

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
4 de Octubre de 2001 (04.10.2001)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 01/72104 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar

(21) Número de la solicitud internacional: PCT/ES01/00128

(22) Fecha de presentación internacional:
30 de Marzo de 2001 (30.03.2001)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200000813 31 de Marzo de 2000 (31.03.2000) ES

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US): CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS [ES/ES]; c/Serrano, 117, E-28006 Madrid (ES). UNIVERSIDAD DE BARCELONA [ES/ES]; Gran Vía de las Cortes Catalanas, 585, E-08007 Barcelona (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): PÉREZ RODRÍGUEZ, Alejandro [ES/ES]; Universidad de Barcelona, Gran Vía de las Cortes Catalanas, 585, E-08007 Barcelona (ES). SERRE, Christophe [FR/ES]; Universidad De Barcelona, Gran Vía De Las Cortes Catalanas, 585, E-08007 Barcelona (ES). ROMANO RODRÍGUEZ, Alberto [ES/ES]; Universidad De Barcelona, Gran Vía De Las Cortes Catalanas, 585, E-08007 Barcelona (ES).

MORANTE LLEONART, Juan Ramón [ES/ES]; Universidad De Barcelona, Gran Vía De Las Cortes Catalanas, 585, E-08007 Barcelona (ES). ESTEVE TINTÓ, Jaime [ES/ES]; Centro Nacional De Microelectrónica, Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Campus de la Univ. Autónoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra (Barcelona) (ES). ACERO LEAL, María, Cruz [ES/ES]; CENTRO NACIONAL DE MICROELECTRÓNICA, CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, Campus de la Univ. Autónoma de Barcelona, 08193 BELLATERRA (BARCELONA) (ES).

(74) Mandatario: OJEDA GARCÍA, Pedro; Consejo Superior de Investigaciones Científicas, C/Serrano, 113, E-28006 Madrid (ES).

(81) Estados designados (nacional): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Estados designados (regional): patente ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), patente euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), patente europea (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), patente OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF SILICON CARBIDE (SiC) LAYERS BY MEANS OF IONIC IMPLANTATION OF CARBON AND ANNEALS

(54) Título: PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE CAPAS DE CARBURO DE SILICIO (SiC) MEDIANTE IMPLANTACIÓN IÓNICA DE CARBONO Y RECOCIDOS

(57) Abstract: The invention relates to the use of a combination of ionic implantations of C⁺ and conventional anneals to produce complex SiC-based multilayer structures. This combination of techniques, which is well known in Si technology, provides great versatility in the structure of the synthesized layers (amorphous, polycrystalline or crystalline structure with crystalline orientation control; multilayers, buried layers or layers on insulating material) and makes it possible to obtain layers with very low levels of residual stress and with surfaces and interfaces having very low roughness, which characterized by the absence of cavities (unlike other techniques such as CVD or MBE), the latter features being extremely important for viability and reliability of synthesized multilayer structures in various applications, for instance, in MicroElectroMechanical (MEMS) devices.

(57) Resumen: La presente invención se refiere al uso de una combinación de implantaciones iónicas de C⁺ y recocidos convencionales para la fabricación de estructuras complejas multicapas basadas en SiC. Esta combinación de Técnicas muy bien conocidas de la tecnología del Si proporciona una gran versatilidad en cuando a la estructura de las capas sintetizadas (estructura amorfa, policristalina, o cristalina con control de la orientación cristalina; multicapas, capas enteradas o sobre aislante) y permite la obtención de capas con muy bajos niveles de tensión residual y con superficies e interfaces de muy baja rugosidad caracterizadas por la ausencia de cavidades (a diferencia de otras técnicas como CVD o MBE), siendo estos últimos puntos de suma importancia para la viabilidad y fiabilidad de las estructuras multicapa sintetizadas para diversas aplicaciones, como por ejemplo dispositivos MicroElectroMecánicos (MEMS).

WO 01/72104 A1



Publicada:

— con informe de búsqueda internacional

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

TÍTULO

PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE CAPAS DE Carburo de Silicio (SiC) MEDIANTE IMPLANTACIÓN IÓNICA DE CARBONO Y RECOCIDOS.

SECTOR DE LA TÉCNICA

- 5 Materiales.
Sistemas Micro-Electrónico-Mecánicos.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Desde los comienzos de la electrónica, la tendencia siempre ha sido a miniaturizar cada vez más los dispositivos, hasta hablar hoy en día de "microelectrónica". Esa tendencia alcanza el campo de la mecánica, con la integración en un mismo dispositivo de sistemas micromecánicos junto con su electrónica de control. Estos Sistemas Micro-Electrónico-Mecánicos (MEMS) abren nuevas perspectivas especialmente en el campo de los sensores diseñados para trabajar en entornos química y físicamente agresivos. Al mismo tiempo, levantan nuevas necesidades en cuanto a propiedades eléctricas, mecánicas, térmicas y químicas, así como nuevos requerimientos de fabricación al nivel de las estructuras cada vez mas complejas.

