



ES (10) ES (11) NUMERO 463648 (10) A1  
(21) (22) FECHA DE PRESENTACION 28 OCT. 1977

PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES: (31) NUMERO	(32) FECHA	(33) PAIS
Ser. 736.731	29 de Octubre de 1.976	Norteamerica.

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL H01L	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
--------------------------	--	--

(54) TITULO DE LA INVENCION

Procedimiento para fabricar un dispositivo transistor con efecto de campo, de arseniuro de galio, microminiatura, de gran potencia, y dispositivo transistor obtenido por dicho procedimiento.

(71) SOLICITANTE (ES)

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED, entidad norteamericana.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

residente en 195 Broadway, New York, New York 10007, EE.UU. de A.

(72) INVENTOR (ES)

JAMES VINCENT DILORENZO, GERARD EDWARD MAHONEY, JOSEPH MICHAEL MORAN.

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE

D. Jose Miguel Gomez-Acebo y Pombo.

UNE A - 4 MOD. 3106

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que en el presente describe el contenido de la Memoria adjunta. UTILICÉSE COMO PRIMERA PAGINA DE LA MEMORIA

20.12.1978

BAD ORIGINAL

Este invento se refiere a dispositivos de estado sólido de relativa gran potencia para funcionar en la gama de gigahertzios y, de un modo más particular, se refiere a dispositivos transistores con efecto de campo (FET) de barrera Schottky de arseniuro de galio (GaAs) de gran potencia fabricados por litografía electrónica.

5.

Actualmente se están realizando considerables esfuerzos para fabricar dispositivos de estados sólidos capaces de proporcionar de 1 a 5 vatios de potencia saturada en la gama de 4 a 6 GHz. Dichos dispositivos se han concebido, por ejemplo para reemplazar a los tubos de ondas progresivas y los triodos Morton el sistema de comunicaciones de alta frecuencia. Las unidades de barrera Schottky de GaAs, que tienen puertas múltiples, han demostrado poder cumplir con los requisitos de potencia específica mencionados en la gama de frecuencias indicadas. Además, se ha reconocido que si dichas unidades de puertas múltiples pudieran fabricarse en forma integrada por una secuencia de elaboración directa basada en litografía electrónica, se podrían conseguir unidades caracterizadas por una gran fiabilidad y bajo costo.

10.

15.

20.

Por consiguiente, el presente invento tiene por objeto proporcionar una formación integrada por un dispositivo de estado sólido de tipo de barrera Schottky de GaAs, de puertas múltiples y una secuencia de fabricación conveniente para el mismo, basado en técnicas litográficas por haz electrónico. Expuestos brevemente, estos y otros objetos del presente invento se consiguen en una modalidad ilustrativa específica del mismo que comprende un dispositivo FET de barreras Schottky de GaAs, de puertas múltiples, integrado, que comprende elementos de puerta de cruce inferior. Estos elementos, así como otros elementos componentes del dispositivo integrado, se fabrican de un modo particu

25.

30.

larmente conveniente según una secuencia de fabricación única en su género basada en la litografía electrónica.

El presente invento se comprenderá completamente y así mismo se comprenderán los anteriores objetos y otros objetos, característicos y ventajas del mismo, considerando la descripción detallada que sigue, expuesta a continuación, tomando como referencia los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista de una pastilla de GaAs ilustrativa específica del tipo utilizado para formar un solo dispositivo fabricado según los principios del presente invento.

La figura 2 ilustra la pastilla de la figura 1 elaborada para formar sobre la misma cuatro mesetas.

La figura 3 ilustra el perfil de los cantos de las mesetas.

La figura 4 es una vista superior de una estructura específica ilustrativa de puertas múltiples fabricadas sobre el dispositivo de cuatro mesetas representado en la figura 2.

La figura 5 representa una versión simplificada de una de las regiones de meseta de la figura 4.

La figura 6 es una vista a mayor escala de una parte del dispositivo de la figura 5, rodeada por un círculo.

Las figura 7 a 11 son representaciones esquemáticas simplificadas de varias en la fabricación de un dispositivo fabricado según los principios del invento., y

La figura 12 es una sección de la figura 6 por la línea de corte 12-12.

La figura 1 representa una pastilla de GaAs ilustrativa específica del tipo que se elabora según los principios del presente invento para formar un dispositivo FET. En la práctica, es conveniente fabricar una pluralidad de dispositivos idénticos sobre una sola pastilla y después separar la pastilla en bloques individuales, cada uno de los cuales comprende un dispositi

tivo simple FET de fuerzas múltiples. No obstante, en este caso, para fines ilustrativos solamente y para no abigarrar indebidamente el dibujo, se pondrá de relieve simplemente la fabricación de un solo dispositivo de puertas múltiples sobre la pasti

5. lla de la figura 1. La pastilla ilustrada en la figura 1 comprende un substrato 10 que comprende, por ejemplo, material de GaAs semiaislante, adulterado con cromo, que posee una resistividad superior a aproximadamente  $10^7$  ohmios-centímetros. Una capa amortiguadora, semiaislante, de tipo N, 12, con un espesor comprendido entre 3 y 10 micrómetros, y una concentración de adulteración de menos de  $10^{13}$  potencia átomos por centímetro cúbico, se desarrolla epitaxialmente sobre el substrato 10. A su vez, una capa activa de tipo N 14 que tiene un espesor de aproximadamente 0,55 micrómetros se desarrolla epitaxialmente sobre la capa amortiguadora 12. La concentración de adulteración de la capa activa 14 tiene, por ejemplo, aproximadamente  $5 \times 10^{16}$  átomos por centímetro cúbico.

20. En algunos casos de interés práctico, es conveniente añadir otra capa epitaxial, indicada por la referencia 16 en la figura 1, a la pastilla ilustrada. A título ilustrativo, la capa 16 comprende una región  $N^+$  de aproximadamente 1500 unidades Angstrom de espesor con una concentración de adulteración de aproximadamente  $2 \times 10^{18}$  átomos por centímetro cúbico.

25. Las dimensiones generales a, b y c (figura 1) de una pastilla particular elaborada según se expresa de un modo específico en la presente memoria, para formar un dispositivo FET de GaAs tenía 20,0,375 y 20 mm, respectivamente.

30. Según un aspecto de los principios del presente invento, la pastilla ilustrada en la figura 1 se elabora directamente por una serie de etapas litográficas de haz electrónico para

5. formar un dispositivo FET de GaAs. Un aparato particularmente conveniente con el cual se realiza estas fases de elaboración, se describe en la patente EE.UU. 3.900.737, concedida el 19 de Agosto de 1975 a R.J.Collier y D.R.Herriott, titulada "Sistema de Exposición de Haz Electrónico". Con dicho sistema controlado por ordenador, es factible delinear con precisión los modelos de configuración sucesivos exigidos por dichos dispositivos FET. Las dimensiones características de tan solo unos cuanto micrómetros o menos y tolerancias de alineación inferiores a un micrómetro se consiguen de este modo con facilidad.

10. Como es lógico, es esencial que los modelos de configuración sucesivos formados por litografía electrónica sobre una pastilla recubierta con un material fotoresistente, del tipo de la figura 1, se hagan coincidir con precisión entre sí. La coincidencia de modelos de configuración se consigue, por ejemplo, determinando los lugares de tres marcas de referencia formadas sobre las pastillas. A título informativo, cada marca comprende una cruz de 128 micrómetros de longitud con brazos laterales de 22 micrómetros de anchura. Explorando las marcas con un haz electrónico, se puede determinar la posición de cada cruz con un error máximo de  $\pm 0,25$  micrómetros. La información de posición así obtenida se emplea entonces para calcular la traslación, rotación, oblicuidad y aumento necesarios para obtener el ajuste mejor entre modelos sucesivos.

