



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 365 690**

51 Int. Cl.:
G01N 27/414 (2006.01)
G01N 27/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09290555 .3**
96 Fecha de presentación : **09.07.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2154525**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.02.2010**

54 Título: **Detección y/o cuantificación eléctrica de compuestos organofosforados.**

30 Prioridad: **29.07.2008 FR 08 04319**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.10.2011

73 Titular/es: **Commissariat à l'Énergie Atomique et
aux Énergies Alternatives
Bâtiment "Le Ponant D"
25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es: **Simonato, Jean-Pierre y
Carella, Alexandre**

74 Agente: **Pons Ariño, Ángel**

ES 2 365 690 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

Detección y/o cuantificación eléctrica de compuestos organofosforados

La presente invención se relaciona con un procedimiento y un dispositivo de detección y/o cuantificación eléctrica de compuestos organofosforados presentes en forma gaseosa o en solución en un solvente.

- 5 Los compuestos organofosforados son moléculas constituidas de un átomo de fosfato al cual están unidos diferentes grupos químicos cuya naturaleza determina las propiedades exactas del compuesto. Objeto de investigaciones intensivas acerca de los gases de combate durante y después de la segunda Guerra Mundial que han desembocado en la obtención de los gases Sarin, Soman, Tabun, Ciclosarin, GV, VX, VE, VG y VM y de moléculas que estimulan la acción de los organofosforados neurotóxicos de tipo DFP (diisopropilfluorofosfato), DCP (dietilclorofosfato) y
- 10 DMMP (dimitil-metilfosfonato), los compuestos organofosforados son actualmente utilizados principalmente en agricultura como insecticidas o herbicidas. Entre la gran variedad de pesticidas con base en compuestos organofosforados existentes se pueden citar particularmente el Parathion, el Malation, el metil Paration, el Clorpirifos, el Diazinon, el Diclorvos, el Fosmet, el Tetraclorvinfos, y el metil Azinfos.

- 15 El modo de acción de los compuestos organofosforados se basa en la afinidad de estos últimos por una enzima implicada en la transmisión del influjo nervioso: la colinesterasa. Los compuestos organofosforados tienen en efecto la propiedad de fijarse de manera particularmente fuerte y estable a nivel del sitio activo de esta enzima. Una vez fijado, el compuesto organofosforado impide que la colinesterasa degrade la acetil colina, neurotransmisor liberado a nivel de las sinapsis neuronales durante la excitación neuronal: no habiendo degradación de la acetilcolina en colina y acetilo inactivos, las neuronas son excitadas constantemente lo que puede implicar la parálisis del sistema
- 20 nervioso central y conducir a la muerte.

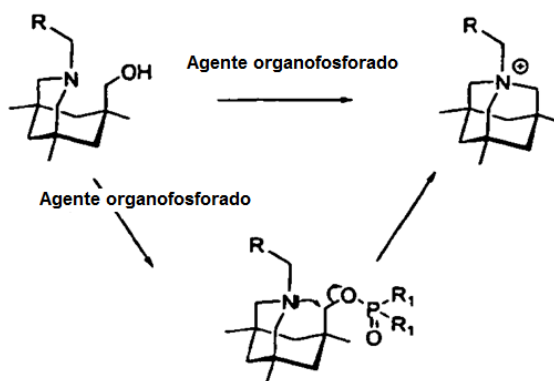
- Siendo idéntico el mecanismo implicado en la transmisión del influjo nervioso que es bloqueado por los compuestos organofosforados en el conjunto del reino animal, los compuestos organofosforados utilizados como insecticidas son no solamente tóxicos para los insectos sino igualmente para cualquier animal, incluyendo el hombre. Por esta razón, a pesar de su buena biodegradabilidad que les ha permitido suplantar a los insecticidas con base en compuestos
- 25 organoclorados que presentan una biodegradabilidad baja, su toxicidad muy superior requiere precauciones de empleo particulares. En efecto, los compuestos organofosforados pueden plantear muy serios problemas debido a la acumulación en el ambiente a todo lo largo de la cadena alimenticia en caso de presencia de residuos en los vegetales, en el agua o en la carne de los animales que hayan consumido alimentos que contienen compuestos organofosforados. Estando estos compuestos entre los más utilizados no solamente en la agricultura por los
- 30 profesionales sino también por los particulares, la detección y la dosificación de los compuestos organofosforados representan un interés de sanidad pública y serían igualmente útiles particularmente para la industria agroalimentaria.

