



30 de Abril de 1966

325504

P.- 31.689

RCA 53.868

325504

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud
de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 13 de Abril de 1.966, con el número 325.504

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de RADIO CORPORATION OF AMERICA, entidad nortea-
americana, establecida en 30 Rockefeller Plaza, Nueva
York, N.Y., Estados Unidos de América, por:

"UN DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR DE EFECTO DE CAMPO DE PUER-
TA AISLADA".

Esta invención se refiere a un nuevo transistor
o triodo de efecto de campo que tiene una puerta o barre-
ra aislada. Tal dispositivo puede ser utilizado como un
elemento activo en circuitos electrónicos.

5

El triodo de efecto de campo con puerta aisla-
da comprende generalmente un cuerpo monocristalino de ma-
terial de intervalo de banda que tiene una superficie,
una fuente y un sumidero o drenaje en posiciones separa-
das a lo largo de la superficie y que definen los extre-
mos de una trayectoria de corriente entre ellas (a la que

10

**POOR
QUALITY**



se hace referencia como el canal), y una puerta situada encima y separada a muy poca distancia de la trayectoria de corriente por una capa aisladora delgada. En el dispositivo anterior, el aislador era de un material, usualmente amorfo o policristalino, en el cual la separación media de átomos que constituyen el aislador es marcadamente diferente de la separación de los átomos que constituyen el material de cuerpo. Como resultado de la discordancia en separación atómica, existen estados electrónicos en la intercara entre el cuerpo y el aislador, cuyos estados afectan de manera perjudicial el funcionamiento del dispositivo.

En general, el nuevo triodo de efecto de campo con puerta aislada comprende un cuerpo monocristalino de material de intervalo de banda que tiene una superficie, una fuente y un sumidero en posiciones separadas a lo largo de la superficie que define los extremos de una trayectoria de corriente entre ellos y una puerta separada de la trayectoria de corriente por un aislador como en los dispositivos anteriores. En el nuevo dispositivo el aislador es de un material de intervalo de banda cristalino en el cual la separación media de los átomos que constituyen el aislador es estrechamente acorde con la del material de cuerpo. Preferiblemente la separación atómica media del material aislador está comprendido entre 0,9 y 1,1 veces la separación atómica del material de cuerpo. Además, la conductancia del material aislador es preferiblemente menor que 10^{-3} veces la conductancia del material de canal, el intervalo de banda del material aislador es preferiblemente al menos 1,1 electrón-voltios,

325504

30A



y es al menos 0,4 electrón-voltios o mayor que el del material de cuerpo.

5 En los dispositivos nuevos el material aislador tiene preferiblemente la forma de un cristal único desarrollado en el mismo cristal con el material de cuerpo. Tal estructura monocristalina puede ser obtenida por el desarrollo epitaxial del aislador sobre un canal monocristalino. Tal estructura suministra rendimientos de producción mejorados y características de funcionamiento más estables.

10 Los dispositivos nuevos presentan características de funcionamiento mejoradas sustancialmente. Por ejemplo, se reduce el ruido en $1/f$ y las características de funcionamiento del triodo permanecen más constantes con el tiempo. La estructura antes descrita puede también ser usada para aprovechar la ventaja de la alta movilidad de portador que existe en ciertos materiales de intervalo de banda, por ejemplo, el arseniuro de galio.

15 Una descripción más detallada del dispositivo mejorado y realizaciones ilustrativas del mismo aparecen a continuación en unión con los dibujos, en los cuales:

20 La figura 1 es una vista en sección de una primera realización del dispositivo mejorado junto con un circuito esquemático para funcionamiento de la realización.

25 La figura 2 es una vista en perspectiva de una estructura ideal presentada con el fin de definir varios parámetros usados en un análisis de un triodo.

30 La figura 3 es una parte de un diagrama de banda de energía ideal que ilustra las posiciones relativas de los fondos de los bordes de banda de conducción del aislador y del canal en un nuevo triodo.



