

mo/

Caso - Dacey-Lee-Shockley 3-1-50.

227447



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

a favor de

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED - de nacionali-
dad norteamericana - domiciliada en N E W Y O R K,
(E.U.) 195 Broadway,

por:

" Método de preparar cuerpos semiconductivos para su
empleo en aparatos semiconductores ".

-----:oCo:-----

M e m o r i a D e s c r i p t i v a

Este invento se refiere a la fabricación de apa-
ratos semiconductores y más concretamente a los designa-



227447

dos generalmente como transistores de empalme y de efecto de campo, y de un modo especial a la preparación de los cuerpos semiconductivos que se emplean en estos aparatos.

5 En los aparatos de este género que han de funcionar a elevadas frecuencias, conviene generalmente emplear un cuerpo semiconductivo que comprende una delgada zona de un tipo de conductividad, contigua a otra zona de conductividad opuesta. Es característico de los principios generales del invento facilitar la realización de tales cuerpos.

10 Será conveniente discutir ante todo la aplicación de los principios del invento con referencia particular a la fabricación de transistores de empalme, reservando para más tarde la aplicación de principios similares a la fabricación de transistores de efecto de campo.

15 Un transistor de empalme comprende generalmente un cuerpo semiconductivo, comúnmente de germanio, que incluye varias zonas contiguas de diferentes tipos de conductividad, las cuales definen uno o más empalmes P-N del cuerpo. En la forma corriente de transistor de empalme, un cuerpo de germanio comprende una región básica de un tipo de conductividad, por ejemplo, de tipo p, intermedia y contigua a las zonas emisora y colectora de tipo de conductividad opuesto n. En otras formas comunes, el emisor puede ser un electrodo de contacto puntiforme que haga contacto rectificador con la zona de base, o puede interponerse una región intrínseca entre las zonas básica y colectora, según se describe en un artículo titulado "P-N-I-P and N-P-I-N Junction Transistor Triodes", por J.M. Early, publicado en el "Bell System Technical Journal", mayo 1954, págs. 517 a 534.

25
30 Es característico del modo de funcionar de los transistores de empalme de esta clase, la inserción de portado

2274476



res de carga minoritaria en la zona de base, desde el emisor, regulada por la información de señales, para pasar hasta la zona de colector, dando así origen a corrientes de salida en los circuitos asociados a la zona de colector. Los portadores insertos en la forma corriente de transistor de empalme se mueven a través de la zona de base principalmente por difusión, aunque es posible, por medio de un gradiente adecuado en la concentración de átomos de impurezas apreciables o influyentes en la zona de base, establecer un campo electrostático intrínseco que imprima una desviación a los portadores minoritarios, a fin de aumentar la difusión. Es característico de la función de la zona de base en tal operación, determinar en alto grado las características de salida de los transistores. Para que sean uniformes las características de salida de un transistor a otro, es necesario que haya uniformidad en las zonas de base entre los transistores. Por consiguiente, interesa que el método de fabricación de tales transistores sea tal que se preste bien a una buena reproducibilidad de las zonas de base.

Sin embargo, es también característico de la función de la zona de base en un transistor de empalme, la necesidad de configuraciones particulares y distribuciones de impurezas que influyen en contra de una fácil reproducibilidad. Sobre todo, teniendo en cuenta que el tiempo de tránsito para difundir los portadores minoritarios a través de la zona de base constituye un límite superior para la frecuencia de régimen a que se consigue una ganancia apreciable, resulta importante para obtener una buena respuesta a gran frecuencia, que sea poca la anchura de la zona de base.