- Además, a pesar de su prohibición en 1997, los gases de combate son siempre una amenaza. De una parte, se facilita la producción de los gases de combate del tipo Sarin, Toman, VX, y de otra parte, siendo estos compuestos
- 35 inodoros e incoloros, pueden ser inhalados sin que el individuo tenga conciencia de ello. La detección inmediata de la presencia de tales gases es por lo tanto un reto mayor para proteger los soldados en zona de combate pero también las poblaciones civiles enfrentadas al riesgo terrorista. Esto está claramente comprobado, en particular desde el atentado mortal con Sarin ejecutado por el grupo terrorista de Aum Shinrikyo en el metro de Tokio en 1995.

Se han desarrollado numerosos métodos y dispositivos de detección de compuestos organofosforados.

- 40 Así, se comercializan detectores químicos sensibles a los gases organofosforados, que funcionan en su mayor parte bajo el principio de la "nariz electrónica". La patente de los Estados Unidos 5, 571,401, por ejemplo, describe un detector químico constituido de chips que comprenden una resistencia compuesta de polímeros no conductores y de materiales conductores: cuando una molécula química entra en contacto con los materiales conductores, se detecta entonces una diferencia de resistencia. Estos detectores tienen el inconveniente de ser poco específicos y de ser
- 45 muy sensibles a los falsos positivos. Igualmente se han logrado detectores con base en redes bidimensionales de nanotubos de carbono (WO 2006/099518) pero, aunque son muy sensibles y detectan un gran número de moléculas, no permiten obtener una respuesta específica y selectiva de los compuestos organofosforados.

Recientemente se han descrito métodos de detección selectivos de los compuestos organofosforados en solución basados en la medición de la fluorescencia. Zhang et al, mostró que en presencia de una molécula que posee una amina con proximidad espacial a un alcohol primario y un cromóforo no plano, flexible y débilmente conjugado, los compuestos organofosforados reaccionan con el alcohol primario, permitiendo que el fosfato obtenido se ciclice por sustitución nucleófila intramolecular, estabilizando el cromóforo en el plano y terminando en un aumento de la fluorescencia (S.-W. Zhang and T. M. Swager, J.Am.Chem.Soc., 2003, 125, 3420-3421). Esta ciclización permite por lo tanto una detección por fluorescencia de agentes organofosforados en solución. El equipo de J.Rebek, Jr. demostró enseguida que algunos derivados del ácido de Kemp que comprenden un alcohol primario próximo a una amina terciaria son igualmente buenos candidatos para detectar las especies organofosforadas neurotóxicas (T. J. Dale & J. Rebek, Jr., J.Am.Chem.Soc.,2006, 4500-4501). Como S-W. Zhang et al. había demostrado precedentemente, cuando el alcohol primario reacciona con un compuesto organofosforado, el fosfato obtenido permite la ciclización por sustitución nucleófila intramolecular y la obtención de un amonio cuaternario según la reacción presentada en el esquema siguiente:



