

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 384**

51 Int. Cl.:

**H01L 21/285** (2006.01)

**H01L 29/47** (2006.01)

**H01L 29/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.04.2014 PCT/FR2014/050952**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14174192**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2014 E 14722295 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017 EP 2989656**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de un diodo Schottky sobre un sustrato de diamante**

30 Prioridad:

**22.04.2013 FR 1353647**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.07.2017**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (33.3%)  
3, rue Michel-Ange  
75794 Paris Cedex 16, FR;  
UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES (33.3%) y  
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE  
(33.3%)**

72 Inventor/es:

**EON, DAVID;  
GHEERAERT, ETIENNE;  
MURET, PIERRE;  
PERNOT, JULIEN y  
TRAORE, ABOULAYE**

74 Agente/Representante:

**SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro**

ES 2 625 384 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 de fabricación de un diodo Schottky sobre un sustrato de diamante

- 5 La presente solicitud de patente reivindica la prioridad sobre la solicitud de patente francesa FR13/53647 que se considerará que forma parte integral de la presente descripción.

**Campo**

- 10 La presente solicitud se refiere a la realización de componentes electrónicos en y sobre unos sustratos de diamante monocristalino. Se dirige más particularmente a la realización de un diodo Schottky que comprende un contacto Schottky entre una capa semiconductor de diamante monocristalino y una capa conductora.

**Exposición de la técnica anterior**

- 15 Ya se ha propuesto en la bibliografía, la realización de unos componentes electrónicos, y particularmente unos diodos Schottky, utilizando diamante monocristalino dopado como material semiconductor. El diamante presenta en efecto unas propiedades físicas y/o electrónicas que lo hacen particularmente atractivo, particularmente para unas aplicaciones de gran potencia.

- 20 Sin embargo, en la práctica, una limitación fundamental para la utilización de diodos Schottky en diamante es que, hasta el momento, los procedimientos de fabricación conocidos no permiten obtener unos diodos que tengan unos rendimientos eléctricos suficientemente elevados, estables y reproducibles para una utilización industrial. La publicación de P. Baumann et ál. titulada "Electron affinity and Schottky barrier height of metal-diamond (100), (111), and (110) interfaces", aparecida en el Journal of Applied Physics 83(4), 2072 (1998), describe un procedimiento de fabricación de un contacto Schottky sobre un sustrato de diamante, que incluye una etapa de oxigenación de la superficie del sustrato y el depósito de una capa de circonio.

**Resumen**

- 30 De ese modo, un objeto de un modo de realización es prever un procedimiento de fabricación de un diodo Schottky en diamante, paliando este procedimiento todos o parte de los inconvenientes de los procedimientos conocidos.

- 35 De ese modo, un modo de realización prevé un procedimiento de fabricación de un diodo Schottky, que incluye las etapas siguientes: a) oxigenar la superficie de una capa semiconductor de diamante monocristalino, de manera que sustituya unas terminaciones superficiales de hidrógeno de la capa semiconductor por unas terminaciones superficiales de oxígeno; y b) formar, por depósito físico en fase de vapor, una primera capa conductora de óxido de indio-estaño en la superficie de la capa semiconductor.

- 40 Según un modo de realización, en la etapa a), la capa semiconductor se coloca en un recinto que contiene dióxígeno a una presión inferior a la presión atmosférica, y se irradia por una luz ultravioleta.

- 45 Según un modo de realización, la primera capa conductora es una capa de óxido de indio-estaño y se forma, en la etapa b), mediante pulverización de un objetivo de óxido de indio-estaño.

- Según un modo de realización, en la etapa b), la capa semiconductor y el objetivo de óxido de indio-estaño se colocan en un recinto que contiene un plasma de argón.

- 50 Según un modo de realización, el procedimiento comprende además, después de la etapa b), un recocido de recristalización de la capa de óxido de indio-estaño a una temperatura comprendida entre 100 y 300 °C.

- 55 Según un modo de realización, el procedimiento comprende además, después de la etapa b), el depósito de al menos una segunda capa conductora en la superficie de la primera capa conductora, formando en conjunto las capas conductoras un electrodo del diodo Schottky.

Según un modo de realización, la segunda capa conductora comprende una capa de oro.

Según un modo de realización, la capa semiconductor esta dopada con tipo P.

- 60 Según un modo de realización, la capa semiconductor se forma mediante epitaxia sobre una capa semiconductor de diamante monocristalino del mismo tipo de conductividad pero más fuertemente dopada.

- 65 Según un modo de realización, el procedimiento comprende además la formación de un electrodo que forma un contacto óhmico con la capa más fuertemente dopada.

Según un modo de realización, el grosor de la primera capa conductora depositada en la etapa b) está comprendido entre 20 y 30 nm.

