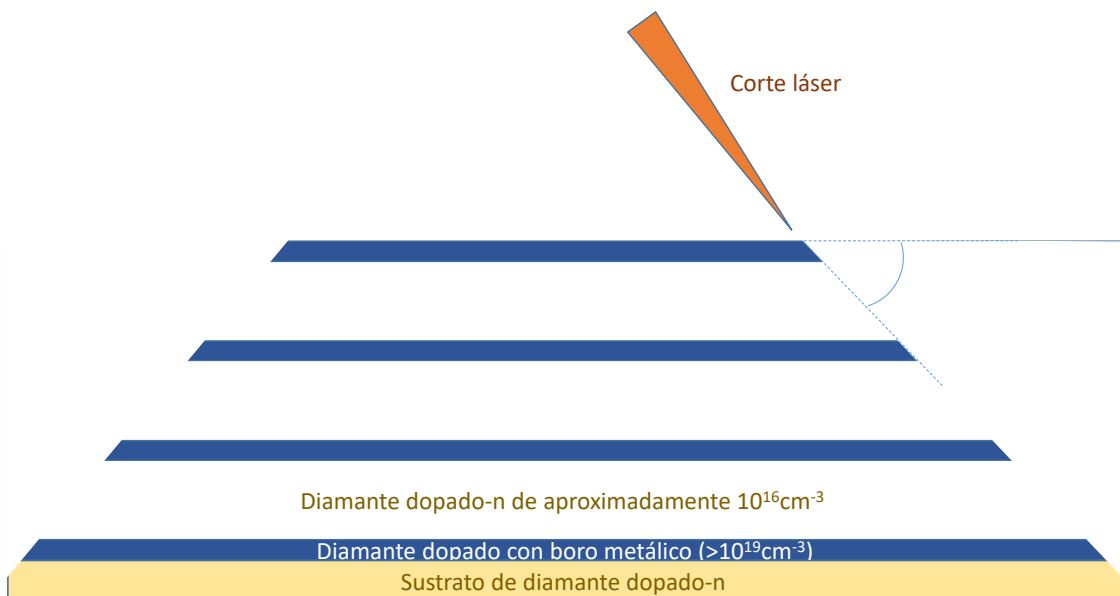


Fig. 2

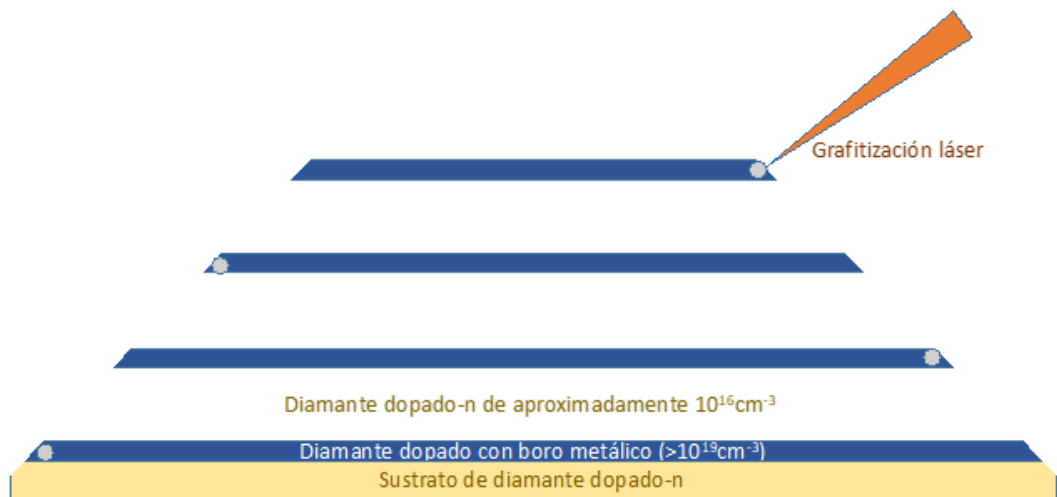


Fig. 3

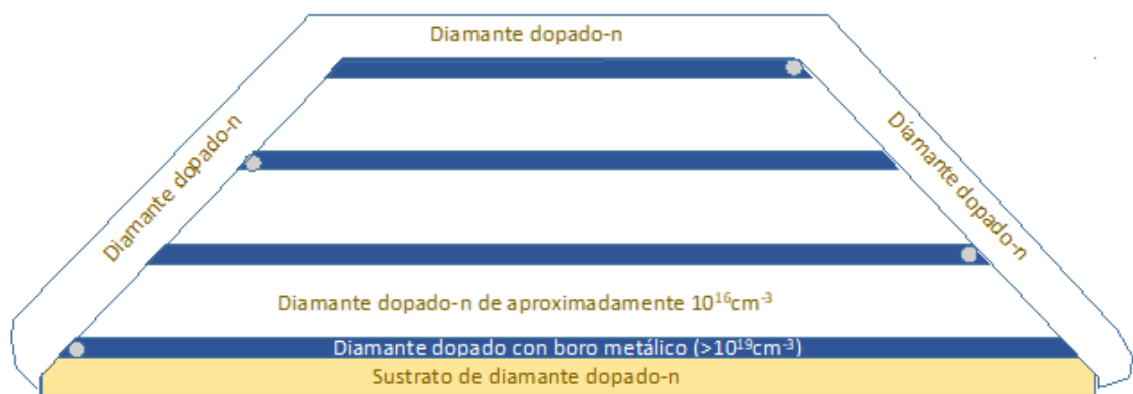