15

Rebek et coll. desarrollaron entonces derivados del ácido de Kemp en donde R es fluoróforo. En su forma abierta, la fluorescencia es impedida por una transferencia del electrón fotoinducido debido a la amina. La ciclización anula esta transferencia del electrón y aumenta la fluorescencia de la molécula. Una exposición de 5 segundos de un filtro que comprende el ácido de Kemp acoplado con un fluoróforo en una atmósfera que comprende 10 ppm de DFP permite la detección de este organofosforado por fluorescencia mediante lectura con lámpara UV. Esta detección, aunque específica, tiene diversos inconvenientes. En primer lugar, necesita ser empleada en un ambiente con luminosidad reducida. No puede por lo tanto ser utilizada siempre en los lugares en donde la presencia de los compuestos organofosforados se detecta en un tiempo real. De otra parte, necesita el empleo de una lámpara UV lo que aumenta el volumen, y por lo tanto disminuye la portabilidad del dispositivo de detección y/o de cuantificación de los compuestos organofosforados.

25

Se han desarrollado igualmente métodos basados en la utilización de un biodetector que comprende enzimas que presentan una afinidad por los compuestos organofosforados, por ejemplo la colinesterasa .En la solicitud PCT WO 2004/040004, se han utilizado algas unicelulares que expresan la acetilcolinesterasa a nivel de la membrana, para probar la presencia de compuestos organofosforados en medio acuoso, estando correlacionado el porcentaje de inhibición de la acetilcolinesterasa con la concentración en compuestos organofosforados en el líquido acuoso controlado. Este método necesita la disolución de compuestos organofosforados antes de su detección.

30

En resumen, los métodos de detección de los compuestos organofosforados actualmente disponibles tienen el inconveniente ya sea de no ser selectivos para los compuestos organofosforados, ya sea de ser utilizables únicamente para probar una mezcla en solución, ya sea de necesitar un lector de fluorescencia y un ambiente con baja luminosidad. El desarrollo de un método rápido, eficaz y específico, que permita la detección selectiva de compuestos organofosforados a la vez bajo forma gaseosa y en solución, en cualquier medio, cualquiera que sea su luminosidad, así como la puesta a punto de un dispositivo con volumen reducido y buena portabilidad, que permita una detección simple, rápida y selectiva, representa siempre por lo tanto un reto mayor en la protección de los

35

soldados en zonas de combate, población civil expuesta al riesgo terrorista, y de forma más amplia para la detección de pesticidas organofosforados.

5 Para este efecto, la invención utiliza la carga positiva generada durante la presencia de una molécula llamada "receptora" que contiene un alcohol primario con una proximidad espacial de una amina terciaria y de un compuesto organofosforado. La exposición de la molécula receptora a un compuesto organofosforado conduce a la formación de un intermediario éster de fosfato inestable por reacción entre el alcohol primario y el compuesto organofosforado. Sigue una ciclización intramolecular por sustitución nucleófila del intermedio éster de fosfato por la amina terciaria y la formación de un amonio cuaternario. Durante la reacción de ciclización, hay formación de una sal, y luego generación de cargas eléctricas distintas (catión y anión). La generación de una carga por la creación de la función amonio permite modificar de manera abrupta el ambiente electrostático de la molécula.

10 El equipo de J.Rebek mostró que este tipo de molécula receptora reacciona con un compuesto organofosforado en solución. En particular en la publicación T. J. Dale & J. Rebek, Jr., Am.Chem.Soc., 2006, 4500-4501, la reacción de ciclización se produce cuando el compuesto organofosforado bajo forma gaseosa se pone en contacto con un papel de filtro previamente embebido de una solución del derivado de ácido de Kemp y secado al aire.

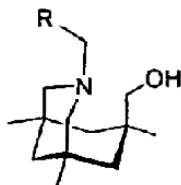
15 De manera inesperada, los inventores constataron que la ciclización de una molécula receptora es eficaz incluso cuando ésta se inmoviliza en una superficie en monocapa auto-ensamblada o SAM ("Self Assembled Monolayer"). En efecto para tales capas, los receptores habrían podido blindarse los unos de los otros lo que habría debido conducir a una baja reactividad del receptor.