### Breve descripción de los dibujos

5 Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la descripción que sigue de modos de realización particulares realizada a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas entre las que:

10 Las figuras 1A a 1D son unas vistas en sección que ilustran de manera esquemática unas etapas de un ejemplo de un modo de realización y un procedimiento de fabricación de un diodo Schottky que comprende un contacto Schottky entre una capa semiconductor de diamante monocristalino y una capa conductora; la figura 2 es una vista desde arriba de la estructura de la figura 1D; y las figuras 3 y 4 son unos diagramas que ilustran unas características eléctricas de funcionamiento de un diodo Schottky realizado mediante el procedimiento de las figuras 1A a 1D.

15 Por razones de claridad, se han designado los mismos elementos por las mismas referencias en las diferentes figuras y, además, como es habitual en la representación de los circuitos integrados, las diversas figuras no se están trazadas a escala.

### 20 Descripción detallada

En lo que sigue de la descripción, salvo indicación en contrario, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de” y “del orden de” significan “cerca del 10 %”.

25 Hasta el momento, todas las tentativas manejadas por los actores del campo de los componentes electrónicos en diamante para obtener un diodo Schottky en diamante que presente a la vez una resistencia a la tensión inversa elevada, por ejemplo superior a 100 voltios, y una gran densidad de corriente en estado conductor, por ejemplo superior a 500 A/cm<sup>2</sup> bajo 7 voltios a temperatura ambiente, se han saldado con unos fracasos.

30 Además, los procedimientos de fabricación conocidos poseen otros problemas que los hacen inadaptados para la fabricación a escala industrial de diodos Schottky en diamante. En particular, los procedimientos conocidos plantean unos problemas de reproducibilidad, es decir que se observan importantes desviaciones de los rendimientos eléctricos, ligados a unas desviaciones de fabricación, entre unos diodos distintos realizados mediante el mismo procedimiento. Además, los diodos obtenidos mediante los procedimientos conocidos presentan unos problemas de estabilidad con la temperatura, es decir que se observan importantes desviaciones de los rendimientos eléctricos cuando varía la temperatura. Además, cuando la temperatura del diodo sobrepasa una cierta temperatura, por ejemplo del orden de 250 °C, se puede observar una degradación irreversible de la unión Schottky. Esto es particularmente molesto en las aplicaciones de gran potencia en las que puede producirse un gran calentamiento del diodo cuando el diodo conduce.

40 Unos estudios dirigidos por los presentes inventores parecen mostrar que los estados superficiales en la interfaz entre el material conductor de la unión Schottky y el diamante semiconductor, podrían estar en el origen de todos o parte de los problemas anteriormente mencionados.

45 Las figuras 1A a 1D son unas vistas en sección que ilustran de manera esquemática unas etapas de un ejemplo de modo de realización de un procedimiento de fabricación de un diodo Schottky que comprende un contacto Schottky entre una capa semiconductor en diamante y una capa conductora.

50 La figura 1A ilustra una estructura de partida que incluye un sustrato 101 de diamante monocristalino revestido con una capa epitaxial 103 de diamante fuertemente dopado de tipo P (P++). La capa 103 a su vez revestida con una capa epitaxial 105 de diamante reducidamente dopado de tipo P (P-). El sustrato 101 es por ejemplo de diamante natural tallado, o de diamante sintético obtenido por crecimiento a alta presión y alta temperatura, por depósito químico en fase de vapor, o por cualquier otra técnica conocida. El grosor del sustrato 101 está comprendido por ejemplo entre 300 y 700 μm, por ejemplo del orden de 500 μm. Las capas epitaxiales 103 y 105 se obtienen por ejemplo mediante unas etapas de depósito químico en fase de vapor asistido por plasma en presencia de una radiación de microondas, según un método designado en la técnica por las siglas MPCVD, del inglés “Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition”. Las capas 103 y 105 están dopadas por ejemplo con boro. A título de ejemplo, la capa 103 contiene boro con una concentración comprendida entre 10<sup>19</sup> y 10<sup>21</sup> átomos/cm<sup>3</sup>, por ejemplo del orden de 5x10<sup>20</sup> átomos/cm<sup>3</sup>, y la capa 105 contiene boro con una concentración comprendida entre 10<sup>14</sup> y 10<sup>16</sup> átomos/cm<sup>3</sup>, por ejemplo del orden de 10<sup>15</sup> átomos/cm<sup>3</sup>. A título de ejemplo, la capa 103 tiene un grosor comprendido entre 100 y 300 nm, por ejemplo del orden de 200 nm, y la capa 105 tiene un grosor comprendido entre 500 nm y 50 μm, por ejemplo del orden de 1300 nm. Para obtener una resistencia a la tensión relativamente elevada, se puede prever una capa 105 de grosor comprendido entre 3 y 15 μm. La superficie, en la vista desde arriba, del sustrato 101 y de las capas 103 y 105, es por ejemplo del orden de algunos milímetros cuadrados. En este ejemplo, el sustrato 101 y las capas 103 y 105 tienen, en la vista desde arriba, la forma de un cuadrado de aproximadamente 3 mm de lado.