En estos aspectos, el Silicio a pesar de ser el semiconductor más empleado en la fabricación de dispositivos electrónicos, está llegando al límite de sus posibilidades. En consecuencia, existe un enorme interés por parte de las compañías y los laboratorios de investigación relacionados con dispositivos y sensores hacia semiconductores alternativos como el Carburo de Silicio (SiC) para aplicaciones en entornos química y físicamente agresivos (alta temperatura, ambientes corrosivos, presencia de radiaciones ionizantes, etc...) así como para dispositivos y sistemas de potencia y alta frecuencia. No obstante, la tecnología del SiC, todavía emergente, ve su desarrollo frenado por los precios y la escasa disponibilidad de substratos monocristalinos sobre grandes áreas.

La presente invención propone una alternativa altamente versátil, y más barata que las técnicas actuales para la síntesis de estructuras complejas o multicapas basadas en SiC para dispositivos MEMS, con una combinación de la implantación iónica de iones de C⁺ y recocidos convencionales.

Muchas aplicaciones basadas en sensores y actuadores cobran especial interés para entornos agresivos con altas temperaturas, altos niveles de vibraciones o ambientes corrosivos, como por ejemplo la optimización de la combustión de motores o turbinas en los sectores automóvil o aerospacial. En la actualidad, los encapsulados o "packaging" necesarios para mantener los dispositivos basados en Si dentro de su rango operativo para tales aplicaciones son complicados y voluminosos, a la vez que encarecen considerablemente el producto. Muchas veces, incluso resulta imposible el uso de dispositivos electrónicos, que han de ser substituidos por sistemas mecánicos hidráulicos o neumáticos. En este sentido, la iniciativa "*More Electric Aircraft*" (MEA) de la *US Air Force* está estudiando la posibilidad de reemplazar la mayoría de sistemas de control mecánicos en sus aviones por unos electrónicos, directamente ubicados en los puntos críticos, lo cual resultaría en un enorme ahorro tanto de peso de las naves como de dinero (reducción de consumos, de costes de fabricación y de mantenimiento, etc...). En este marco, los semiconductores de *gap* ancho, y especialmente el Carburo de Silicio (SiC) representan hoy en día la alternativa más adecuada frente a las limitaciones de la electrónica basada en Si.

El SiC es un semiconductor de *gap* ancho, lo que reduce las corrientes de fuga así como el ruido debido a la generación termo-iónica en los dispositivos, lo cual junto con una conductividad térmica alta permite aumentar el rango térmico de utilización hasta temperaturas superiores a 600°C (150-200°C en tecnología de Si). Con un campo eléctrico crítico de ruptura elevado, velocidad de saturación alta y buenas movilidades de los portadores, es un candidato adecuado para aplicaciones de potencia, alta tensión y alta frecuencia. Estas propiedades, además de su alta resistencia mecánica, química y a radiaciones, hacen que la sustitución del Si por el SiC permite esperar una mejora significativa de las prestaciones de los dispositivos y sistemas en lo referente al funcionamiento a altas temperaturas y tensiones, corrientes de fugas, respuesta en frecuencia y para sensores en entornos agresivos.

Substratos de 2" de 6H-SiC monocristalino (estructura cristalográfica hexagonal) se pueden encontrar comercialmente, y obleas de 4" empiezan a aparecer en el mercado, aunque la calidad cristalina de estos materiales sigue siendo relativamente pobre y su precio se mantiene extremadamente alto.

La epitaxia de 3C-SiC (estructura cristalográfica cúbica) sobre sustratos de Si de grandes dimensiones es otra aproximación utilizada por varios laboratorios [S. Nishino, J.A. Powell and H.A. Will, *Production of large-area single-crystal wafers of cubic SiC for semiconductor devices*, Appl. Phys. Lett. **42** (1983), 460-462], [J.A. Powell, L.G. Matus and M.A. Kuczumski, *Growth and characterisation of cubic SiC single-crystal films on Si*, J. Electrochem. Soc. **134** (1987), 1558-1565.], [I. Golecki, F. Reidinger and J. Marti., *Epitaxial monocrystalline SiC films grown on Si by low-pressure chemical vapor deposition at 750°C*, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **242** (1992) 519-524.] y ya se encuentran comercialmente disponibles sustratos de este tipo, aunque su calidad cristalina todavía no es lo suficientemente buena de cara a una producción industrial (cavidades, "micropipes", alta densidad de dislocaciones...). Además, su fabricación incluye etapas a muy altas temperaturas ($\geq 1300^\circ\text{C}$) y requiere el uso de equipos complejos y caros como Epitaxia por Haces Moleculares (MBE) o Depósito Químico en Fase Vapor (CVD), dedicados a este solo proceso, y cuya repetibilidad precisa de una puesta a punto y calibración delicadas de llevar a cabo. Todo ello implica bajos rendimientos de producción, y de nuevo altos precios.