15. En un sistema de exposición de haz electrónico, en el cual se emplean marcas de referencia para la coincidencia de modelos, la pérdida o deterioro de las marcas durante la elaboración podría ser desastrosas. Por lo tanto, es necesario que las marcas no solamente proporcionen una señal fuerte en respuesta a la exploración de las mismas por el haz electrónico, sino que

20.

25.

30.

sobre vivan a todas las fases de la elaboración. En la práctica, las cruces alzadas de GaAs con una altura mínima de 0,7 micrómetros han demostrado cumplir con ambas exigencias. Además, para reducir al mínimo la degradación de estas marcas durante la secuencia de fabricación, el material fotorresistente subyacente a las marcas se mantiene a propósito en su sitio como capa protectora durante fases sucesivas de elaboración, según se explicara más adelante.

5.

10.

15.

20.

25.

Un procedimiento ilustrativo específico para formar marcas de referencia sobre la pastilla de la figura 1, comprende recubrir primero la superficie superior de la pastilla representada por una capa de un material negativo apropiado electrorresistente. Un material conveniente es el poliglicilmetalacrilato-coetilacrilato que se denominará en adelante como COP. Una descripción del COP se puede obtener del artículo de L.F. Thomson, J.P. Ballantyne y E.D. Feit, titulado "Molecular Parameters and Lithographic Performances of Polyglycidyl Methacrylate -co-Ethyl Acrylate: A negative Electron Resist", J.Vac.Sci. Tech. 12 páginas 1280-1283, 1975. Para los fines de un ejemplo particular, supondremos en adelante que en cada caso el material electrorresistente que se ha de configurar es COP). Tres partes cuadradas de referencias separadas, de la capa resistente, se irradian con el haz electrónico del sistema de exposición mencionado. Mediante técnicas tradicionales, todas las partes sin exponer de la capa resistente se eliminan entonces. Los cuadrados de COP que permanecen sobre la pastilla sirven como marcas de alineación intermedias.

30.

El fresado iónico es una técnica conveniente para formar las marcas de referencia descritas (cruces) en la pastilla de GaAs en la figura 1. No obstante, como actualmente no se dispone

- de materiales electrorresistentes que sean satisfactorios para resistir el fresado iónico, no se puede emplear COP ni cualquier otro material electrorresistente para enmascarar directamente parte elegidas de la superficie de la pastilla durante el fresado iónico. Por consiguiente, la superficie de la pastilla con sus tres marcas de alineación intermedia de COP se reduce después con un material apropiado resistente al fresado iónico, como puede ser una capa fotorresistente positiva normal. Posteriormente, utilizando una estructura de máscara asociada y un impresor de contacto normal, se exponen regiones particulares de la capa fotorresistente positiva a la acción de luz ultravioleta.
- 5.
- 10.

- La estructura de máscara indicada se sitúa con precisión con relación a la pastilla de GaAs utilizando las marcas de alineación de COP mencionadas como zonas de referencia contra las cuales han de unirse a tope las cruces de referencia. La capa fotorresistente positiva se expone entonces y se revela de una forma selectiva para cubrir toda la superficie superior de la pastilla, excepto las tres áreas de ventana en cuyo centro de cada una hay una cruz de capa fotorresistente. La superficie superior de la pastilla se fresa entonces por descarga iónica. El GaAs que no está protegido por la capa fotorresistente se elimina entonces por fresado, dejando cruces de referencia alzadas que tienen paredes laterales verticales y cantos perfectamente definidos. La capa fotorresistente se elimina después de la superficie superior de la pastilla.
- 15.
- 20.
- 25.

- Se observará que la técnica mencionada para formar marcas de referencia es la única parte de la secuencia general de elaboración descrita en la presente memoria que emplea fotolitografía. Las técnicas litográficas por haz electrónico con las que se expondrán de un modo específico exclusivamente más adelante
- 30.

te.

5. El aislamiento eléctrico, entre diversas partes componentes del dispositivo FET particular que se desea fabricar, según la figura 1, se consigue formando islas o mesetas elevadas en las capas epitaxiales de la pastilla. Las mesetas se forman eliminando de un modo selectivo partes correspondientes de las capas 16 y 14 y partes superficiales correspondientes de la capa amortiguadora 12. (véase la figura 3). Por consiguiente, las regiones que rodean a las mesetas elevadas muestran una característica semiaislante. Convenientemente, las paredes laterales de las mesetas se fabrican con inclinación en lugar de hacerlo con verticalidad. Por consiguiente, los elementos metálicos que se extienden desde las mesetas sobre la región circundante semiaislante se caracterizan, en la práctica, por una cobertura progresiva fiable de los cantos de las mesetas. Cuatro de dichas mesetas 18 a 21 se representan esquemáticamente en la figura 2. A título ilustrativo, las mesetas representadas son idénticas entre sí, y las dimensiones d y e son aproximadamente de 250 micrómetros y 190 micrómetros, respectivamente.

20. La secuencia de fabricación de mesetas se inicia recubriendo toda la superficie superior de la pastilla de la figura 1 con una capa de dióxido de silicio de 5000 unidades Angstrom. (Estas y las demás capas de dióxido de silicio, especificadas en la presente memoria, se supondrán aplicadas por una fase de deposición de vapor químico normal). Después, se deposita una capa de COP (de 0,7 micrómetros de espesor por ejemplo) sobre el dióxido de silicio. Solamente en las regiones del COP que se superponen a las tres marcas de referencias indicadas y las cuatro mesetas que se han de formar, se irradian entonces por medio del sistema de haz electrónico mencionado. (En adelante supondremos

25.

30.

que en cada fase de irradiación las marcas de referencia están protegidas). Después de eliminar el COP sin exponer, el dióxido de silicio sin cubrir se elimina en la fase de mordentado por plasma que comprende colocar la pastilla dentro del protector de radiofrecuencia de un aparato mordentador por plasma normal, del dióxido de silicio sin cubrir, dejando cuatro islas de dióxido de silicio cubiertas con COP expuesto, que corresponden a las cuatro mesetas que se han de formar. El mordentado tiene lugar en un plasma que comprende, por ejemplo, tetrafluoruro de carbono y 4% de oxígeno (que en adelante se denominará mordentado por plasma de  $CF_4$ ). Según es bien sabido, el régimen de mordentado se puede regular variando la cantidad de oxígeno entre 0 y aproximadamente 10%.

Después, una vez separado el COP expuesto, por ejemplo en una fase de mordentado por plasma con oxígeno puro (que en adelante se denominará como mordentado por plasma de  $O_2$ ), las regiones sin cubrir, exentas de dióxido de silicio de las capas epitaxiales 14 y 16 se fresan por ataque iónico. Durante el fresado iónico, las cuatro islas de dióxido de silicio sirven como máscaras para proteger las regiones epitaxiales subyacentes. El haz fresador se dirige convenientemente en un ángulo de  $45^\circ$  a la superficie de la pastilla y tan solo aproximadamente la mitad del espesor total de las capas 12, 14 y 16, que finalmente se ha de eliminar se fresa inicialmente.