20 En la presente invención, la presencia de compuestos organofosforados se evidencia entonces visualizando las modificaciones del ambiente electrostático local por análisis de las variaciones de resistencias, de conductancia o de la transconductancia de un dispositivo eléctrico en el cual la molécula "receptora" se injerta en la parte semiconductor o en uno de los electrodos. Se detecta mediante este dispositivo eléctrico la presencia de al menos una carga creada por la reacción entre el compuesto organofosforado y la molécula receptora. Dentro de la presente invención, las moléculas organofosforadas son compuestos orgánicos que contienen un átomo de fósforo pentavalente, y particularmente aquellos que presentan la fórmula química siguiente $P(=W)XYZ$, con $W=O$, S y X, Y, Z= cualquier elemento o grupo de elementos de la tabla periódica.

Así, un primer objeto de la invención se relaciona con un dispositivo de detección y/o de cuantificación de compuestos organofosforados que comprende un dispositivo eléctrico que comprende:

- 30
- un electrodo fuente y un electrodo de drenaje separados por un material semiconductor, al menos una molécula receptora que comprende un grupo R, un alcohol primario y una amina terciaria con la cual el alcohol primario es susceptible de reaccionar en presencia de un compuesto organofosforado, estando la molécula receptora injertada por intermedio del grupo R en uno de los electrodos o en el material semiconductor, y
 - un dispositivo de detección de la variación de cargas positivas entre los dos electrodos.

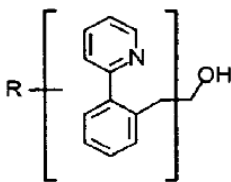
35 La molécula receptora es un derivado del ácido de Kemp y tiene la fórmula general I siguiente:



Fórmula I

en la cual R representa un grupo que comprende una función que permite el injerto de la molécula receptora en uno u otro de los electrodos o en el material semiconductor.

La molécula receptora puede ser igualmente una molécula de forma general II siguiente:



Fórmula II

El dispositivo eléctrico puede ser de tipo resistencia, o bien de tipo transistor con efecto de campo.

5 Cuando el dispositivo eléctrico es de tipo resistencia, se detecta y, eventualmente, se mide, por ejemplo, la variación de la intensidad de corriente entre los electrodos fuente y de drenaje, la variación de intensidad de corriente provocada por la producción de cargas positivas durante la ciclización de la molécula receptora cuando entra en contacto con los compuestos organofosforados, con una tensión dada y conocida impuesta entre los electrodos fuente y de drenaje. Esta variación de intensidad de corriente da acceso a la variación de conductancia.

Cuando el dispositivo eléctrico es de tipo transistor, la parte semiconductor está compuesta de un material semiconductor dieléctrico y comprende además una rejilla.

10 Aun más, se detecta, y eventualmente, se mide, por ejemplo, la variación de intensidad de corriente, con una tensión dada y conocida impuesta entre los electrodos fuente y de drenaje que atraviesan el transistor. Siendo la intensidad de corriente una función de la tensión de la rejilla, se tiene entonces acceso a la transconductancia del transistor.

En los dos casos, la variación de la conductancia o la variación de la transconductancia es reveladora de la presencia de compuestos organofosforados y es proporcional a la concentración en compuestos organofosforados.

15 La molécula receptora se injerta ya sea en el material semiconductor del dispositivo eléctrico, ya sea en el electrodo fuente, ya sea en el electrodo de drenaje. El material semiconductor que juega el papel de canal de conducción es un material semiconductor, ventajosamente con base en carbono, silicio, germanio, zinc, galio, indio, cadmio, o un material semiconductor orgánico.

Preferiblemente, el material semiconductor está constituido por nanohilos y/o nanotubos de silicio o de carbono.

20 Más preferiblemente el material semiconductor está constituido por nanohilos de silicio grabados en una superficie SOI (*silicon on insulator*).