La figura 4 es un diagrama de banda de energía que ilustra los niveles de energía relativos en una sección típica a través del electrodo de puerta, aislador, y canal de una realización de triodo del dispositivo me-
5 jorado, y

La figura 5 es una familia de ilustraciones (A), a (E), que ilustran las etapas que pueden ser utilizadas para preparar un triodo tal como el triodo ilustrado en la figura 1.

La invención se describe para dispositivos de tipo de empobrecimiento que tienen un canal del tipo H. Sin embargo, también forman parte de la invención dispositivos del tipo de enriquecimiento y dispositivos que tienen un canal del tipo P. Generalmente, el mismo análisis para circuitos se aplica a dispositivos que tienen un canal del tipo P excepto que las polaridades de todas las tensiones aplicadas son invertidas.

La figura 1 ilustra un dispositivo 21 que comprende un cuerpo monocristalino 23 de alta resistividad de material de intervalo de banda que tiene una superficie 22 y una fuente 25 y un sumidero 27 de material de intervalo de banda del tipo H conductor en posiciones separadas a lo largo de la superficie 22. Una capa de aislador 29 cristalino (sea monocristalino o policristalino) de otro material de intervalo de banda cubre la región 31 del cuerpo 23 entre la fuente 25 y el sumidero 27, cuya región es indicada como el canal 31. Una puerta 33, sea de metal o un material de intervalo de banda conductor (por ejemplo, una parte de superficie altamente activada del aislador 29), queda sobre el aislador 29,
20
25
30

325504

10 ABR



que separa la puerta 33 del canal 31. La puerta 33 puede extenderse frente a parte o a todo el canal 31. De manera análoga, el aislador 29 puede extenderse sobre parte o sobre todo el canal 31. Un contacto de fuente 35 está en contacto óhmico con la fuente 25, y un contacto de sumidero 37 está en contacto óhmico con el sumidero 27.

El cuerpo 23 y el aislador 29 son de materiales de intervalo de banda diferentes que están relacionados uno con otro por separación atómica, conductancia e intervalo de banda de energía. El término "material de intervalo de banda" hace referencia a cualquier material que tenga un intervalo de banda de energía entre las bandas de valencia y conducción en los niveles de energía en el material. Así, el término incluye lo que puede denominarse aisladores y semiconductores, cuyas características pueden ser o no ser modificadas por la presencia de impurezas en el material.

Para comprender la relación de separación atómica, considérese lo siguiente. Si una disparidad en separación de los átomos que constituyen los materiales del aislador 29 y del cuerpo 23 introduce estados de "superficie" en la región de la intercara entre ellos en la extensión de un estado por cada átomo adicional presente, entonces la disparidad de separación atómica se limita a alrededor del 10% por la exigencia de que la densidad de estado de superficie para un buen dispositivo de efecto de campo ha de ser menor que $10^{12}/\text{cm}^2$. Así, la separación atómica del material aislador ha de estar comprendida entre 0,9 y 1,1 veces la separación atómica del material de cuerpo. Una disparidad mayor introduce una densi-

dad demasiado alta de estados de superficie, empeorando por ello el funcionamiento del dispositivo.

Para comprender las relaciones en conductancia e intervalo de banda, considérese lo siguiente. El aislador 29 funciona como una capa de bloqueo dieléctrico de manera que las corrientes portadoras a través del aislador 29 entre la puerta 33 y el canal 31 son despreciables comparadas con las corrientes a través del canal. Las corrientes de tunel entre la puerta 33 y el canal 31 son despreciables por efecto del espesor de la capa aisladora (alrededor de 1000 unidades Angstrom o más). La conductancia intrínseca del aislador es pequeña y las corrientes inyectadas son también pequeñas. Para la primera, compárese la conductancia ohmica a través del aislador 29 con la conductancia lateral en un canal de efecto de campo. Con referencia a la figura 2, la conductancia ohmica j_i (por unidad de anchura de canal)

$$(1) \quad j_i = qn_i\mu_i \cdot \frac{V_d - V_{g1}}{2t}$$

Donde se toma como el campo efectivo ($V_g < 0$) un campo de $\frac{V_d - V_g}{2t}$.

