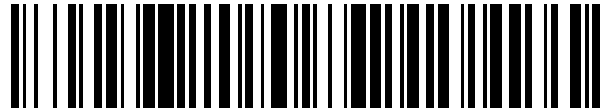


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 393**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/414** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2013** **E 13729985 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2016** **EP 2856135**

54 Título: **Sensor ISFET con dispositivo de control integrado**

30 Prioridad:

**25.05.2012 FR 1254859**

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

**05.10.2016**

73 Titular/es:

**HEMODIA (100.0%)  
85, rue du Chêne Vert  
31670 Labège, FR**

72 Inventor/es:

**SANT, WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 585 393 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

Sensor ISFET con dispositivo de control integrado

La presente invención pertenece al campo de los dispositivos de medida de especies químicas en un medio líquido, mediante sensores que emplean transistores de efecto de campos dotados de capas sensibles.

5 Se refiere a un sensor para la medida de especies iónicas en solución, que comprende al menos un transistor ISFET y un transistor MOSFET conectados en paralelo, estando en común la fuente y el drenaje, permitiendo esta estructura comprobar el correcto funcionamiento del sensor en medio seco. La invención también se refiere a un método de fabricación de un sensor de este tipo para la medida de una especie iónica en una solución, comprendiendo el método al menos un ensayo de validación en seco durante dicha fabricación. Las especies iónicas correspondientes pueden ser o bien un compuesto presente en la solución o bien el producto de una reacción bioquímica con un compuesto de origen biológico, en cuyo caso el ISFET es un BioFET.

10 Es conocido que en un contexto de fabricación a gran escala de sensores que integran componentes electrónicos, los problemas relacionados con la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados del sensor son críticos. La cuestión de los costes de producción es también muy sensible. En particular, el montaje de los componentes en placas de circuito impreso puede representar del 55% al 85% del precio total del sensor.

15 Un número de técnicas puede ser implementado para controlar el estado de los sensores. Sin embargo, estas técnicas están todas basadas en ensayos eléctricos y no están adaptadas al control de los sensores químicos y bioquímicos del tipo ISFET, que están destinados a trabajar en un medio líquido.

20 Un sensor ISFET (para un Transistor de Efecto Campo Sensible a Iones) consiste esencialmente en un transistor de efecto de campo sensible a los iones. Se deriva del transistor clásico, llamado MOSFET (Transistor de Efecto Campo Metal-Óxido-Semiconductor). En un MOSFET, la puerta está formada por un electrodo de metal separado del canal por una capa aislante. En un ISFET, la función de puerta se realiza mediante un sistema compuesto por un electrodo de referencia y una membrana sensible a la presencia de especies iónicas en el electrolito a analizar, la cual está separada del canal por una capa aislante. Una variación de potencial se genera en la capa sensible que recubre al ISFET, por ejemplo, mediante una reacción química que se produzca en contacto con el soluto, y se transmite la señal generada y se puede medir, registrar, procesar o tratar de otro modo dependiendo del uso previsto. La membrana puede ser adicionalmente funcionalizada para ser sensible a un producto químico o especies bioquímicas dadas. En este caso, la capa sensible contiene un compuesto que reacciona con dicha especie química o bioquímica mediante la inducción de un cambio en el pH que es detectado por la puerta. Se denomina ENFET (Transistor de Efecto Campo Enzimático) a un ISFET cuya membrana sensible está provista de una capa que comprende una enzima inmovilizada por un polímero, y más generalmente BioFET, a un ISFET cuya capa sensible se hace reaccionar con un compuesto biológico. El término CHEMFET (para un Transistor de Efecto de Campo Químico) también se utiliza a veces para referirse genéricamente a sensores químicos de efecto campo, capaces de detectar cualquier tipo de compuestos (iones, moléculas, gases ...).

35 La presente invención se refiere a cualquier componente del tipo ISFET, ya sea o no funcionalizado.

40 Por extensión, se llamará sensor ISFET, a un circuito integrado (o microchip) que comprende al menos un componente ISFET que está conectado a pistas metálicas para garantizar la polarización y la conducción de la corriente eléctrica que se produce en el ISFET. Uno o más ISFET se pueden combinar en un mismo soporte, llamado PCB (Placa de Circuito Impreso), posiblemente acompañados de otros componentes que realizan otras funciones. Cada componente debe ser montado en una PCB, realizándose las conexiones, y después encapsulando el conjunto, a excepción de la puerta que debe estar en contacto con el soluto. El chip con sus conexiones, fijado y encapsulado al PCB, a continuación, se conecta a un aparato o a un dispositivo de medida más complejo.

45 La fabricación en masa comienza con la realización de los componentes ISFET en una oblea de silicio con la ayuda de técnicas de fabricación colectiva bien conocidas en la microelectrónica. Se obtiene en cada oblea un gran número de componentes (por lo general varios cientos a varios miles de ISFET sobre una oblea de 6, 8 o 12 chips de diámetro).

50 Esta fabricación, que corresponde a la "parte de silicio" del método, en sí comprende varias etapas. Los ISFET son entonces separados por corte de la oblea, transferidos de forma individual en el circuito impreso, conectados y encapsulados. A pesar de toda la atención prestada y los avances en las tecnologías modernas, los defectos de fabricación pueden producirse en cada etapa, de modo que los desechos al final del método pueden ser muy cuantiosos. A pesar de que la mejora de los métodos industriales también puede ayudar a reducir la tasa de chips defectuosos, las limitaciones técnicas y económicas no permiten la posibilidad de tener el 100% de los chips en buenas condiciones.

55 En este contexto, es de interés primordial para los fabricantes de chips, disponer de un medio de control de los chips ISFET obtenidos. Uno de dichos medios debe ser simple, rápido y totalmente fiable. Debe permitir no sólo identificar

los chips defectuosos, sino también ordenarlos para entregar sólo aquellos que son funcionales a sus clientes (que son, en general, los fabricantes de dispositivos que incorporan tales sensores). También debe poder ser implementado en la producción en masa y ser de bajo coste.

Se han adoptado hasta el momento diferentes métodos de control basados en ensayos eléctricos.

5 Un primer método consiste en controlar exhaustivamente una oblea de silicio mediante la interposición de algunos componentes MOSFET entre los componentes ISFET de la oblea. Sólo se ponen a prueba estos componentes del ensayo, estando éstos convenientemente situados en la oblea. El método asegura un buen progreso general de la producción de las obleas, lo que da una idea del rendimiento de los chips funcionales alcanzable a partir de los ISFET producidos de una oblea dada. Sin embargo, este método no identifica cuáles son los componentes defectuosos en una oblea con el fin de eliminarlos antes del montaje. No proporciona ninguna información sobre las etapas siguientes, ni siquiera una indicación del rendimiento de buenos componentes después del montaje y por lo tanto sobre el coste por pieza (unidad de chip). Por último, la mala calidad de un lote difícilmente puede ser atribuida al fundidor o al envasador, lo cual es una fuente potencial de litigios.

15 Otra forma de proceder consiste en comprobar un componente MOSFET implantado en el mismo chip cerca del ISFET. Es posible de comprobar el buen estado del MOSFET, por ejemplo, mediante un ensayo de oblea clásico, lo que refleja la integridad de la zona, pero no el componente ISFET en sí mismo. Este método permite detectar los defectos que afectan a los componentes vecinos (tal como la mala homogeneidad de los depósitos de metalización, óxidos, nitruros, los defectos de pasivación o problemas con los grabados y de implantación, etc. Sin embargo, ello no permite detectar ciertos defectos que afectan solo al componente ISFET (rallado, ruptura de la o de las descargas electrostáticas, cortocircuito o circuito abierto entre la fuente y el drenaje....). Permite esencialmente verificar el buen desarrollo del método de fabricación de las obleas de silicio y estimar el rendimiento de los componentes funcionales al término de la "parte de silicio". De nuevo, es difícil fijar un precio de coste por pieza.

25 Existen otros métodos de control, que permiten comprobar eléctricamente el 100% de los ISFET, pero que se realizan únicamente en laboratorio debido a la complejidad de su puesta en marcha. Se citará el método de la gota de mercurio, mediante el cual se verifica el funcionamiento del ISFET antes de haber depositado una gota de mercurio polarizada sobre la puerta. La gota debe recibir toda la superficie de la puerta sin crear cortocircuito en otras partes del chip. Se ha de notar que como el mercurio es un elemento tóxico, su uso está poco recomendado. Por otra parte, muy pocas publicaciones hacen referencia a esta técnica.