La figura 1B ilustra una etapa de grabado de una parte de la capa P- 105. En este ejemplo, una parte periférica de la capa 105, por ejemplo una banda periférica de anchura del orden de 1 mm en la vista desde arriba, se retira por grabado de manera que deje accesible una parte de la cara superior (en la orientación de las figuras) de la capa 103. El grabado es por ejemplo un grabado iónico realizado con ayuda de un plasma de oxígeno generado por un campo electromagnético de radiofrecuencia, según un método designado en la técnica por las siglas ICP-RIE, del inglés "Inductively Coupled Plasma - Reactive Ion Etching". Sin embargo, puede utilizarse cualquier otra técnica conocida para grabar la capa 105. En este ejemplo, como resultado de la etapa de grabado, la parte restante de la capa 105 tiene, en la vista desde arriba, la forma de un cuadrado de aproximadamente 2 mm de lado dispuesto en el centro de la capa 103.

La figura 1C ilustra una etapa de realización de un electrodo 107 que reviste la parte de la capa P++ 103 no revestida por la capa 105, formando este electrodo un contacto óhmico con la capa 103. El electrodo 107 forma el ánodo del diodo Schottky, y se conecta eléctricamente a la cara inferior (en la orientación de las figuras) de la capa 105 por medio de la capa P++ 103 (se habla en general de diodo Schottky pseudo-vertical para designar este tipo de estructura).

A título de ejemplo, el electrodo 107 comprende un apilado que comprende, en orden a partir de la superficie de la capa 103, una capa de titanio de aproximadamente 30 nm de grosor, una capa de platino de aproximadamente 50 nm de grosor y una capa de oro de aproximadamente 40 nm de grosor. Por razones de simplificación, las diferentes capas del apilado no se han representado en las figuras. Las capas de titanio, de platino y oro pueden depositarse en varias etapas sucesivas, por ejemplo mediante depósito físico en fase de vapor bajo vacío, según un método designado en la técnica de las siglas EBPVD, del inglés "Electron Beam Physical Vapor Deposition". Después de los depósitos metálicos sucesivos, puede preverse un recocido a una temperatura superior a 450 °C, por ejemplo a una temperatura del orden de 750 °C durante aproximadamente 30 minutos. En este ejemplo, durante el recocido, se forma carburo de titanio en la interfaz entre la capa 103 y el electrodo 107, lo que permite no solamente crear un contacto óhmico entre el electrodo 107 y la capa de diamante 103, sino asegurar también la adherencia del electrodo 107 sobre la capa 103. Pueden utilizarse sin embargo otros materiales, otros grosores y/u otros procedimientos de fabricación para realizar el electrodo 107. Se observará que puede formarse una máscara (no visible en las figuras), por ejemplo en resina, previamente al depósito del electrodo 107, para delimitar la forma, en la vista desde arriba, del electrodo 107. En el ejemplo representado, un delgado espacio, por ejemplo del orden de algunos micrómetros de anchura en la vista desde arriba, separa el electrodo 107 de la capa P- 105, de manera que el electrodo 107 esté directamente en contacto con la capa 105.

Antes de depositar, sobre la superficie superior (en la orientación de las figuras) de la capa semiconductor 105, una capa conductora que forma un contacto Schottky con la capa 105, se prevé una etapa de oxigenación de la superficie superior de la capa 105. A título de ejemplo, después de la formación del electrodo 107, la estructura se coloca en un recinto bajo vacío, posteriormente se introduce oxígeno en el recinto, y la superficie superior de la capa 105 se irradia por una radiación ultravioleta. Esto conduce a sustituir las terminaciones hidrógeno de la superficie superior de la capa de diamante 105 por unas terminaciones oxígeno. Dicho procedimiento de oxigenación del diamante, conocido en sí mismo, se describe por ejemplo en el artículo de T. Teraji et ál, aparecido en el Journal of Applied Physics 105, 126109 (2009). Se observará que, por recinto bajo vacío, se entiende en este caso un recinto en el que la presión es inferior a la presión atmosférica, por ejemplo del orden de  $10^{-5}$  milibares. Cuando el oxígeno está presente en el recinto, la presión en el recinto es por ejemplo del orden de 0,4 milibares. A título de ejemplo, la duración de exposición de la estructura al oxígeno y a la radiación ultravioleta está comprendida entre 1 hora y 3 horas. La etapa de oxigenación se realiza por ejemplo a temperatura ambiente.