Capas enterradas de 3C-SiC cristalino se han sintetizado mediante una triple implantación iónica a dosis estequiométrica de C^+ en Si [P. Martin, B. Daudin, M. Dupuy, A. Ermolieff, M. Olivier, A.M. Papon and G. Rolland, *High temperature ion beam synthesis of cubic SiC*, J. Appl. Phys. **67** (6) (1990), 2908-2912.] a 860°C , pero con una alta densidad de maclas en las capas obtenidas así como defectos de largo alcance y dislocaciones profundas en el sustrato (consecuencia directa de la implantación a alta dosis). También se han sintetizado mediante un proceso de implantación iónica en sustratos de Si a $330\text{-}440^\circ\text{C}$ [J.K.N. Lindner, K. Volz, U. Preckwinkel, B. Götz, A. Frohnwieser, B. Rauschenbach and B. Stritzker, *Formation of buried epitaxial silicon carbide layers in silicon by ion beam synthesis*, Materials Chemistry and Physics, **46** (1996), 147-155.] utilizando la propia corriente de implantación para calentar el sustrato ("Beam Heating"). En este caso es necesario un recocido a 1250°C para disminuir los niveles de tensión y desorientación residuales, sin llegar a eliminar los defectos extendidos presentes en la capa de Si de arriba y en el sustrato incluso después de 10 horas de recocido. Además, no se consigue alcanzar una temperatura de implantación constante hasta que no se haya implantado

aproximadamente una tercera parte de la dosis necesaria para la nucleación del SiC, lo cual provoca importantes inhomogeneidades estructurales a lo largo del perfil de implantación. Tal variación de la calidad cristalina con la profundidad parece ser inherente a los procesos de "Beam Heating" [K.J. Reeson, J. Stoemenos and P.L.F. Hemment, *Mechanism of buried β -SiC formation by implanted carbon in silicon*, Thin Solid Films, **191** (1990), 147-164.].

Por otra parte, para muchas aplicaciones MEMS, el SiC policristalino puede resultar un material particularmente atractivo, especialmente en relación con técnicas de micromecanización de superficie. A diferencia del 3C-SiC o 6H-SiC monocristalinos, el SiC policristalino se puede depositar sobre un amplio abanico de sustratos, incluyendo capas de sacrificio como SiO₂, mediante procesos de CVD activado por plasma (PECVD), a presión atmosférica (AP-CVD) o baja presión (LP-CVD), sputtering o evaporación electrónica. La estructura de las capas obtenidas depende fuertemente de la técnica utilizada.

La presente invención propone la combinación de la implantación iónica de iones de C⁺ (a temperatura ambiente o a 500°C) con un recocido convencional (1150°C) para la síntesis de estructuras complejas multicapas basadas en SiC. Respecto los desarrollos previos (citados en el párrafo anterior), la combinación de una temperatura y una corriente moderada de implantación en un proceso de implantación múltiple nos han permitido solucionar problemas fundamentales que presentaban las estructuras sintetizadas, haciendo viable su utilización para aplicaciones prácticas. La implantación iónica es una técnica muy bien dominada en el ámbito industrial, que ya se usa para la producción comercial de sustratos de Si sobre aislante con separación mediante implantación de oxígeno (SIMOX [P.L.F. Hemment: *Perspectives, Science and Technologies for Novel Silicon on Insulator Devices* (Kluwer Academic Publishers, The Netherlands) 1999.]), y que permite implantar cualquier tipo de iones con solo cambiar la fuente de iones. Los recocidos, se llevan a cabo en hornos convencionales como por ejemplo hornos de oxidación de uso común en la tecnología de los semiconductores. Se trata pues de una alternativa altamente versátil y barata, ya que no requiere el uso de equipos especializados ni dedicados a un único proceso.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere al uso de una combinación de implantaciones iónicas de C^+ y recocidos convencionales para la fabricación de estructuras complejas multicapas basadas en SiC. Esta combinación de técnicas muy bien conocidas de la tecnología del Si proporciona una gran versatilidad en cuanto a la estructura de las capas sintetizadas (estructura amorfa, policristalina, o cristalina con control de la orientación cristalina; multicapas, capas enteradas o sobre aislante) y permite la obtención de capas con muy bajos niveles de tensión residual y con superficies e interfaces de muy baja rugosidad caracterizadas por la ausencia de cavidades (a diferencia de otras técnicas como CVD o MBE), siendo estos últimos puntos de suma importancia para la viabilidad y fiabilidad de las estructuras multicapa sintetizadas para diversas aplicaciones, como por ejemplo dispositivos MicroElectroMecánicos (MEMS).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

