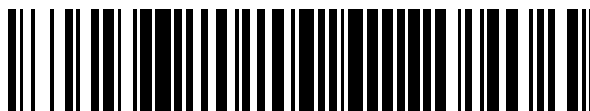


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 518 917**

51 Int. Cl.:

H01L 27/088 (2006.01)

H01L 27/06 (2006.01)

H01L 21/8252 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2012** **E 12178617 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.07.2014** **EP 2555242**

54 Título: **Dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y método de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

01.08.2011 IT TO20110713

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

05.11.2014

73 Titular/es:

SELEX ES S.P.A. (100.0%)
Via Tiburtina, Km. 12, 400
00131 Roma , IT

72 Inventor/es:

CHINI, ALESSANDRO y
LANZIERI, CLAUDIO

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 518 917 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

Dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y método de fabricación del mismo

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a transistores de alta movilidad de electrones pseudomórficos (PHEMT) de enriquecimiento/empobrecimiento y, en particular, a un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y a un método para fabricar dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento que encuentra aplicación ventajosa, aunque no exclusiva, en la producción de circuitos integrados que operan a frecuencias de ondas milimétricas y microondas.

Estado de la técnica

10 Como se sabe, los transistores de alta movilidad de electrones pseudomórficos (PHEMT) se usan ampliamente en circuitos integrados que operan a frecuencias de ondas milimétricas y microondas, tales como los denominados circuitos integrados de microondas monolíticos (MMIC).

En particular, los PHEMT se aprovechan ampliamente en diversos tipos de sistemas, tal como sistemas de radiocomunicación y sistemas de radar.

15 En detalle, los PHEMT han encontrada una amplia utilización a lo largo de los años porque proporcionan una alta ganancia de radiofrecuencia (ganancia de RF), una alta eficacia de potencia añadida (PAE) y un bajo coeficiente de ruido (NF).

Objeto y sumario de la invención

20 El solicitante, considerando las excelentes propiedades de los PHEMT que, tal como se mencionó anteriormente, han dado lugar a un uso generalizado de los mismos en diversos tipos de sistemas a lo largo de los años, ha llevado a cabo un estudio en profundidad sobre los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento actualmente conocidos.

25 En particular, el solicitante ha llevado a cabo un análisis exhaustivo en cuanto a las características de los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento descritos en las solicitudes de patente estadounidense US 2006/0027840 y US 2006/0208279, en la solicitud de patente europea EP 0371686 y en las patentes estadounidenses US 6.670.652, US 6.703.638 y US 7.361.536.

Basándose en los resultados de dicho análisis, el solicitante se percató, por consiguiente, de la necesidad de desarrollar:

30 • un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento innovador que presente mejores propiedades que los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento actualmente conocidos, en particular los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento descritos en las solicitudes de patente estadounidense US 2006/0027840 y US 2006/0208279, en la solicitud de patente europea EP 0371686 y en las patentes estadounidenses US 6.670.652, US 6.703.638 y US 7.361.536; y

• un método innovador para fabricar dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento.

35 Por tanto, el objeto de la presente invención es el de proporcionar un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y un método de fabricación de un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento.

40 Este objeto se consigue mediante la presente invención porque ésta se refiere a una estructura epitaxial estratificada para dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, a un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y a un método para la fabricación de un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, según se definen en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, la estructura epitaxial estratificada para dispositivos de PHEMT comprende:

45 • una capa de superred y tampón;

• una capa barrera de soporte no dopada formada sobre la capa de superred y tampón y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);

- una capa de dopado delta de soporte dopada formada sobre la capa barrera de soporte;
- una capa separadora de soporte no dopada formada sobre la capa de dopado delta de soporte y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);
- 5 • una capa canal no dopada formada sobre la capa separadora de soporte y compuesta por indio galio arsénido (InGaAs);
- una capa separadora no dopada formada sobre la capa canal y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);
- una capa de dopado delta formada sobre la capa separadora;
- una capa barrera de enriquecimiento no dopada formada sobre la capa de dopado delta;
- 10 • una primera capa de detención de ataque químico dopada formada sobre la capa barrera de enriquecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs);
- una primera capa barrera de empobrecimiento dopada formada sobre la primera capa de detención de ataque químico;
- una segunda capa barrera de empobrecimiento no dopada formada sobre la primera capa barrera de empobrecimiento;
- 15 • una segunda capa de detención de ataque químico dopada formada sobre la segunda capa barrera de empobrecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs);
- una primera capa de cubierta dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs);
- 20 • una segunda capa de cubierta no dopada formada sobre la primera capa de cubierta y compuesta por galio arsénido (GaAs);
- una tercera capa de detención de ataque químico dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa de cubierta y compuesta por aluminio arsénido (AlAs); y
- una capa óhmica dopada con dopado de tipo n, formada sobre la tercera capa de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs).
- 25 Además, el dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según la presente invención comprende:
 - la estructura epitaxial estratificada indicada anteriormente;
 - una primera región que comprende
 - un primer rebaje formado verticalmente a través de la capa óhmica y la tercera capa de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa de cubierta,
 - 30 - un segundo rebaje que es más estrecho que el primer rebaje y que se extiende verticalmente desde el primer rebaje a través de la segunda capa de cubierta, la primera capa de cubierta y la segunda capa de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa barrera de empobrecimiento, y
 - 35 - un tercer rebaje que es más estrecho que el segundo rebaje y que se extiende verticalmente desde el segundo rebaje a través de la segunda capa barrera de empobrecimiento, la primera capa barrera de empobrecimiento y la primera capa de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una superficie superior de la capa barrera de enriquecimiento que define una primera región de contacto de Schottky;
 - una segunda región distanciada lateralmente, y eléctricamente aislada, de dicha primera región y que comprende
 - un cuarto rebaje formado verticalmente a través de la capa óhmica y la tercera capa de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa de cubierta, y
 - 40

- un quinto rebaje que es más estrecho que el cuarto rebaje y que se extiende verticalmente desde el cuarto rebaje a través de la segunda capa de cubierta, la primera capa de cubierta y la segunda capa de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa barrera de empobrecimiento que define una segunda región de contacto de Schottky;

5 • un transistor de enriquecimiento formado en la primera región y que comprende

- primeros electrodos de fuente y de drenaje formados sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa óhmica en la primera región por fuera del primer rebaje, y

10 - un primer electrodo de compuerta formado en el tercer rebaje en contacto de Schottky con la superficie superior de la capa barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky y que se extiende verticalmente desde dicha primera región de contacto de Schottky a través de los rebajes tercero, segundo y primero de modo que sobresale de dicho primer rebaje; y

• un transistor de empobrecimiento formado en la segunda región y que comprende

- segundos electrodos de fuente y de drenaje formados sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa óhmica en la segunda región por fuera del cuarto rebaje, y

15 - un segundo electrodo de compuerta formado en el quinto rebaje en contacto de Schottky con la segunda superficie superior de la segunda capa barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky y que se extiende verticalmente desde dicha segunda región de contacto de Schottky a través de los rebajes quinto y cuarto de modo que sobresale de dicho cuarto rebaje.

Breve descripción de los dibujos

20 Para una mejor comprensión de la presente invención, a continuación se ilustrarán algunas realizaciones preferidas, proporcionadas a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos (que no están a escala), en los que:

25 • las figuras 1-6 son vistas en sección esquemáticas que ilustran etapas de fabricación sucesivas de un primer dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según una primera realización preferida de la presente invención; y

• las figuras 7 y 8 son vistas en sección esquemáticas de un segundo dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según una segunda realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

30 La presente invención se describirá a continuación en detalle con referencia a las figuras adjuntas para permitir que un experto en el campo la implemente y la use. Diversas modificaciones de las realizaciones descritas resultarán inmediatamente evidentes para los expertos en el campo, y los principios genéricos descritos en el presente documento pueden aplicarse a otras realizaciones y aplicaciones sin apartarse del alcance de protección de la presente invención, según se define en las reivindicaciones adjuntas. Por tanto, la presente invención no ha de considerarse limitada a las realizaciones descritas e ilustradas en el presente documento, sino que ha de otorgársele el más amplio alcance de protección de conformidad con los principios y características que se describen y reivindicación en el presente documento.

40 Las figuras 1-6 son vistas en sección esquemáticas que ilustran etapas de fabricación sucesivas de un primer dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según una primera realización preferida de la presente invención, estando indicado dicho primer dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento en su conjunto en dichas figuras 1-6 mediante el número de referencia 1.

En particular, haciendo referencia a la figura 1, el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento comprende una estructura epitaxial estratificada que incluye:

45 • una capa 11 de superred y tampón, cuya función consiste principalmente en permitir el crecimiento de la estructura epitaxial estratificada descrita en el presente documento y mostrada en la figura 1 sobre sustratos de galio arsénido (GaAs) semiaislantes, garantizando un confinamiento eficaz de electrones en un canal compuesto por indio galio arsénido (InGaAs) (estando indicado dicho canal de InGaAs en la figura 1 mediante el número de referencia 15 y descrito en detalle a continuación) y evitando la formación de canales conductores no deseados en las capas por debajo del canal de indio galio arsénido (InGaAs); una posible realización de dicha capa 11 de superred y tampón,