Toda las superficies superior de la pastilla se recubre entonces con COP y se irradia para exponer islas ligeramente menores directamente subyacentes a las cuatro mesetas de dióxido de silicio. Estas regiones de COP expuestas sirven como máscaras para recortar las islas de dióxido de silicio en una fase de mordentado por plasma de  $CF_4$  ulterior. Las par-

tes de dióxido de silicio recortadas sirven entonces para enmascarar a las regiones subyacentes de la pastilla durante una operación de fresado iónico ulterior del tipo expuesto anteriormente.

5. El fresado iónico continua hasta que las partes de las capas 14 y 16 sin enmascarar, así como la parte superficial de la capa 12 sin enmascarar, se han eliminado. El resultado de la operación de fresado iónico en dos etapas es dejar cuatro mesetas de escalera sobre la superficie de la pastilla de GaAs. El perfil del canto de una de estas mesetas se ilustran en la figura 3. La distancia  $f$  en la figura 3 es aproximadamente a la suma de los espesores de las capas 14 y 16 representadas en la figura 1. Según resultará evidente en la figura 3, el fresado iónico ha eliminado también partes superficiales de la capa amortiguadora 12. Es un punto digno de observar que el fresado iónico produce muy poca o ninguna mella en la capa 12 inmediatamente adyacente a las mesetas.

15. Después de eliminar las islas de dióxido de silicio mencionadas, por ejemplo con una solución de ácido fluorídrico normal, se deposita una capa de dióxido de silicio con un espesor de 5000 unidades Angstrom sobre toda la superficie de la pastilla de GaAs. En dicho punto, la pastilla quedará dispuesta para elaborarse para fabricar electrodos múltiples de fuente, drenaje y puerta en la misma. A su vez, los electrodos correspondientes se conectan entre sí por barras de distribución para formar una estructura simple de puertas múltiples. Antes de describir este procedimiento con detalle, se describirán brevemente tres vistas de un dispositivo del tipo que se desea elaborar.

20. La figura 4 es una vista superior de un dispositivo espe
- 25.
- 30.

cifico de puertas múltiples, que sirve de ilustración, fabricados según los principios del presente invento. Para indicar la correspondencia entre las figuras 2 y 4, el dispositivo de la figura 4 se representa también comprendiendo cuatro mesetas indicadas por las referencias 18 a 21. Cada meseta comprende sobre sí una formación intercalada que comprende cuatro franjas de fuente o electrodos, cuatro franjas de desagüe o electrodos y siete franjas puerta o electrodo. Así, por ejemplo, la meseta 18 se representa en la figura 4 llevando sobre sí los electrodos puente 22 a 25, electrodos de drenaje 26 a 29 y electrodo puerta 30 a 36. Según se indica en la figura 4 los extremos de todos los electrodos se extienden más allá de los cantos de las mesetas sobre el material semiaislante 12. A su vez las extremidades de estos electrodos se unen entre sí de una forma selectiva por medio de un conjunto de barras de distribución.

De un modo más específico, el dispositivo de la figura 4, comprende barras de distribución puente 38 y 41 que terminan, respectivamente, en adaptadores de unión 39, 40 y 42, 43; una barra de distribución de drenaje 45 que termina en el adaptador de unión 44 y barras de distribución puerta 46 y 48 que forman parte íntegra de los adaptadores de unión 47 y 49, respectivamente. Los adaptadores de unión de fuente 39, 40, 42 y 43 del dispositivo de la figura 4 se han concebido para conectarse eléctricamente a un solo terminal de puente (no ilustrado) en un conjunto de dispositivo final. De un modo similar, el adaptador de unión de drenaje 44 se han concebido para conectarse eléctricamente a un solo terminal de drenaje externo, y los adaptadores de unión de puerta 47 y 49 se han concebido para conectarse eléctricamente a un solo terminal

de puerta.

Según un aspecto de los principios del presente invento, el dispositivo específico que sirve de ilustración y que se representa en la figura 4, comprende 16 elementos conductores que conectan los 14 electrodos puerta sobre las mesetas 18 y 19 a la barra de distribución puerta 48 y los 14 electrodos puerta sobre las mesetas 20 y 21 a las barras de distribución puerta 46. Así, por ejemplo los cuatro elementos 50 a 53, asociados con la meseta 18, conectan respectivamente los electrodos puerta 30,31 t 32,33 y 34, 35 y 36 a la barra de distribución puerta 48.

Todos los elementos de conexión conductivos especificados se extienden bajo una u otra de las dos barras de distribución fuente conductivas 38 y 41. (la forma en que se realiza, de modo que se asegure un aislamiento eléctrico fiable entre elementos superyacentes, se especificará más adelante). En adelante estos elementos de conexión conductivos se denominarán como "elementos de cruce inferior". Es significativo que las franjas de puerta y sus elementos de cruce inferior respectivos lleven la cantidad mínima de corriente de cualquiera de los electrodos comprendidos en el dispositivo. Por consiguiente, los elementos de cruce inferior exigen para su fabricación la deposición de una cantidad mínima de metal. Por consiguiente, los problemas asociados con la formación de las barras de distribución de cruce superior, de un modo fiable, en un dispositivo FET de GaAs microminiatura de gran resolución, se reducen por lo tanto a un mínimo.

En una particular de la figura 4, que se fabricó, las dimensiones y separaciones de los electrodos puente, drenaje y puerta eran como sigue. Cada una de las franjas de drenaje

- (por ejemplo el electrodo 26) media aproximadamente 10 micrómetros con 250 micrómetros. Cada una de las franjas puerta (el electrodo 30,) tenía aproximadamente dos micrómetros por 250 micrómetros. Cada una de las franjas de fuente (por ejemplo el electrodo 22) excepto el electrodo fuente de la derecha (por ejemplo el electrodo 25), en cada una de las mesetas 18 a 21, media unos 20 micrómetros por 250 micrómetros. Cada uno de los electrodos fuente de la derecha tenía aproximadamente 10 micrómetros por 250 micrómetros). La distancia entre los electrodos puerta con un electrodo puente entre medias (véase por ejemplo, los electrodos puerta 30 y 31 y el electrodo fuente 22 en la meseta 18) tenía aproximadamente 27 micrómetros. La distancia entre los electrodos puerta con un electrodo de drenaje entre medias (véase, por ejemplo, los electrodos puerta 31 y 32 y el electrodo de drenaje 27) tenía aproximadamente 17 micrómetros. Además, la separación de fuente a drenaje era de unos 7 micrómetros, y el electrodo puerta se colocó simétricamente en esta separación.
- La figura 5 es una vista isométrica de una parte de una versión simplificada del dispositivo de la figura 4. Se ilustra una estructura más sencilla que la de la figura 4 para no abigarrar indebidamente el dibujo. En vista de la descripción expuesta en la presente memoria resultará evidente la prolongación del dispositivo de la figura 5 para formar el dispositivo de la figura 4. En la figura 5 se ilustra solamente una meseta completa 60 y una parte de una segunda meseta 61. Además, solamente dos electrodos fuente, dos electrodos de drenaje y tres electrodos puerta se indican comprendidos en cada una de las mesetas. De un modo específico, los electrodos puente 62 y 63, electrodos de drenaje 64 y 65 y electrodos

puerta 66 a 68 se incluyen en la meseta 60. También se ilustra en la figura 5 barras de distribución de fuente, drenaje y puerta 70 a 72, respectivamente, cada una de las cuales termina en una región agrandada o adaptador de unión.

5. El círculo de puntos y rayas 74 de la figura 5 comprende una parte circular del dispositivo de la figura 5. En la figura 6 se ilustra a mayor escala y parcialmente cortada una versión de la parte rodeada por un círculo.