Hasta ahora, al fabricar transistores de empalme para uso a elevadas frecuencias, los procedimientos empleados

2274467



no se prestaban a una buena reproducibilidad en producción a escala industrial. Por ejemplo, un procedimiento común se basa en convertir el tipo de conductividad de caras opuestas de una chapa semiconductiva delgada, a fin de formar zonas emisora y colectora en las caras opuestas de una zona intermedia no convertida, que sirve entonces como zona de base. Se conocen diversos procedimientos específicos basados en este mismo principio general. Sin embargo, es evidente que para regular con exactitud la anchura de la zona de base en procedimientos de esta clase, es necesario regular con cuidado la anchura de la chapa semiconductiva delgada con que se comienza, y las profundidades de penetración de las dos zonas superficiales convertidas en el espesor de la chapa. En particular, cuando los espesores de las zonas emisora y colectora son grandes en comparación con la anchura que quiere darse a la zona de base, como suele ocurrir en transistores hechos según técnicas de esta clase, pequeños errores fraccionarios en los espesores de estas zonas emisora y colectora y del cuerpo semiconductivo acarrear errores fraccionarios grandes en el espesor final de la zona de base. Por tanto, con esas técnicas es difícil lograr uniformidad de reproducción, sobre todo cuando interesa reproducir con exactitud y en cantidad transistores provistos de zonas de base con menos de 0,25 mm. de anchura.

Además, varios otros procedimientos conocidos para formar zonas intermedias de un tipo de conductividad extrínseca entre dos zonas de tipo de conductividad extrínseca opuesta, por ejemplo, los que implican variaciones en el ritmo de crecimiento o contaminación con impurezas apreciables mientras se forma un cristal semiconductivo, tampoco resultan completamente satisfactorios, o son de aplicación

227447⁶ MA



limitada en la fabricación en gran escala de cuerpos semi-conductivos con una delgada zona intermedia, regulada con precisión, de un tipo de conductividad extrínseca entre dos zonas de tipos de conductividad extrínseca opuestos.

5 Por otra parte, como se ha indicado antes, ya es sabido que con un gradiente o escalonamiento adecuado en la concentración de átomos de impurezas apreciables en la zona de base de un transistor de empalme, puede establecerse dentro de la zona de base un campo electrostático que agregue
10 una velocidad de desviación a la velocidad de difusión de los portadores minoritarios inyectados para cruzar por ella. Si tal desviación tiene por objeto aumentar la difusión, el tiempo de tránsito a través de la zona de base para tales portadores minoritarios puede reducirse, y elevarse la frecuencia máxima del transistor.
15

 Sin embargo, los procedimientos empleados hasta ahora para la fabricación de transistores de empalme no suelen proporcionar un gradiente bastante grande en la concentración de los átomos de impurezas apreciables para que sirvan
20 perfectamente en este sentido.

 Por tanto, un objeto del invento es facilitar la fabricación de un transistor de empalme cuya zona de base se caracteriza por un gradiente en la concentración de los átomos de impurezas apreciables, que se traduce en tiempos
25 reducidos de tránsito para los portadores minoritarios inyectados.

 Con estos fines, el invento ofrece un método de fabricación de transistores de empalme que permite una regulación más precisa para obtener una mejor reproducibilidad y
30 al mismo tiempo proporciona una configuración que se caracteriza por un funcionamiento mejor.

227446 YAR 6



5 En la práctica del presente invento, durante una fase temprana del proceso de fabricación de un transistor de empalme, se forma sobre la superficie de un cuerpo semiconductor de un tipo de conductividad, una capa difundida o infiltrada con impurezas apreciables, de tipo de conducti-
10 vidad opuesto, que eventualmente ha de servir de zona básica en el transistor de empalme, y luego se convierte una porción superficial o película de la capa difundida a su tipo de conductividad inicial, para formar la zona emisora del transistor de empalme. Tal capa superficial difundida pue-
15 de hacerse muy bien de profundidad y resistividad perfectamente ajustadas, procediendo de acuerdo con las técnicas que se describen más adelante. Además, esa capa de difusión se hace fácilmente con un gradiente en la concentra-
ción de átomos de impurezas apreciables difundidas, que constituya el campo electrostático apetecido.