- que en cualquier caso prevé múltiples soluciones alternativas, es la de alternar capas no dopadas de aluminio arsénido (AlAs) y galio arsénido (GaAs) con grosores de aproximadamente unas pocas decenas de nanómetros (nm), repitiendo el crecimiento de estas capas aproximadamente diez veces; sin embargo, aún es posible hacer uso también de soluciones que usan capas de aluminio galio arsénido (AlGaAs) en lugar de las capas de aluminio arsénido (AlAs) o, en cualquier caso, otras soluciones epitaxiales usadas para eliminar la formación de canales eléctricamente conductores parásitos;
- 5
- una capa 12 barrera de soporte no dopada, formada sobre la capa 11 de superred y tampón y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs), teniendo dicha capa 12 barrera de soporte preferiblemente una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28% y un grosor mayor que 0 nm y menor que o igual a 50 nm;
- 10
- una capa 13 de dopado delta de soporte dopada, formada sobre la capa 12 barrera de soporte, teniendo dicha capa 13 de dopado delta de soporte un nivel de dopado mayor que 0 y menor que o igual a $4e^{12}$;
- una capa 14 separadora de soporte no dopada, formada sobre la capa 13 de dopado delta de soporte y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs), teniendo dicha capa 14 separadora de soporte preferiblemente una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28% y un grosor dentro del intervalo de 3-10
- 15 nm;
- una capa 15 canal no dopada, formada sobre la capa 14 separadora de soporte y compuesta por indio galio arsénido (InGaAs), teniendo dicha capa 15 canal preferiblemente una concentración en peso de indio (In) dentro del intervalo del 15%-25% y un grosor dentro del intervalo de 10-20 nm;
- una capa 16 separadora no dopada, formada sobre la capa 15 canal y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs), teniendo dicha capa 16 separadora preferiblemente una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28% y un grosor dentro del intervalo de 3-10 nm;
- 20
- una capa 17 de dopado delta formada sobre la capa 16 separadora; en particular, dicha capa 17 de dopado delta puede estar no dopada o dopada con un nivel de dopado mayor que 0 y menor que o igual a $4e^{12}$;
- una capa 18 barrera de enriquecimiento no dopada, formada sobre la capa 17 de dopado delta y compuesta por galio arsénido (GaAs) (o aluminio galio arsénido (AlGaAs), preferiblemente con una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28%), teniendo dicha capa 18 barrera de enriquecimiento preferiblemente un grosor mayor que 0 nm y menor que o igual a 30 nm;
- 25
- una primera capa 19 de detención de ataque químico dopada, formada sobre la capa 18 barrera de enriquecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs), teniendo dicha primera capa 19 de detención de ataque químico preferiblemente un nivel de dopado mayor que 0 y menor que o igual a $6e^{18}$, y un grosor dentro del intervalo de 1,5-2,5 nm;
- 30
- una primera capa 20 barrera de empobrecimiento dopada, formada sobre la primera capa 19 de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs) (o aluminio galio arsénido (AlGaAs), preferiblemente con una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28%), teniendo dicha primera capa 20 barrera de empobrecimiento preferiblemente un grosor dentro del intervalo de 10-30 nm y un nivel de dopado mayor que 0 y menor que o igual a $6e^{18}$;
- 35
- una segunda capa 21 barrera de empobrecimiento no dopada, formada sobre la primera capa 20 barrera de empobrecimiento y compuesta por galio arsénido (GaAs) (o aluminio galio arsénido (AlGaAs), preferiblemente con una concentración en peso de aluminio (Al) dentro del intervalo del 18%-28%), teniendo dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento preferiblemente un grosor mayor que 0 nm y menor que o igual a 10 nm;
- 40
- una segunda capa 22 de detención de ataque químico dopada, formada sobre la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs), teniendo dicha segunda capa 22 de detención de ataque químico preferiblemente un nivel de dopado mayor que 0 y menor que o igual a $6e^{18}$ y un grosor dentro del intervalo de 1,5-2,5 nm;
- 45
- una primera capa 23 de cubierta dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa 22 de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs), teniendo dicha primera capa 23 de cubierta preferiblemente un nivel de dopado dentro del intervalo de $1e^{17}$ - $6e^{17}$ y un grosor dentro del intervalo de 20-50 nm;
- una segunda capa 24 de cubierta no dopada formada sobre la primera capa 23 de cubierta, teniendo dicha segunda capa 24 de cubierta preferiblemente un grosor mayor que 0 nm y menor que o igual a 10 nm;
- 50
- una tercera capa 25 de detención de ataque químico dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa

24 de cubierta y compuesta por aluminio arsénido (AlAs), teniendo dicha tercera capa 25 de detención de ataque químico preferiblemente un nivel de dopado dentro del intervalo de $1e^{18}$ - $6e^{18}$ y un grosor dentro del intervalo de 1,5-2,5 nm; y

- 5 • una capa 26 óhmica dopada con dopado de tipo n, formada sobre la tercera capa 25 de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs), teniendo dicha capa 26 óhmica preferiblemente un nivel de dopado dentro del intervalo de $1e^{18}$ - $6e^{18}$ y un grosor dentro del intervalo de 30-70 nm.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento también comprende:

- 10 • una primera región 27 en la que se fabrica un transistor de enriquecimiento, tal como se describirá en detalle a continuación;
- una segunda región 28 que está distanciada lateralmente de la primera región 27 y en la que se fabrica un transistor de empobrecimiento, tal como se describirá en detalle a continuación;
- 15 • un primer par 29 de electrodos que comprende un primer electrodo de fuente y un primer electrodo de drenaje dispuestos en la primera región 27; formándose dicho primer electrodo de fuente sobre, y en contacto óhmico con, una primera zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la primera región 27 y que define una primera región de contacto óhmico; formándose dicho primer electrodo de drenaje sobre, y en contacto óhmico con, una segunda zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la primera región 27 y que define una segunda región de contacto óhmico distanciada lateralmente de la primera región de contacto óhmico, en particular preferiblemente separada una distancia dentro del intervalo de 3-6 μ m; y
- 20 • un segundo par 30 de electrodos que comprende un segundo electrodo de fuente y un segundo electrodo de drenaje dispuestos en la segunda región 28; formándose dicho segundo electrodo de fuente sobre, y en contacto óhmico con, una tercera zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la segunda región 28 y que define una tercera región de contacto óhmico; formándose dicho segundo electrodo de drenaje sobre, y en contacto óhmico con, una cuarta zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la segunda región 28 y que define una cuarta región de contacto óhmico distanciada lateralmente de la tercera región de contacto óhmico, en particular preferiblemente separada una distancia dentro del intervalo de 3-6 μ m.

Preferiblemente dichos pares 29 y 30 de electrodos se fabrican formando una primera máscara (por motivos de simplicidad, no mostrada en la figura 1) sobre la capa 26 óhmica de modo que sólo se dejan las cuatro regiones de contacto óhmico al descubierto. Dicha primera máscara se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre la capa 26 óhmica y con un patrón tal que se forma una respectiva ventana sobre cada región de contacto óhmico. Las metalizaciones de los electrodos de fuente y de drenaje se depositan entonces sobre las cuatro regiones de contacto óhmico a través de las cuatro ventanas de la primera máscara y se someten a un tratamiento de recocido.

Después de haber realizado los pares 29 y 30 de electrodos, la primera región 27 y la segunda región 28 del primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se aíslan eléctricamente a través de implantación de iones.

En particular, haciendo referencia de nuevo a la figura 1, se forman una primera barrera 31 aislante eléctrica y una segunda barrera 32 aislante eléctrica mediante implantación de iones en la estructura epitaxial estratificada por fuera de la primera región 27 y la segunda región 28, respectivamente, de modo que rodean lateralmente, y por tanto aíslan eléctricamente, dicha primera región 27 y dicha segunda región 28, respectivamente.

La implantación de iones se lleva a cabo preferiblemente usando una segunda máscara (por motivos de simplicidad, no mostrada en la figura 1) formada sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento de modo que cubre la primera región 27 y la segunda región 28, o más bien de modo que se deja al descubierto las superficies superiores de una quinta y una sexta zona de la capa 26 óhmica que se extienden por fuera de dicha primera región 27 y de dicha segunda región 28, respectivamente.

Dicha segunda máscara se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y con un patrón tal que se forma una primera abertura sobre la superficie superior de la quinta zona de la capa 26 óhmica y una segunda abertura sobre la superficie superior de la sexta zona de la capa 26 óhmica. A continuación se lleva a cabo la implantación de iones de modo que se implantan iones a través de las dos aberturas de la segunda máscara y en las zonas quinta y sexta de la capa 26 óhmica y también en las zonas subyacentes correspondientes de todas las capas de la estructura epitaxial estratificada, es decir hasta la capa 11 de superred y tampón.

Haciendo referencia a la figura 2, después de haber aislado eléctricamente la primera región 27 y la segunda región 28 del dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, se forman un primer rebaje 33 y un segundo rebaje 34 en dicha primera región 27 y en dicha segunda región 28, respectivamente.

5 En particular, dicho primer rebaje 33 se forma a través de una séptima zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la primera región 27 y distanciada lateralmente de las zonas primera y segunda de la capa 26 óhmica, es decir de las regiones de contacto óhmico primera y segunda, y también a través de una primera zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha séptima zona de la capa 26 óhmica, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una primera zona de la segunda capa 24 de cubierta que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha primera zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico.

15 Además, dicho segundo rebaje 34 se forma a través de una octava zona de la capa 26 óhmica que se extiende en la segunda región 28 y distanciada lateralmente de las zonas tercera y cuarta de la capa 26 óhmica, es decir de las regiones de contacto óhmico tercera y cuarta, y también a través de una segunda zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico que se extiende en la segunda región 28 por debajo de dicha octava zona de la capa 26 óhmica, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta que se extiende en la segunda región 28 por debajo de dicha segunda zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico.

20 Para formar dicho primer rebaje 33 y dicho segundo rebaje 34, se forma preferiblemente una tercera máscara 35 sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento de modo que se dejan sólo las superficies superiores de las zonas séptima y octava de la capa 26 óhmica al descubierto.

25 Dicha tercera máscara 35 se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y con un patrón tal que se forma una primera ventana 35a sobre la superficie superior de la séptima zona de la capa 26 óhmica y una segunda ventana 35b sobre la superficie superior de la octava zona de la capa 26 óhmica, teniendo dicha primera ventana 35a y dicha segunda ventana 35b de la tercera máscara 35 una anchura lateral preferiblemente dentro del intervalo de 2-5 μm .

Después de haber formado la tercera máscara 35, se forman el primer rebaje 33 y el segundo rebaje 34 por medio de un primer procedimiento de ataque químico, en seco o en mojado, que se lleva a cabo a través de la primera ventana 35a y la segunda ventana 35b de dicha tercera máscara 35.