La corriente lateral j_s en la saturación y $V_g = 0$ es

$$(2) \quad j_s = \frac{t\mu_s}{tE} \cdot \frac{1}{2} \cdot V_p^2$$

$$(3) \quad V_p = \text{tensión de derivación}$$

Según la actual teoría de MOS. Comparando estos y haciendo que $j_i/j_s < 10^{-3}$ encontramos que $n_i < 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ en las circunstancias siguientes:



$$\frac{\mu_i}{\mu_s} = 10^{-1}, \quad t = 10, \quad L = 2 \times 10^{-3} \text{ cm.}, \quad V_d - V_g = 10 \text{ volt.}$$

$$\mu_s = 10^{12}/\text{cm}^2 = \text{densidad de carga de superficie de}$$

canal. Estas exigencias serían satisfechas por cualquier material puro con un intervalo de banda mayor que 1,1 e.v. (funcionamiento a temperatura ambiente).

5

Para obtener una estimación de la barrera requerida para evitar las corrientes de inyección, considérese la barrera de banda de conducción. Trasladando la densidad de superficie de $10^{12}/\text{cm}^2$ a una densidad de volumen de $10^{18}/\text{cm}^3$, encontramos un valor de $\phi = 0,4$ e.v. si la densidad de huecos de aislador de la barrera ha de ser menor que $10^{10}/\text{cm}^3$, que hemos usado previamente, como se muestra en la figura 3. Puesto que la densidad de huecos será mucho menor, la barrera para huecos puede ser apropiadamente menor. Las exigencias de barrera dependen también de la temperatura y se reducen exponencialmente para funcionamiento a temperatura baja.

10

15

20

Con referencia a la figura 4, tenemos la siguiente expresión aproximada de las exigencias de aislador mínimas para funcionamiento a la temperatura ambiente:

(4) $E_{g_{ins}} \approx E_{g_{ch}} + 0,4 + 0,2$ (en electrón-voltios) o alrededor de 0,6 e.v. mayor que el intervalo de banda del semiconductor, y al menos 1,1 e.v. La puerta 33 puede ser de un metal, o una parte de superficie del aislador 29 que está muy altamente excitado cuando el nivel de Fermi está cerca del borde de la banda de conducción.

25

30

Es de notar que la constante dieléctrica del aislador 29 es mayor que la usada en triodos de efecto de campo anteriores pues el aislador 29 no necesita ser tan

325504

30



delgado como se ha usado hasta el momento. Sin embargo, se han usado en los cálculos espesores convencionales de aislador.

5 En la nueva estructura de dispositivo, el canal
31 tiene una estructura monocristalina y el aislador 29
puede tener también una estructura monocristalina. El
dispositivo nuevo es más estable y puede ser producido
con rendimientos de producción mejorados. El dispositi-
10 vo puede utilizar compuestos de los grupos III-V desarro-
llados epitaxialmente y elementos del grupo IV. Por ejem-
plo, se puede usar un aislador GaP en un canal GaAs, un
aislador GaP en un canal Si, un aislador GaAs en un canal
Ge, o un aislante GaAs en un canal InAs o InSb y obtener
15 las ventajas de la alta movilidad de los materiales de
canal.

La realización 21 de la figura 1 puede ser he-
cha funcionar por un circuito 39 que comprende un conduc-
tor 41 de fuente que conecta el electrodo de fuente 35
a masa 43, una sección de puerta que comprende un conduc-
20 tor 45 de puerta que conecta el electrodo de puerta 33
a masa 43, a través de una fuente 49 de polarización de
puerta y una fuente 47 de señal conectada en serie, y
una sección de sumidero que comprende un conducto 51 de
sumidero que conecta el electrodo 37 de sumidero a masa
25 43 a través de una fuente 53 de polarización de sumidero
y una resistencia 55 de carga conectada en serie. La se-
ñal de salida del dispositivo puede tomarse a través de
la resistencia 55 de carga en los terminales 57 a cada
30 lado de la resistencia 55 de carga. Una reproducción am-
plificada de una señal aplicada a la puerta 33 desde la

325504

30 AB



fuerza 47 de señal aparece a través de los terminales 57.