10. Los elementos en la vista a mayor escala de la figura 6, que se especificaron anteriormente con relación a la figura 5, se identifican en la figura 6 por los mismos números de referencia empleados en la figura 5. Así, por ejemplo, la figura 6 ilustra una parte de la meseta 60, los electrodos fuente 62 y 63, los electrodos de drenaje 64 y 65, los electrodos 15. puerta 66 a 68, la barra de distribución de fuente 70 y la barra de distribución de puertas 72. Además, la figura 6 indica claramente la forma en la cual la barra de distribución de puerta 72 se conecta eléctricamente a los electrodos puerta 66 a 68. Esto se consigue mediante elementos metálicos de cruce inferior 76 y 77. De un modo más específico, el elemento conductivo 20. 76 interconecta el electrodo puerta 66 y la barra de distribución de puerta 72, mientras que el elemento conductivo 77 interconecta los electrodos puerta 67 y 68 y la barra de distribución de puerta 72.

25. La barra de distribución de fuente metálica 70, ilustrada en las figuras 5 y 6, cruza sobre los elementos metálicos 76 y 77. Según se indica en mayor escala en la figura 6, el aislamiento eléctrico entre la barra de distribución 70 y elementos subyacentes 76 se consigue interponiendo una región 30. aislante 78 entre los mismos. Con fines de simplificación y pa

ra no complicar indebidamente el dibujo, la secuencia de elaboración que se describe a continuación se representará esquemáticamente para un dispositivo de puerta simple de prototipo. En todos los aspectos la secuencia que se describirá tiene aplicación de una forma directa a la fabricación de un dispositivo de puertas múltiples del tipo ilustrado en la figura 4 (o en las figuras 5 y 6).

5. En la forma específica ilustrativa indicada anteriormente, se fabrica una estructura de cuatro mesetas (figura 2).
10. La elaboración ulterior de dicha estructura para formar una formación intercalada de electrodos en cada una de las mesetas (figura 4) se expondrá con respecto a representaciones esquemáticas simplificadas representadas en las figuras 7 a 11.

15. Anteriormente se especificó una capa de dióxido de silicio de 5000 unidades Angstrom de espesor depositada sobre toda la superficie superior de la pastilla de GaAs de cuatro mesetas ilustrada en la figura 2. Después, según los principios del presente invento, se depositó una capa de COP sobre la superficie de la estructura y después se irradió de una
20. forma selectiva para exponer toda la superficie superior excepto donde se habían de formar los electrodos de puente y drenaje. El COP sin exponer se eliminó para dejar una máscara de COP configuración que cubría la capa de dióxido de silicio en todas las partes excepto donde se habían de situar los electrodos fuente y de drenaje. A su vez, las partes sin cubrir
25. de la capa de dióxido se eliminaron en una fase de mordentado por plasma de  $CF_4$  para exponer las partes superficiales de la pastilla de GaAs. Las partes de máscara de COP se eliminaron entonces en una fase de mordentado por plasma de  $O_2$ .

30. Para asegurar una buena adherencia de los electrodos

ácido fluorídrico y pulverizando después la superficie con una sustancia, por ejemplo acetona. De éste modo las regiones 82 se minan y eliminan, llevando de éste modo consigo (o "levantando") las partes subyacentes de la capa metálica 80. La estructura resultante se ilustra en la figura 8.

5.

La meseta 83 de la figura 8 comprende sobre sí electrodos fuente y drenaje 85 y 86, respectivamente. Se obtiene un buen contacto óhmico entre estos electrodos y la meseta en una fase de calentamiento punta en el cual se alean los componentes mencionados de germanio y oro.

10.

A título ilustrativo, esta operación se realiza calentando rápida y momentáneamente la pastilla de GaAs a aproximadamente 500°C. En aquellas modalidades de dispositivos en las cuales la capa superior de la meseta 83 (figura 8) comprende una capa N<sup>+</sup> superyacente a la capa activa mencionada, las partes de la capa N<sup>+</sup>, no cubiertas por los electrodos fuente y drenaje, se eliminan entonces. Esto se realiza, por ejemplo, por mordentado por pulverización con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ajustado a un pH de aproximadamente 7,0 con NH<sub>4</sub>OH. (En adelante esta operación se denominará como "fase de mordentado por pulverización de PA").

15.

20.

En una serie ulterior de etapas de elaboración se fabrican los elementos de puerta de cruce inferior (veáse, por ejemplo, los elementos 76 y 77 en la figura 6) y la parte inferior de la barra de distribución de puerta (elementos 72 en la figura 6). Las fases principales en esta secuencia de fabricación se realizan como sigue. (observese que en adelante, al igual que anteriormente, no se indican de una forma explícita las fases normales y evidentes como la cocción del COP, limpieza e inspección de la pastilla, etc).

25.

30.

1. Deposición de una capa de 5000 unidades Angstrom de espesor de dióxido de silicio sobre toda la superficie superior del dispositivo.
5. 2. Deposición de una capa de 0,7 micrómetros de espesor de COP sobre el dióxido de silicio.
10. 3. Con EBES, exposición de toda la superficie de la capa de COP excepto en aquellas partes que se superponen a las regiones en las cuales se han de formar la barra de distribución de puerta y los elementos de cruce inferior de puerta. Eliminación del COP sin exponer.
4. Con el COP configurado como una máscara, eliminación del dióxido de silicio sin cubrir en una fase de mordentado por plasma de  $CF_4$
15. 5. Eliminación de las máscaras de COP en una fase de mordentado por plasma de  $O_2$ .
20. 6. Para mejorar la adherencia de la barra de distribución de puerta y los elementos de cruce inferior a la superficie de la pastilla, mordentado de las partes expuestas de la pastilla de GaAs hasta una profundidad de hasta aproximadamente 0,15 micrometros en el centro de la región mordentada con una solución al 0,05% de bromo disuelto en metanol. De este modo se forman oquedades de fondo convexo en la superficie de GaAs. La deposición ulterior de metal en dichas oquedades, según se especificará más adelante, forma los conductores de parte superior redonda con un perfil conveniente.
25. 7. Con la pastilla mantenida a aproximadamente  $150^{\circ}C$ , se depositan cuatro capas de metal sobre las partes expuestas de la superficie de GaAs (así como sobre el dióxido de silicio) en el orden siguiente: una capa de 400 unidades Angstrom de espesor de germanio/oro, una capa de 1000 unidades Angstrom
- 30.

de espesor de plata, una capa de 1000 unidades Angstrom de espesor de oro y una capa de 200 unidades Angstrom de espesor de tungsteno. (El tungsteno sirve como película adhesiva para asegurar una buena adherencia a la parte de dióxido de silicio

5. que se aplica sobre la misma.

8. En una fase de ataque con ácido fluorídrico, el dióxido de silicio y el metal sobre el mismo se levantan de la pastilla, quedando sobre el dispositivo una configuración o modelo metálico definitivo de los elementos de cruce inferior de puerta

10. y la parte inferior de la barra de distribución de puerta.

En una serie siguiente de etapas de elaboración, se fabrican los electrodos puerta (véase, por ejemplo, los elementos 30 a 36 en la figura 4 o los elementos 66 a 68 en la figura 6). Las fases principales en esta secuencia de fabricación son como

15. siguen.

1. Deposición de una capa de 5000 unidades Angstrom de espesor de dióxido de silicio sobre toda la superficie superior del dispositivo.

20. 2. Deposición de una capa de 0,6 micrómetros de espesor de COP sobre el dióxido de silicio.