30 En particular, dicho primer procedimiento de ataque químico, que puede llevarse a cabo por medio de una única disolución química o una secuencia oportuna de disoluciones químicas, elimina:

35 • la séptima zona de la capa 26 óhmica y también la primera zona subyacente de la tercera capa 25 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la segunda capa 24 de cubierta de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la primera zona de dicha segunda capa 24 de cubierta que se extiende en la primera región 27 por debajo de la primera zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho primer procedimiento de ataque químico; y

40 • la octava zona de la capa 26 óhmica y también la segunda zona subyacente de la tercera capa 25 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la segunda capa 24 de cubierta de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la segunda zona de dicha segunda capa 24 de cubierta que se extiende en la segunda región 28 por debajo de la segunda zona de la tercera capa 25 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho primer procedimiento de ataque químico.

Haciendo referencia a la figura 3, después de haber formado el primer rebaje 33 y el segundo rebaje 34, se forma un tercer rebaje 36 en la primera región 27.

45 En particular, dicho tercer rebaje 36 se forma a través de una primera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, a través de una primera zona de la primera capa 23 de cubierta que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha primera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, y también a través de una primera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha primera zona de la primera capa 23 de cubierta, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha primera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico.

50 Para formar dicho tercer rebaje 36, se forma preferiblemente una cuarta máscara 37 sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento de modo que se deja al descubierto sólo una superficie superior de la primera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta.

Dicha cuarta máscara 37 se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y con un patrón tal que se forma una ventana 37a sobre la superficie superior de la primera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, teniendo dicha ventana 37a de la cuarta máscara 37 una anchura lateral preferiblemente dentro del intervalo de 0,1-0,5 μm .

Después de haber formado la cuarta máscara 37, se forma el tercer rebaje 36 por medio de un segundo procedimiento de ataque químico, en seco o en mojado, que se lleva a cabo a través de la ventana 37a de dicha cuarta máscara 37.

En particular, dicho segundo procedimiento de ataque químico, que puede llevarse a cabo por medio de una única disolución química o una secuencia oportuna de disoluciones químicas, elimina la primera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, la primera zona de la primera capa 23 de cubierta y también la primera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la primera zona de dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende en la primera región 27 por debajo de la primera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho segundo procedimiento de ataque químico.

Haciendo referencia a la figura 4, después de haber formado el tercer rebaje 36, dicho tercer rebaje 36 se ensancha, formando un tercer rebaje 36* ensanchado que se extiende en la primera región 27 y se forman simultáneamente un cuarto rebaje 38 y un quinto rebaje 39 en la primera región 27 y en la segunda región 28, respectivamente.

En particular, dicho tercer rebaje 36* ensanchado se forma a través de una segunda subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta que se extiende en la primera región 27 y que, antes de dicho ensanchamiento, rodea lateralmente el tercer rebaje 36, a través de una segunda zona de la primera capa 23 de cubierta que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha segunda subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta y que, antes de dicho ensanchamiento, rodea lateralmente el tercer rebaje 36, y también a través de una segunda zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha segunda zona de la primera capa 23 de cubierta y que, antes de dicho ensanchamiento, rodea lateralmente el tercer rebaje 36, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha segunda zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico, y que, antes de la formación del cuarto rebaje 38, rodea lateralmente la primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, mientras que, después de la formación del cuarto rebaje 38, rodea lateralmente dicho cuarto rebaje 38.

Además, dicho cuarto rebaje 38 se forma a través de la primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, a través de una zona de la primera capa 20 barrera de empobrecimiento que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, y también a través de una zona de la primera capa 19 de detención de ataque químico que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha zona de la primera capa 20 barrera de empobrecimiento, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una zona de la capa 18 barrera de enriquecimiento que se extiende en la primera región 27 por debajo de dicha zona de la primera capa 19 de detención de ataque químico y define una primera región de contacto de Schottky.

Además, dicho quinto rebaje 39 se forma a través de una primera subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta, a través de una tercera zona de la primera capa 23 de cubierta que se extiende en la segunda región 28 por debajo de dicha primera subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta, y también a través de una tercera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico que se extiende en la segunda región 28 por debajo de dicha tercera zona de la primera capa 23 de cubierta, de modo que se deja al descubierto una superficie superior de una tercera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende en la segunda región 28 por debajo de dicha tercera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico y define una segunda región de contacto de Schottky.

Para ensanchar dicho tercer rebaje 36 y formar dicho cuarto rebaje 38 y dicho quinto rebaje 39, se forma preferiblemente una quinta máscara 40 sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento de modo que se deja al descubierto sólo las superficies superiores de la segunda subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, de la primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento y de la primera subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta.

Dicha quinta máscara 40 se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y con un patrón tal que se forma:

- una primera ventana 40a sobre el tercer rebaje 36 y la superficie superior de la segunda subzona de la primera

zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente dicho tercer rebaje 36; y

- una segunda ventana 40b sobre la superficie superior de la primera subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta. Preferiblemente, dicha primera ventana 40a y dicha segunda ventana 40b de la quinta máscara 40 tienen una anchura lateral dentro del intervalo de 0,2-0,7 μm o incluso mayor.

5 Después de haber formado la quinta máscara 40, se forman el tercer rebaje 36* ensanchado, el cuarto rebaje 38 y el quinto rebaje 39 por medio de un tercer procedimiento de ataque químico, en seco o en mojado, que se lleva a cabo a través de la primera ventana 40a y la segunda ventana 40b de dicha quinta máscara 40.

En particular, dicho tercer procedimiento de ataque químico, que puede llevarse a cabo por medio de una única disolución química o una secuencia oportuna de disoluciones química, elimina:

10 • la segunda subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, la segunda zona de la primera capa 23 de cubierta y la segunda zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la segunda zona de dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende por debajo de la segunda zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho tercer procedimiento de ataque químico;

15 • la primera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, la zona subyacente de la primera capa 20 barrera de empobrecimiento y la zona subyacente de la primera capa 19 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la capa 18 barrera de enriquecimiento de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la zona de dicha capa 18 barrera de enriquecimiento que se extiende por debajo de la zona de la primera capa 19 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho tercer procedimiento de ataque químico y que define dicha primera región de contacto de Schottky; y

20 • la primera subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta, la tercera zona de la primera capa 23 de cubierta y la tercera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico, deteniéndose en la superficie de contacto con la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento de modo que se deja al descubierto la superficie superior de la tercera zona de dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que se extiende por debajo de la tercera zona de la segunda capa 22 de detención de ataque químico eliminada mediante dicho tercer procedimiento de ataque químico y que define dicha segunda región de contacto de Schottky.

25 Haciendo referencia a la figuras 5 y 6, después de haber formado el tercer rebaje 36* ensanchado, el cuarto rebaje 38 y el quinto rebaje 39, se forman un primer electrodo 41 de compuerta y un segundo electrodo 42 de compuerta en la primera región 27 y en la segunda región 28, respectivamente, realizando de ese modo un transistor de enriquecimiento en la primera región 27 y un transistor de empobrecimiento en la segunda región 28.

30 En particular, dicho primer electrodo 41 de compuerta se forma en el cuarto rebaje 38, en el tercer rebaje 36* ensanchado y en el primer rebaje 33, y dicho segundo electrodo 42 de compuerta se forma en el quinto rebaje 39 y en el segundo rebaje 34.

35 En detalle, el primer electrodo 41 de compuerta se forma de modo que comprende:

- una zona de contacto de Schottky que se forma sobre, y está en contacto de Schottky con, dicha zona de la capa 18 barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky, que se extiende verticalmente a través de la totalidad del cuarto rebaje 38, y puede adherirse o no a las paredes laterales del cuarto rebaje 38; y

40 • una zona de placa de campo que se extiende verticalmente a través de la totalidad del tercer rebaje 36* ensanchado y la totalidad del primer rebaje 33 llegando a sobresalir en altura de dicho primer rebaje 33, que se extiende lateralmente sobre la superficie superior de la segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que rodea lateralmente el cuarto rebaje 38 de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, y puede adherirse o no a las paredes laterales del tercer rebaje 36* ensanchado.

45 Además, el segundo electrodo 42 de compuerta se forma sobre, y está en contacto de Schottky con, dicha tercera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky, se forma de modo que se extiende verticalmente a través de la totalidad del quinto rebaje 39 y la totalidad del segundo rebaje 34 llegando a sobresalir en altura de dicho segundo rebaje 34, y puede adherirse o no a las paredes laterales del quinto rebaje 39.

50 Preferiblemente, tal como se muestra en la figura 5, dichos electrodos 41 y 42 de compuerta se realizan usando la quinta máscara 40.

En particular, el primer electrodo 41 de compuerta se realiza preferiblemente por medio de deposición química en fase de vapor autoalineada con la primera ventana 40a de la quinta máscara 40 y el segundo electrodo 42 de compuerta se realiza preferiblemente por medio de deposición química en fase de vapor autoalineada con la segunda ventana 40b de dicha quinta máscara 40.

- 5 La figura 6 muestra el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento que comprende el transistor de enriquecimiento realizado en la primera región 27 y el transistor de empobrecimiento realizado en la segunda región 28 después de retirar la quinta máscara 40.

10 Las figuras 7 y 8 son vistas en sección esquemáticas de un segundo dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento realizado según una segunda realización preferida de la presente invención, estando indicado dicho segundo dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento en su conjunto en dichas figuras 7 y 8 mediante el número de referencia 1'.

15 En particular, el segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se realiza con el mismo procedimiento de fabricación descrito en relación con el primer dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento hasta la etapa de formación del tercer rebaje 36* ensanchado, el cuarto rebaje 38 y el quinto rebaje 39, mientras que la etapa de formación de los electrodos de compuerta del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento es diferente de la descrita anteriormente en relación con el dispositivo 1 de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento.