Más generalmente, se podrá utilizar cualquier otro procedimiento adecuado para sustituir unas terminaciones superficiales de hidrógeno del diamante por unas terminaciones superficiales de oxígeno, por ejemplo un procedimiento de oxigenación por plasma.

Se observará que el diamante monocristalino presenta la ventaja de que sus terminaciones superficiales, tanto si son de hidrógeno como de oxígeno, son muy estables una vez modificadas. La transferencia del sustrato de un recinto a otro durante diferentes etapas del procedimiento no plantea por tanto problemas particulares.

La figura 1D ilustra una etapa de formación de un electrodo conductor 109 sobre la superficie superior de la capa de diamante dopado (P-) 105, que forma un contacto Schottky con la capa 105. La figura 2 es una vista desde arriba de la estructura de la figura 1D.

Se puede formar previamente al depósito del electrodo 109, una máscara, no visible en las figuras, por ejemplo de resina, para delimitar la forma, en la vista desde arriba, del electrodo 109. Después de la abertura de la máscara en la zona de depósito del electrodo 109 sobre la capa 105, se prevé preferentemente una etapa de limpieza de la zona de depósito para eliminar cualquier residuo de resina susceptible de encontrarse sobre la superficie de la capa 105. A título de ejemplo, esta limpieza se realiza mediante grabado iónico, con la ayuda de un plasma de oxígeno generado por un campo electromagnético de radiofrecuencia, según un método designado en la técnica por las siglas CCP-RIE, del inglés "Capacitively Coupled Plasma - Reactive Ion Etching". La zona de depósito del electrodo 109 se expone por ejemplo al plasma de grabado durante una duración de aproximadamente 30 segundos. Puede

utilizarse sin embargo cualquier otro método de limpieza conocido en lugar de, o como complemento de, el método de limpieza anteriormente mencionado.

5 En el ejemplo representado, el electrodo 109, o cátodo del diodo Schottky, comprende cuatro sub-electrodos disjuntos aproximadamente circulares en la vista desde arriba, lo que conduce de hecho a formar una estructura que incluye cuatro diodos Schottky de ánodo común (electrodo 107). Por supuesto, pueden preverse otras disposiciones del electrodo 109 en función de la utilización contemplada (por ejemplo un único electrodo 109 continuo que recubra toda la superficie de la capa 105).

10 Según un primer aspecto, que no forma parte de la presente invención, el electrodo 109 comprende una delgada capa de circonio, depositada en la superficie de la capa de diamante 105 y que forma un contacto Schottky o contacto rectificador con la capa 105. La capa de circonio se forma mediante depósito físico en fase de vapor bajo vacío, según un método designado en la técnica por las siglas EBPVD, del inglés "Electron Beam Physical Vapor  
15 Deposition". Para ello, la estructura se coloca en una cámara bajo vacío que contiene un objetivo de circonio, y el objetivo es bombardeado con un haz de electrones. El haz de electrones arranca o evapora unos átomos de circonio del objetivo —se habla también de evaporación del objetivo—. Los átomos de circonio vaporizados se precipitan o se adsorben entonces bajo forma sólida, recubriendo la superficie de la estructura con una capa delgada de circonio. Se observará que, por cámara bajo vacío, se entiende en este caso un recinto en el que la presión es inferior a la presión atmosférica, por ejemplo del orden de  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  milibares y preferentemente del orden de  $10^{-7}$  milibares,  
20 preferentemente bajo atmósfera no oxigenada. El depósito se efectúa por ejemplo a temperatura ambiente. La velocidad de depósito del circonio sobre la superficie superior de la capa de diamante 105 es por ejemplo del orden de 0,1 mm por segundo. El grosor de la capa de circonio depositada es por ejemplo del orden de 10 a 50 nm, y preferentemente del orden de 20 a 30 nm.

25 El electrodo 109 puede comprender además uno o varios de otros materiales conductores que revisten la superficie de la capa de circonio opuesta a la capa de diamante 105. Por razones de simplificación, las diferentes capas del electrodo 109 no se han diferenciado en las figuras. A título de ejemplo, la capa de circonio puede estar revestida por una capa de oro que tenga particularmente como función evitar la oxidación del circonio y engrosar el electrodo. A título de variante, se puede depositar una capa barrera de platino, por ejemplo de aproximadamente 20 a 40 nm  
30 de grosor, entre la capa de circonio y la capa de oro, teniendo particularmente por función la capa de platino evitar la difusión del oro en el circonio, lo que principalmente permite al diodo soportar sin degradación unas temperaturas elevadas, por ejemplo del orden de 400 °C o incluso más. A título de variante, el electrodo 109 puede comprender una capa de níquel, por ejemplo del orden de 100 a 300 nm de grosor, entre la capa de platino y la capa de oro, teniendo particularmente como función esta capa de níquel el engrosar el electrodo.