25. Con EBES, exposición de toda la superficie de la capa de COP excepto en aquellas partes que se superponen a las regiones sobre la cual se han de formar los electrodos puerta. Además, es conveniente duplicar la exposición en aquellas regiones del COP que se superponen a las partes de dióxido de silicio destinadas a servir como aisladores de cruce superior (véase, por ejemplo, la parte 78 en la figura 6). Eliminación del COP sin exponer.

30. 4. Con el COP configurado como una máscara, eliminación del dióxido de silicio sin cubrir en una fase de mordentado con plasma de  $CF_4$  hasta que aparecen las partes de la meseta

de GaAs (las partes de electrodo puerta).

5. Eliminación de la máscara de COP en una fase de mordentado por plasma de  $O_2$ .

5. Limpieza completa y aclarado de las partes de la superficie expuesta de las mesetas de GaAs. (convenientemente) esta fase comprende una fase de mordentado por pulverización de PA).

10. 7. Evaporación de una capa de platino de 1000 unidades Angstrom de espesor sobre toda la superficie superior de la pastilla formando de éste modo barreras Schottky en las partes expuestas de las mesetas. En la práctica, se ha averiguado que la capa de platino se adhiere perfectamente al GaAs subyacente y peor al dióxido de silicio subyacente.

15. 8. Eliminación del platino innecesario (o sea, el platino sobre el dióxido de silicio), por ejemplo, sometiendo mecánicamente a abrasión la superficie superior de la pastilla por pulverización con una sustancia, por ejemplo acetona. En este punto del proceso de fabricación, el dispositivo simplificado indicado anteriormente aparece según se ilustra en la figura 9.

20. La figura 9 ilustra el elemento substrato de GaAs 84, la meseta 83, el electrodo fuente 85 y el electrodo de drenaje 86, todos los cuales se especificaron anteriormente con relación a la figura 8. Además, la estructura de la figura 9 comprende regiones de dióxido de silicio 88 y electrodo puerta de barrera Schottky 90.

30. La secuencia siguiente de etapas en el proceso considerado anteriormente se refiere a la fabricación de una metalización final que se utiliza para engrosar los metales previamente depositados y para efectuar la interconexión neces-

5. rias entre los electrodos fuente, drenaje y puerta y sus barras de distribución respectivas y adaptadores de unión. Los metales empleados en esta secuencia final deben adherirse perfectamente al dióxido de silicio así como a los metales previamente depositados. En la práctica, un emparedado de titanio, platino y oro ha demostrado ser satisfactorio para esta finalidad, según se indicará con detalle más adelante.

10. Es conveniente realizar la configuración metálica final del emparedado metálico mencionado por fresado iónico. A este respecto, se ha determinado que una máscara de fresado iónico conveniente es una capa de titanio cubierta con una capa de dióxido de silicio, según se detallara más adelante. La capa de dióxido de silicio superior asegura un enmascaramiento fiable en zonas donde el titanio no cubre perfectamente.

15. Por tanto, según un aspecto de los principios del presente invento, dicha máscara de fresado iónico de dos capas se coloca sobre el emparedado metálico mencionado. El dióxido de silicio se configura por mordentado por plasma de  $CF_4$  empleando COP como máscara. El titanio se mordenta entonces en una plasma de  $O_2$  utilizando  $SiO_2$  como máscara. El fresado iónico de las capas de oro y platino se realiza entonces con el titanio configurado sirviendo como máscara. La capa inferior del titanio sirve como tope de fresado así como capa adherente a cualquier dióxido de silicio subyacente. Cuando se alcanza la capa de titanio inferior, se elimina la capa enmascarante de dióxido de silicio por mordentado por plasma de  $CF_4$ , y ambas capas de titanio se eliminan entonces por ataque con ácido fluorídrico.

30. El proceso de metalización final indicado anteriormente se especificará con relación al dibujo simplificado de la

figura 9 y figuras similares ulteriores. Las fases de éste proceso son como sigue:

5. 1. Recubrimiento de todas las superficies superior del dispositivo de la figura 9 con una capa de 0,9 micrómetros de espesor de COP.
10. 2. Con EBES, exposición de toda la superficie de la capa de COP excepto en aquellas partes que se superponen a los electrodos fuente, drenaje y puerta, y las barras de distribución de puerta y drenaje y adaptadores de unión. Eliminación del COP sin exponer.
15. 3. Con el COP configurado como máscara, eliminación del dióxido de silicio sin cubrir en una fase de mordentado por plasma de  $CF_4$ .
20. 4. Eliminación de la máscara de COP en una fase de mordentado por plasma de  $O_2$ . En éste punto, la configuración de electrodo del dispositivo simplificado mencionado se puede representar según se ilustra en la figura 10. De nuevo, se ilustra el elemento de substrato 84 de GaAs, la meseta 83, el electrodo fuente 85 el electrodo de drenaje 86 y el electrodo puerta 90. Además, las partes de dióxido de silicio que permanecen después de la fase de configuración mencionada se indica en la figura 10 por los números de referencia 92.
25. 5. Deposición de las capas metálicas siguientes en orden sobre toda la superficie superior del dispositivo de la figura 10: una capa de titanio de 1500 unidades Angstrom de espesor, una capa de platino de 1000 unidades Angstrom de espesor una capa de oro de un micrometro de espesor y una capa de titanio de 2000 unidades Angstrom de espesor.
30. 6. Deposición de una capa de dióxido de silicio de 3000 unidades Angstrom de espesor sobre la parte superior de las

tapas metálicas mencionadas.

7. Recubrimiento de la capa de dióxido de silicio con una capa de COP de 0,7 micrometros de espesor.

5. 8. Con EBES, exposición de solamente aquellas partes de la capa de COP que se superponen a los electrodos fuente, drenaje y puerta y a las barras de distribución puerta, drenaje y fuente y los adaptadores de unión. Eliminación del COP sin exponer.

10. 9. Configuración de la capa de dióxido de silicio superior en una etapa de mordentado por plasma de  $CF_4$  empleando la capa de COP configurada como máscara.

15. 10. Configuración de la capa superior de titanio en una etapa de mordentado por plasma de  $O_2$  ( en presencia de una muestra de fluor y a una temperatura superior a  $100^{\circ}C$ ) empleando la capa de dióxido de silicio configurada como máscara. De este modo se elimina también la capa de COP enmascarante. Fresado iónico de toda las superficies superior del dispositivo empleando las capas superiores de titanio y dióxido de silicio como máscara de fresado de este modo se eliminan aquellas partes de las capas de oro y de platino que no están cubiertas por titanio. La capa inferior de 1500 unidades Angstrom de espesor de titanio, actúa como tope de fresado iónico.

25. 12. Eliminación de la capa superior configurada de dióxido de silicio en una fase de mordentado por plasma de  $CF_4$

30. Eliminación de las capas de titanio superior e inferior por mordentado en ácido fluorídrico tamponado. La figura 11 representa el dispositivo en la secuencia de fabricación. En la figura 11 cada una de las regiones metálicas 94, 96 y 98 comprende realmente tres capas hechas de titanio platino y oro, respectivamente, según se ha especificado anteriormente las re

giones metálicas 94,96 y 98 hacen buen contacto ohmico con los elementos fuente, puerta y drenaje 85,90 y 86, depositados originalmente, respectivamente .

5. 14. Para fines de protección, se cubre toda la superficie superior del dispositivo con una capa de dióxido de silicio de 5000 unidades Angstrom de espesor.