30 Se citará igualmente el método descrito por Arashak Poghossian y otros (sensores 2006, 6, 397-404) que consiste en depositar una microgota de una solución electrolítica de composición conocida sobre la puerta del ISFET y comprobar el componente. Para ello se asocia una célula de fluido que permite llevar un electrodo de referencia y la solución sobre la superficie sensible del ISFET, en una estación de ensayo de obleas clásica. La célula se desplaza sobre la oblea y permite polarizar el componente a caracterizar. La medida es realizada por un analizador paramétrico. Una célula dedicada es necesaria para este ensayo y limita el número de cabezales de medida. El método permite verificar el buen desarrollo del método de fabricación de una oblea y estimar el rendimiento en componentes ISFET funcionales. Puede estimar también la sensibilidad al pH de cada sensor. Sin embargo, las trazas dejadas por el electrolito sobre la oblea deben ser limpiadas al final del ensayo para evitar una medida errónea. Todas estas razones hacen que dicho método no sea viable para una producción en masa. Por otra parte, no permite efectuar controles durante las fases de montaje.

40 La publicación de Kwon y otros, en Sensores y Actuadores B (Química), 1997, 44. 434 a 440, describe un sensor para la medida de la concentración de una solución de una especie en forma iónica o apta para producir un compuesto iónico. Este sensor comprende los dos componentes siguientes conectados en paralelo: un transistor ISFET, que comprende un drenaje, una fuente y una membrana aislante sensible a la especie cuya concentración debe ser medida, y que está conectada a un electrodo de referencia; y un transistor MOSFET que comprende un drenaje, una fuente, y una puerta formada por una capa aislante recubierta de un electrodo metálico.

50 Finalmente, para asegurar la integridad de un sensor ISFET dado, no existe más que un medio: comprobarlo después del montaje sumergiéndolo en una solución electrolítica. Esta voz es adoptada únicamente para aplicaciones muy específicas que soportan costes elevados. Es obvio que dicha medida no se puede poner en marcha a escala industrial, y para aplicaciones usuales, porque es demasiado larga y costosa de realizar. Además, supone que el método de fabricación de los sensores se completa independientemente del estado de los componentes. En efecto, en este esquema todos los componentes ISFET se conectan en la PCB y son acondicionados, ya sean funcionales o no. Esto representa una pérdida de tiempo y de medios injustificada.

55 O, para responder a las necesidades de equipos, en particular en dispositivos médicos, eficaces y fiables, es indispensable proponer un modo de fabricación a gran escala, automatizado y modulable, que permita producir rápidamente a costos razonables de sensores dotados de las funcionalidades requeridas, pudiendo ser montados fácilmente en los dispositivos médicos, a menudo desechables. En este contexto de fabricación en masa de sensores químicos y bioquímicos, los problemas relacionados con la reproducibilidad de los rendimientos de los

sensores se convierten en cruciales, así como los niveles de costes. Hasta el momento ninguno de los métodos conocidos permiten responder a esta necesidad.

5 El objetivo de la presente invención es proponer un sistema de control de sensores ISFET en una producción en masa que remedia los problemas mencionados anteriormente. Un objetivo es controlar el 100% de los componentes ISFET obtenidos en el curso de una fabricación. Otro objetivo es controlar todos los componentes ISFET de una oblea (probeta), pero también controlar el buen desarrollo del método de montaje de los sensores y superar los problemas de conectividad (cortocircuito, circuito abierto...). En última instancia, el método debe disminuir los costes de producción, principalmente evitando montar, funcionalizar, acondicionar los sensores defectuosos.

10 El dispositivo objeto de la invención comprende, por tanto, un sensor para medir la concentración de una especie en una solución, estando dicha especie en forma iónica o apta para producir un compuesto iónico, comprendiendo el sensor al menos dos componentes, a saber i) un transistor ISFET dotado de un drenaje, de una fuente, de una membrana aislante sensible a dicha especie, y conectada a un electrodo de referencia, y ii) un transistor MOSFET dotado de un drenaje, de una fuente y de una puerta formada de una capa aislante recubierta de un electrodo metálico, estando montados dichos dos componentes en paralelo, estando en común la fuente y el drenaje.

15 Por tanto el sensor comprende un componente ISFET que está asociado a un componente MOSFET, pero a diferencia de los montajes clásicos en los que los componentes son situados unos al lado de otros en una oblea de silicio, aquí son imbricados estructuralmente, la geometría adoptada por las zonas tratadas "dopadas" para actuar como fuente y drenaje está dispuesta de tal forma que la fuente y el drenaje son compartidos por los dos componentes. Las puertas son por el contrario distintas. En la parte MOSFET, una capa eléctricamente aislante (por ejemplo un óxido de silicio muy puro, llamado óxido de puerta) coronada por una capa metálica (esta última formando el electrodo de puerta) recubre el canal para realizar la puerta. Por contra, en el ISFET, es una membrana aislante sensible a la especie buscada que es depositada. Los componentes MOSFET e ISFET están por tanto montados de acuerdo a un circuito eléctrico equivalente en paralelo.

20 La membrana puede comprender varias capas asociadas, como se verá a continuación, para reaccionar a la presencia de una especie iónica y/ o provocar una reacción en la que un producto es una especie iónica, induciendo una variación del pH detectable por el ISFET. Esta membrana asegura además el aislamiento eléctrico y la estanqueidad con respecto a la solución.

25 Se ha de notar por otro lado que, por su función, el electrodo de referencia es parte integrante del transistor ISFET. Sin embargo, generalmente no se coloca físicamente sobre el componente, sino que se conecta simplemente al mismo. La estructura descrita a continuación no se ha modificado de forma esencial.

30 Este conjunto está conectado a pistas metálicas para asegurar la polarización y la conducción de la corriente eléctrica, como si se refiriese un solo componente. El MOSFET tiene por objeto permitir el control. Por tanto se puede comprobar eléctricamente el sensor, sin sumergirlo en el medio líquido que es su uso previsto. Una respuesta eléctrica normal con respecto a una respuesta esperada predeterminada, obtenida durante la conexión del dispositivo, constituirá la prueba del que el componente ISFET (y el MOSFET de control) funciona bien. Dicho ensayo puede ser práctico en diferentes etapas de fabricación del sensor, lo que permite eliminar las piezas defectuosas sin continuar el método de fabricación para aquellas a las que se refiere.

35 De acuerdo con una característica ventajosa, el sensor de acuerdo con la invención comprende tres conectores de contacto, a saber, dos conectores de contacto conectados respectivamente a la fuente y el drenaje comunes, y un conector de contacto conectado a la puerta del MOSFET. El tercer conector sólo se utiliza para controlar el componente MOSFET durante los ensayos.

40 Se entiende que, con todo rigor, lo que está siendo comprobado no siempre es un sensor funcional. De hecho, se puede comprobar un sensor cuyo montaje se ha completado, y esto antes o durante su uso. También se pueden comprobar, de manera muy ventajosa, los componentes ISFET al final de la fase silicio, antes de montarlos sobre un circuito impreso; en una etapa en la que el sensor no existe todavía precisamente, está en proceso de montaje.

45 En efecto, la fuente y el drenaje que son comunes al MOSFET y al ISFET, es posible comprobar el propio ISFET, con la excepción de la capa sensible que es depositada en una etapa anterior. Se podrá controlar por tanto el estado de las conexiones (o "unión") de la fuente, del drenaje y detectar los eventuales defectos en el canal (cortocircuito, impurezas...), todo esto a lo largo de la fabricación del sensor. Esto no excluye la posibilidad de comprobar la integridad del sensor cuando se coloca en un medio líquido.

50 El sensor, de acuerdo con la invención, puede adoptar diferentes geometrías y estar dispuesto de distintas maneras. Puede estar realizado a partir de un sustrato semiconductor convencional, por ejemplo en silicio o en arsenio de galio, pero también a partir de un material polímero conductor tal como los utilizados en el campo innovador de la electrónica orgánica. También puede estar realizado, comúnmente, en una cámara P (PWell) como será descrito con más detalle a continuación, pero igualmente de forma directa sobre un sustrato de silicio del tipo P.

En el contexto de la presente invención, se ha concebido una estructura que realiza el montaje presentado anteriormente, permitiendo mantener las etapas de fabricación habituales de los ISFET clásicos.