35 Después de la formación de la capa de circonio (antes o después de la formación de eventuales capas conductoras superiores del electrodo 109), puede preverse un recocido, por ejemplo a una temperatura comprendida entre 300 y 500 °C, para mejorar aún más la calidad de la interfaz circonio/diamante que forma la unión Schottky del diodo.

40 Según un segundo aspecto de acuerdo con la presente invención, el electrodo 109 comprende una delgada capa conductora de óxido de indio-estaño, generalmente designado en la técnica por las siglas ITO, depositado en la superficie de la capa de diamante 105 y que forma un contacto Schottky o contacto rectificador con la capa. La capa de ITO se forma mediante pulverización catódica, por ejemplo bajo argón. Para ello, la estructura se coloca en una cámara que contiene un objetivo de ITO, y el objetivo es bombardeado con la ayuda de un plasma que contiene  
45 unos átomos pesados, por ejemplo de argón, y que preferentemente no contienen oxígeno. El plasma arranca o pulveriza unos átomos del objetivo de ITO. Estos átomos se depositan entonces sobre la superficie de la estructura, revistiéndola con una delgada capa de ITO. El depósito de ITO se efectúa por ejemplo a temperatura ambiente. El grosor de la capa depositada de ITO es por ejemplo del orden de 10 a 50 nm, y preferentemente del orden de 20 a 30 nm. Después del depósito, se prevé preferentemente un recocido de recristalización del ITO, por ejemplo a una  
50 temperatura del orden de 100 a 300 °C y preferentemente a una temperatura del orden de 200 °C. La duración del recocido de recristalización está comprendida por ejemplo entre 15 y 60 minutos, por ejemplo aproximadamente 30 minutos. El recocido de recristalización se realiza por ejemplo bajo atmósfera no modificada (aire).

55 El electrodo 109 puede comprender además uno o varios de otros materiales conductores que revisten la superficie de la capa de ITO opuesta a la capa de diamante 105. Por razones de simplificación, las diferentes capas del electrodo 109 no se han diferenciado en las figuras. A título de ejemplo, la capa de ITO puede revestirse con una capa protectora de oro de 10 a 20 nm de grosor o más.

60 Como aparece en las figuras 3 y 4, que se describirán más en detalle en el presente documento a continuación, una característica importante y ventajosa de los diodos Schottky realizados mediante el procedimiento de las figuras 1A a 1D, tanto si se realizan con una unión Schottky circonio/diamante como con una unión Schottky ITO/diamante, es que presentan a la vez una resistencia a la tensión inversa elevada y una gran densidad de corriente en estado conductor (es decir una buena conductividad en directo), lo que no se había observado jamás anteriormente para  
65 unos diodos Schottky en diamante.

Estas características han podido obtenerse gracias a la calidad de la interfaz entre la capa conductora y la capa semiconductor de diamante de la unión Schottky, obtenida combinando la utilización de una etapa de oxigenación de las terminaciones superficiales de la capa de diamante 105, previamente a la formación de la capa conductora, y la utilización de un depósito de circonio por evaporación mediante cañón de electrones o de un depósito de ITO mediante pulverización catódica, para formar la capa conductora.

La figura 3 es un diagrama que representa la evolución de la densidad de corriente, en  $A/cm^2$ , que circula en un diodo Schottky realizado mediante el procedimiento de las figuras 1A a 1D, en función de la tensión, en voltios (V) aplicada entre el ánodo (electrodo 107) y el cátodo (electrodo 109) del diodo, en la proximidad a la tensión de umbral (tensión de inicio de la conducción directa) del diodo. La curva 301, de puntos en la figura 3, corresponde a un diodo circonio/diamante, y la curva 303, de trazo continuo en la figura 3, corresponde a un diodo ITO/diamante.

La figura 4 es un diagrama que representa la evolución de la densidad de corriente, en  $A/cm^2$ , que circula en un diodo Schottky realizado mediante el procedimiento de las figuras 1A a 1D, en función de la tensión, en voltios (V) aplicada entre el ánodo y el cátodo del diodo, en la proximidad a la tensión de ruptura inversa del diodo. La curva 401, de puntos en la figura 4, corresponde a un diodo circonio/diamante, y la curva 403, de trazo continuo en la figura 4, corresponde a un diodo ITO/diamante.