25 En el caso de materiales semiconductores orgánicos, éstos pueden ser oligómeros, polímeros o moléculas pequeñas. Por ejemplo, puede tratarse de compuestos aromáticos heterocíclicos tales como los tiofenos y su derivados, preferiblemente el P3HT (poli-3-hexiltiofeno), o polipirroles y sus derivados, arilaminas y sus derivados, preferiblemente el PTA (politriarilamina), isocromenonas y sus derivados, macrociclos heterocíclicos tales como porfirinas, ftalocianinas y sus derivados. Los materiales semiconductores orgánicos pueden igualmente ser acenos policíclicos aromáticos y sus derivados, de preferencia antraceno o pentaceno, arilenos y sus derivados, por ejemplo perileno, poliparafenileno, poliparafenilenvinileno o polifluoreno, polisilanos y sus derivados.

30 Los electrodos pueden ser metálicos, por ejemplo de oro, plata, paladio, platino, titanio, silicio dopado, cobre o níquel.

El grupo R comprende una función que permite el injerto de la molécula receptora en el material semiconductor de los electrodos.

35 La función que permite el injerto se selecciona particularmente entre: hidrocarburo aromático monocíclico o policíclico, saturado o insaturado; alceno (tipo vinílico por ejemplo); alcino (tipo acetilénico por ejemplo); compuesto trihalogenosilano o trialcóxidosilano; compuesto diazoico, sales de diazonio y derivados; nitruros; precursor de radicales; isocianatos y derivados, organometálicos y derivados (por ejemplo de tipo litio, organomagnesio, zinc); derivados azufrados tales como tioles y mercaptanos; ácidos carboxílicos y/o sulfónicos y/o fosfóricos y sus derivados ésteres; alcoholes, fenoles; aminas, amidas; halogenuros. Así el grupo R es por ejemplo un etinilfenilo, un vinilfenilo, un diazofenilo, o aun un pireno.

45 La parte dedicada al injerto del grupo R se adapta al material escogido.

Por ejemplo, para el silicio, la parte dedicada al injerto podrá ser un alcino, un alceno, una sal de diazonio, un triaceno o un precursor de radical. El silicio podrá estar recubierto de una fina capa de óxido, como por ejemplo del óxido original. En este caso, la parte dedicada al injerto podrá ser un compuesto silano (por ejemplo un trialcoxisilano o un trihalógeno silano) o cualquier otra especie que se una a la superficie del óxido.

5 En todos los casos, el injerto de la parte receptora podrá ser realizado en una o varias etapas. Es posible, por ejemplo, hacer reaccionar la superficie del semiconductor con una primera molécula, y hacer enseguida reaccionar una función de esta molécula injertada con una segunda molécula orgánica que comprende la parte receptora de los compuestos organofosforados. Por ejemplo, pueden considerarse etapas de protección/ desprotección de la función alcohol. Es igualmente posible injertar la molécula sensible a los organofosforados en un sustrato prefuncionalizado, que comprende funciones reactivas (por ejemplo de tipo hidruro, hidroxilo, o bien una de las funciones precisadas más arriba.

10 Por ejemplo, el silicio o su óxido original podrán ser funcionalizados por una primera serie de moléculas orgánicas que comprenden funciones terminales en las cuales la molécula receptora será injertada en un segundo momento mediante las técnicas clásicas de las síntesis orgánica, organometálica o inorgánica.

15 Son posibles ensamblajes por unión covalente o por interacciones débiles estabilizantes. Por ejemplo, se considera un ensamblaje por unión pi-pi (recubrimiento orbital estabilizante), preferiblemente en el caso de los nanotubos de carbono.

20 En el caso en donde se utilizan uno o varios nanotubos de carbono como material semiconductor, la parte dedicada al injerto podrá ser:

25 -una sal de diazonio, un triazeno, un precursor de radicales cualquiera, o cualquier molécula susceptible de formar uniones covalentes con átomos de carbono con nanotubos de carbono
 -un grupo aromático (por ejemplo pireno, antraceno, porfirina, etc.) o un derivado de la familia de las aminas que permita una funcionalización no covalente (supramolecular) de los nanotubos.
 30 -una amina o un alcohol para una reacción con los ácidos carboxílicos presentes en la superficie de los nanotubos de carbono, eventualmente después de una activación química (por ejemplo con un agente de acoplamiento) para la formación de ésteres o de amidas.