20 En detalle, haciendo referencia a la figuras 7 y 8, después de haber formado el tercer rebaje 36* ensanchado, el cuarto rebaje 38 y el quinto rebaje 39, se forman un primer electrodo 43 de compuerta y un segundo electrodo 44 de compuerta del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento en la primera región 27 y en la segunda región 28, respectivamente, del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, realizando de ese modo un transistor de enriquecimiento en dicha primera región 27 del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y un transistor de empobrecimiento en dicha segunda región 28 del dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento. En particular, dicho primer electrodo 43 de compuerta del transistor de enriquecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se forma en el cuarto rebaje 38, en el tercer rebaje 36* ensanchado y en el primer rebaje 33, mientras que dicho segundo electrodo 44 de compuerta del transistor de empobrecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se forma en el quinto rebaje 39 y en el segundo rebaje 34.

30 Entrando todavía en más detalle, el primer electrodo 43 de compuerta del transistor de enriquecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se forma de modo que comprende:

35 • una respectiva zona de contacto de Schottky que se forma sobre, y está en contacto de Schottky con, dicha zona de la capa 18 barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky, que se extiende verticalmente a través de la totalidad del cuarto rebaje 38, y puede adherirse o no a las paredes laterales del cuarto rebaje 38; y

40 • una respectiva zona de placa de campo que se extiende verticalmente a través de la totalidad del tercer rebaje 36* ensanchado y la totalidad del primer rebaje 33 llegando a sobresalir en altura de dicho primer rebaje 33, que se extiende lateralmente sobre la superficie superior de la segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que rodea lateralmente el cuarto rebaje 38 de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, extendiéndose también lateralmente sobre la superficie superior de una tercera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente el tercer rebaje 36* ensanchado de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha tercera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta, y puede adherirse o no a las paredes laterales del tercer rebaje 36* ensanchado.

45 Además, el segundo electrodo 44 de compuerta del transistor de empobrecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento se forma de modo que comprende:

50 • una respectiva zona de contacto de Schottky que se forma sobre, y está en contacto de Schottky con, dicha tercera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky, que se extiende verticalmente a través de la totalidad del quinto rebaje 39, y puede adherirse o no a las paredes laterales del quinto rebaje 39; y

• una respectiva zona de placa de campo que se extiende verticalmente a través de la totalidad del segundo rebaje 34 llegando a sobresalir en altura de dicho segundo rebaje 34, y que se extiende lateralmente sobre la superficie superior de una segunda subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente el quinto rebaje 39 de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha segunda subzona de la

segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta.

Preferiblemente, tal como se muestra en la figura 7, para formar dichos electrodos 43 y 44 de compuerta del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, se forma una sexta máscara 45 sobre el segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento de modo que se deja al descubierto sólo las superficies superiores de la zona de la capa 18 barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky, de la segunda zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que rodea lateralmente el cuarto rebaje 38, de la tercera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente el tercer rebaje 36* ensanchado, de la tercera zona de la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky y de la segunda subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente el quinto rebaje 39.

Dicha sexta máscara 45 se forma convenientemente por medio de una capa de fotoprotector depositada sobre el segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento y con un patrón tal que se forma:

- una primera ventana 45a sobre el tercer rebaje 36* ensanchado y la superficie superior de la tercera subzona de la primera zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente dicho tercer rebaje 36* ensanchado; y
- una segunda ventana 45b sobre el quinto rebaje 39 y la superficie superior de la segunda subzona de la segunda zona de la segunda capa 24 de cubierta que rodea lateralmente dicho quinto rebaje 39.

Después de haber formado la sexta máscara 45, se realiza el primer electrodo 43 de compuerta del transistor de enriquecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento preferiblemente por medio de deposición química en fase de vapor autoalineada con la primera ventana 45a de la sexta máscara 45, y se realiza el segundo electrodo 44 de compuerta del transistor de empobrecimiento del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento preferiblemente por medio de deposición química en fase de vapor autoalineada con la segunda ventana 45b de dicha sexta máscara 45.

La figura 8 muestra el segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento que comprende el transistor de enriquecimiento realizado en la primera región 27 y el transistor de empobrecimiento realizado en la segunda región 28 después de retirar la sexta máscara 45.

La presente invención presenta numerosas ventajas.

En particular, según la presente invención las capas 19, 22 y 25 de detención de ataque químico, que permiten la realización del primer rebaje 33, el segundo rebaje 34, el tercer rebaje 36, el tercer rebaje 36* ensanchado, el cuarto rebaje 38 y el quinto rebaje 39 de manera controlada, están compuestas por aluminio arsénido (AIAs) en lugar de indio galio fosforo (InGaP) como en los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento conocidos actualmente. Esta característica innovadora de la presente invención garantiza que los procedimientos de fabricación descritos anteriormente presenten una gran uniformidad y gran repetibilidad.

Además, según la presente invención:

- la capa 18 barrera de enriquecimiento no dopada permite la reducción de corriente de fuga desde las zonas de contacto de Schottky de los primeros electrodos 41 y 43 de compuerta de los transistores de enriquecimiento que están formados sobre, y en contacto de Schottky con, dicha capa 18 barrera de enriquecimiento;
- la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento no dopada permite la reducción de corriente de fuga de las zonas de placa de campo de los primeros electrodos 41 y 43 de compuerta de los transistores de enriquecimiento que descansan sobre y están soportados mecánicamente por dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento;
- la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento no dopada permite la reducción de corriente de fuga de las zonas de contacto de Schottky de los segundos electrodos 42 y 44 de compuerta de los transistores de empobrecimiento que están formados sobre, y en contacto de Schottky con, dicha segunda capa 21 barrera de empobrecimiento; y
- la segunda capa 24 de cubierta no dopada permite la reducción de corriente de fuga de las zonas de placa de campo del primer electrodo 43 de compuerta y del segundo electrodo 44 de compuerta del segundo dispositivo 1' de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento que descansan sobre y están soportados mecánicamente por dicha segunda capa 24 de cubierta.

Además, la estructura epitaxial estratificada y los procedimientos de fabricación según la presente invención permiten impedir que las capas a base de aluminio queden expuestas al aire, de modo que se reducen los fenómenos de disrupción de corriente observados a menudo cuando se exponen capas a base de aluminio al aire.

5 Además, la capa 18 barrera de enriquecimiento, la primera capa 20 barrera de empobrecimiento, la segunda capa 21 barrera de empobrecimiento, la primera capa 23 de cubierta, la segunda capa 24 de cubierta y la capa 26 óhmica realizadas, según una realización preferida de la presente invención, de galio arsénido (GaAs) en lugar de aluminio galio arsénido (AlGaAs) como en los dispositivos de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento conocidos actualmente, permite la obtención de una barrera inferior para los electrones que fluyen entre los contactos de fuente y de drenaje en el canal del transistor de enriquecimiento y en el canal del transistor de empobrecimiento.

Finalmente, la fabricación de las zonas de placa de campo de los electrodos de compuerta permite la reducción de la conductancia de salida de los transistores de enriquecimiento y los transistores de empobrecimiento, representando dicha conductancia de salida un factor crítico para el rendimiento de circuitos digitales.

10

REIVINDICACIONES

1. Estructura epitaxial estratificada para dispositivos (1; 1') de PHEMT de enriquecimiento y empobrecimiento, que comprende:
- una capa (11) de superred y tampón;
- 5
- una capa (12) barrera de soporte no dopada formada sobre la capa (11) de superred y tampón y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);
 - una capa (13) de dopado delta de soporte dopada formada sobre la capa (12) barrera de soporte;
 - una capa (14) separadora de soporte no dopada formada sobre la capa (13) de dopado delta de soporte y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);
- 10
- una capa (15) canal no dopada formada sobre la capa (14) separadora de soporte y compuesta por indio galio arsénido (InGaAs);
 - una capa (16) separadora no dopada formada sobre la capa (15) canal y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs);
 - una capa (17) de dopado delta formada sobre la capa (16) separadora;
- 15
- una capa (18) barrera de enriquecimiento no dopada formada sobre la capa (17) de dopado delta;
 - una primera capa (19) de detención de ataque químico dopada, formada sobre la capa (18) barrera de enriquecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs);
 - una primera capa (20) barrera de empobrecimiento dopada formada sobre la primera capa (19) de detención de ataque químico;
- 20
- una segunda capa (21) barrera de empobrecimiento no dopada formada sobre la primera capa (20) barrera de empobrecimiento;
 - una segunda capa (22) de detención de ataque químico dopada formada sobre la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs);
 - una primera capa (23) de cubierta dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa (22) de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs);
- 25
- una segunda capa (24) de cubierta no dopada formada sobre la primera capa (23) de cubierta y compuesta por galio arsénido (GaAs);
 - una tercera capa (25) de detención de ataque químico dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa (24) de cubierta y compuesta por aluminio arsénido (AlAs); y
- 30
- una capa (26) óhmica dopada con dopado de tipo n, formada sobre la tercera capa (25) de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs).
2. Estructura epitaxial estratificada según la reivindicación 1, en la que la capa (18) barrera de enriquecimiento, la primera capa (20) barrera de empobrecimiento y la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento están compuestas por galio arsénido (GaAs).
- 35
3. Dispositivo (1; 1') de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento que comprende:
- la estructura epitaxial estratificada según las reivindicaciones 1 ó 2;
 - una primera región (27) que comprende
- un primer rebaje (33) formado verticalmente a través de la capa (26) óhmica y la tercera capa (25) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta,
- 40