Se trata de realizar primero una implantación múltiple secuencial de iones C^+ para conseguir un perfil plano con concentración estequiométrica del SiC, cuyo grosor viene determinado por el número de implantaciones realizadas, y cuya profundidad depende de las energías escogidas. Es preciso empezar con la más profunda para evitar efectos de apantallamiento de una implantación sobre la siguiente. Las dosis de cada implantación se han de calcular en función de las energías y del substrato escogidos, para sumar una concentración total de C correspondiente a la del SiC estequiométrico. La temperatura de implantación depende de la estructura cristalina que se quiera obtener: temperatura ambiente para sintetizar un material amorfo o policristalino, alta temperatura si se pretende fabricar capas cristalinas [Serre, C., Pérez-Rodríguez, A., Romano-Rodríguez, A., Morante, J.R., Kögler, R. and Skorupa, W. *Spectroscopic characterisation of phases formed by high-dose carbon ion implantation in silicon*, J. Appl. Phys. 77 (1995), 2978-2984.]. En este último caso, se demostró que la nucleación directa de precipitados cristalinos de SiC durante la misma implantación es una condición imprescindible, que se cumple para temperaturas superiores a $390^{\circ}C$ [J.K.N. Lindner, K. Volz, U. Preckwinkel, B. Götz, A. Frohnwieser, B. Rauschenbach and B.

Stritzker, *Formation of buried epitaxial silicon carbide layers in silicon by ion beam synthesis*, *Materials Chemistry and Physics*, **46** (1996), 147-155.]. Nosotros encontramos que 500°C es la temperatura óptima para evitar amorfización, y al mismo tiempo limitar la densidad de defectos extendidos en el sustrato (típicos de los procesos de implantación) así como efectos de erosión de la superficie o exodifusión del carbono hacia la superficie (temperaturas muy altas). Finalmente, la corriente de implantación debe mantenerse lo suficientemente baja para no producir ningún efecto de "beam heating" que pudiera alterar la estabilidad u homogeneidad de la temperatura durante la implantación (típicamente $\leq 10 \mu\text{A}.\text{cm}^{-2}$).

10 El segundo paso es una limpieza estándar y secado en estufa a 130°C durante 30' para eliminar la humedad residual. En efecto, debido al daño superficial producido por la implantación a alta dosis, dicha humedad residual puede provocar una oxidación indeseable durante el recocido posterior.

En caso de que se quiera sintetizar capas cristalinas o policristalinas, es preciso llevar a cabo un recocido térmico. Dadas las condiciones de la implantación, una temperatura de tan solo 1150°C, de 6 a 8 horas de duración, es suficiente para eliminar los defectos estructurales producidos por la implantación, de modo que se puede realizar en hornos convencionales de tipo hornos de oxidación, de uso común en cualquier sala blanca. Capas implantadas a temperatura ambiente recristalizan en forma policristalina [Serre, C., Pérez-Rodríguez, A., Romano-Rodríguez, A., Morante, J.R., Kögler, R. and Skorupa, W. *Spectroscopic characterisation of phases formed by high-dose carbon ion implantation in silicon*, *J. Appl. Phys.* **77** (1995), 2978-2984.]. Para las capas implantadas a 500°C, el recocido mejora notablemente la cristalinidad, consiguiéndose niveles de desorientación y tensiones residuales extremadamente reducidos. En ambos casos, el recocido permite eliminar los defectos extendidos inherentes a un proceso de implantación. Precaución: es preferible realizar el recocido en ambiente de Ar, en lugar del habitual flujo de N₂, para evitar posibles efectos de nitrurización inoportunos en relación con el daño de la superficie causado por la implantación.