Para un diodo circonio/diamante, los presentes inventores han medido, a temperatura ambiente (del orden de  $27\text{ }^\circ\text{C}$ ), una densidad de corriente del orden de  $1000\text{ }A/cm^2$  bajo  $7\text{ V}$  en el modo conductor (curva 301), y una tensión de ruptura inversa superior a  $1000\text{ V}$  (curva 401). Se observará que las medidas efectuadas no han permitido determinar el valor exacto de la tensión de ruptura sino que han mostrado que la tensión de ruptura era superior a  $1000\text{ V}$ .

Para un diodo ITO/diamante, los presentes inventores han medido, a temperatura ambiente, una densidad de corriente del orden de  $640\text{ }A/cm^2$  bajo  $7\text{ V}$  en el modo conductor (curva 303), y una tensión de ruptura inversa del orden de  $200\text{ V}$  (curva 403).

Por otro lado, los presentes inventores han constatado que en el modo bloqueado, los corrientes de fuga en el diodo son extremadamente reducidas, típicamente inferiores a  $10^{-9}\text{ }A/cm^2$  hasta la proximidad a la tensión de ruptura para un diodo ITO/diamante (curvas 303 y 403) e inferiores a  $10^{-9}\text{ }A/cm^2$  hasta al menos  $1000\text{ V}$  para un diodo circonio/diamante (curvas 301 y 401).

Los presentes inventores han determinado además que para un diodo circonio/diamante en el que el electrodo 109 comprende además una capa de platino que reviste la capa de circonio y una capa de oro que reviste la capa de platino, la altura de barrera, en electronvoltios (eV), entre la capa de diamante 105 y la capa de circonio, es del orden de:

1,97 eV, lo que se traduce en una tensión de umbral de aproximadamente  $2,35\text{ V}$  para una corriente de  $1\text{ mA}$  y una densidad de corriente de  $12,74\text{ }A/cm^2$ , si el depósito de la capa de circonio no es seguido por un recocido;  
 1,4 eV, lo que se traduce en una tensión de umbral de aproximadamente  $1,95\text{ V}$  para una corriente de  $1\text{ mA}$  y una densidad de corriente de  $12,74\text{ }A/cm^2$ , si el depósito de la capa de circonio es seguido por un recocido a una temperatura del orden de  $350\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 1 eV, lo que se traduce en una tensión de umbral de aproximadamente  $1,1\text{ V}$  para una corriente de  $1\text{ mA}$  y una densidad de corriente de  $12,74\text{ }A/cm^2$ , si el depósito de la capa de circonio es seguido por un recocido a una temperatura del orden de  $450\text{ }^\circ\text{C}$ .

De ese modo, la previsión de un recocido después del depósito de la capa de circonio permite reducir la altura de barrera de la unión Schottky, y por tanto reducir las pérdidas en el estado conductor. Además, un recocido de ese tipo permite mejorar la estabilidad térmica del diodo.

Otra ventaja del procedimiento de las figuras 1A a 1D es que las características eléctricas de los diodos Schottky obtenidos son perfectamente reproducibles de un diodo a otro.

Otra ventaja del procedimiento de las figuras 1A a 1D es que permite obtener unos diodos Schottky que presentan unos rendimientos estables con la temperatura, y que resisten, sin degradación, unas temperaturas elevadas, típicamente del orden de  $400\text{ }^\circ\text{C}$  o más.

Resulta de lo que antecede que el procedimiento de las figuras 1A a 1D es compatible con la realización de diodos Schottky en diamante para una utilización a escala industrial.

Se han descrito unos modos de realización particulares. Surgirán para el experto en la materia diversas variantes y modificaciones. En particular, aunque el procedimiento propuesto se ha descrito en relación con un ejemplo de realización de un diodo Schottky de estructura pseudo-vertical, los modos de realización descritos no se limitan a este caso particular. El experto en la materia sabrá utilizar el procedimiento propuesto para realizar unos diodos Schottky que tengan otras estructuras, por ejemplo una estructura realmente vertical, en la que el electrodo del

ánodo 107 se dispone al lado de la capa 105 opuesta al electrodo 109.

Además, aunque el procedimiento propuesto se ha descrito en el caso en que la capa semiconductor en diamante de la unión Schottky es de tipo P, el experto en la materia sabrá adaptar el procedimiento propuesto a la realización de un diodo Schottky en diamante en el que la capa semiconductor en diamante de la unión Schottky sea de tipo N.