Los sentidos de las polarizaciones mostradas en la figura 1 son para hacer funcionar un dispositivo 21 del tipo de empobrecimiento que tiene un canal del tipo N.

5

Como se muestra en la figura 1, el cuerpo 22 está en flotación (noconectado al circuito). Aunque no se muestra, el cuerpo 23 puede también estar polarizado, sea con una señal CC o con una señal CA para suministrar una entrada auxiliar al dispositivo. También, si el cuerpo es delgado y presentando relativamente resistencia, puede ser colocado un electrodo de puerta auxiliar (no mostrado) junto al cuerpo 23 frente a la puerta 33 para suministrar una entrada de señal auxiliar a través de un electrodo de puerta auxiliar.

10

15

Los dispositivos descritos aquí incluyen estructuras que tienen canales 31 constituidos por un cristal único tal como silicio, germanio, arseniuro de galio, producido directamente en un cuerpo monocristalino o producido epitaxialmente en un soporte monocristalino. Para tales estructuras de cristal único, el aislador 29 puede ser depositado epitaxialmente de una fase de vapor o, en algunos materiales, puede ser desarrollado in situ. El aislador 29 puede ser policristalino o preferiblemente monocristalino. Como se explica antes, la separación de átomos en el aislador 29 es acorde con la separación de átomos en el material de canal: El aislador 29 es preferiblemente desarrollado directamente sobre el canal 31. En algunas realizaciones, el material de canal puede ser depositado sobre el aislador, comparado con el

20

25

30

325504



aislador que es depositado sobre el canal como se describe anteriormente. Las técnicas de fabricación para el dispositivo de puerta aislada de la invención son similares a las usadas para producir transistores bipolares y otros dispositivos de estado sólido electrónicos. Pueden utilizarse técnicas de difusión de impurezas y la geometría puede ser controlada por enmascaramiento de precisión y técnicas fotolitográficas.

Con referencia ahora a la figura 5, un plan de fabricación para un dispositivo que comprende un aislador GaP en un canal GaAs puede ser como sigue: Se parte de un monocristalino, 23 de arseniuro de galio del tipo P, que tiene una resistividad de masa entre 10 y 50 ohmios-cm. como se muestra en la figura 5A. Seguidamente se difunden impurezas en regiones separadas del cuerpo 23 para formar la fuente 25 y el sumidero 27 por técnica conocida de difusión del tipo N y enmascaramiento para proporcionar la estructura mostrada en la figura 5B. Por ejemplo, puede ser difundido azufre elemental en arseniuro de galio calentado un cristal enmascarado en vapor de azufre por espacio de aproximadamente 15 horas a unos 1000°C. para producir la fuente y el sumidero. Seguidamente se produce un canal 31 del tipo N por difusión de impurezas en el cuerpo 23 en la región de superficie entre la fuente 25 y el sumidero 27. Por ejemplo, enmascarado adecuadamente el cristal y calentando de nuevo el cristal enmascarado en vapor de azufre durante aproximadamente una hora. Los tiempos de calentamiento, temperaturas y concentración de vapor preferidos para las difusiones de azufre han de ser determinados empíricamente.



A continuación se desarrolla epitaxialmente un aislador 29 de fosfuro de galio puro por transporte de halógeno o por transporte de óxido, Por ejemplo, utilizando una técnica de transporte de halógeno, puede formarse una película de fosfuro de galio delgada por transporte desde una fuente de fosfuro de galio puro a la superficie del cuerpo 29 a una temperatura de aproximadamente 700°C. en una atmósfera de cloro en varios minutos. La estructura al final de esta operación se muestra en la figura 5D e incluye una capa de fosfuro de galio 29 de espesor aproximado de 1000 Angstrom.

A continuación se forma un electrodo 33 de puerta sobre el aislador 29. Por ejemplo, se desarrolla una capa 33 altamente excitada (degenerada) de fosfuro de galio, usando cualquier fuente altamente excitada con telurio, o añadiendo una impureza tal como azufre a la atmósfera de hidrógeno. El electrodo 33 de puerta y el aislador 29 son enmascarados y atacados con ácido para descubrir la fuente 25 u el sumidero 27. Entonces, los contactos 35 de fuente y 37 de sumidero son hechos sea por conexión directa de un conductor metálico, sea por evaporación de oro metálico en las regiones de fuente y de sumidero, respectivamente. Una metalización 38 de puerta puede hacerse durante la misma operación. La estructura completada se muestra en la figura 5E.