30

Entre las principales ventajas de la invención aquí descrita podemos destacar:

- el hecho de usar técnicas muy bien conocidas y equipos relativamente sencillos y comunes en la industria de la microelectrónica, así como el poder usar temperaturas sensiblemente más bajas de lo habitual ($\leq 1150^{\circ}\text{C}$ frente a la necesidad de etapas $> 1300^{\circ}\text{C}$ en otros procesos), todo ello repercutiendo favorablemente sobre los costes de producción,
- los bajos niveles de tensión y desorientación residuales y la calidad de las interfaces (ausencia de cavidades, micropipas, dislocaciones...), siendo estas características fundamentales para la viabilidad y fiabilidad de futuras aplicaciones MEMS,
- su gran versatilidad, siendo posible fabricar estructuras complejas multicapas muy variadas basadas en SiC amorfo, policristalino, o cristalino con distintas orientaciones ($\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$), como capas enterradas (pudiendo atacar u oxidar la capa superior) o superficiales, en substratos de Si o sobre aislante (capas de SiO_2 de sacrificio, estructuras SiC sobre aislante (SICOI)), etc...

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS:

Figura 1: perfil de concentraciones de silicio, carbono y oxígeno en función de la profundidad, medido por espectroscopia de electrones Auger en una muestra fabricada según el proceso de implantaciones y recocido descrito en el ejemplo de aplicación de la invención y con los parámetros de la tabla 1. Se pueden apreciar 3 principales zonas distintas, dando lugar a una estructura multicapa poliSi/poliSiC/ SiO_2 . En este ejemplo, se puede apreciar una zona rica en silicio en la interficie SiC/ SiO_2 . Esta zona se puede aumentar, reducir o incluso evitar ajustando el grosor de la capa inicial de poliSi y/o las energías de implantación.

Figura 2: dibujo y dimensiones de la estructura multicapa correspondiente a la figura 1.

Figura 3: proceso de fabricación de estructuras micromecánicas a partir de la estructura multicapa correspondiente a la figura 1.

(a): fotolitografía mediante una fotoresina y una máscara de aluminio.

(b): apertura de las ventanas mediante procesos de Ataque Iónico Reactivo (RIE).

(c): ataque anisotrópico en TMAH. En la misma etapa, se liberan las estructuras a la vez que se elimina la capa de Si superficial. La propia capa estructural de SiC actúa como "auto-etch-stop" gracias a la excelente selectividad de ataque del TMAH con respecto al SiC.

- 5 (d): eliminación de la capa de sacrificio de óxido de silicio con un ataque en ácido fluorídrico (HF) al 10%.

Figura 4: fotografía en microscopía electrónica de barrido de los puentes y voladizos de SiC. La base de las estructuras está asentada sobre soportes de SiO₂, lo que asegura su aislamiento respecto al sustrato de Si. En esta fotografía, se puede observar que algunas estructuras están pegadas al fondo de ataque, debido a un conocido efecto de "sticking", típico de los procesos de ataque químicos húmedos. La ausencia de una curvatura detectable en las estructuras en voladizo demuestra la ausencia de efectos relacionados con gradientes de tensión en la capa de SiC, lo que confirma su viabilidad para MEMS.

- 15 **EJEMPLO DE APLICACIÓN:** Fabricación de estructuras micromecánicas de test basadas en SiC sobre aislante.

En este ejemplo de realización, el sustrato de partida consiste en una oblea de Si con una capa de óxido térmico de 1µm de grosor, sobre la cual se ha depositado por LPCVD una capa de Si policristalino de 550 nm de grosor y recocida a 950°C durante 2 horas.

- 20 La implantación iónica se realizó a 500°C mediante 4 etapas según los parámetros de la tabla 1, con el efecto de producir una capa enterrada de SiC policristalino a una profundidad de 250 nm y con un grosor de 300 nm. Estos parámetros fueron determinados por simulaciones TRIM [J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark, *The stopping and range of ions in solids*, Pergamon Press, New York, 1985, Vol. 1.].

25

n°	Energía	Dosis
1	195 keV	10 ¹⁸ C ⁺ cm ⁻²
2	150 keV	4.7x10 ¹⁷ C ⁺ cm ⁻²
3	120 keV	3.3x10 ¹⁷ C ⁺ cm ⁻²
4	100 keV	2.6x10 ¹⁷ C ⁺ cm ⁻²

Tabla 1: parámetros de la implantación múltiple a 500°C

La figura 1 muestra el análisis Auger del perfil obtenido, en el que se pueden apreciar las composiciones químicas de las diferentes capas después del recocido a 1150°C de 6 horas en flujo de Ar. La estructura final correspondiente está representada en la figura 2. Las excelentes propiedades de paro químico ("etch-stop") del SiC han permitido realizar