35 En el caso de un material semiconductor con base en germanio, la parte dedicada al injerto podrá ser por ejemplo un alcino o un alceno.

40 Cuando el material semiconductor es arseniuro de galio e indio (InGaAs), la función de injerto podrá ser un compuesto azufrado, por ejemplo un tiol.

45 En el caso de un material semiconductor con base en seleniuro de cadmio (CdSe) o de sulfuro de cadmio (CdS), la función de injerto podrá ser una amina o un compuesto azufrado, por ejemplo un tiol.

Si el material semiconductor es óxido de zinc, la función de injerto podrá ser un ácido carboxílico o fosfórico.

50 Si el material semiconductor es un sulfuro de zinc, (ZnS) la función de injerto es un compuesto azufrado, por ejemplo un tiol.

En el caso de semiconductores orgánicos, el receptor será integrado durante la síntesis del material orgánico.

55 En el caso en que uno de los electrodos sea funcionalizado o es de oro, se pueden utilizar derivados orgánicos azufrados tales como por ejemplo, un tiol, un tiol protegido (tioacetato, por ejemplo), disulfuro u otro.

Ventajosamente, el grupo R de la molécula "receptora" comprende, además de una función dedicada al injerto en el material semiconductor o en los electrodos, una parte "espaciadora" que permite modular la distancia entre la molécula receptora y el material semiconductor o los electrodos.

60 La parte "espaciadora" del grupo R puede ser un grupo alquilo de C₁ a C₂₀ que puede contener uno o varios heteroátomos, y/o un radical aromático y/o un radical heteroaromático. La estructura simple del dispositivo permite una producción de bajo coste y a gran escala. Además, debido a esta estructura simple, el dispositivo puede ser de tamaño muy pequeño, necesitando poca energía para funcionar, favoreciéndose su portabilidad.

Otro objeto de la presente invención se relaciona con un procedimiento de detección y/o cuantificación de compuestos organofosforados que comprende las siguientes etapas:

65 a) colocar en presencia de la muestra que se va a probar bajo forma líquida o bajo forma gaseosa un dispositivo de detección según la invención tal como se define anteriormente;

- b) evidenciar cargas positivas generadas por la reacción de ciclización intramolecular de la molécula receptora inducida por el compuesto organofosforado detectando y/o midiendo la diferencia de resistencia, de conductancia o de transconductancia del dicho dispositivo.

5 La presente invención será mejor comprendida con la ayuda del complemento de descripción que viene a continuación, que se refiere a un ejemplo presente a título ilustrativo y no limitativo de preparación del dispositivo de detección conforme a la invención y a su empleo en un método de detección de un compuesto organofosforado.