- un segundo rebaje (36*) que es más estrecho que el primer rebaje (33) y que se extiende verticalmente desde el primer rebaje (33) a través de la segunda capa (24) de cubierta, la primera capa (23) de cubierta y la segunda capa (22) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento, y
- 5 - un tercer rebaje (38) que es más estrecho que el segundo rebaje (36*) y que se extiende verticalmente desde el segundo rebaje (36*) a través de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento, la primera capa (20) barrera de empobrecimiento y la primera capa (19) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una superficie superior de la capa (18) barrera de enriquecimiento que define una primera región de contacto de Schottky;
- 10 • una segunda región (28) distanciada lateralmente, y eléctricamente aislada, de dicha primera región (27) y que comprende
 - un cuarto rebaje (34) formado verticalmente a través de la capa (26) óhmica y la tercera capa (25) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta, y
- 15 - un quinto rebaje (39) que es más estrecho que el cuarto rebaje (34) y que se extiende verticalmente desde el cuarto rebaje (34) a través de la segunda capa (24) de cubierta, la primera capa (23) de cubierta y la segunda capa (22) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento que define una segunda región de contacto de Schottky;
 - un transistor de enriquecimiento formado en la primera región (27) y que comprende
- 20 - primeros electrodos (29) de fuente y de drenaje formados sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa (26) óhmica en la primera región (27) por fuera del primer rebaje (33), y
 - un primer electrodo (41; 43) de compuerta formado en el tercer rebaje (38) en contacto de Schottky con la superficie superior de la capa (18) barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky y que se extiende verticalmente desde dicha primera región de contacto de Schottky a través del tercer (38), el segundo (36*) y el primer rebaje (33) de modo que sobresale de dicho primer rebaje (33); y
 - 25 • un transistor de empobrecimiento formado en la segunda región (28) y que comprende
 - segundos electrodos (30) de fuente y de drenaje formados sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa (26) óhmica en la segunda región (28) por fuera del cuarto rebaje (34), y
 - un segundo electrodo (42; 44) de compuerta formado en el quinto rebaje (39) en contacto de Schottky con la segunda superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky y que se extiende verticalmente desde dicha segunda región de contacto de Schottky a través del quinto (39) y el cuarto rebaje (34) de modo que sobresale de dicho cuarto rebaje (34).
- 30 4. Dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según la reivindicación 3, en el que el primer electrodo (41; 43) de compuerta comprende una zona de placa de campo que se extiende lateralmente en el segundo rebaje (36*) sobre la primera superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha primera superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento.
- 35 5. Dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según la reivindicación 4, en el que la zona de placa de campo del primer electrodo (43) de compuerta se extiende lateralmente en el primer rebaje (33) sobre una zona de la primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha zona de la primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta.
- 40 6. Dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3-5, en el que el segundo electrodo (44) de compuerta comprende una zona de placa de campo que se extiende lateralmente en el cuarto rebaje (34) sobre una zona de la segunda superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta de modo que descansa sobre y está mecánicamente soportada por dicha zona de la segunda superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta.
- 45 7. Método de fabricación de un dispositivo de PHEMT de enriquecimiento/empobrecimiento, que comprende:
 - proporcionar una estructura epitaxial estratificada que incluye

- una capa (11) de superred y tampón,
- una capa (12) barrera de soporte no dopada formada sobre la capa (11) de superred y tampón y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs),
- una capa (13) de dopado delta de soporte dopada formada sobre la capa (12) barrera de soporte,
- 5 - una capa (14) separadora de soporte no dopada formada sobre la capa (13) de dopado delta de soporte y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs),
- una capa (15) canal no dopada formada sobre la capa (14) separadora de soporte y compuesta por indio galio arsénido (InGaAs),
- 10 - una capa (16) separadora no dopada formada sobre la capa (15) canal y compuesta por aluminio galio arsénido (AlGaAs),
- una capa (17) de dopado delta formada sobre la capa (16) separadora,
- una capa (18) barrera de enriquecimiento no dopada formada sobre la capa (17) de dopado delta,
- una primera capa (19) de detención de ataque químico dopada formada sobre la capa (18) barrera de enriquecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs),
- 15 - una primera capa (20) barrera de empobrecimiento dopada formada sobre la primera capa (19) de detención de ataque químico,
- una segunda capa (21) barrera de empobrecimiento no dopada formada sobre la primera capa (20) barrera de empobrecimiento,
- una segunda capa (22) de detención de ataque químico dopada formada sobre la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento y compuesta por aluminio arsénido (AlAs),
- 20 - una primera capa (23) de cubierta dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa (22) de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs),
- una segunda capa (24) de cubierta no dopada formada sobre la primera capa (23) de cubierta y compuesta por galio arsénido (GaAs),
- 25 - una tercera capa (25) de detención de ataque químico dopada con dopado de tipo n, formada sobre la segunda capa (24) de cubierta y compuesta por aluminio arsénido (AlAs), y
- una capa (26) óhmica dopada con dopado de tipo n, formada sobre la tercera capa (25) de detención de ataque químico y compuesta por galio arsénido (GaAs);
- 30 • formar un primer par (29) de electrodos de un transistor de enriquecimiento sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa (26) óhmica en una primera región (27) de la estructura epitaxial estratificada y un segundo par (30) de electrodos de un transistor de empobrecimiento sobre, y en contacto óhmico con, dicha capa (26) óhmica en una segunda región (28) de la estructura epitaxial estratificada distanciada lateralmente de dicha primera región (27), comprendiendo dicho primer par (29) de electrodos un primer electrodo de fuente y un primer electrodo de drenaje,
- 35 comprendiendo dicho segundo par (30) de electrodos un segundo electrodo de fuente y un segundo electrodo de drenaje;
- aislar eléctricamente la primera región (27) y la segunda región (28);
- formar
- en la primera región (27), un primer rebaje (33) que está distanciada lateralmente del primer par (29) de electrodos y que se extiende verticalmente a través de la capa (26) óhmica y la tercera capa (25) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta, y
- 40 - en la segunda región (28), un segundo rebaje (34) que está distanciada lateralmente del segundo par (30) de electrodos y que se extiende verticalmente a través de la capa (26) óhmica y la tercera capa (25) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa (24) de

cubierta;

• formar

5 - en la primera región (27), un tercer rebaje (36*) que es más estrecho que el primer rebaje (33) y que se extiende verticalmente desde el primer rebaje (33) a través de la segunda capa (24) de cubierta, la primera capa (23) de cubierta y la segunda capa (22) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una primera superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento,

10 - en la primera región (27), un cuarto rebaje (38) que es más estrecho que el tercer rebaje (36*) y que se extiende verticalmente desde el tercer rebaje (36*) a través de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento, la primera capa (20) barrera de empobrecimiento y la primera capa (19) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una superficie superior de la capa (18) barrera de enriquecimiento que define una primera región de contacto de Schottky, y

15 - en la segunda región (28), un quinto rebaje (39) que es más estrecho que el segundo rebaje (34) y que se extiende verticalmente desde el segundo rebaje (34) a través de la segunda capa (24) de cubierta, la primera capa (23) de cubierta y la segunda capa (22) de detención de ataque químico de modo que se deja al descubierto una segunda superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento que define una segunda región de contacto de Schottky; y

• formar

20 - en el cuarto rebaje (38), un primer electrodo (41; 43) de compuerta del transistor de enriquecimiento en contacto de Schottky con la superficie superior de la capa (18) barrera de enriquecimiento que define la primera región de contacto de Schottky, extendiéndose dicho primer electrodo (41; 43) de compuerta verticalmente desde dicha primera región de contacto de Schottky a través del cuarto (38), el tercer (36*) y el primer rebaje (33) de modo que sobresale de dicho primer rebaje (33), y

25 - en el quinto rebaje (39), un segundo electrodo (42; 44) de compuerta del transistor de empobrecimiento en contacto de Schottky con la segunda superficie superior de la segunda capa (21) barrera de empobrecimiento que define la segunda región de contacto de Schottky, extendiéndose dicho segundo electrodo (42; 44) de compuerta verticalmente desde dicha segunda región de contacto de Schottky a través del quinto (39) y el segundo rebaje (34) de modo que sobresale de dicho segundo rebaje (34).

8. Método según la reivindicación 7, en el que la formación del tercer rebaje (36*), el cuarto rebaje (38) y el quinto rebaje (39) comprende:

30 • formar un tercer rebaje (36) por medio de un primer procedimiento de ataque químico que se lleva a cabo usando una primera máscara (37) formada sobre la estructura epitaxial estratificada, sobre el primer par (29) de electrodos y sobre el segundo par (30) de electrodos de modo que se deja al descubierto una primera zona de la primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta para dicho primer procedimiento de ataque químico; y

35 • ensanchar dicho tercer rebaje (36) y formar el cuarto rebaje (38) y el quinto rebaje (39) por medio de un segundo procedimiento de ataque químico que se lleva a cabo usando una segunda máscara (40) formada sobre la estructura epitaxial estratificada, sobre el primer par (29) de electrodos y sobre el segundo par (30) de electrodos de modo que se deja al descubierto el tercer rebaje (36), extendiéndose una segunda zona de la primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta lateralmente desde dicho tercer rebaje (36) y una primera zona de la segunda superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta para dicho segundo procedimiento de ataque químico.

9. Método según la reivindicación 8, en el que el primer electrodo (41) de compuerta y el segundo electrodo (42) de compuerta se forman por medio de deposición química en fase de vapor que se lleva a cabo usando la segunda máscara (40).

45 10. Método según la reivindicación 8, en el que el primer electrodo (43) de compuerta y el segundo electrodo (44) de compuerta se forman por medio de deposición química en fase de vapor que se lleva a cabo usando una tercera máscara (45) formada sobre la estructura epitaxial estratificada, sobre el primer par (29) de electrodos y sobre el segundo par (30) de electrodos de modo que se deja al descubierto el cuarto rebaje (38), el tercer rebaje (36*) ensanchado, extendiéndose una tercera zona de la primera superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta lateralmente desde dicho tercer rebaje (36*) ensanchado, el quinto rebaje (39), y extendiéndose una segunda zona de la segunda superficie superior de la segunda capa (24) de cubierta lateralmente desde dicho quinto rebaje (39) para la deposición química en fase de vapor.

11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en el que aislar eléctricamente la primera región (27) y la segunda región (28) comprende formar, mediante implantación de iones:

- una primera barrera (31) aislante eléctrica que rodea la primera región (27) y que se extiende verticalmente a través de todas las capas de la estructura epitaxial estratificada; y

5 • una segunda barrera (32) aislante eléctrica que rodea la segunda región (28) y que se extiende verticalmente a través de todas las capas de la estructura epitaxial estratificada.