10. 15. Por medio de las técnicas litográficas descritas anteriormente, se forman aberturas en la capa de dióxido de silicio en coincidencia con los adaptadores de fuente, drenaje y puerta.

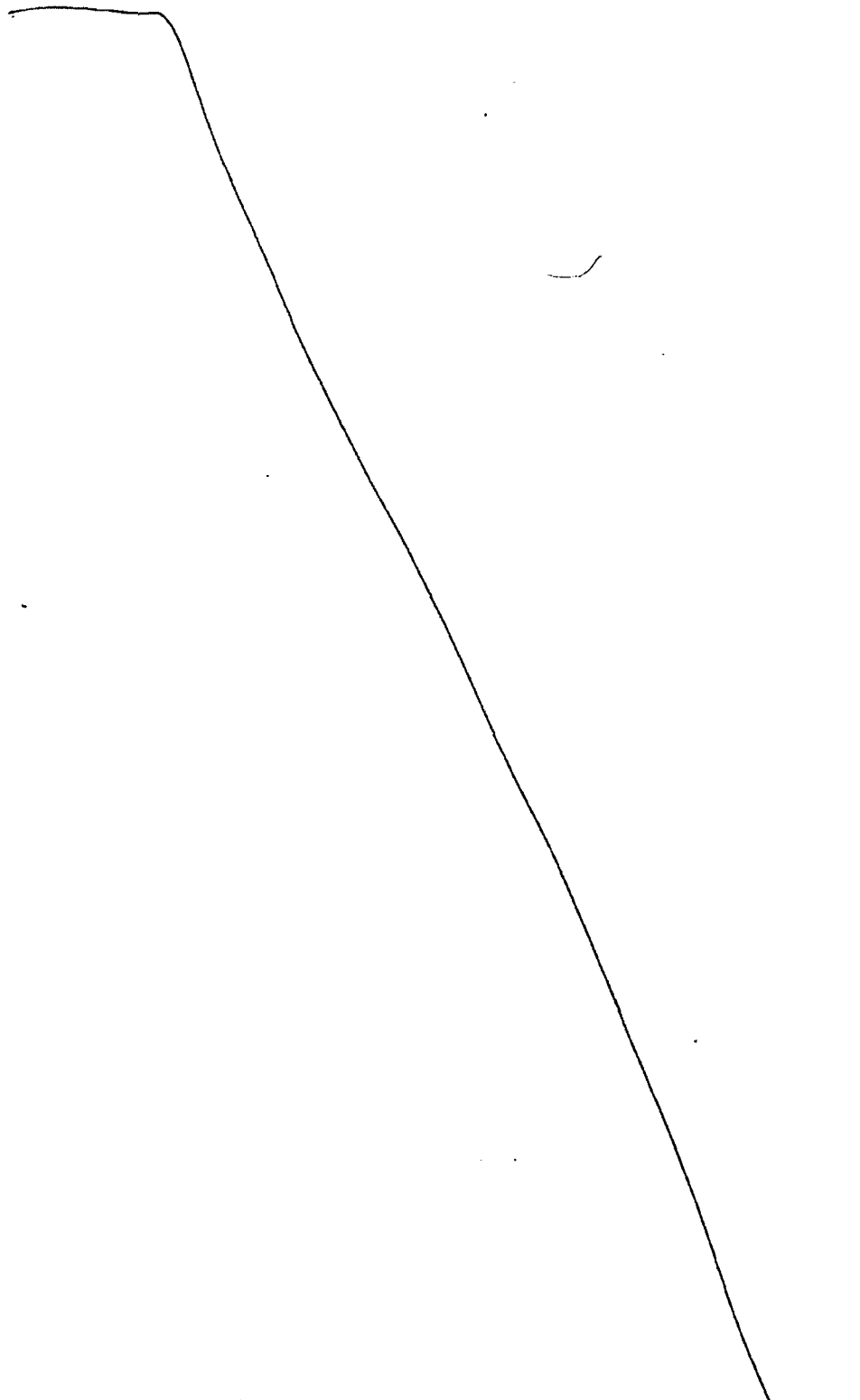
16. Formación de conexiones eléctricas entre los adaptadores de unión y los terminales externos en un paquete de dispositivo normal.

15. De éste modo, se ha descrito en la presente memoria una secuencia de fabricación ilustrativa particular para hacer un dispositivo de FET de GaAs integrado, de puertas múltiples. El dispositivo indicado se caracteriza por un diseño único en su género y conveniente de cruce inferior y se hace en microminiatura elaborando directamente una pastilla que se realiza  
20. utilizando técnicas litográficas de haz electrónico.

Finalmente, se comprenderá que los dispositivo y procedimientos descritos anteriormente, son solamente ilustrativos de la aplicación de los principios del presente invento. Según estos principios, los expertos en la materia pueden idear  
25. otros numerosas configuraciones estructurales y técnicas de elaboración sin desviarse del espíritu y alcance del invento.

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse  
30. constar que las disposiciones anteriormente indicadas son sus

ceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.



REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para fabricar un dispositivo transistor con efecto de campo, de arseniuro de galio, microminiatura de gran potencia y dispositivo transistor obtenido por dicho procedimiento, cuyo procedimiento comprende las fases: de formar por lo menos una meseta epitaxial sobre un sustrato de arseniuro de galio; formar sobre dicha meseta o mesetas una pluralidad de electrodos fuente, puerta y drenaje en una relación de intercalación separada entre si, comprendiendo cada uno de los electrodos una parte que se extiende más allá de por lo menos uno de los cantos opuestos de por lo menos una meseta y sobre el sustrato; formar una barra de distribución de drenaje sobre el sustrato adyacente a un canto de la meseta para unir entre sí los electrodos de drenaje; y formar barras de distribución fuente y puertas sobre el sustrato adyacentes al canto opuesto de la meseta o meseta para unir entre sí los electrodos fuente y los electrodos puerta, respectivamente caracterizado porque se forma la barra de distribución puerta a una distancia del canto opuesto de la meseta o mesetas, que es suficiente para permitir la formación de la barra de distribución fuente entre este canto opuesto y la barra de distribución puerta manteniendo una relación de separación con la misma; formar en el sustrato una pluralidad de canales que se extienden entre la barra de distribución puerta y los electrodos puerta; depositar elementos de cruce inferior en los canales respectivos para interconectar eléctricamente la barra de distribución puerta y los electrodos puerta; depositar partes aisladas al menos en regiones elegidas de dichos elementos de cruce inferior; y formar la barra de distribución fuente sobre dichas partes de aislamiento y entre el canto, opuesto
- 5.
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

m/c

de la meseta o mesetas y la barra de distribución puerta.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque los canales se forman con una configuración inferior convexa en sección transversal.

5. 3.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizados porque los canales se forman mordentando el substrato en aquellas regiones en las que se forman los elementos de cruce inferior.

10. 4. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 ó 3, caracterizado porque los canales se forman por mordentado selectivo del sustrato con una solución al 0,05% de bromo disuelto en metanol.

15. 5.- Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2, 3 ó 4 caracterizado porque los elementos de cruce inferior se forman depositando en cada uno de los canales un sistema de metalización que comprende capas de germanio/oro, plata, oro y tungsteno, en el orden citado.

20. 6.- Procedimiento según las reivindicaciones 2, 3, 4 ó 5 caracterizado porque la fase de mordentado se lleva a cabo hasta que la profundidad mínima de los canales es de aproximadamente 1500 unidades Angstrom; y se forman los elementos de cruce inferior por deposición, en el orden siguiente, en cada uno de los canales de un sistema de metalización que comprende: una capa con un espesor de 400 unidades Angstrom

25. de una mezcla de germanio y oro, una capa de plata de 1000 unidades Angstroms de espesor, una capa de oro de 1000 unidades Angstrom de espesor y una capa de tungsteno de 200 unidades Angstrom de espesor.