5 En un modo de realización ventajoso, el sensor, de acuerdo con la invención, comprende al menos un sustrato semiconductor que presenta las zonas dopadas con los portadores de cargas eléctricas, que forman respectivamente una zona de fuente y una zona de drenaje separadas por un intervalo que se extiende según un eje A, constituyendo dicho intervalo un canal de conducción entre dichas dos zonas a lo largo de al menos dos segmentos de dicho eje A,

10 - estando dicho canal recubierto de al menos una capa de material aislante eléctrico, a su vez recubierta de al menos una capa de material aislante sensible a dicha especie

- estando dicha capa sensible al descubierto a lo largo de un primer segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente ISFET, y

15 - estando dicha capa sensible recubierta de un metal que hace la función de electrodo de puerta sobre un segundo segmento de dicho eje A, para constituir dicho componente MOSFET

20 El eje A define por tanto un eje longitudinal según el cual se extiende el canal, y a ambos lados del canal, las zonas que forman la fuente y el drenaje. El canal puede ser normalmente rectilíneo o en forma de franjas. El eje A puede estar dividido en varios segmentos, cuyo un primer segmento corresponde a la parte ISFET y un segundo segmento corresponde a la parte MOSFET. La longitud del canal corresponde el intervalo que separa la zona de fuente y la zona de drenaje en el sentido transversal con respecto al eje A.

25 Dicho canal está recubierto de al menos una capa de material aislante eléctrico para realizar una puerta. Esta capa a su vez está recubierta de al menos una capa de material aislante sensible a la especie estudiada. Se ha de notar que la mayor parte de los materiales sensibles utilizados en microelectrónica son eléctricamente aislantes y estancos a la solución en la que el sensor está destinado a funcionar. La naturaleza aislante de la capa sensible se refiere por lo tanto a su capacidad para hacer de barrera al agua que tiene sus propiedades eléctricas. Dicha al menos una capa sensible no actuará más que en la parte ISFET cuando esté en presencia de las especies en solución, ya que permanecerá al descubierto en el primer segmento del eje A. La asociación de dicha al menos una capa sensible y de dicha al menos una capa de material aislante eléctrico constituye de este modo la membrana aislante sensible del transistor ISFET. La capa sensible no tiene una utilidad particular en la parte MOSFET, pero su depósito sobre la capa aislante permite mantener una arquitectura vecina de dos transistores y de este modo tener comportamientos similares, sin añadir una etapa de fabricación. Estará recubierta de metal que hará la función de electrodo a lo largo del segundo segmento del eje A, para constituir el componente MOSFET.

35 Se señala que el drenaje y la fuente se implantan por dopaje del sustrato a una distancia que permite el funcionamiento de los transistores. Este intervalo que define la longitud del canal se respeta al menos en el primer y segundo segmentos del eje A. Esto es porque, de manera preferida, en el sensor de acuerdo con la invención, la zona de fuente y la zona de drenaje se extienden longitudinalmente a cada lado del eje A, a una distancia  $d_1$  que permite la conducción eléctrica entre ellos en el primer segmento, y a una distancia  $d_2$  que permite la conducción eléctrica entre ellos en el segundo segmento.

40 Por el contrario, es ventajoso crear una porción intermedia, en la que la corriente no pueda circular más. Esto se puede obtener de diferentes maneras, y por ejemplo aumentando la distancia que separa las zonas dopadas. De este modo, de forma igualmente preferida de acuerdo con la invención, en un segmento intermedio comprendido entre el primer y segundo segmentos, la zona de fuente y la zona de drenaje se extienden longitudinalmente a cada lado del eje A, a una distancia D que prohíbe la conducción eléctrica entre ellos, de forma que se obtiene un área desprovista del canal de conducción, que separa el componente ISFET y el componente MOSFET.

45 De acuerdo con un modo de realización particular del sensor objeto de la presente invención, el intervalo comprendido entre la zona de fuente y la zona de drenaje es tal que  $d_1 = d_2$ , siendo la distancia que permite la conducción eléctrica entre la fuente y el drenaje, es decir la longitud del canal, normalmente del orden de 5  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$  en los ISFET (la longitud del canal puede ser menor en los dispositivos altamente integrados, tales como aquellos adaptados a la secuenciación del genoma, en la investigación en oncología, neurología ...). De este modo, la distancia D es al menos cinco veces superior a  $d_1$  o  $d_2$ , de manera que no hay conducción en este área del segmento intermedio.

55 El sensor de acuerdo con la invención puede estar realizado partir de un sustrato semiconductor convencional, por ejemplo, en silicio o en arsenio de galio. El sustrato puede estar dopado N y comprender dos zonas dopadas P+ formando la zona de fuente y la zona de drenaje (el transistor es entonces del tipo P). Por el contrario, puede estar dotado de un sustrato P que presenta dos zonas dopadas N+ para formar las zonas de fuente y de drenaje (el transistor es entonces del tipo N). Esta última variante servirá para describir más detalladamente el sensor de acuerdo con la invención, sin que se limite a este modo de realización, en la medida en la que el principio y la estructura son similares en ambos casos.

5 El material de puerta es típicamente óxido de silicio. El sensor comprende también una capa de óxido de campo realizado comúnmente en óxido de silicio. Esta capa recubre la superficie del sustrato a excepción de la superficie del intervalo que se extiende a lo largo del eje A. El sensor comprende además, preferiblemente, una capa de pasivación que recubre la superficie del sensor con la excepción de la membrana sensible y los conectores de contacto, especialmente con el fin de aislar los elementos eléctricos cuando el sensor se sumerge en la solución.

En este contexto, es un modo de realización preferido del sensor de acuerdo con la invención, en el que dicha al menos una capa de material sensible es una capa sensible a los iones  $H^+$ . Preferiblemente, está realizada de un material seleccionado entre el nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ), el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) y el pentóxido de tantalio ( $Ta_2O_5$ ). Por lo tanto, se aprecia que pueden ser utilizados diferentes materiales conocidos.

10 Según un modo de realización particular del sensor objeto de la invención, dicha capa de material sensible a los iones  $H^+$  está recubierta de una capa de material sensible que reacciona con una especie química o bioquímica, induciendo uno de los productos de reacción una variación de pH. Esta variación es entonces detectada por la capa sensible a los iones  $H^+$ . Se pueden mencionar dispositivos que incorporan una o varias enzimas (que reaccionan, por ejemplo, con la urea, la creatinina, la glucosa...). A continuación nos ocupamos de los ENFET y de los  
15 CHEMFET, utilizados principalmente para el análisis de estas especies en los medios biológicos.

De acuerdo con otro modo de realización particular del sensor objeto de la invención, dicha al menos una capa de material sensible es una capa sensible a los iones  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Li$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Cl^-$ , nitratos o amonio que puede estar realizada de un material seleccionado entre polímeros que contienen un compuesto ionóforo, aluminosilicatos modificados por implantación de iones. Se pueden citar, por ejemplo, polímeros fotosensibles de polisiloxano o poli  
20 (acetato de vinilo) que contienen compuestos ionóforos selectivos a los iones mencionados. Otra posibilidad es utilizar membranas de aluminosilicatos modificados, en los que una implantación iónica hace que sea sensible al ion en cuestión.

Según un modo de realización particular que se describirá más tarde, el sensor de acuerdo con la invención puede estar formado sobre la base de un sustrato semiconductor de silicio dopado P que presenta dos zonas dopadas N+ que forman la zona de fuente y la zona de drenaje, siendo dicho material de puerta de dióxido de silicio. De manera común, incluirá además las capas ya descritas:

25 - una capa de óxido de campo realizada de óxido de silicio, que recubre la superficie del sustrato a excepción de la superficie del intervalo que se extiende a lo largo del eje A, y  
30 - una capa de pasivación que recubre la superficie del sensor a excepción de la membrana sensible y de los conectores de contacto.

De acuerdo con una característica particularmente ventajosa, el sensor objeto de la presente invención está desprovisto de cargas eléctricas atrapadas en la puerta del ISFET, de tal manera que puede estar sometido a un ensayo eléctrico de validación en medio seco. De hecho, parece que debido a que la puerta está abierta al nivel del componente ISFET, las cargas son allí atrapadas lo que provoca corrientes de fuga importantes, así como fuertes variaciones de la tensión del umbral  $V_T$  que caracteriza la transición entre el comportamiento aislante o conductor resistivo del componente. Esto hace que el ensayo del MOSFET sea poco informativo. Inesperadamente, se ha encontrado que era posible superar estos fenómenos y eliminar las cargas atrapadas para tener una buena fiabilidad y reproducibilidad de los ensayos, sometiendo al sensor a una exposición a los rayos UV.