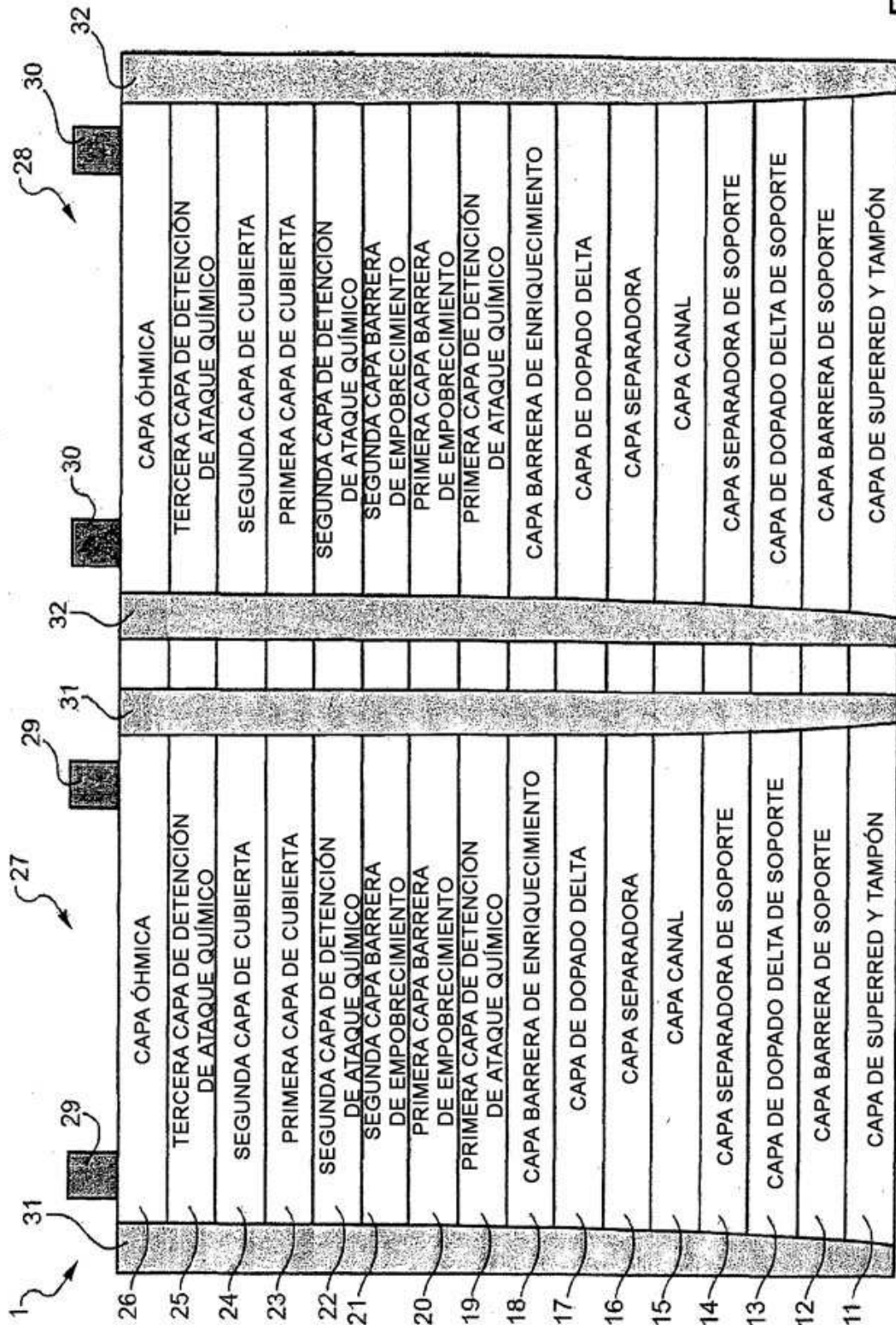


FIG. 1

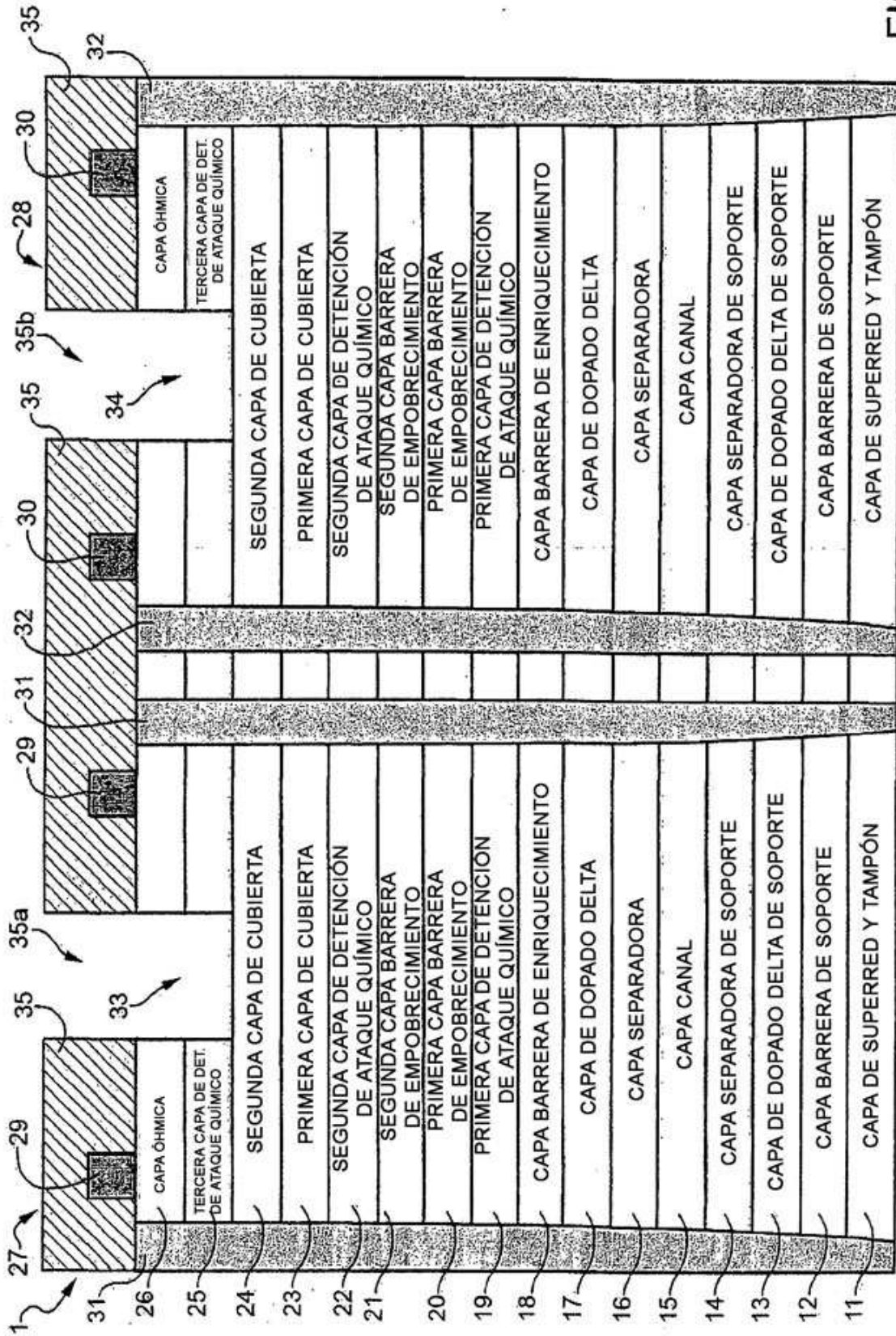


FIG. 2

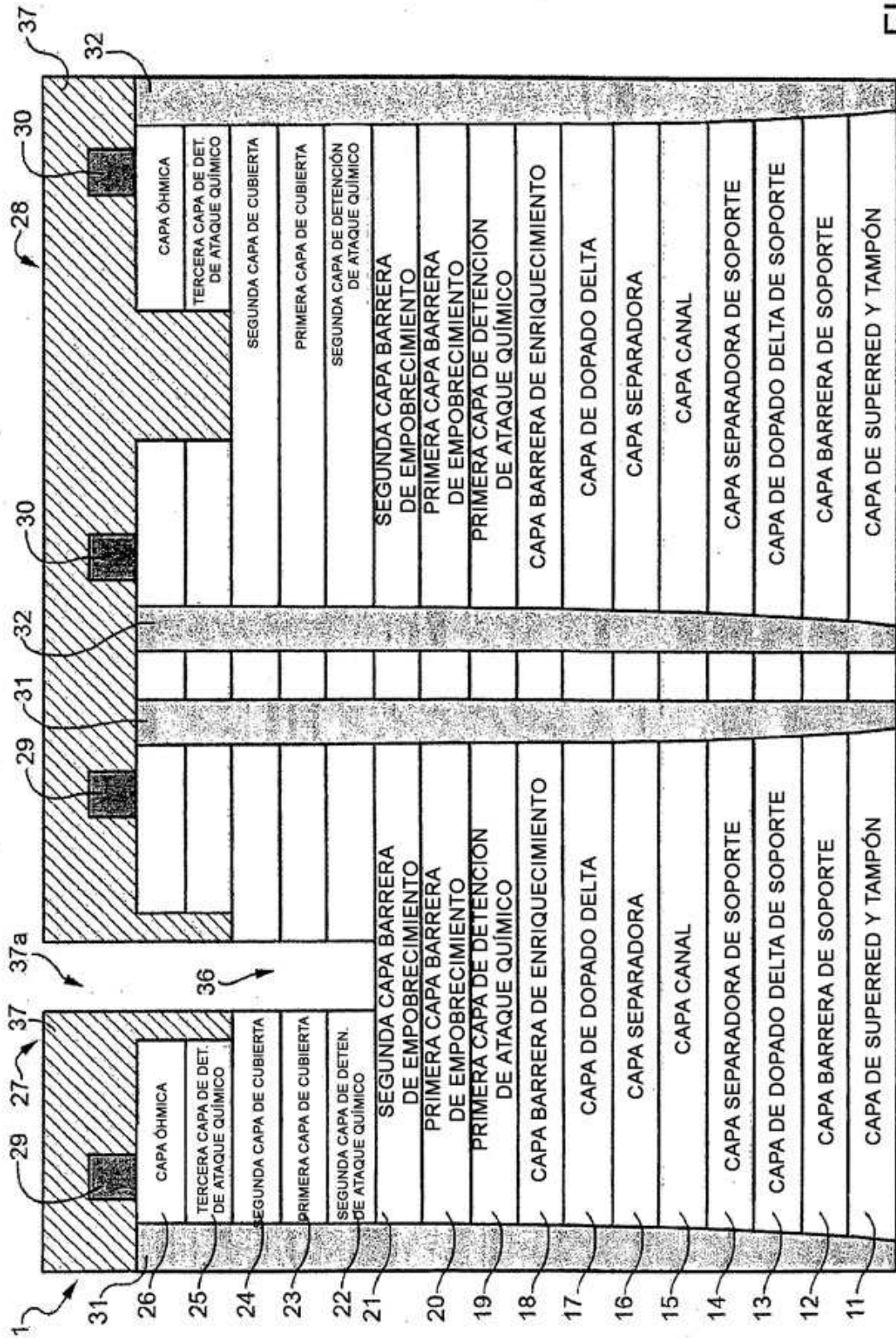