5

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de fabricación de un diodo Schottky, que incluye las etapas siguientes:
  - 5 a) oxigenar la superficie de una capa semiconductor (105) de diamante monocristalino, de manera que sustituya unas terminaciones superficiales de hidrógeno de la capa semiconductor (105) por unas terminaciones superficiales de oxígeno; y
  - b) formar, por depósito físico en fase de vapor, una primera capa conductora de óxido de indio-estaño en la superficie de la capa semiconductor (105).
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa a), la capa semiconductor (105) se coloca en un recinto que contiene dioxígeno a una presión inferior a la presión atmosférica, y se irradia por una luz ultravioleta.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que, la primera capa conductora se forma, en la etapa b), mediante pulverización de un objetivo de óxido de indio-estaño.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que, en la etapa b), la capa semiconductor (105) y el objetivo de óxido de indio-estaño se colocan en un recinto que contiene un plasma de argón.
- 20 5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, que comprende además, después de la etapa b), un recocido de recristalización de la capa de óxido de indio-estaño a una temperatura comprendida entre 100 y 300 °C.
- 25 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además, después de la etapa b), el depósito de al menos una segunda capa conductora en la superficie de la primera capa conductora, formando en conjunto dichas capas conductoras un electrodo (109) del diodo Schottky.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que dicha al menos una segunda capa conductora comprende una capa de oro.
- 30 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la capa semiconductor (105) está dopada con tipo P.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la capa semiconductor (105) se forma mediante epitaxia sobre una capa semiconductor (103) de diamante monocristalino del mismo tipo de conductividad pero más fuertemente dopada.
- 35 10. Procedimiento según la reivindicación 9, que incluye además la formación de un electrodo (107) que forma un contacto óhmico con dicha capa (103) más fuertemente dopada.
- 40 11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el grosor de la primera capa conductora depositada en la etapa b) está comprendido entre 20 y 30 nm.