20 En particular, en una forma preferida del invento, se difunde arsénico en estado de vapor en la superficie de un cuerpo de germanio de tipo p, para formar una zona superficial de tipo n con características prescritas. En combinación con esta técnica de difusión para formar la zona de base, una forma preferida de realización del invento comprende la formación de la zona emisora del transistor de empalme evaporando sobre una porción elegida de la capa superficial difundida, y para fusión subsiguiente a la misma,
25 una cantidad regulada de impurezas apreciables, de un tipo cuyas propiedades son opuestas a las del difusivo previamente introducido para formar la capa superficial difundida. Para que esta etapa resulte bien, es importante que sea baja
30 la concentración del difusivo introducido primero en la porción superficial de la capa difundida que ha de convertirse,

227447



pues de otro modo, esta región no podrá servir luego de zona emisora. Esta técnica para formar la zona emisora permite regular con exactitud la geometría de la emisora y degradar lo menos posible la capa de base superficial difundida o infiltrada. En la forma de realización preferida, la zona emisora se obtiene con ventaja evaporando y aleando después una película de aluminio sobre la capa superficial infiltrada de arsénico. La elección de aluminio se considera ventajosa porque en tal aplicación tiene propiedades humectantes convenientes, que ayudan a regular bien la geometría o configuración de la zona emisora.

Una ventaja de la forma de realización preferida es la aleación de la película de aluminio a la capa superficial difundida o infiltrada de arsénico, para formar la zona emisora, mediante un ciclo de calentamiento que comprende calentar por espacio de un minuto aproximadamente a la temperatura eutéctica, y calentar luego menos de un segundo a una temperatura más alta.

En otra forma alternativa de realización, el tipo de conductividad de una porción superficial de la capa difundida original formada para servir de zona de base, se convierte, por obra de un segundo proceso de difusión, y la nueva capa superficial difundida se hace servir como zona emisora. Pueden emplearse otras técnicas para convertir una zona superficial de la capa difundida, tal como el uso de un bombardeo iónico.

Los principios generales ya descritos se pueden aplicar de manera análoga a la fabricación de cuerpos semiconductivos para uso en un transistor de efecto de campo. Los principios de este transistor se describen en un artículo titulado "A Unipolar Field Effect Transistor", por W. Shockley, en

227447⁶



Proceedings of the I.R.E., págs. 1365 a 1376, noviembre 1952. Para formar un cuerpo semiconductor utilizable en tal aparato, se forma una capa superficial delgada de un tipo de conductividad sobre un cuerpo semiconductor de tipo de conductividad opuesto, por difusión en el mismo de una impureza apreciable adecuada, como se ha expuesto anteriormente. Una porción de la superficie de esta capa difundida o infiltrada se reconvierte a la conductividad opuesta mediante las técnicas ya explicadas, y esa porción reconvertida sirve de puerta al transistor de efecto de campo. Además, se establecen conexiones óhmicas a la capa difundida, a lados opuestos de la puerta, para que sirvan de alimentación y drenaje, respectivamente.

El invento se comprenderá mejor por la siguiente descripción detallada, con referencia a los planos, en los cuales representan:

Las figuras 1A a 1G, en sección transversal, y en fases sucesivas de su proceso de fabricación, un transistor de empalme con base difundida de tipo p-n-p, hecho de acuerdo con la forma preferida de realización del invento.

Las figuras 2, 3 y 4, en perspectiva, varias formas de transistores de empalme con base difundida, fabricados de acuerdo con el procedimiento ilustrado en las figuras 1A a 1G.

La figura 5, una gráfica de las concentraciones de átomos de impurezas apreciables predominantes en zonas sucesivas de un transistor de empalme construido de acuerdo con el procedimiento ilustrado en las figuras 1A a 1G.

La figura 6, en sección transversal, un transistor de empalme p-n-i-p, fabricado de acuerdo con otra forma de realización del invento; y

227447⁶



La figura 7, un transistor de efecto de campo, fabricado de conformidad con el invento.

5 A continuación se describe la aplicación de los principios del invento con referencia a la fabricación de un transistor de empalme p-n-p de germanio, de diseño típico. Desde luego, es evidente que los principios se pueden aplicar a transistores de otros tipos.

10 Debe advertirse que los valores dispares de las diversas dimensiones que entran en consideración, hacen imposible trazar los dibujos a escala.

15 Con referencia a los planos, la figura 1A muestra una chapa de germanio -10- de forma cilíndrica, con un espesor o altura de 0,254 mm., y un radio de 1,27 mm. La chapa de germanio es un material monocristalino de conductividad tipo p, y con preferencia, de unos 5 ohm-cm. de resistividad. Típicamente, este tipo de resistividad y conductividad se obtiene impurificando con galio el germanio fundido, del cual se forma el cristal simple.