FIG. 3

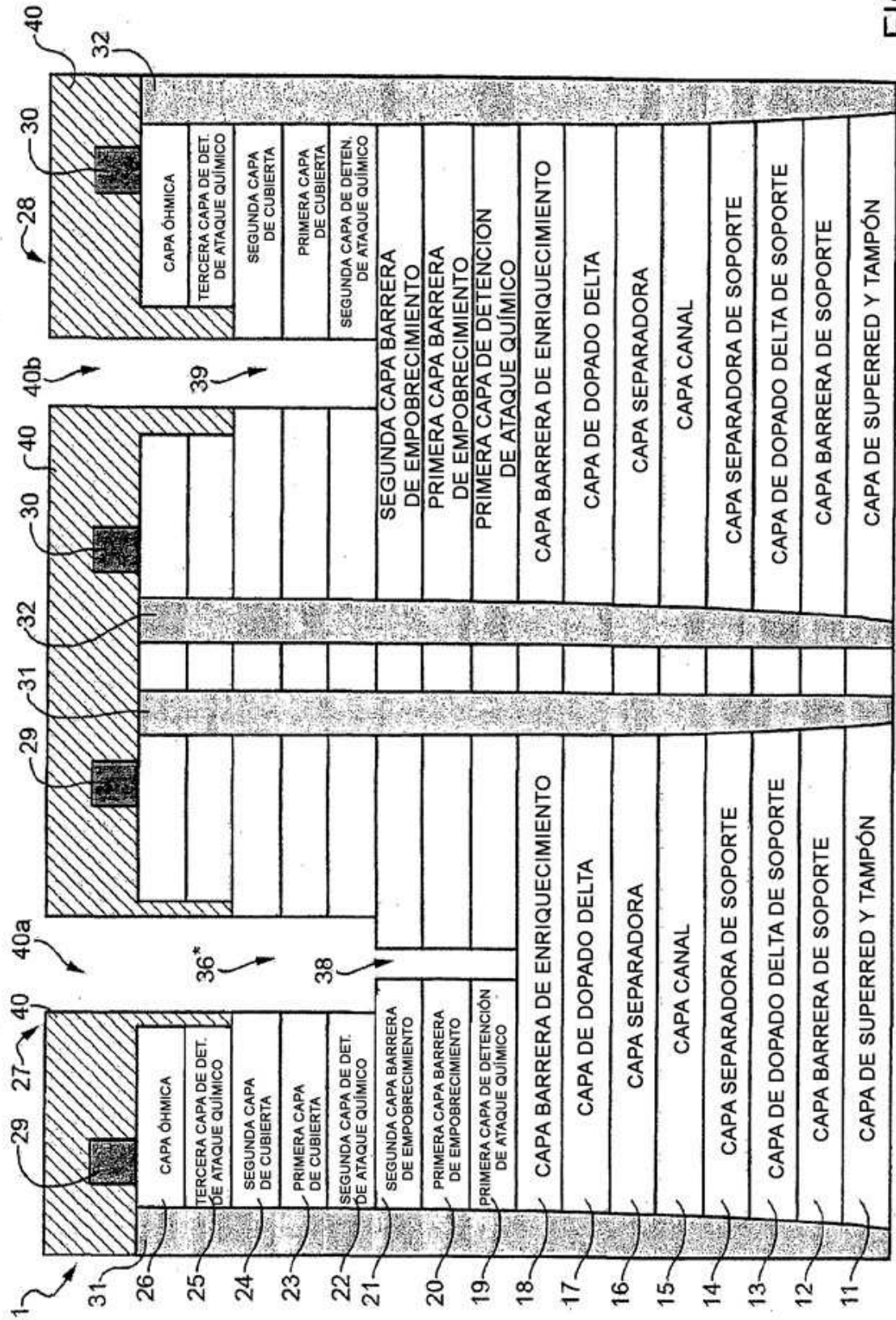


FIG. 4

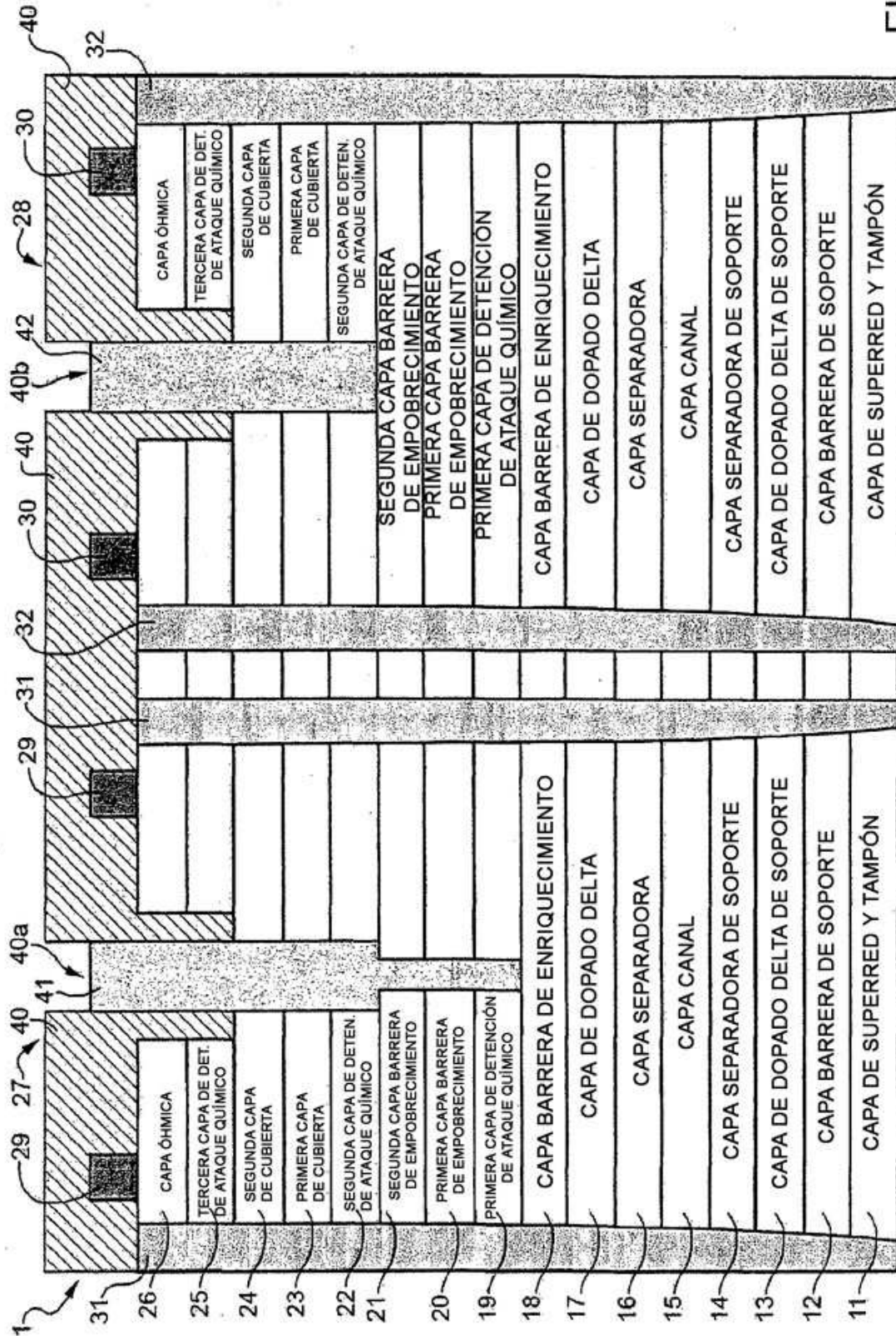


FIG. 5