10 **Ejemplo 1: Fabricación de un receptor de tipo transistor pseudo-Mos**

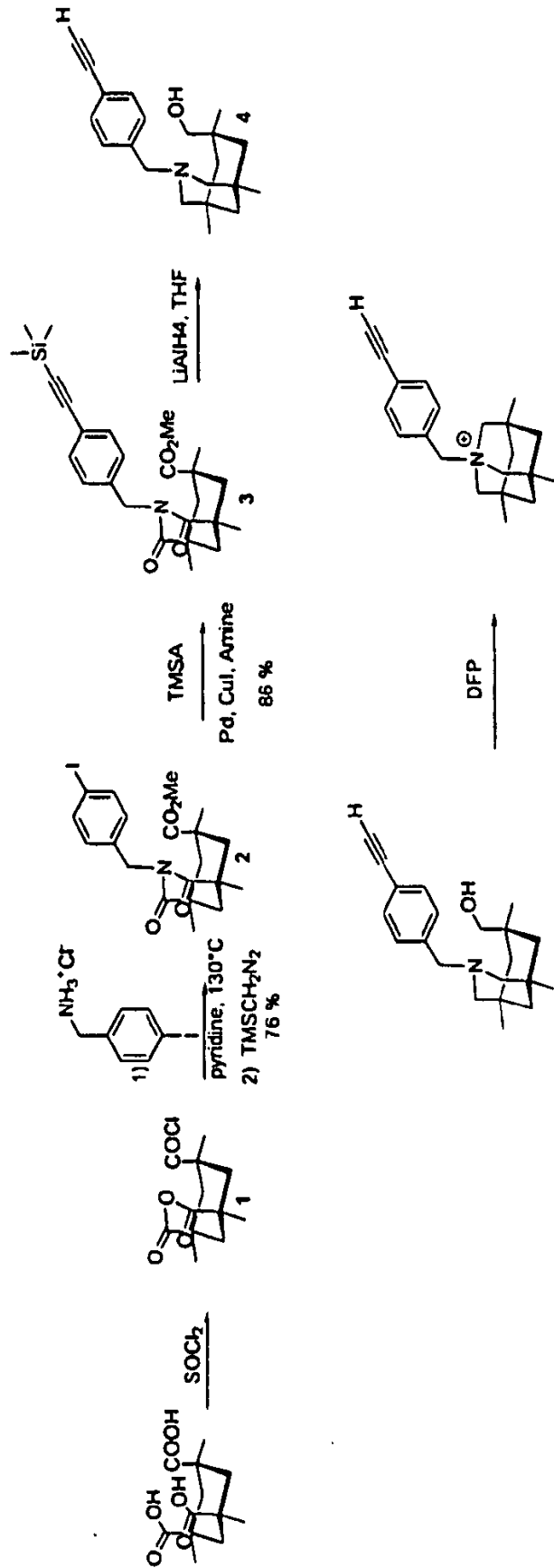
1.1. Producción del dispositivo de prueba

15 Los dispositivos eléctricos se fabricaron sobre SOI en donde el material semiconductor es un nanohilo de silicio grabado, de 280nm de ancho, 4µm de largo y 16nm de espesor, grabado en una capa de óxido de silicio de 77nm de espesor.

1.2. Síntesis del receptor

20 Un receptor en donde la función R es el 4-etilbencilo y se sintetizó a partir del triácido de Kemp. Durante una primera etapa, el triácido de Kemp se transforma en anhídrido (producto 1) por reflujo con cloruro de tionilo. Después de la evaporación del cloruro de tionilo residual, el producto 1 se pone a reaccionar con 4- yodobencilamina en piridina con reflujo, y luego se trata con trimetilsilildiazometano. Una reacción de Sonogashira permite introducir un alcino protegido por un grupo trimetilsililo. El tratamiento de la molécula 3 con LiAlH₄ permite la reducción de los grupos imida y éster, a grupos amino y alcohol respectivamente. De manera inesperada, se observa la desprotección del grupo sililo. La ciclización del derivado de Kemp 4 obtenido por tratamiento con el DFP se realizó en un tubo de RMN. La ciclización es total.

25



1.3. Injerto del receptor en el dispositivo de prueba

5 El receptor se injerta en el dispositivo de prueba por hidrosililación térmica. El dispositivo se limpió con la ayuda de una solución piraña, constituida de una mezcla 3 a 1 de ácido sulfúrico concentrado y de agua oxigenada al 30 %, y luego se trató con una solución de HF al 1% en peso. El dispositivo activado se calienta a reflujo en una solución 0,5 mM del receptor 4 en mesitileno.

10 **Ejemplo 2: Detección de compuestos organofosforados por el detector.**

10 Se utilizó el dispositivo obtenido en el ejemplo 1 para detectar la presencia de compuestos organofosforados. Para esto, el dispositivo según la invención se colocó durante un minuto en un recinto que contenía vapores de diisopropilfluorofosfato (10 ppm).