Fig. 4

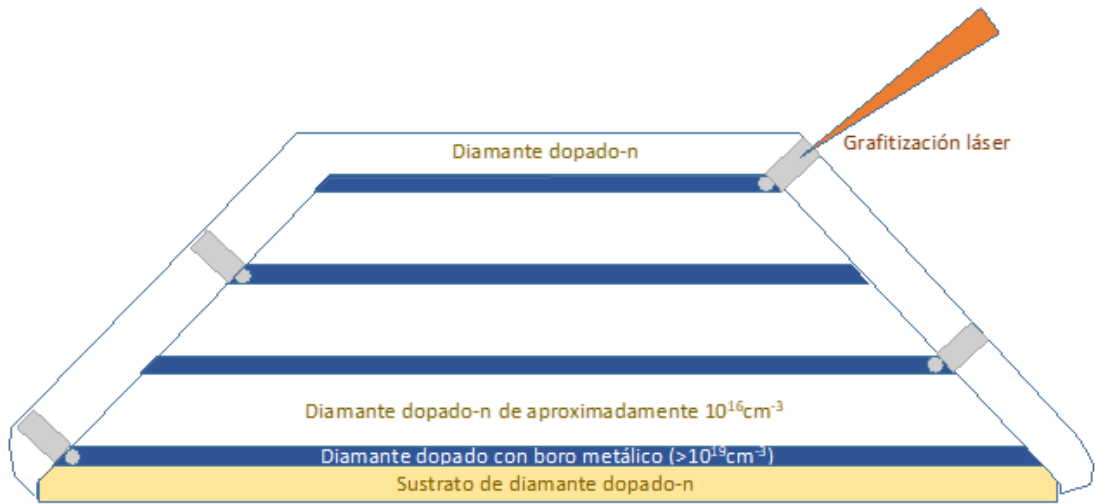


Fig. 5

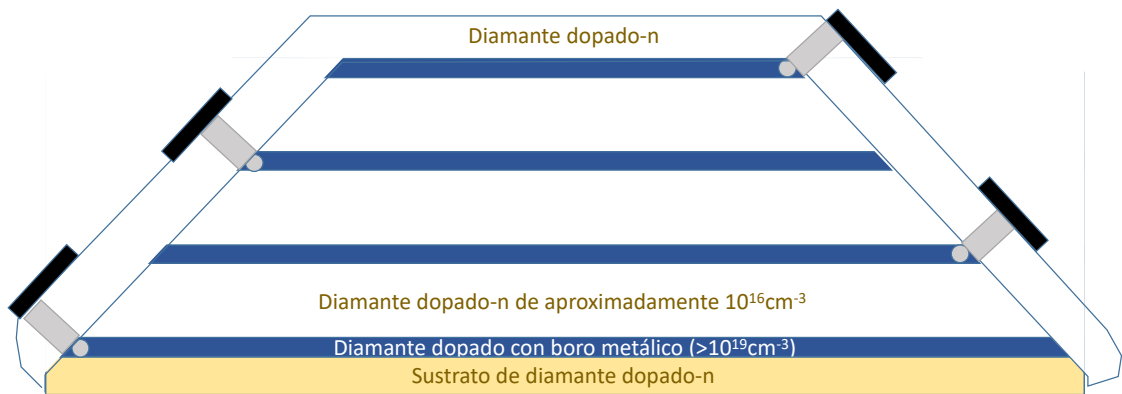


Fig. 6