20 Como fase preliminar en la forma preferida de realización del procedimiento que constituye el invento, suele ser importante limpiar la superficie de la chapa de todo indicio de impurezas indeseables, especialmente de cobre, que es una impureza particularmente activa en el germanio. Para ello, conviene sumergir la chapa en cianuro potásico, lavarla luego con agua desionizada, y desecarla.

25 La chapa de germanio limpia queda así preparada para la formación de una capa de difusión superficial de conductividad tipo n. Una característica importante de la forma preferida de realización del invento es el uso de arsénico como difusivo. El arsénico ha resultado especialmente susceptible de regulación exacta, y la regulación exacta de la capa super-

30

227447



ficial infiltrada es vital para el procedimiento del invento.

De conformidad con esta técnica, la chapa limpia de germanio se introduce en una estufa limpia, con preferencia de molibdeno, porque es la que con más facilidad se mantiene exenta de cobre. En la estufa se introduce también una carga de germanio, muy económicamente de material policristalino, pero de gran pureza, contaminado de arsénico hasta una concentración de este elemento superior en cierto grado a la concentración de arsénico que haya de tener la capa superficial que por difusión se ha de formar sobre la chapa.

En particular, resulta ventajoso emplear de este modo germanio contaminado que tenga una concentración aproximada de 10^{19} átomos/c.c. de arsénico, para producir en la superficie de la capa infiltrada de la chapa en tratamiento una concentración aproximada de arsénico de 2×10^{17} átomos/cm². La cantidad de arsénico contenida en el germanio, relativamente puro por lo demás, puede determinarse con exactitud midiendo la resistividad.

La chapa de germanio se calienta luego en la estufa a 800°C durante unos quince minutos, en el vapor de arsénico resultante de desprenderse por difusión del germanio policristalino calentado, y se forma una capa superficial difundida de arsénico en la chapa. Es característico de este proceso de difusión que la concentración de átomos de arsénico disminuye de acuerdo con una función de error complementario a medida que aumenta la distancia desde la superficie de la placa. Este gradiente en la concentración de átomos de arsénico que dá origen a un campo electrostático en la zona de base, imprime una velocidad de desviación a los portadores minoritarios inyectados desde la zona emisora, para que atra-

227447

- 6 M



viesen la zona de base. En particular, en la forma espe-
cífica que se describe, el tratamiento térmico referido se
traduce en la formación de una capa superficial de difusión
de unos 0,25 mm., con una concentración superficial de
5 2×10^{17} átomos de arsénico/c.c., lo que da una conductivi-
dad superficial aproximada de 10^{-2} mho/cm². La concentración
del arsénico disminuye al aumentar la distancia hacia el in-
terior de la chapa, según se ha explicado ya. Se ha compro-
bado que es ventajoso no pasar de una concentración superfi-
10 cial de 10^{18} átomos/c.c. de arsénico en esta capa de difusión,
a fin de poder formar sobre ella una buena zona emisora fun-
dida con aluminio.

En algunos casos, el proceso descrito se puede modi-
ficar para obtener una concentración máxima de átomos de ar-
15 sénico en una región apartada de la superficie, y una concen-
tración reducida en la película. Tal película de concentra-
ción reducida de arsénico puede adaptarse más fácilmente al
uso como zona emisora.

También se puede formar una capa superficial apropia-
20 da infiltrada de arsénico calentando una masa de arsénico a
una temperatura que provoque una presión conveniente del va-
por de este elemento, y calentando un cuerpo de germanio en
presencia del vapor de arsénico a una temperatura apropiada
para difundir el arsénico en la placa. De ordinario, para
25 evitar concentraciones superficiales excesivas de arsénico,
y lograr al mismo tiempo la cantidad deseada de penetración
de este elemento, conviene tener dos zonas de diferentes tem-
peraturas, y calentar la chapa de germanio a una temperatura
más alta que la empleada para vaporizar el arsénico.

30 La figura 1B muestra la placa de germanio -10- en
cuya superficie se ha formado una capa -11- de tipo n infil-



227447

trada de arsénico. En el transistor de empalme terminado, la parte interior de esta capa infiltrada de arsénico -11- sirve como región de base.