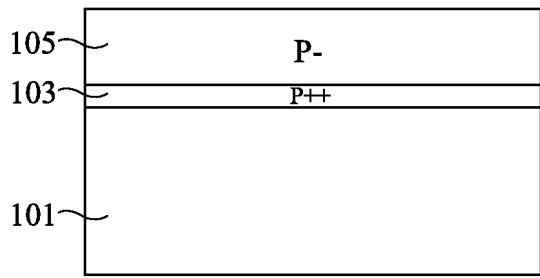


Fig 1A

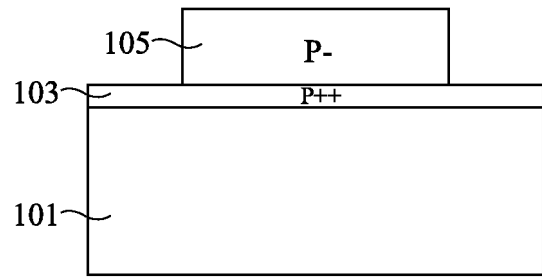


Fig 1B

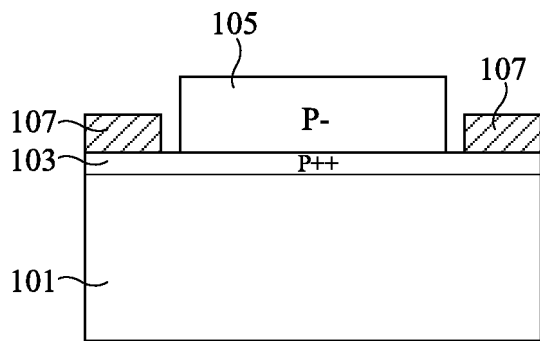


Fig 1C

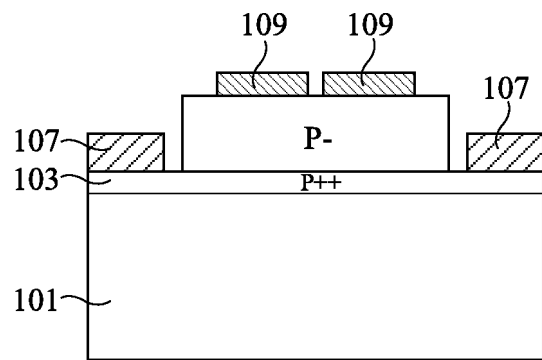


Fig 1D

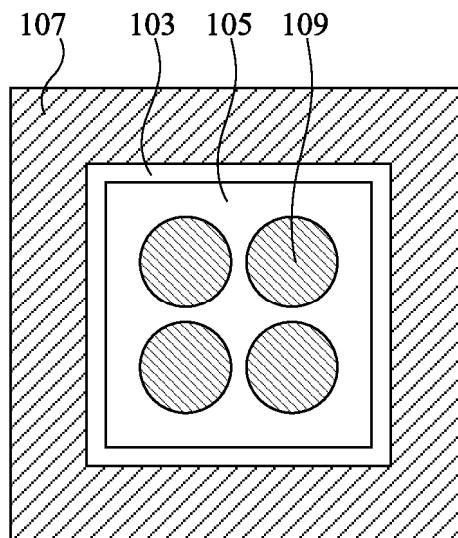


Fig 2

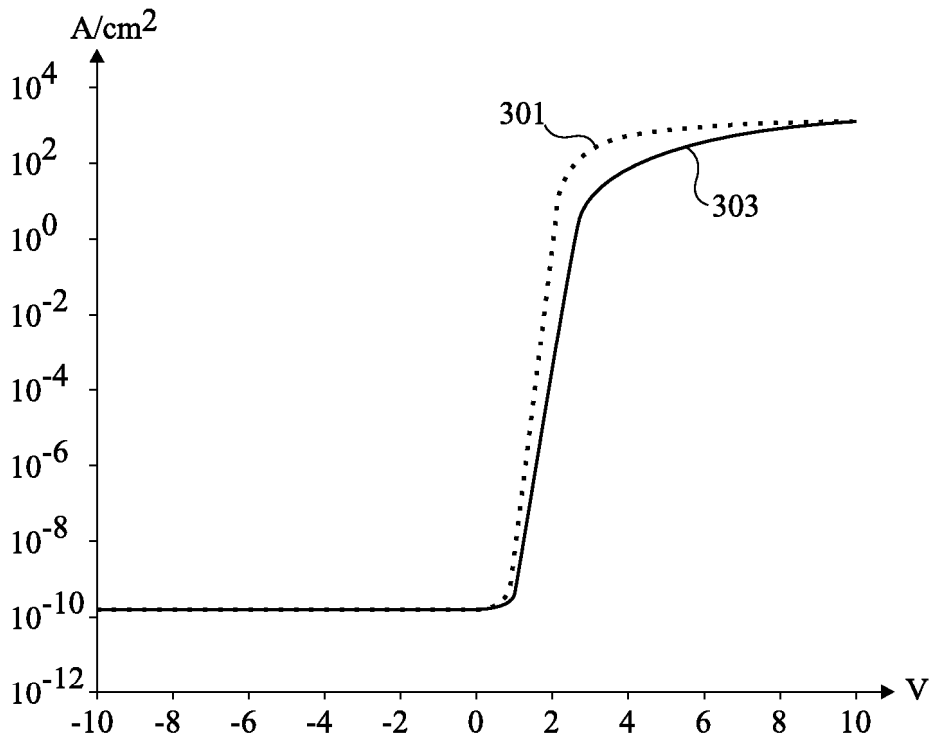


Fig 3

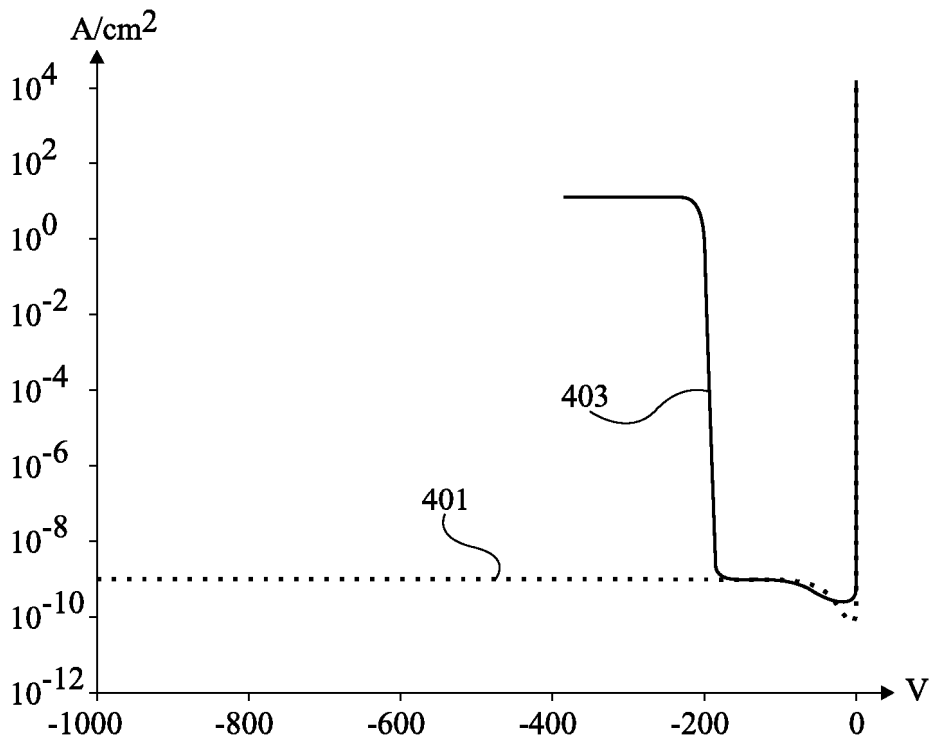


Fig 4