5 estructuras micromecánicas de acuerdo con el proceso descrito en la figura 3, usando técnicas de micromecanización en volumen directamente derivadas de la tecnología del Si. En este caso, la capa de Si superior actúa como refuerzo de la máscara de Al para los procesos de Ataque Iónico Reactivo (RIE), mejorando notablemente la definición de las estructuras de SiC. Esta capa de Si se elimina luego muy fácilmente durante el mismo

10 ataque anisotrópico con Hidróxido de Tetra Metil Amonio (TMAH) utilizado para liberar las estructuras, actuando la capa de SiC como "auto-etch-stop" gracias a sus propiedades de paro químico. Las estructuras micromecánicas así realizadas (véase figura 4) fueron utilizadas para medidas de constantes elásticas de las capas de SiC. Este ejemplo es una clara ilustración de la gran versatilidad de la invención.

REIVINDICACIONES

1. **Procedimiento de fabricación de capas de Carburo de Silicio (SiC) mediante implantación iónica de carbono y recocidos**, a partir de una combinación de implantaciones iónicas de iones de C^+ y de recocidos convencionales, caracterizada por el hecho de poder controlar la estructura de las capas sintetizadas, tanto a nivel cristalográfico (capas amorfas, policristalinas, o cristalinas con control de orientación) como al nivel de la organización de las capas (capas superficiales o enterradas, multicapas, etc...), mediante el control de los parámetros de implantación, de recocidos y del sustrato de partida.

5

10

2. **Fabricación de capas de β -SiC con control de la orientación cristalina ((100) o (111)) mediante implantación iónica y recocido**, caracterizada por el hecho de que se realiza una implantación iónica múltiple de iones de C^+ a $500^\circ C$ y a concentración estequiométrica en sustratos monocristalinos de Si con orientación (100) o (111), empezando por la implantación más profunda, seguida de un recocido a $1150^\circ C$ durante 8 horas en ambiente de Ar. El número de implantaciones y las energías dependen del grosor y de la profundidad deseadas para la capa de SiC. Las dosis correspondientes a cada etapa de implantación se han de calcular de acuerdo con dichas energías para alcanzar la concentración estequiométrica en toda la capa.

15

20

3. **Fabricación de estructuras SiC sobre aislante (SiCOI: SiC/SiO₂/Si) con control de la estructura cristalina de la capa de SiC (amorfa, policristalina o cristalina con control de orientación)** mediante el proceso que consiste en:

25

 - 3.1. Síntesis de capas SiC en Si (descrita en las reivindicaciones 1 y 2).
 - 3.2. Oxidación selectiva de la capa superficial de Si.
 - 3.3. Soldadura térmica a una oblea previamente oxidada.
 - 3.4. Ataque químico selectivo del sustrato de Si de la oblea implantada.

4. **Fabricación de estructuras multicapa con capas de SiC amorfo** (estructuras SiC amorfo/capa intermedia/substrato de Si), mediante el proceso que consiste en:
- 4.1. Depósito/crecimiento de la capa intermedia en el substrato de Si. Esta capa intermedia puede ser obtenida mediante procesos compatibles con la tecnología de Si como oxidación (capa de SiO₂), nitrurización, o técnicas físicas o químicas de depósito en fase vapor (evaporación, sputtering, CVD...). Las capas pueden ser de SiO₂, Si₃N₄, oxinitruros de Si, AlN, Al₂O₃,...
- 4.2. Depósito de Si amorfo o policristalino.
- 4.3. Implantación iónica múltiple de iones C⁺ en la capa de Si a temperatura ambiente y a concentración estequiométrica, empezando por la implantación más profunda.
- 4.4. Ataque selectivo de la capa de Si amorfo superficial.
5. **Fabricación de estructuras multicapa con capas de SiC policristalino** (estructura SiC policristalino/capa intermedia/substrato de Si) según la reivindicación 4, caracterizada por una variación de los puntos 4.2 (depositando Si policristalino en lugar de Si amorfo) y 4.3 (implantación a 500° C en lugar de temperatura ambiente para preservar la cristalinidad de la capa) de dicha reivindicación.
6. **Fabricación de estructuras con capas enterradas de SiC amorfo o policristalino, en substrato de Si** (estructuras capa superficial/SiC/capa intermedia/Si), mediante la implantación iónica de una estructura multicapa (capa superficial/Si/capa intermedia/substrato) ó bien mediante el depósito de una capa superficial en la estructura obtenida según las reivindicaciones 4 ó 5.
7. **Combinación de los procesos descritos en las reivindicaciones 2), 3), 4) y 5), y técnicas de crecimiento de SiC** para fabricar estructuras con capas de SiC de mayor grosor, caracterizada por la síntesis de una capa de SiC según las reivindicaciones 2, 3, 4 o 5, que se usa luego como semilla para un crecimiento epitaxial de β-SiC mediante CVD ("Chemical Vapour Deposition") o MBE ("Molecular Beam Epitaxy"), eliminando la necesidad de la etapa de carbonización habitualmente requeridas por estas técnicas.