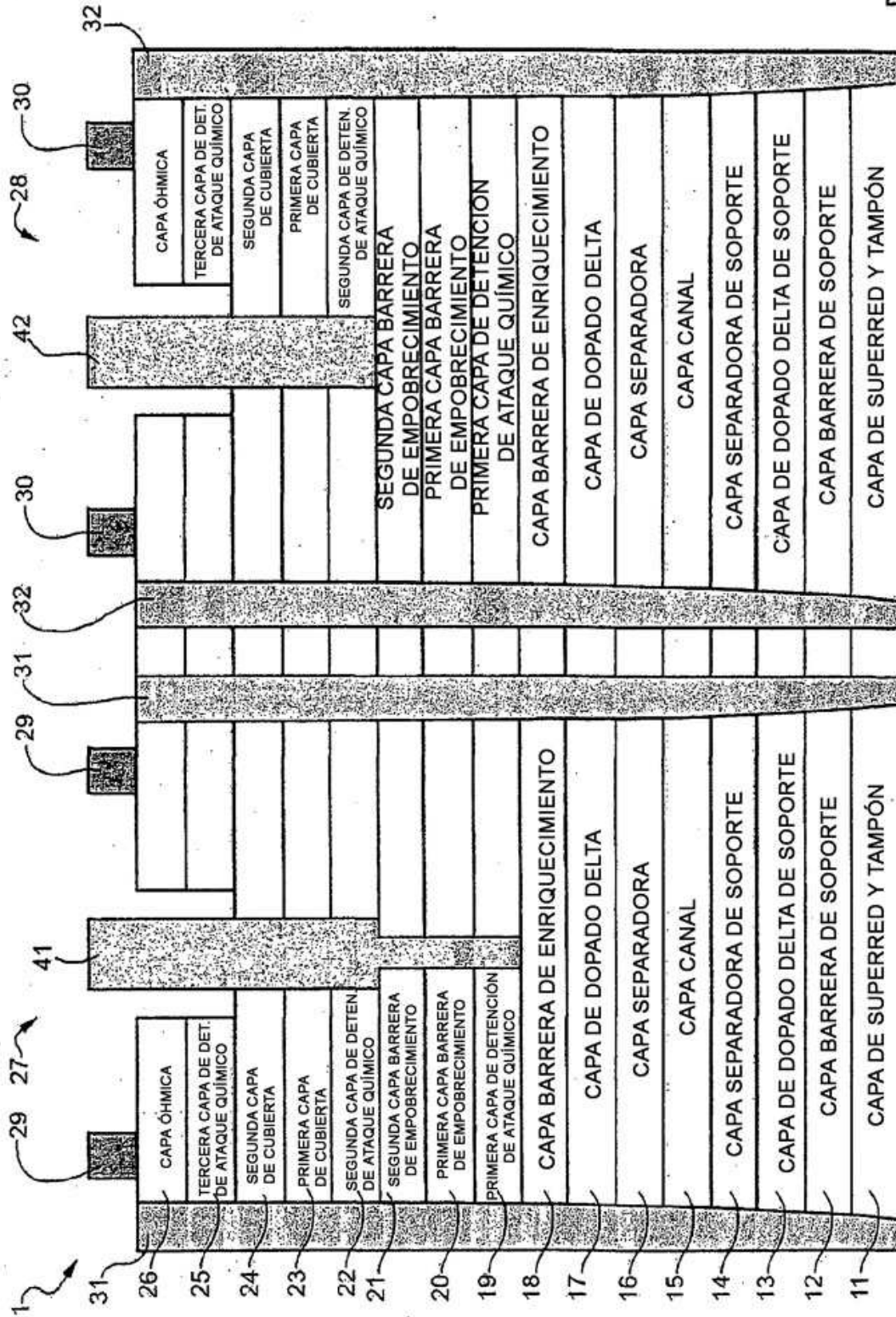


FIG. 6

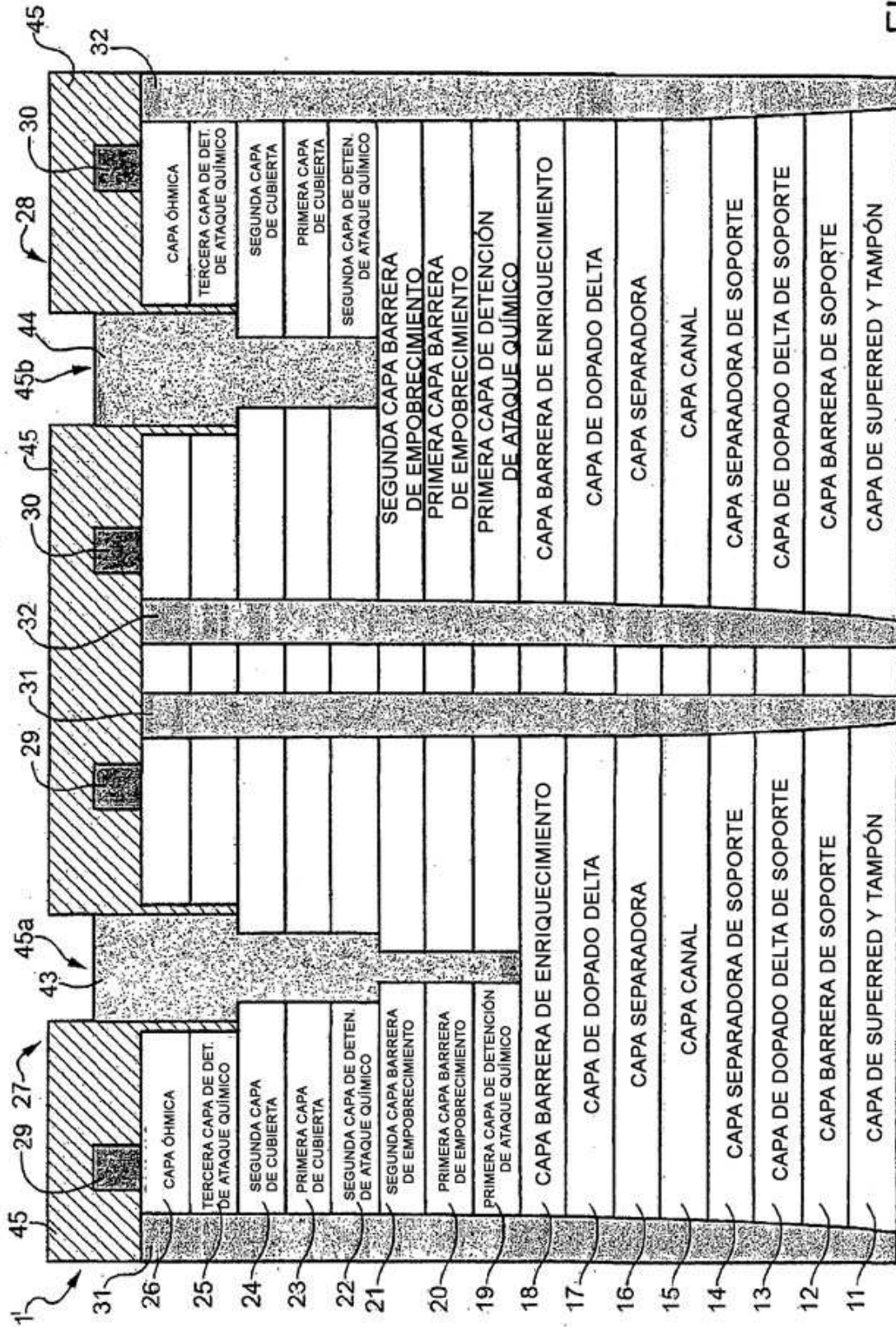


FIG. 7

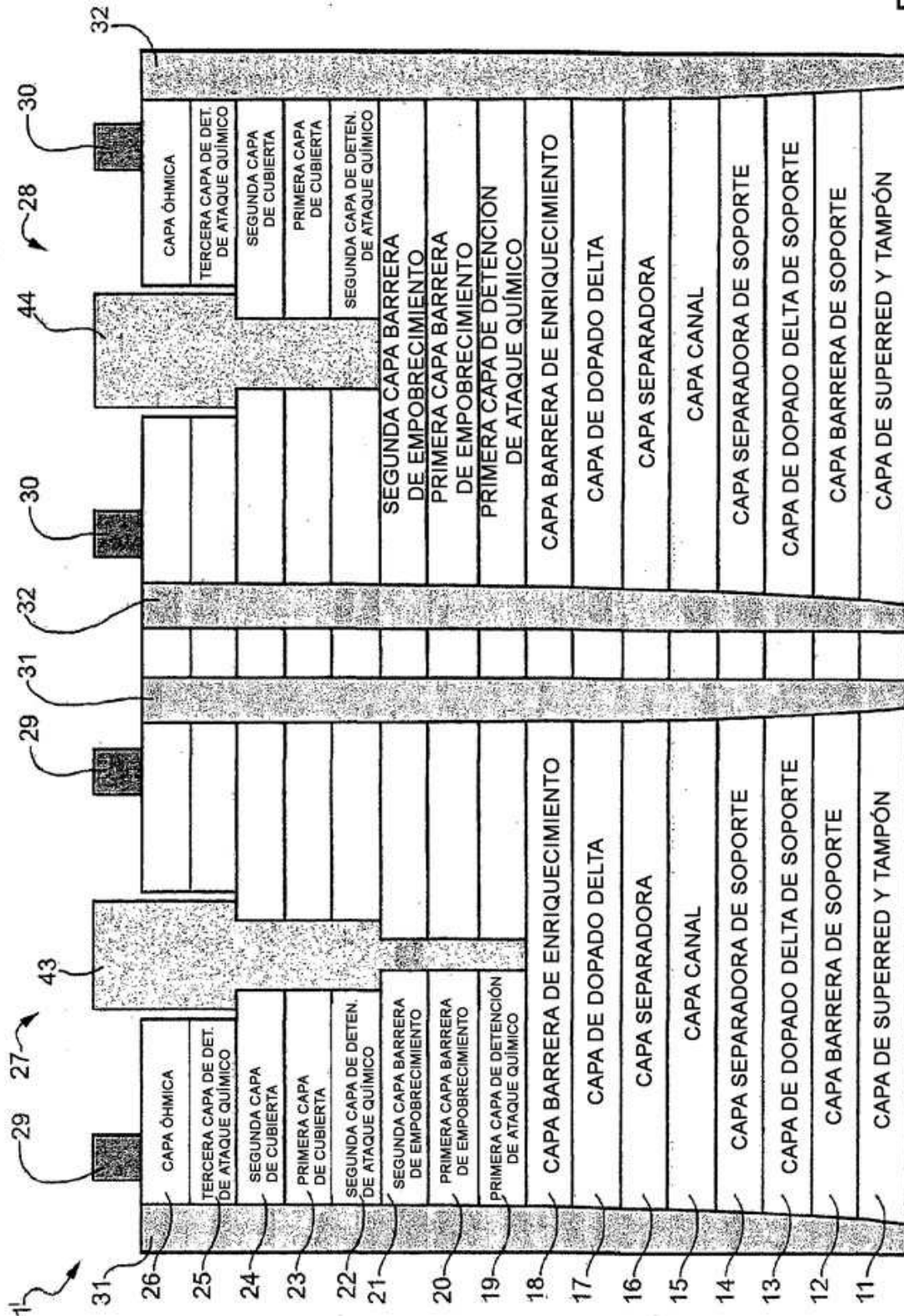


FIG. 8