40 El sensor que acaba de ser descrito puede ser fabricado de diferentes maneras. Sin embargo, su diseño hace que sea especialmente adecuado para la producción en masa. En efecto, por un lado su fabricación no es más larga que la de un sensor ISFET convencional, gracias principalmente a una elección juiciosa de las máscaras durante las etapas de fotolitografía y fotolitografía. Por otro lado, debido a que puede ser comprobado sin que sea necesario introducirlo en una solución, es posible clasificar los sensores defectuosos durante la fabricación para eliminar las piezas defectuosas.

45 Por lo tanto, también es objeto de la presente invención, un método de fabricación de un sensor de medida de una especie en una solución, estando dicha especie en forma iónica o apta para producir un compuesto iónico, comprendiendo dicho sensor al menos dos componentes, a saber, i) un transistor ISFET dotado de un drenaje, de una fuente, de una membrana aislante sensible a dicha especie, y conectada a un electrodo de referencia, y ii) un transistor MOSFET dotado de un drenaje, de una fuente y de una puerta formada de una capa aislante recubierta de  
50 un electrodo metálico, comprendiendo el método al menos una etapa de creación de una fuente y un drenaje que son comunes al ISFET y al MOSFET, estando montados el ISFET y el MOSFET en paralelo.

Los componentes se pueden realizar con una cámara de aislamiento, por la implantación de portadores de cargas eléctricas opuestas a las del sustrato de silicio original. A continuación se dopan fuertemente dos zonas de la cámara de aislamiento. Alternativamente, los componentes son realizados directamente sobre un sustrato de silicio dopado con buenas concentraciones (en cuyo caso no hay ninguna cámara de aislamiento).

De acuerdo con un modo de implementación ventajoso, el método de fabricación comprende las etapas sucesivas, que consisten en:

- 5
- dopar fuertemente dos zonas de un sustrato semiconductor con portadores de cargas eléctricas,
  - realizar al menos una capa de material aislante, que comprende un óxido de puerta,
  - realizar dicha membrana sensible a dicha especie
  - realizar un electrodo metálico y conectores de contacto,

dichas dos zonas dopadas forman respectivamente una fuente y un drenaje que son comunes al ISFET y al MOSFET, estando conectados el ISFET y el MOSFET en paralelo.

Preferiblemente, de acuerdo con el método de fabricación según la invención,

- 10
- se realiza un dopaje de la zona de fuente y de la zona de drenaje separándolas mediante un intervalo que se extiende a lo largo del eje A, constituyendo dicho intervalo un canal de conducción entre dichas dos zonas a lo largo de al menos dos segmentos de dicho eje A,

- 15
- se recubre dicho intervalo a lo largo de dichos al menos dos fragmentos de dicho eje A, de al menos una capa de material en aislante eléctrico capaz de funcionar como puerta,

- se recubre dicha capa de material aislante eléctrico de al menos una capa de material aislante sensible a dicha especie, y

- 20
- se deja al descubierto dicha capa sensible a lo largo de un primer segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente ISFET,

- mientras que se recubre dicha capa sensible de un metal que hace la función de electrodo a lo largo de un segundo segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente MOSFET.

- 25
- De acuerdo con una característica preferida del método de fabricación de acuerdo con la invención, cuando se dopan la zona de fuente y la zona de drenaje, se separan por un intervalo que se extiende a lo largo del eje A, tal que:

- 30
- existe una distancia  $d_1$  y una distancia  $d_2$  que permiten la conducción eléctrica entre dichas zonas, respectivamente en el primer segmento y en el segundo segmento, de manera que se tienen dos canales de conducción que comunican respectivamente el componente ISFET y el componente MOSFET, y

- existe una distancia  $D$  que prohíbe la conducción eléctrica entre dichas zonas en un segmento intermedio comprendido entre el primer segmento y el segundo segmento, de forma que se obtiene un área desprovista de canal de conducción, que separa el componente ISFET y el componente MOSFET.

- 35
- De forma ventajosa, se crean dos conectores de contacto conectados respectivamente a la fuente y al drenaje, comunes, y un conector de contacto conectado a la puerta del MOSFET. Se ha de notar igualmente que, de manera común, el método de acuerdo con la invención podrá comprender además de las etapas descritas al menos una de las etapas que consisten en:

- 40
- realizar una capa de óxido de campo que recubre la superficie del sustrato a excepción de la superficie del intervalo que se extiende a lo largo del eje A, y

- realizar una capa de pasivación que recubre la superficie del sensor a excepción de la membrana sensible y de los conectores de contacto.

De acuerdo con un modo de realización particularmente interesante del método de fabricación objeto de la invención, éste comprende un ensayo de validación en medio seco de dicho sensor, que consiste en:

- 45
- a) medir la corriente  $I_{ds}$  entre el drenaje y la fuente cuando se varía la tensión  $V_{gs}$  entre la puerta y la fuente, mientras se mantiene constante la tensión de polarización  $V_{ds}$  entre la fuente y el drenaje, y registrar la curva característica  $I_{ds} = f(V_{gs})$ ;

b) determinar la fuga de corriente  $I_{off}$  con  $V_{gs} = 0$ , la tensión de umbral  $V_T$ , y el valor de la transconductancia;

c) comparar los valores obtenidos en la etapa b) con valores predeterminados de validación.

- 50
- De acuerdo con una característica preferida de la invención, el método de fabricación del sensor comprende una etapa que consiste en eliminar las cargas eléctricas atrapadas en la puerta del ISFET o en la superficie del mismo, antes de dicho ensayo de validación. Este ensayo de funcionalidad permite verificar la integridad de todos los componentes, a lo largo de la cadena de fabricación: comprobación de las obleas, comprobación después del montaje, comprobación antes de la utilización por el cliente...

De forma ventajosa y simple, de acuerdo con la invención, la eliminación de cargas eléctricas atrapadas en el transcurso del método de fabricación durante el almacenamiento, puede obtenerse sometiendo al sensor a una radiación de rayos UV. Se sabe que el borrado de memorias EPROM se efectúa iluminando con UV-C (longitud de onda entre 280 y 100 nm) durante 10 a 20 minutos. Sin embargo, este principio no había sido utilizado jamás para eliminar corrientes de fuga de un ISFET.

El modo de realización de este método ha sido además adaptado. De este modo, según un modo de realización particular, la eliminación de cargas eléctricas atrapadas se efectúa mediante aislamiento a una longitud de onda comprendida entre 200 nm y 300 nm, preferiblemente 254 nm, durante 5 a 30 minutos.

El sensor de acuerdo con la invención y su método de fabricación permiten solucionar el problema de controlar la calidad de los componentes ISFET fabricados en el contexto de las tecnologías del silicio y de la utilización de técnicas de montaje. Un rendimiento de los sensores funcionales entregados al cliente puede, actualmente, ser superior al 98%, sin una incidencia notable en el precio de coste. Esto es ahora alcanzable mediante un control unitario sistemático de todos los sensores, que puede ser efectuado en cada etapa de fabricación:

- Control a la salida de la fundición de las obleas ("wafer" en inglés). La identificación de los chips no conformes puede ser realizada mediante el registrado o cartografiado en fichero informático. También se puede efectuar una estimación del rendimiento.
- Control después del montaje en diversos soportes (circuitos impresos estándar, soportes flexibles, bobinas...).
- Control del sensor después de una eventual fase de funcionalización.
- Control del sensor después de su puesta en una cámara de fluido o informe en un soporte específico y antes del acondicionamiento para enviarlo al cliente.
- Ensayo antes de la utilización por el cliente que permite evitar las fases de calibración si se detecta un problema antes.

Gracias a este dispositivo, se hace posible controlar el buen funcionamiento de un ISFET, antes de depositar la membrana sensible, y después del montaje de los módulos, de forma totalmente automatizada. El método de fabricación con la ayuda de este equipo resuelve los inconvenientes expuestos anteriormente, manteniendo al mismo tiempo las ventajas.

El dispositivo de acuerdo con la invención presenta también la ventaja de poder ser controlado mientras que se coloca en un medio líquido. Esto permite, cuando se deseen realizar medidas de concentración de las especies durante largos periodos en una solución tal como por ejemplo el plasma sanguíneo o en aguas naturales, controlar el buen funcionamiento de los equipos utilizados. Esto también permite determinar, en caso de mal funcionamiento del equipo, si el origen del problema está provocado por el estado del sensor o no.