8. **Combinación de los procesos descritos en las reivindicaciones 2), 3), 4) y 5), y técnicas de crecimiento de capas semiconductoras** para fabricar heteroestructuras semiconductoras, como por ejemplo estructuras Si/SiC o GaN/SiC, caracterizado por la utilización de la capa de SiC sintetizada por implantación iónica como capa de sustrato para el crecimiento de la segunda capa semiconductoras
- 5
9. **Aplicación de las estructuras fabricadas de acuerdo con los procesos descritos en las reivindicaciones 1) a 8) para el diseño y fabricación de Sistemas Micro-Electro-Mecánicos (MEMS).** Estas estructuras se caracterizan por la presencia de la capa de SiC, de alta estabilidad mecánica y química, y que las hace susceptibles de trabajar en ambientes agresivos tanto desde el punto de vista físico (altas temperaturas, radiaciones, vibraciones...) como químico (ambientes corrosivos...).
- 10

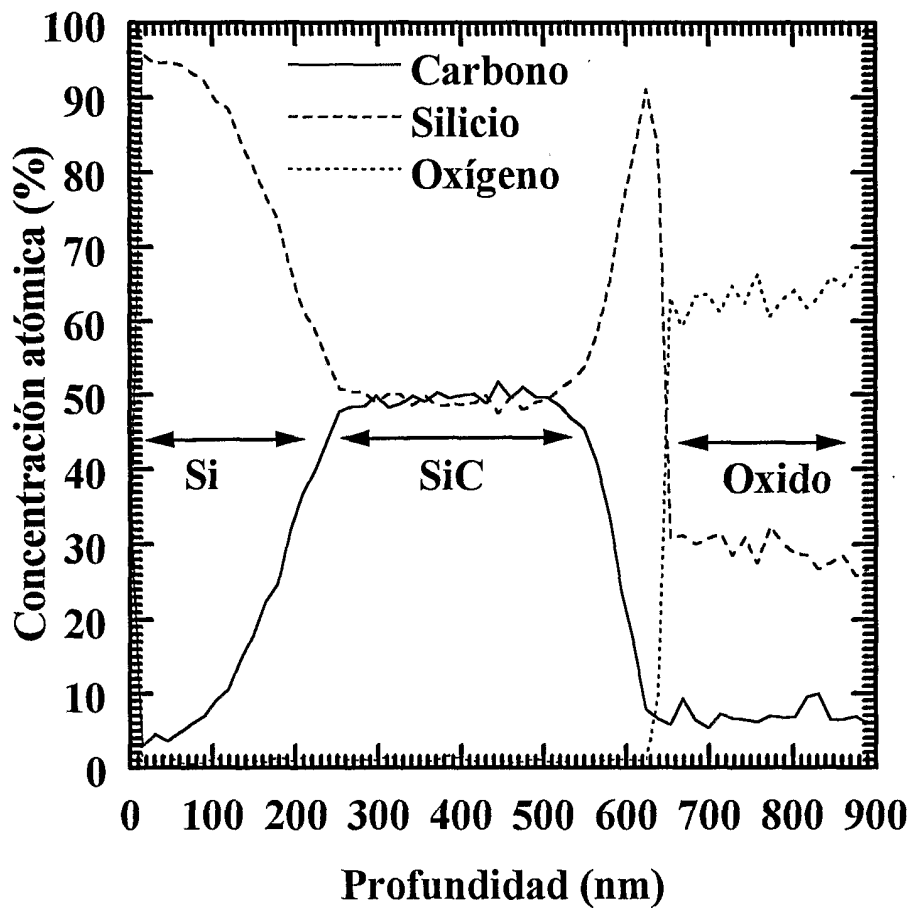


Figura 1

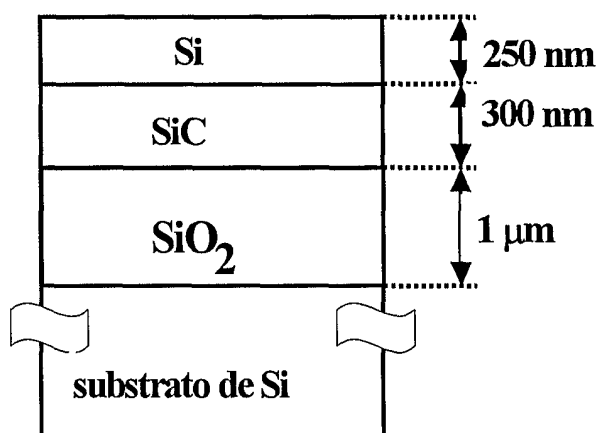


Figura 2

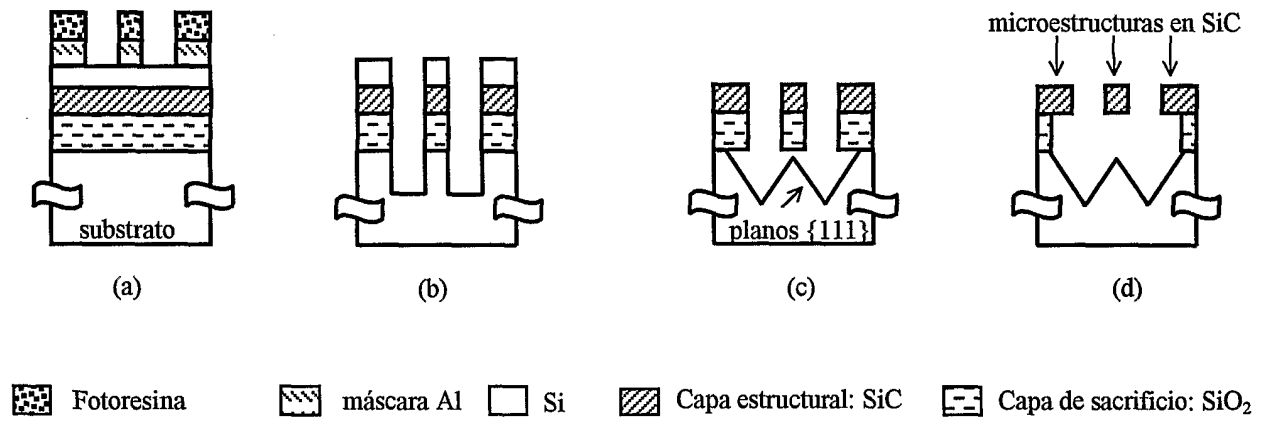


Figura 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES 01/00128

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER :

IPC7 : H1L21/324, 21/322, 21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7 : H1L21/324, 21/322, 21/265

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CIBEPAT, EPODOC, WPI, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 363944 A (FUJITSU LMTD.) 18 April 1990, page 1, lines 39-54	1-9
A	WO 9939371 A (COMMISARIATO A L'ENERGIE ATOMIQUE 05 August 1999 (05.08.99) page 3	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 June 2001 (15.06.01)

Date of mailing of the international search report
21 June 2001 (21.06.01)

Name and mailing address of the ISA/
S.P.T.O.
Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/ES 01/00128

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 363944 A	18.04.1990	JP 2102557 A US 4994413 A DE 68927032 A	16.04.1990 19.02.1991 02.10.1996
WO 9939371 A	05.08.1999	EP 1051737 A FR 2774214 A	15.01.2000 30.07.1999