5 Es característico de estas técnicas de difusión superficial que la resistividad y el espesor de la capa de difusión se puedan regular fácilmente con gran exactitud, por ser susceptibles de ajuste cuidadoso todos los parámetros. La concentración de átomos de arsénico difundidos en la superficie de la chapa de germanio puede regularse a un valor
10 prescrito, y la profundidad de penetración de esta capa de difusión se puede regular exactamente por la temperatura y el tiempo de calentamiento. Por tanto, como todos los factores que regulan la resistividad y la profundidad de penetración de esta capa superficial de difusión pueden ser objeto de perfecto ajuste, y reproducirse tantas veces como se
15 quiera, es fácil fabricar en cantidad chapas con capas superficiales infiltradas de arsénico similares.

Como fase subsiguiente del proceso, de acuerdo con el invento, se forma una zona emisora en una porción de la película de la capa superficial infiltrada de arsénico.
20

Esta zona emisora se forma por evaporación de una impureza metálica apreciable, que permita regular fácilmente la geometría, ventajosamente aluminio, sobre una parte escogida de la superficie de la placa. Para ello, es importante cubrir o proteger las porciones de la chapa que han de mantenerse a salvo del vapor de aluminio durante el proceso de evaporación. Los entendidos en la materia conocen técnicas adecuadas de protección o enmascaramiento. Típicamente, la chapa puede montarse en una estructura que sólo deja expuesta al vapor de aluminio parte de una cara de la chapa. Conviene adoptar precauciones para evitar que se difunde o diluya el aluminio en el
25
30



227447⁻⁶

límite de la película depositada. El procedimiento aplicado para la evaporación debe ser uno que se preste a regular con exactitud la cantidad y la configuración del aluminio depositado, y, conviene que no implique un calentamiento apreciable de la chapa de germanio. Se describen procedimientos adecuados en un libro titulado "Vacuum Techniques", de S. Dushman, J. Wiley & Sons, Nueva York (1949).

En la figura 10 se expone una chapa de germanio -10- con una capa superficial -11- infiltrada de arsénico, sobre una porción -11A- de la cual se ha depositado una película de aluminio -12- en un punto circular de 1 mm. de diámetro aproximado y un espesor de unos 1000 Angstroms.

La película de aluminio se liga después a la chapa de germanio para formar una película de aleación de aluminio de tipo p en la parte -11A- de la zona de tipo n infiltrada de arsénico en que se ha depositado la película de aluminio. La aleación se realiza con ventaja colocando la chapa de germanio sobre un calentador de chapa de forma usual, y calentando primero la chapa a la temperatura autéctica de aluminio-germanio, unos 424°C, en una atmósfera de hidrógeno, durante un minuto poco más o menos. Esta primera parte del ciclo de aleación asegura la humectación uniforme de la superficie de germanio con el aluminio, lo cual es importante para reproducir bien las características. Luego, de acuerdo con otra característica de esta forma preferida de realización, como segunda parte del ciclo de aleación, se calienta la chapa de germanio a unos 700°C por muy poco tiempo, mejor sólo durante medio segundo, para formar sobre la superficie de la chapa una fase líquida constituida por 55% de aluminio y 45% de germanio, en términos del número de átomos, para ligar el aluminio al germanio. Ha resultado ventajoso que el tiempo

227447-6



ventaja como electrodo emisor, pero generalmente es preferible depositar una película metálica sobre la capa infiltrada de arsénico, para que sirva de electrodo de base.

5 En consecuencia, otra fase del procedimiento consiste en formar, sobre porciones escogidas de la capa superficial -11- infiltrada, una película metálica que sirve de conexión al electrodo de base. Para ello, se evapora ventajosamente una película delgada (de unos 4000 Angstroms) de una aleación de oro y antimonio ($Au + 0,01\% Sb$) en una configuración anular que rodea el electrodo emisor -12- formado en la superficie del cuerpo. Puede aplicarse cualquiera de los muchos procedimientos conocidos para depositar la película de oro y antimonio, con gran exactitud geométrica y cuantitativa, y evitando un calentamiento apreciable del cuerpo de germanio. Una vez depositada la película de oro y antimonio, se aplica un ciclo de calentamiento para alear la película a la capa superficial infiltrada de arsénico del cuerpo. Para ello, la chapa de germanio se calienta a unos $356^{\circ}C$ (temperatura eutéctica de oro y germanio), hasta que la película comience a alearse con el germanio, y luego se interrumpe el suministro de calor antes de que termine la aleación de la película. En particular, el calentamiento se corta tan pronto como se observa que la película de oro y antimonio humedece la superficie de la chapa. La figura 1E muestra la chapa de germanio de la figura 1D, con adición de un electrodo anular -14- de oro y antimonio que rodea el electrodo emisor -12- de aluminio.