Esta solicitud que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América el 15 de abril de 1965, nº 448.506, se acoge a los beneficios del artículo 51 del Vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial

325504

30 AB



- N O T A -

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención, en España, por VEINTE años son los siguientes:

10

1.- Un dispositivo de efecto de campo de puerta aislada, que comprende un cuerpo de cristal único de material de barrera de potencial, que tiene una superficie, una fuente y un sumidero en posiciones separadas a lo largo de dicha superficie y que define a los extremos de una trayectoria de corriente en dicho cuerpo, y una puerta separada de dicha trayectoria de corriente por un aislador, caracterizado porque dicho aislador tienen una separación atómica entre 0,9 1,1 veces la de dicho material de cuerpo.

15

20

2.- Un dispositivo de efecto de campo de puerta aislada, caracterizado además porque dicho aislador tiene una conductancia menor que 10^{-3} veces la de dicho material de cuerpo, y una barrera de potencial de al menos 1,1 electrón-voltios y al menos 0,4 electrón-voltios mayor que la de dicho material de cuerpo.

25

3.- Un dispositivo de efecto de campo de puerta aislada, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho aislador está en la forma de un cristal único.

30

4.- Un dispositivo de efecto de campo de puer-

325504



ta aislada, según la reivindicación 2, caracterizado aún además porque dicho aislador es un compuesto III-V.

5.- "UN DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR DE EFECTO DE CAMPO DE PUERTA AISLADA".

5 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de trece hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

10

Madrid, 30 ABR. 1966

P.A.

Alberto de Elizaburu
Por Poder.



325504

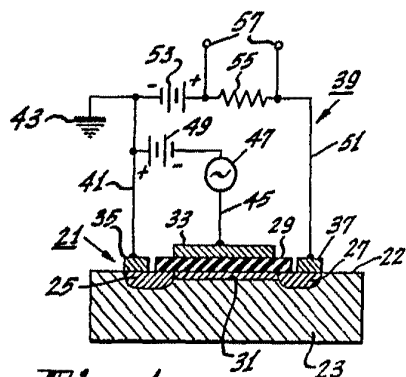


Fig. 1.

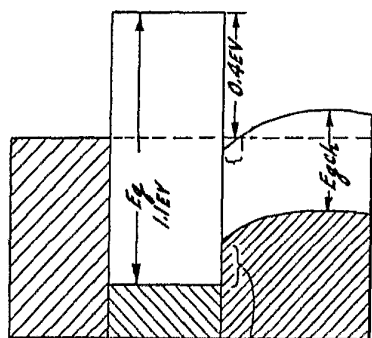


Fig. 4.

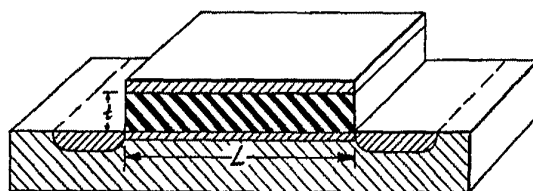


Fig. 2.

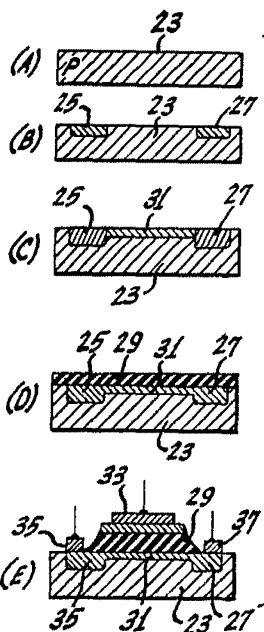


Fig. 5.

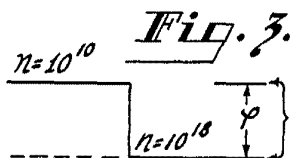


Fig. 3.

Alberto ...
 Pat. Office