Es por ello por lo que se reivindica un método para medir la concentración de una especie química o bioquímica en una solución que comprende las etapas de:

- proporcionar un sensor de acuerdo con la invención descrita anteriormente;
- sumergir dicho sensor en una solución que contiene la especie cuya concentración se va a determinar;
- efectuar la operación de control de uno de los componentes de dicho sensor, estando el otro bloqueado eléctricamente, en el que:
- se aplica una tensión  $V_{ds}$  fija entre la puerta y el drenaje y una corriente  $I_{ds}$  fija entre el drenaje y la fuente,
- se mide el valor de la tensión  $V_{gs}$  entre la puerta y la fuente, que se compara con un valor estándar predeterminado,

siendo efectuada dicha operación al menos una vez antes o durante dicha medida de la concentración.

El sensor de acuerdo con la invención tiene numerosas aplicaciones, para la medida de la concentración de una especie química o bioquímica en una solución, seleccionada entre los iones simples, los iones complejos, las moléculas capaces de producir un compuesto iónico. Dichas soluciones pueden tener un origen natural o no. Estas son por ejemplo fluidos biológicos (principalmente plasma sanguíneo) o aguas de las que se desea supervisar la calidad (ríos, afluentes,...).

La presente invención se comprenderá mejor y surgirán los detalles relevantes, gracias a la descripción que se va hacer de uno de sus modos de realización, en relación con las figuras adjuntas, en las cuales:

La figura 1 es una representación esquemática de la estructura de un sensor de acuerdo con la invención visto desde arriba en transparencia y antes de la encapsulación.

La figura 2 muestra el diagrama de circuito equivalente del mismo sensor.

La figura 3 es una vista en sección esquemática del mismo sensor, que muestra la estructura en el ISFET.



La figura 4 es una vista en sección esquemática del mismo sensor, que muestra la estructura en el MOSFET de control.

La figura 5 es una curva característica  $I_{ds}$  ( $V_{gs}$ ) de un sensor según la invención, sin tratamiento UV.

La figura 6 es una curva característica  $I_{ds}$  ( $V_{gs}$ ) del sensor después del tratamiento UV.

5 Ejemplo 1: sensor ISFET con dispositivo de control integrado

10 El sensor presentado en este ejemplo está destinado a medir una especie iónica en una solución, por ejemplo, un soluto en un fluido corporal. Como se ilustra en las figuras 1 a 4, está constituido de dos componentes, a saber, el transistor 100 ISFET y el transistor 200 MOSFET, que están imbricados estructuralmente, ya que comparten su fuente 1 y su drenaje 2. El transistor 100 ISFET está de este modo constituido del drenaje 2, de la fuente 1, de la membrana 3 aislante, sensible a la especie única buscada y del electrodo 4 de referencia. El transistor 200 MOSFET está constituido por su parte del drenaje 2, de la fuente 1, de la puerta 13 formada por el electrodo 6 metálico sobre la capa 5 aislante.

15 Tal y como se ve en las figuras 3 y 4, el dispositivo se compone de un sustrato 20 de silicio, en el que una cámara 7 semiconductor ha sido creada por dopaje P y en cuyo exterior se encuentran las dos zonas dopadas N+ que constituyen respectivamente la fuente 1 y el drenaje 2. El intervalo que existe entre estas dos zonas está calculado para formar un canal de conducción. Es de la misma longitud en el ISFET 100 y en el MOSFET 200. En la parte intermedia, las zonas dopadas N+ están en un intervalo D demasiado importante para que exista un canal. Por tanto se tiene la parte 300 intermedia, la cual separa parcialmente los dos componentes.

20 Siempre en las figuras 3 y 4, el dispositivo comprende una capa 11 de óxido de campo (por ejemplo,  $SiO_2$ ) que cubre el sustrato, a excepción de la superficie del canal. A continuación, una capa 5 de óxido de puerta (por ejemplo,  $SiO_2$ ) y una capa 3 sensible (por ejemplo, nitruro de silicio  $Si_3N_4$ ) se depositan sobre toda la superficie. Estas dos capas recubren la superficie del canal 8, y la capa 11 de óxido de campo donde ésta exista.

25 La parte MOSFET 200 del dispositivo recibe a continuación una metalización en su parte intermedia para realizar el electrodo 6 de la puerta 13, mientras que el área correspondiente del ISFET 100 queda al descubierto. La puerta del ISFET 100 se realiza por el sistema que comprende la membrana 3 sensible y el electrodo 4 de referencia (que se muestra en la figura 2) en solución. Los conectores de contacto son creados por esta misma operación de metalización.

30 Dos conectores 9, 9' de contacto están conectados respectivamente al drenaje 2 y a la fuente 1 comunes, y el tercer conector 10 de contacto está conectado a la puerta del MOSFET para controlar a los mismos durante los ensayos. Los conectores sirven entonces para la conexión a las pistas metálicas. Finalmente una capa de BCB (benzociclobuteno), denominado de pasivación, es depositada sobre el sensor excepto sobre la capa sensible y sobre los conectores de contacto.

La figura 1 muestra en transparencia, la disposición de los diferentes elementos funcionales.

Ejemplo 2: método de fabricación del chip de silicio

35 El método de fabricación que aquí se propone tiene la enorme ventaja de estar basado en los métodos de fabricación en masa de los ISDFET convencionales, sin que sea necesaria ninguna etapa adicional. Los sensores se fabrican a escala industrial por tratamiento de una oblea de silicio (wafer), sobre la que se implantan varios miles de transistores, antes de ser cortados y montados. La oblea se somete a diferentes etapas de dopaje con el fin de modificar la naturaleza del silicio.

40 La tabla 1 a continuación resume estas etapas indicando las máscaras utilizadas. Estas etapas están identificadas en el método convencional, pero la forma de las máscaras permite obtener un ISFET que integra un MOSFET de control, de acuerdo con la invención.

Tabla 1: Etapas de realización de los ISFET y MOSFET integrados

Etapas principales	Observaciones
01 Oxidación de enmascarado	
02 Fotograbado de la cámara de aislamiento e implementación P	Máscara no.1
03 Fotolitografía de implantación de las zonas de contactos P+	Máscara no.2
04 Fotolitografía implantación de las zonas de fuente y de drenaje N+	Máscara no.3

Etapas principales	Observaciones
05 Redistribución de dopantes y crecimiento de un óxido de campo	
06 Fotograbado de la puerta y depósito de SiO <sub>2</sub> (óxido de puerta)	Máscara no.4
07 Depósito de la capa sensible (depósito de Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	
07 Fotograbado de apertura de contactos	Máscara no.5
08 Metalización (depósito de metal)	
09 Fotograbado de metalización (depósito de conectores y puerta)	Máscara no.6
09 Pasivación polímera (BCB) y fotolitografía	Máscara no.7

Ejemplo 3: caracterización de los sensores en seco

5 El dispositivo de acuerdo con la invención tiene la ventaja de que se puede comprobar el buen funcionamiento del ISFET incluso antes del montaje del sensor, y sin tener que sumergirlo en un medio líquido que es por lo tanto indispensable para su funcionamiento. El principio se basa en el control del MOSFET asociado, en medio seco. Por supuesto, este ensayo puede también ser realizado sobre el sensor montado y en las fases posteriores de la vida del sensor.

10 El principio de esta caracterización consiste en bloquear el transistor ISFET de tal manera que no le atraviese ninguna corriente, y controlar el transistor MOSFET, el cual es entonces el transistor de ensayo. En el caso de una medida en seco, no hay manera posible de llevar el potencial sobre la puerta del ISFET. El transistor ISFET está por lo tanto normalmente bloqueando (al menos si las corrientes de fuga son neutralizadas, por ejemplo, por borrado mediante UV. Para controlar el transistor de ensayo, es suficiente llevar una tensión V<sub>gs</sub> sobre la puerta. Cuando la diferencia de potencial entre la puerta y la fuente es nula (V<sub>gs</sub> = 0 V) no hay portadores para conducir una corriente. Esta corriente fuente-drenaje (I<sub>ds</sub>) está modulada por la tensión de la puerta V<sub>gs</sub>. En nuestro caso, hace falta aplicar una tensión V<sub>gs</sub> superior a un cierto umbral denominado V<sub>T</sub>. Cuando el transistor conduce, un aumento de la polarización entre el drenaje y la fuente (V<sub>ds</sub>) aumenta la corriente.

El ensayo de los sensores se realiza de la misma forma que para el ensayo de los componentes MOSFET en el estado de la técnica de la microelectrónica. Los equipos necesarios para la caracterización de los componentes sobre la oblea son:

- 20 - una estación de ensayo de oblea comercial (probe station): hemos utilizado una estación semiautomática para obleas (modelo PA 200 de Karl Suss), y
- un analizador paramétrico para semiconductor (analizador paramétrico Agilent).