30. 7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque las partes de 5000 unida-

mte

des Angstrom de espesor de dióxido de silicio sobre aquellas regiones de los elementos de cruce inferior sobre las cuales se ha de extender la barra de distribución fuente.

5. 8.- Procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque, para formar electrodos y barras de distribución en un dispositivo, que comprende un substrato semiconductor, se deposita sobre el dispositivo un revestimiento metálico que comprende por lo menos dos capas, cuya capa inferior es relativamente resistente al fresado iónico y
10. cuya capa superior no es relativamente resistente al fresado iónico; formar sobre el revestimiento metálico una máscara de fresado iónico compuesta que comprende titanio y dióxido de silicio, en el orden citado; fresar por descarga iónica el revestimiento metálico a través de la máscara para descubrir partes específicas de la capa inferior; y eliminar las
15. capas de máscara y las partes sin cubrir de la capa inferior para dejar de éste modo sobre el dispositivo un revestimiento metálico con una configuración selectiva.

20. 9.- Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque el revestimiento metálico se forma por deposición de titanio como capa relativamente resistente y una capa compuesta de platino y oro, en el orden citado, a partir de esta capa de titanio, como dicha capa relativamente no resistente.

25. 10.- Procedimiento según las reivindicaciones 8 ó 9, caracterizado porque la máscara de fresado iónico compuesta se forma depositando una capa de titanio después una capa de dióxido de silicio sobre el revestimiento metálico; y se configura la capa de dióxido de silicio por mordentado plasma de  $CF_4$  utilizando un material electroresistente configurado como máscara y la capa de titanio por mordentado de plasma de  $O_2$  en
- 30.

mte

presencia de una especie de fluor mientras se emplea la capa de dióxido de silicio configurada como máscara.

- 11.- Dispositivo transistor con efecto de campo de ar  
seniuro de galio, microminiatura, de gran potencia, que com-  
5. prende: un substrato de arsiniuro de galio, que tiene por lo  
menos una meseta epitaxial; una pluralidad de electrodos fuen-  
te, puerta y drenaje, dispuestos sobre dicha meseta, o mese-  
tas, manteniendo entre sí una relación de intercalación, com-  
prendiendo cada uno de los electrodos una parte que se extien-  
10. de más allá de por lo menos uno de los cantos opuestos de una  
meseta por lo menos y sobre el substrato; una barra de dis-  
tribución de drenaje sobre el substrato adyacente a un canto  
de la meseta para conectar entre sí los electrodos de drenaje;  
una barra de distribución fuente y de distribución puerta si-  
15. tuada en el substrato adyacente al canto opuesto de dicha me-  
seta o mesetas para unir entre sí los electrodos fuente y  
los electrodos puerta, respectivamente, caracterizado porque  
la barra de distribución fuente se situa sobre el substrato  
adyacente a dicho canto opuesto de la meseta o mesetas y la  
20. barra de distribución puerta se situa sobre el substrato ad-  
yacente a la barra de distribución fuente y más separada de  
dicha meseta que la barra de distribución fuente; una plura-  
lidad de elementos de cruce inferior, depositados en canales  
respectivos formados en el substrato y pasando por debajo de  
25. la barra de distribución fuente que interconectan los electro-  
dos puerta y la barra de distribución puerta; y porque los  
elementos de cruce inferior y la barra de distribución fuente  
se aíslan entre sí por partes aislantes interpuestas entre las  
partes superpuestas respectivas de los elementos de cruce  
30. inferior y de la barra de distribución fuente.

MCE

12.- Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque cada uno de los canales respectivos tiene un fondo con una forma convexa en sección transversal.

5. 13.- Dispositivo según las reivindicaciones 11 ó 12, caracterizado porque cada uno de los elementos de cruzamiento inferior comprenden, en orden de deposición un compuesto que comprende capas respectivas de una mezcla de germanio y oro, plata, oro y tungsteno.

10. 14.- Dispositivo según las reivindicaciones 11, 12 ó 13 caracterizado porque dichas partes aislantes se hacen de una capa de dióxido de silicio que superpone a los elementos de cruce inferior al menos en aquellas regiones en las cuales la barra de distribución fuente se cruza sobre los elementos de cruce inferior.

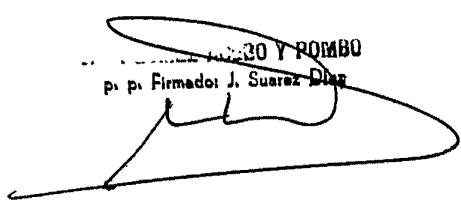
15. 15.- Procedimiento para fabricar un dispositivo transistor con efecto de campo, de arseniuro de galio, microminiatura, de gran potencia, y dispositivo transistor obtenido por dicho procedimiento, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria, y en los dibujos adjuntos.

ME

Esta Memoria consta de treinta hojas, escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 28 OCT. 1977  
WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED.

~~MEMORIO Y ROMBO~~  
p. p. Firmado: J. Suarez Diaz



m/c

FIG. 1

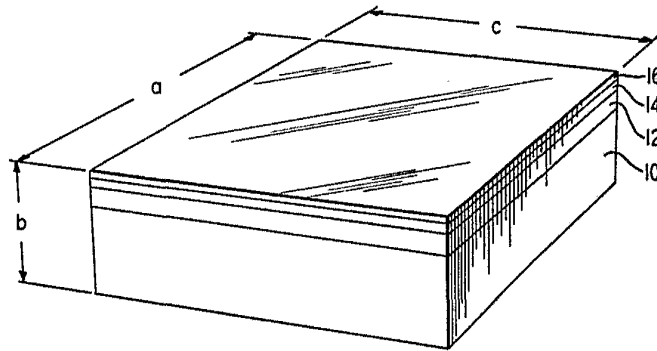


FIG. 2

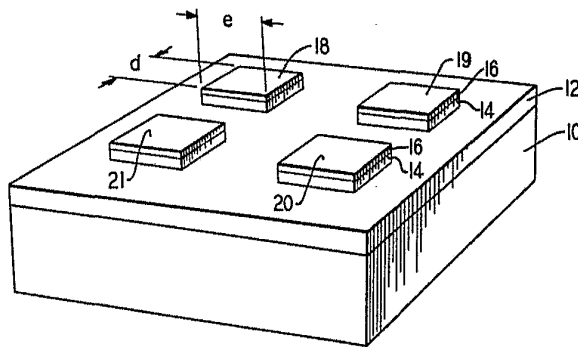
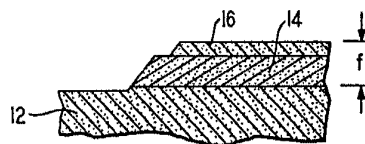