15 En su forma abierta (antes de la reacción con una molécula organofosforada), el receptor es una molécula neutra (sin carga electrostática). La reacción con una molécula organofosforada, en este ejemplo el diisopropilfluorofosfato, conduce a una ciclización ya la producción de una carga bajo la forma de un amonio. La generación de esta carga se detecta eléctricamente por modificación de la conductancia del dispositivo. En las condiciones indicadas más arriba, se midió una variación relativa de la conductancia ($\Delta g/g$) superior a 5%.

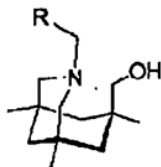
20

25

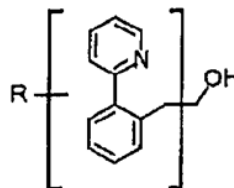
30

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de detección y/o de cuantificación de compuestos organofosforados que comprende un dispositivo eléctrico que comprende un electrodo fuente y un electrodo de drenaje separados por un material semiconductor, al menos una molécula receptora injertada en uno de los electrodos o en el material semiconductor, y
- un dispositivo de detección de la variación de las cargas positivas entre estos dos electrodos, caracterizado porque la dicha al menos una molécula receptora en la fórmula genera I o II siguientes:



Fórmula I



Fórmula II

en las cuales R representa un grupo que comprende una función que permite el injerto de la molécula receptora en uno u otro de los electrodos o en el material semiconductor.

2. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según la reivindicación 1, caracterizado porque el material semiconductor se escoge entre materiales con base en carbono, silicio, germanio, zinc, galio, indio, cadmio o un material semiconductor orgánico.
3. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque el material semiconductor está constituido de nanohilos de silicio y/o de nanotubos de carbono.
4. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el material semiconductor es un nanohilo de silicio.
5. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el material de los electrodos es un material escogido entre oro, plata, paladio, platino, titanio, silicio dopado, cobre o níquel.
6. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el dicho dispositivo eléctrico es de tipo resistencia.
7. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el dicho dispositivo eléctrico es de tipo transistor con efecto de campo.
8. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el material semiconductor es de silicio, estando la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto se escoge entre un alcino, un alceno una sal de diazonio, un triaceno o un precursor de radicales.
9. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor está constituido por nanotubos de carbono, estando la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto se escoge entre: una sal de diazonio, un triaceno, un precursor de radicales, un grupo aromático, un derivado de la familia de las aminas que permite una funcionalización no covalente de los nanotubos, una amina o un alcohol.
10. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor se realiza con base en germanio, siendo la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto es un alcino o un alceno.
11. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor está constituido de arseniuro de galio e indio (InGaAs), siendo la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto es un compuesto azufrado.

- 5
12. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor se realiza con base en seleniuro de cadmio (CdSe) o de sulfuro de cadmio (CdS), siendo la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto se escoge entre una amina o un compuesto azufrado.
- 10
13. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor se realiza a base de óxido de zinc, siendo la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto se escoge entre un ácido carboxílico y un ácido fosfórico.
- 15
14. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5 a 7, caracterizado porque el material semiconductor se realiza a base de sulfuro de zinc, siendo la molécula receptora injertada en el dicho material semiconductor, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto es un compuesto azufrado.
- 20
15. Dispositivo de detección y/o de cuantificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque los electrodos son de oro, siendo la molécula receptora injertada en uno de los electrodos, y porque la función de injerto del grupo R de la molécula receptora dedicada al injerto es un derivado orgánico azufrado.
- 25
16. Procedimiento de detección y/o de cuantificación de compuestos organofosforados, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:
- poner en presencia de la muestra que se va a probar bajo forma líquida o bajo forma gaseosa un dispositivo de detección y/o cuantificación tal como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15,
 - evidenciar cargas positivas generadas por la reacción de ciclización intramolecular de la molécula receptora inducida por el compuesto organofosforado midiendo la diferencia de resistencia de conductancia o de transconductancia del dicho dispositivo.

30