25 En la práctica, la medida consiste en llevar puntos de medida sobre el drenaje, la fuente y la puerta. La fuente y el sustrato están conectados a tierra. El analizador es un analizador paramétrico, comercializado por Agilent o un generador de tensión y corriente acoplado a las medidas de tensión y de corriente de precisión (SourceMeter 2602 de Keithley).

30 Para el componente descrito en este documento, la fuente y el sustrato están cortocircuitados en el nivel de silicio. El drenaje se eleva a un potencial más alto que los de la fuente y el sustrato, lo que crea un campo eléctrico entre la fuente y el drenaje. El sensor es polarizado: la tensión aplicada al drenaje se fija en V<sub>ds</sub> = 2 V. La tensión V<sub>gs</sub> aplicada entre la puerta y la fuente se incrementa en pasos de 0,1 V. El sistema mide las corrientes I<sub>ds</sub> que circulan en el canal. El rango estudiado va de 0 a 5 V.

35 La corriente medida para cada punto de polarización se registra y se traza la característica I<sub>ds</sub> (V<sub>gs</sub>). Entonces es posible extraer los valores y determinar la corriente de fuga I<sub>off</sub> (a V<sub>gs</sub> = 0 V), así como la tensión de umbral V<sub>T</sub> (cuando el transistor se convierten conductor) y la transconductancia K<sub>p</sub> (pendiente en la parte en que el transistor conduce).

Las especificaciones predefinidas previamente permiten clasificar los chips. Los chips que no responden a las especificaciones pueden entonces ser registrados o identificados en un fichero informático. Si se utiliza un soporte del tipo bobina, es posible identificar de manera automática los chips no conformes e identificarlos mediante la perforación (punch) de la película.

40 Ejemplo 4: interés del tratamiento UV

Un primer conjunto de medidas se llevó a cabo en los sensores de una oblea que no haya experimentado el borrado mediante UV. La oblea no presentó a la salida de la fundición, resultados correctos. Los rendimientos fueron muy

5 bajos. Las características estaban fuera de las especificaciones: altas corrientes de fuga y por tanto una muy alta disparidad en las tensiones de umbral. De hecho, como se ve en la figura 5, se constata un desplazamiento hacia lo alto de la curva ( $V_{gs}$  no es nulo para  $I_{ds} = 0$ , lo que indica la existencia de una corriente de fuga. Esta corriente de fuga puede ser suficientemente elevada para causar errores de medida durante la aplicación, haciéndole imposible. Lo mismo se aplica para la tensión de umbral  $V_T$ .

10 Esta oblea a continuación se sometió a un tratamiento de UV. La operación de borrado se hizo mediante una pasada de 15 a 20 minutos bajo rayos UV a 254 nm. Las medidas eléctricas fueron repetidas. Los resultados obtenidos son entonces correctos y responden a las especificaciones requeridas en el pliego de condiciones. Como se ve en la figura 6, en este caso, la corriente de fuga ha desaparecido. La tensión de umbral se lee en la curva a 0,8 V. Todos los sensores comprobados han mostrado los mismos resultados.

Ejemplo 5: ensayo de sensores en medio líquido

El dispositivo de acuerdo con la invención presenta también la ventaja de poder ser controlado cuando está colocado en medio líquido.

15 Se va realizar en este caso una sola medida, y a comparar los parámetros  $I_{off}$  (corriente de fuga),  $V_T$  (tensión de umbral) y  $K_p$  (transconductancia) con los valores de referencia (con un grado de tolerancias +/-) para concluir en lo que se refiere al funcionamiento normal del sensor. Se puede proceder, ya que estamos en medio líquido, o bien al ensayo del MOSFET o al del ISFET.

Control con la ayuda del MOSFET en medio líquido

20 Este ensayo puede servir especialmente para controlar el buen estado de funcionamiento del sensor durante la medida. El principio de medida consiste en bloquear el transistor ISFET y controlar el transistor MOSFET. Se emplea el mismo método que el descrito en el ejemplo 3 para un ensayo en seco, para controlar el transistor MOSFET en solución. Hace falta además bloquear el transistor ISFET aplicando una tensión  $V_T$  mucho menor. Es entonces posible conectar eléctricamente el electrodo de referencia a la fuente, o bien (lo que se prefiera) aplicar una tensión fuertemente negativa: la tensión del electrodo de referencia será seleccionada muy por debajo de -3 V ( $V_{ref} \ll -3$  V).

Medida con la ayuda del ISFET en medio líquido

30 Este ensayo puede principalmente servir para la calibración del sensor antes de la medida. El principio de medida consiste en bloquear el transistor MOSFET y controlar el transistor ISFET. En el caso de una medida con el ISFET en solución, es suficiente llevar una tensión al electrodo de referencia. Cuando esta tensión es superior a la tensión de umbral del ISFET aparece una corriente  $I_{ds}$ . Esta corriente se modula a continuación por la diferencia de potencial entre el electrodo de referencia y la fuente.

En ambos casos, se opera con un analizador (Agilent) o con un generador de tensión y corriente acoplado a las medidas de tensión y de corriente de precisión (SourceMeter 2602 de Keithley). La polarización se obtiene de la manera siguiente:

35 La fuente y el sustrato son conectados a tierra, y son cortocircuitados a nivel de silicio. El drenaje es llevado a un potencial superior a los de la fuente y el sustrato, lo que crea un campo eléctrico entre la fuente y el drenaje. El sensor es polarizado en  $V_{ds} = 2$  V. La tensión aplicada entre la puerta y la fuente ( $V_{gs}$  para el MOSFET) o entre el electrodo de referencia y la fuente ( $V_{ref} - V_s$  para ISFET) se fija. La corriente medida para este punto de polarización se registra y se informa en una curva estándar  $I_{ds}(V_{gs})$  previamente establecida.

40 Si los valores de  $I_{ds}$  y  $V_{gs}$  coinciden con los valores esperados, se concluye que el sensor se encuentra en buen estado.

Tabla de resumen de los modos de ensayo

Los diferentes modos de ensayo o de control presentados en los ejemplos 3 y 5 se resumen en la tabla 2.

Tabla 2:

Tipo de ensayo	Estado del MOSFET	Estado del ISFET	Polarización aplicada
Ensayo en seco del sensor MOSFET	$I_{ds}$ es una función de la tensión aplicada a la puerta. El MOSFET conduce.	El ISFET está bloqueado ( $I_{ds}=0$ ). No hay conducción en la puerta.	En la puerta MOSFET, la tensión = [0 a 5] V. No hay electrodo de referencia.

ES 2 585 393 T3

Tipo de ensayo	Estado del MOSFET	Estado del ISFET	Polarización aplicada
Ensayo en solución del sensor MOSFET	$I_{ds}$ es una función de la tensión aplicada a la puerta. El MOSFET conduce.	El ISFET está bloqueado ( $I_{ds}=0$ ). Por ello el electrodo de referencia se lleva un potencial tal como: $V_{Eref}-V_s \ll V_T$	En la puerta del MOSFET = 0 V y $V_{Eref} \ll -3$ V
Ensayo en solución del sensor ISFET	El MOSFET está bloqueado ( $I_{ds}=0$ ). Por ello el electrodo de referencia se lleva un potencial tal como: $V_g - V_s \ll V_T$ .	El ISFET conduce. $I_{ds}$ es una función de la tensión aplicada al electrodo de referencia.	$V_{Eref} = [0 \text{ a } 5] \text{ V}$ $V_g = V_s$