FIG. 3



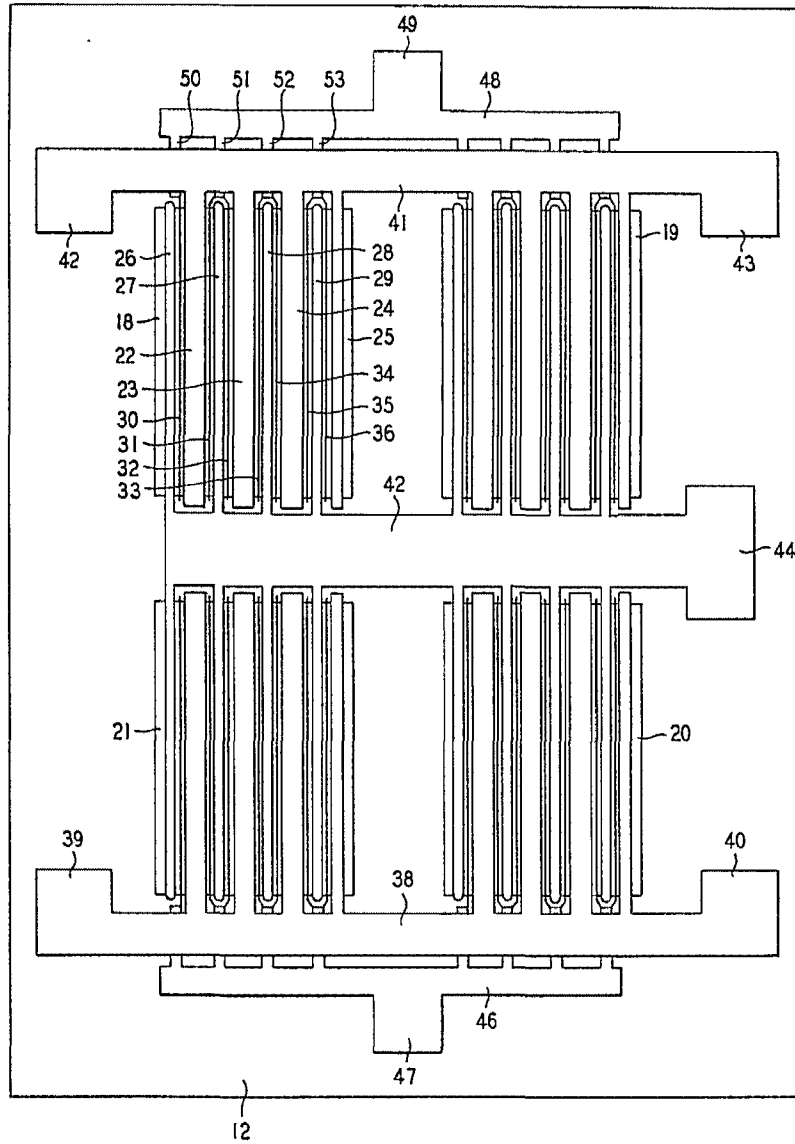
ESCALA  
VARIABLE

MCGraw

23 JUL 1977

J. M. ...  
Fernando ... Diaz

FIG. 4



ESCALA  
VARIABLE

28 OCT 1977

J. M. BOMEZ ROSSO Y POMBO  
c. o. Firmado: J. Suarez Diaz

FIG. 5

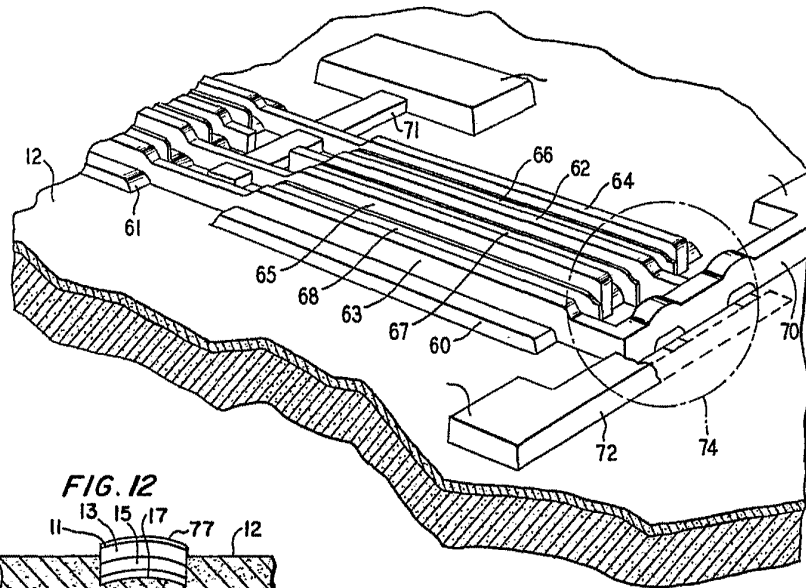


FIG. 12

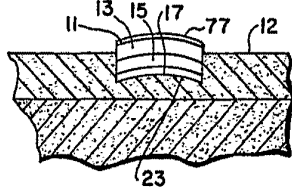
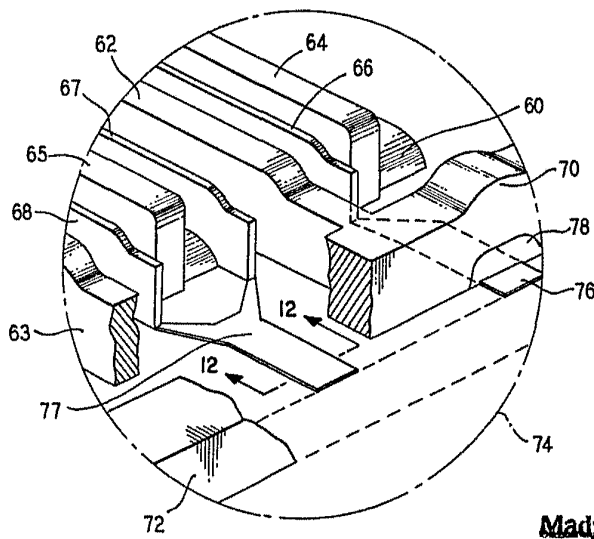


FIG. 6



ESP  
VAR

Madrid - 4 MAR. 1978

J. M. GÓMEZ ALVAREZ Y PARRA  
p. p. Firmado: J. Sáenz-Díaz

FIG. 7

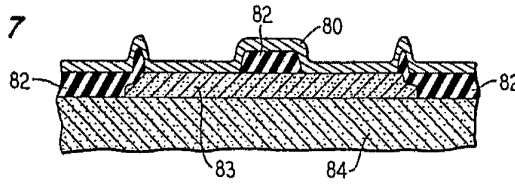


FIG. 8

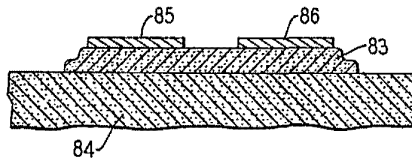


FIG. 9

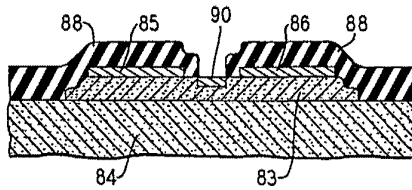


FIG. 10

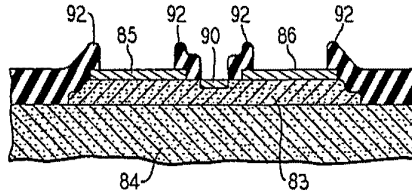
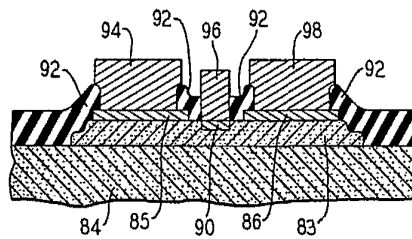


FIG. 11



ESCALA  
VARIABLE

28 Oct 1937

Madrid

J. M. GOMEZ ACEBO Y POMBO  
P. P. Firmado: J. Suarez Diaz