10

15

20

25

Además, en la fabricación de una unidad semiconductor para uso como transistor de empalme tetrodo (o sea, con dos conexiones electrónicas separadas a la zona básica, a través de la cual puede aplicarse una polarización de corriente

30



227447

6 MAR 1953

te continua), en vez de depositar un anillo completo para rodear el electrodo emisor de aluminio, se depositan dos segmentos separados que forman un anillo partido en torno a ese electrodo.

5 Queda aún la formación de una conexión óhmica a la masa de tipo p del cuerpo, para que sirva de electrodo colector. A fin de no tener que retirar la capa superficial infiltrada de arsénico en la región que ha de conectarse, ofrece ventaja soldar a través de esa capa, para unir el electrodo colector al interior de la chapa. En tal caso, conviene incluir una impureza aceptora en el agente de soldadura. Para ello, en la forma preferida de realización, según se expone en la figura 1F, se ha empleado como soldadura una masa de indio -17-, para unir una placa de platino -17-, que
10 sirve de electrodo colector, a la cara posterior (opuesta a la del electrodo emisor) de la chapa de germanio, de modo que el indio penetre por completo a través de la delgada capa infiltrada de arsénico. Preferiblemente, la misma fase de calentamiento usada para ligar la película básica de oro a
15 una cara del germanio, puede utilizarse para alear el electrodo colector a la cara opuesta del germanio. Después de enmascarar debidamente la cara superior de la chapa, se descubre el empalme colector sumergiendo la chapa en un baño ácido apropiado, por ejemplo, CP-4, durante unos cuarenta
20 segundos. La máscara protectora se retira luego de la cara del emisor. La figura 1G muestra la chapa después de descubrir el empalme colector con auxilio del baño ácido.

 La figura 2 muestra en perspectiva un transistor de empalme tetrado -20-, de diseño concordante con el procedimiento descrito a propósito de las figuras 1A a 1G. El diseño de esta unidad se ha elegido para funcionar con corrientes colectoras hasta de 500 miliamperios. Los números de
30



7447

referencia empleados son los mismos que se indican en las figuras 1A a 1G.

Finalmente, hay que proporcionar conductores a las diversas conexiones electrónicas, lo cual puede hacerse del modo acostumbrado, y encerrar el conjunto debidamente.

La figura 3, muestra en perspectiva un transistor de empalme tetrodo -30-, fabricado de acuerdo con un procedimiento descrito según un diseño ideado para ampliar el límite superior de frecuencia del margen de funcionamiento a expensas de la capacidad máxima de corriente del colector. En esta unidad, la chapa de germanio -31- de tipo p era al principio un bloque de 1,25 mm. en cuadro y 0,25 mm. de espesor, de material monocristalino, con una resistividad aproximada de 5 ohm-cm. La profundidad de la capa superficial infiltrada de arsénico es de 0,0007 mm., y la concentración de arsénico en esta capa se aproxima a 5×10^{17} átomos/c.c. El emisor -32- está formado por el depósito de una película de aluminio de 0,025 mm. de espesor y 0,15 mm. de longitud. Los electrodos de base -33-, de oro y antimonio, con contornos rectos, están separados a ambos lados del electrodo emisor, paralelamente al mismo, a una distancia aproximada de 0,013 mm. La geometría lineal del electrodo emisor y de las conexiones electrónicas de base ha resultado especialmente ventajosa para fabricar una unidad destinada a responder a altas frecuencias. Por ejemplo, la unidad descrita tiene una frecuencia límite alfa de unos 180 megaciclos por segundo. Finalmente, el límite del colector se descubre mediante ataque con ácidos en una figura circular de 0,3 mm. de diámetro aproximado alrededor de los electrodos emisor y de base. También se dispone un electrodo colector -34-.