## Reivindicaciones

1. Sensor para la medida de la concentración de una especie en una solución, dicha especie estando en forma iónica o capaz de producir un compuesto iónico, comprendiendo el sensor al menos dos componentes montados en paralelo, a saber i) un transistor (100) ISFET dotado de un drenaje, de una fuente, de una membrana (3) aislante sensible a dicha especie, y conectada a un electrodo (4) de referencia, y ii) un transistor MOSFET (200) dotado de un drenaje, de una fuente y de una puerta (13) formada de una capa (5) aislante recubierta de un electrodo (6) metálico, caracterizado porque la fuente (1) y el drenaje (2) son comunes a dichos dos componentes.
2. Sensor de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende al menos un sustrato (7) semiconductor que tiene dos zonas dopadas con portadores de cargas eléctricas, formando una zona (1) de fuente y una zona (2) de drenaje, respectivamente, que son zonas separadas por un intervalo que se extiende a lo largo de un eje A, constituyendo dicho intervalo un canal (8) de conducción entre dichas dos zonas sobre al menos dos segmentos de dicho eje A,
- estando recubierto dicho canal de al menos una capa (5) de material aislante eléctrico, que a su vez está recubierta de al menos una capa (3) de un material aislante sensible a dicha especie
  - estando dicha capa (3) sensible al descubierto en un primer segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente (100) ISFET, y
  - estando dicha capa (3) sensible recubierta de un material que realiza la función de electrodo (6) de puerta, en un segundo segmento de dicho eje A, para constituir dicho componente MOSFET (200).
3. Sensor de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque la zona (1) de fuente y la zona (2) de drenaje se extienden longitudinalmente a cada lado del eje A, a una distancia  $d_1$  que permite la conducción eléctrica entre ellos en el primer segmento, y a una distancia  $d_2$  que permite la conducción eléctrica entre ellos en el segundo segmento.
4. Sensor de acuerdo la reivindicación anterior, caracterizado porque, en un segmento intermedio comprendido entre el primer y el segundo segmentos, la zona (1) de fuente y la zona (2) de drenaje se extienden longitudinalmente a cada lado del eje A, a una distancia D que prohíbe la conducción eléctrica entre ellos, de manera que se tiene un área (300) desprovista de canal de conducción, que separa el componente ISFET (100) y el componente MOSFET (200).
5. Sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende dos conectores (9' 9) de contacto conectados respectivamente a la fuente (1) y el drenaje (2) comunes y un conector (10) de contacto conectado a la puerta del MOSFET (200).
6. Sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se realiza a partir de un sustrato semiconductor, estando hecho dicho sustrato a base de silicio, y que pertenece al tipo P con un drenaje y una fuente dopados N<sup>+</sup> o del tipo N con un drenaje y una fuente dopados P<sup>+</sup>.
7. Sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado porque dicha al menos una capa de material sensible es una capa sensible a los iones H<sup>+</sup> realizada de un material seleccionado entre nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), el óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el pentóxido de tantalio (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).
8. Sensor de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque dicha capa de material sensible a los iones H<sup>+</sup> está recubierta de una capa de material sensible que reacciona con una especie química o bioquímica dada, induciendo uno de los productos de la reacción una variación de pH.
9. Sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado porque dicha al menos una capa de material sensible es una capa sensible a los iones K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> y Li, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, nitratos o amonio, realizada de un material seleccionado entre polímeros que contienen un compuesto ionóforo o aluminosilicatos modificados por implantación iónica.
10. Sensor de acuerdo una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está desprovisto de cargas eléctricas atrapadas en la puerta del ISFET, de modo que puede ser sometido a un ensayo eléctrico de validación en un medio seco.
11. Método de fabricación de un sensor para la medida de la concentración de una especie en una solución, dicha especie estando en forma iónica o capaz de producir un compuesto iónico, comprendiendo el sensor al menos dos componentes montados en paralelo, a saber i) un transistor (100) ISFET dotado de un drenaje, de una fuente, de una membrana (3) aislante sensible a dicha especie, y conectada a un electrodo (4) de referencia, y ii) un transistor (200) MOSFET dotado de un drenaje, de una fuente y de una puerta formada de una capa (5) aislante recubierta de un electrodo (6) metálico, estando el método caracterizado porque comprende al menos una etapa de creación de una fuente (1) y de un drenaje (2) que son comunes al ISFET y al MOSFET.

12. Método de fabricación de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque comprende las etapas sucesivas que consisten en:

- dopar fuertemente dos zonas de un sustrato (7) semiconductor con portadores de cargas eléctricas,
- realizar al menos una capa (5) de material aislante, que comprende un óxido de puerta,
- realizar dicha membrana (3) sensible a dicha especie
- realizar un electrodo (6) metálico y los conectores (9, 9', 10) de contacto,

formando dichas dos zonas dopadas respectivamente una fuente (1) y un drenaje (2) que son comunes al ISFET y al MOSFET, estando montados el ISFET y el MOSFET en paralelo.

13. Método de fabricación de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque

- se realiza un dopaje de la zona (1) de fuente y de la zona (2) de drenaje separándolas mediante un intervalo que se extiende a lo largo del eje A, constituyendo dicho intervalo un canal (8) de conducción entre dichas dos zonas a lo largo de al menos dos segmentos de dicho eje A,
- se recubre dicho intervalo a lo largo de dichos al menos dos fragmentos de dicho eje A, de al menos una capa (5) de material en aislante eléctrico capaz de funcionar como puerta,
- se recubre dicha capa (5) de material aislante eléctrico de al menos una capa (3) de material aislante sensible a dicha especie, y
- se deja al descubierto dicha capa sensible a lo largo de un primer segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente ISFET (100),
- mientras que se recubre dicha capa sensible de un metal que hace la función de electrodo (6) a lo largo de un segundo segmento de dicho eje A, para obtener dicho componente MOSFET (200).

14. Método de fabricación de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque cuando se dopa la zona (1) de fuente y la zona (2) de drenaje, se separan un intervalo que se extiende a lo largo del eje A, tal que:

- existe una distancia  $d_1$  y una distancia  $d_2$  que permiten la conducción eléctrica entre dichas zonas, respectivamente en el primer segmento y el segundo segmento, de manera que se obtienen dos canales de conducción que comunican respectivamente el componente ISFET (100) y el componente MOSFET (200), y
- existe una distancia  $D$  que prohíbe la conducción eléctrica entre dichas zonas en un segmento intermedio comprendido entre el primer segmento y el segundo segmento, de forma que se obtiene un área desprovista de canal de conducción, que separa el componente ISFET y el componente MOSFET.

15. Método de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado porque se crean dos conectores (9', 9) de contacto conectados respectivamente a la fuente (1) y al drenaje (2) comunes, y un conector (10) conectado a la puerta del MOSFET (100).

16. Método de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 15, caracterizado porque comprende un ensayo de validación en medio seco de dicho sensor, que consiste en:

- a) medir la corriente  $I_{ds}$  entre el drenaje (2) y la fuente (1) cuando se varía la tensión  $V_{gs}$  entre la puerta (5) y la fuente, mientras se mantiene constante la tensión de polarización  $V_{ds}$  entre la fuente y el drenaje, y registrar la curva característica  $I_{ds} = f(V_{gs})$ ;
- b) determinar la fuga de corriente  $I_{off}$  con  $V_{gs} = 0$ , la tensión de umbral  $V_T$ , y el valor de la transconductancia;
- c) comparar los valores obtenidos en la etapa b) con valores predeterminados de validación.

17. Método de fabricación de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque comprende una etapa que consiste en someter al sensor a una radiación por rayos UV para eliminar las cargas eléctricas atrapadas en la puerta del ISFET, antes de dicho ensayo de validación.

18. Método de fabricación de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque las cargas eléctricas atrapadas se eliminan mediante la exposición a una longitud de onda comprendida entre 200 nm y 300 nm durante 5 minutos a 30 minutos.

19. Aplicación del sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10 para la medida de la concentración de una especie química o bioquímica en una solución, seleccionada entre los iones simples, los iones complejos y las moléculas capaces de producir un compuesto iónico.

20. Método para medir la concentración de una especie química bioquímica en una solución que comprende las etapas que consisten en:

- proporcionar un sensor de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10;
- sumergir dicho sensor en una solución que contiene la especie cuya concentración se va a determinar;

## ES 2 585 393 T3

- efectuar la operación de control de uno de los componentes de dicho sensor, estando el otro bloqueado eléctricamente, en el que:

- se aplica una tensión  $V_{ds}$  fija entre la puerta y el drenaje y una corriente  $I_{ds}$  fija entre el drenaje y la fuente,

5 - se mide el valor de la tensión  $V_{gs}$  entre la puerta y la fuente, que se compara con un valor estándar predeterminado,

siendo efectuada dicha operación al menos una vez antes o durante dicha medida de la concentración.