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES01/00128

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

CIP⁷ H1L21/324, 21/322, 21/265

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y la CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima consultada (sistema de clasificación, seguido de los símbolos de clasificación)

CIP⁷ H1L21/324, 21/322, 21/265

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

CIBEPAT, EPODOC, WPI, PAJ

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	EP 363944 A (FUJITSU LMTD.) 18.04.1990, página 1 líneas 39-54	1-9
A	WO 9939371 A (COMMISSARIATO A L'ENERGIE ATOMIQUE) 05.08.1999 página 3	1-9

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos Los documentos de familia de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

<p>"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.</p> <p>"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.</p> <p>"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).</p> <p>"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.</p> <p>"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.</p>	<p>"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.</p> <p>"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.</p> <p>"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.</p> <p>"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.</p>
--	--

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional 15 Junio 2001 (15.06.2001)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

21 JUN 2001 21.06.01

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional OEPM
C/Panamá 1, 28071 Madrid, España.
nº de fax +34 91 3495304

Funcionario autorizado
Joaquín García-Cernuda Gallardo

nº de teléfono +34-91-3495352

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL
Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES 01/00128

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de publicación
EP 363944 A	18.04.1990	JP 2102557 A US 4994413 A DE 68927032 A	16.04.1990 19.02.1991 02.10.1996
WO 9939371 A	05.08.1999	EP 1051737 A FR 2774214 A	15.01.2000 30.07.1999