En la figura 4 se expone un cuerpo semiconductor -35-



227447

para uso en un transistor de empalme hecho conforme al proceso descrito, para disponer de una zona emisora de configuración alternativa. En este caso, un cuerpo de germanio -35- de tipo p se ha infiltrado por una cara con arsénico, para formar una zona superficial -36- de tipo n. A continuación, sobre esta zona superficial se ha evaporado y soldado una película de aluminio a modo de peine, para formar en la porción pelicular de sustrato de la misma una zona -37- de tipo p que sirva de emisora. Además, una película de oro y antimonio en forma de peine, intercalada con la zona emisora, se ha adherido a la zona superficial de tipo n para formar una conexión óhmica a la misma, que sirva como electrodo de base -38-.

En la figura 5 se han inscrito las concentraciones relativas de impurezas apreciables predominantes en zonas sucesivas de un transistor de empalme de la clase expuesta en las figuras 2 y 3, construída de acuerdo con el invento. La distancia de penetración en la chapa de germanio se inscribe como abscisas. Las concentraciones relativas de impurezasceptoras se registran como ordenadas positivas, y las de impurezas donadoras, como ordenadas negativas. La zona emisora indicada con la letra E y la zona colectora, indicada con la letra C, se ven caracterizadas por el predominio de átomos donadores, que crean una conductividad de tipo p, mientras que la zona de base indicada con la letra B, está caracterizada por un predominio de átomos aceptores, que originan conductividad de tipo n. Además, el predominio de átomos donadores se ve decrecer a medida que aumenta la distancia desde la zona emisora, en dirección a la zona colectora. Un gradiente de esta clase da origen a un campo electrostático que reduce el tiempo de tránsito por la zona básica



227447 - 6 MAR 1956

de iones positivos inyectados, aumentando así el límite superior de margen útil de frecuencia.

Como se ha indicado antes, la forma preferida de realización descrita en detalle admite diversas modificaciones.

5 En primer lugar, para formar una zona superficial infiltrada de tipo n, que ha de servir como zona de base, pueden emplearse en algunos casos, otros elementos donadores en vez de arsénico, por ejemplo, antimonio, fósforo y bismuto. Además, para establecer una conexión óhmica que sirva de electrodo de base con la zona de base infiltrada, es posible emplear, por ejemplo, aleación de estaño y antimonio en lugar de la aleación de oro y antimonio descrita.

15 Por otra parte, en vez de aluminio como impureza para formar la zona emisora, sirven otros elementos aceptores apropiados, como indio o boro. En particular, cuando se utiliza boro, puede ser preferible convertir una parte pelicular de la primera capa superficial infiltrada, mediante un proceso subsiguiente de difusión. Por ejemplo, se puede calentar tetracloruro de boro, y dejar que el vapor de boro se difunda en una porción superficial poco profunda de la capa infiltrada de tipo n, a fin de convertirla a tipo p para que sirva de zona emisora. Además, puede aplicarse la técnica de bombardeo iónico para formar la zona emisora.

25 El electrodo colector de la masa de tipo p puede formarse también, por ejemplo, empleando una aleación de oro y galio como agente de fusión, en vez de indio descrito.

Igualmente es posible fabricar transistores de empalme de germanio n-pn, con una zona de base infiltrada, de acuerdo con principios similares, mediante una modificación apropiada de parámetros. En particular, pueden emplearse, por ejemplo, aluminio y boro como difusivos aceptores al formar la zona de



227447

base infiltrada, y arsénico, fósforo y bismuto como impurezas donadoras para convertir una parte superficial de esta capa infiltrada primeramente obtenida, a fin de hacerla servir de zona emisora.

5 Aunque el germanio suele ser el material semiconductor preferible para uso en transistores de empalme, hay casos en que el cuerpo semiconductor se hace mejor de algún otro material, como silicio, aleación de germanio y silicio, o un compuesto de los grupos III a V, como antimoniuro de indio o arseniuro de aluminio. De acuerdo con los principios generales descritos, seleccionando adecuadamente los parámetros, pueden fabricarse con ventaja transistores de empalme con cuerpos semiconductivos de tales materiales.