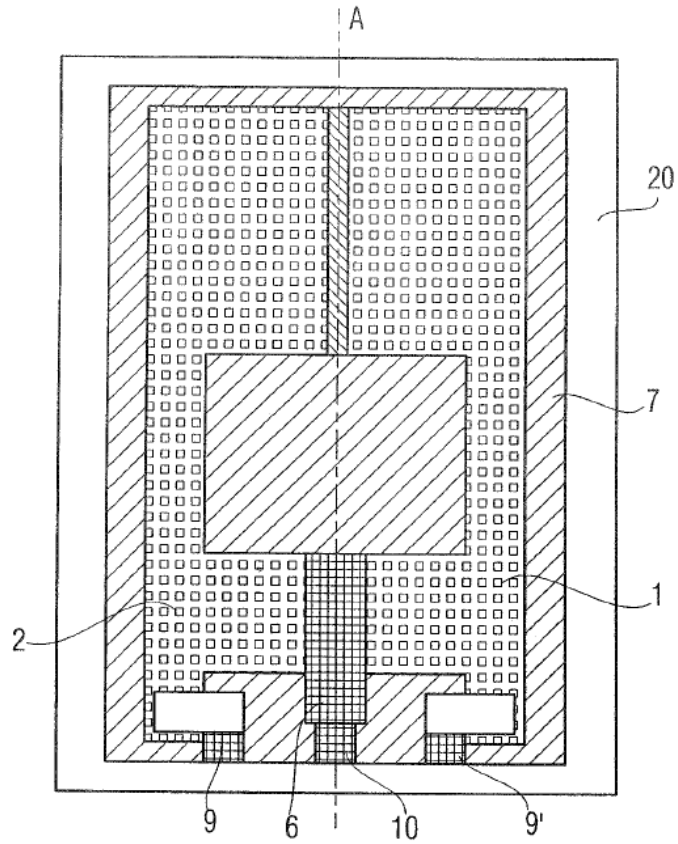


Fig 1

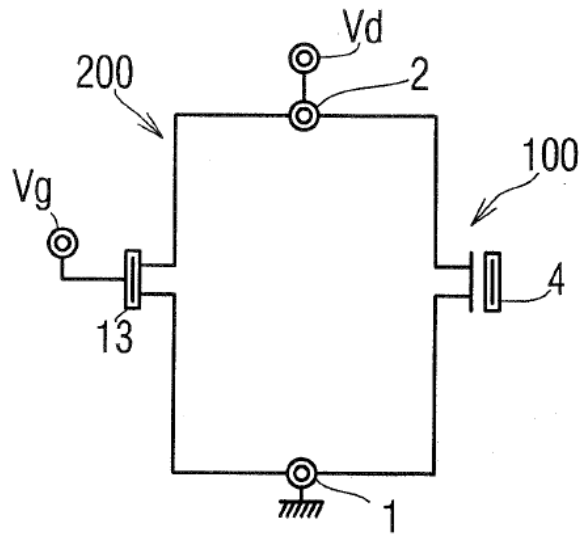


Fig 2



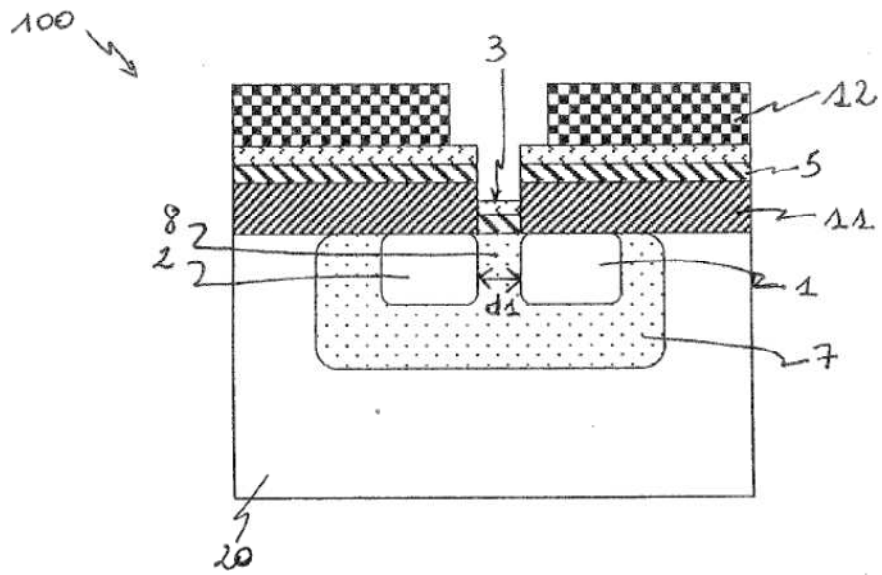


Fig 3

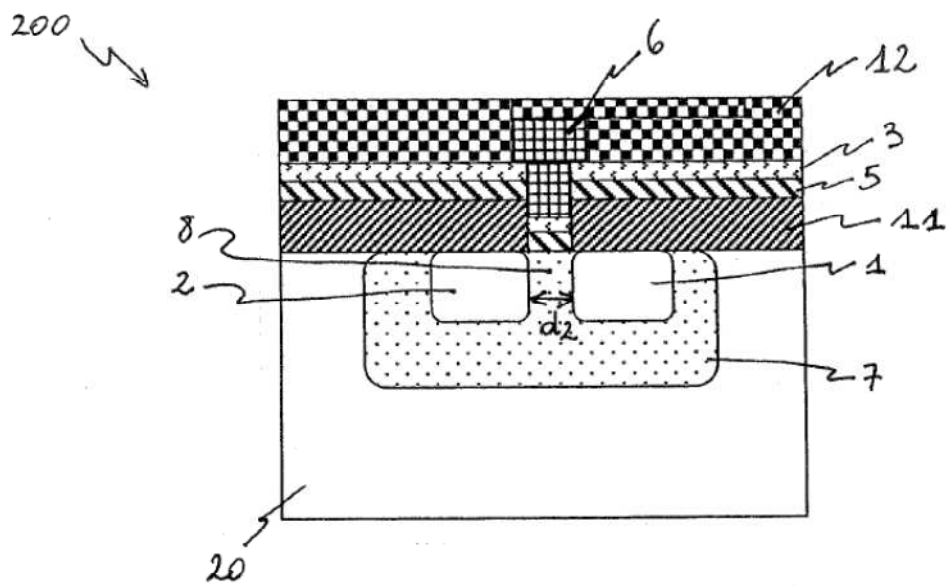


Fig 4

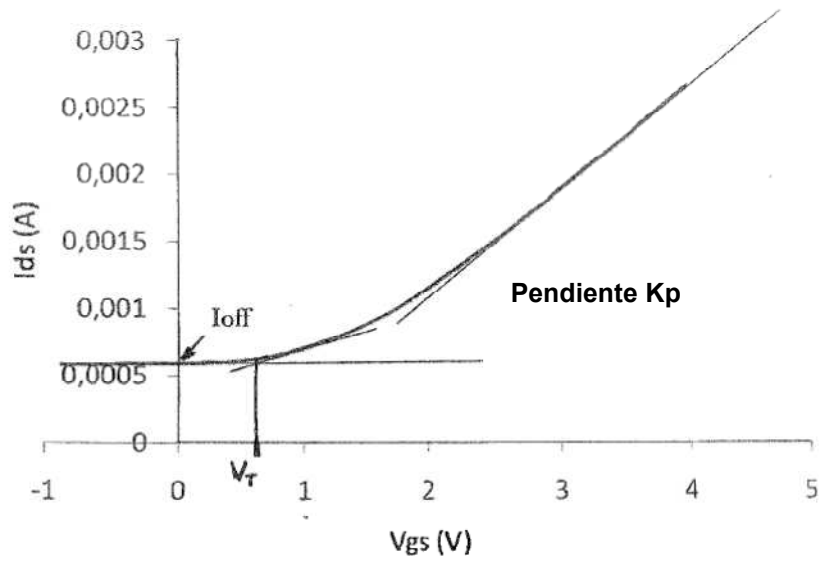


Fig 5

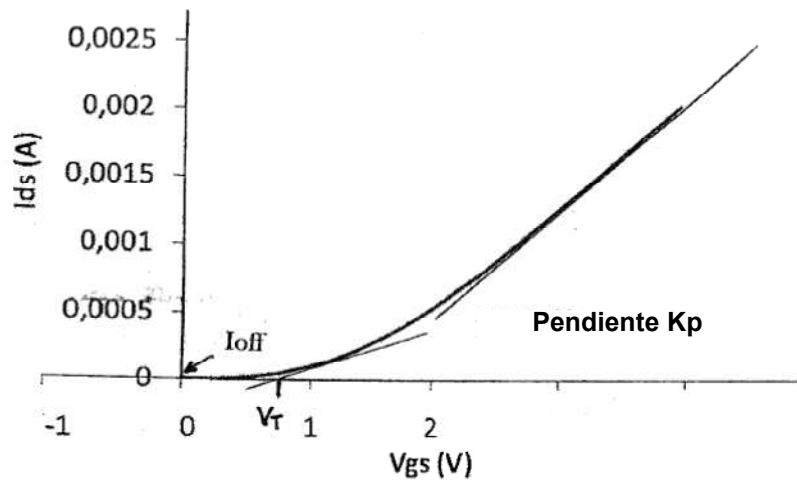


Fig 6