15 Los principios del invento se puede extender fácilmente a la fabricación de transistores de empalme de la clase descrita en el Bell System Technical Journal antes mencionado, caracterizados por una zona intrínseca comprendida entre las zonas de base y colectora, para funcionar a frecuencias más altas.

20 Será conveniente discutir la aplicación de los principios del invento, con especial referencia a la fabricación de un modelo típico de unidad de germanio p-n-i-p, de la clase expuesta en sección transversal en la figura 6.

25 Para la fabricación de tal unidad o conjunto, se forma una capa superficial -41- infiltrada de tipo n sobre una chapa de germanio monocristalino -40-, de conductividad substancialmente intrínseca, provista de una región con hoyuelos obtenida por cualquier procedimiento adecuado de corrosión. Es ventajoso formar esta capa de tipo n difundiendo arsénico del modo antes descrito. Después, mediante corrosión adecuada, esta
30 capa superficial de tipo n se retira del cuerpo de germanio,

227447



5 salvo por la parte de la superficie que constituye la cara anterior, o sea donde ha de formarse la zona emisora. Luego se convierte una porción superficial del resto de la capa de tipo n al tipo p, para formar la zona emisora -43-, según se ha descrito anteriormente, y además, una porción de superficie de la cara posterior de la región intrínseca se convierte a tipo p para formar la zona colectora -44-. Es conveniente también hacer esto evaporando aluminio y aleándolo luego a la porción correspondiente del cuerpo de germanio. Es preferible que la película de aluminio depositada sobre la cara posterior intrínseca sea más gruesa que la depositada sobre la cara anterior infiltrada de tipo n, pues generalmente conviene alear en la zona intrínseca, para formar la zona colectora, más profundamente de lo que es posible hacerlo en la zona infiltrada de tipo n, sin penetrar por completo a través de ella.

15 Lo mismo que con el conjunto p-n-p reseñado antes, la concentración de aluminio en las superficies de las zonas de tipo p recién formadas después de la aleación pueden ser de altura suficiente para empalmar directamente a ellas los conductores. Sin embargo, sigue siendo ventajoso metalizar una porción descubierta de la zona infiltrada de tipo n que sirve como zona de base para formar en ella electrodos, a los que pueda aplicarse una conexión de baja resistencia. Tal electrodo de base puede obtenerse por evaporación y subsiguiente soldadura de una aleación de oro y antimonio, del modo antes explicado.

25 Naturalmente, es posible preparar conjuntos n-p-i-n de un modo análogo, mediante cambios apropiados, según queda expuesto, al explicar los procedimientos de fabricación de conjuntos p-n-p y n-p-n.

30 Además, al hacer conjuntos n-p-i-n y p-n-i-p, pueden realizarse sustituciones del género descrito con relación a

2274476 MAR



la fabricación de las unidades n-p-n y p-n-p, tanto en los materiales semiconductivos como en las impurezas apreciables, y en la manera de formar la zona emisora y las conexiones a las distintas zonas.

5 En la figura 7 se expone un cuerpo semiconductor destinado a un transistor de efecto de campo, fabricado de acuerdo con los principios descritos. En una chapa de germanio -50- de tipo p se ha formado sobre una de sus caras mayores una delgada zona superficial -51- infiltrada de arsénico, de conductividad tipo n. Se han soldado electrodos de oro y antimonio -52- y -53- a puntos separados de la capa de tipo n, a fin de formar conexiones óhmicas a las mismas, que sirvan de electrodos de admisión y de descarga. Entre los electrodos -52- y -53- se ha soldado a la capa superficial una película de aluminio, para convertir una parte de la película a conductividad de tipo p, y hacerla servir de puerta de entrada.

10

15

En actividad, la capa delgada de tipo n sirve de canal conductor de electrones entre la admisión y la descarga. Formando una capa superficial infiltrada de un tipo de conductividad sobre un cuerpo mayor de conductividad de tipo opuesto, el cuerpo sirve de soporte pasivo, con lo que se facilita el problema de realizar un canal conductor estrecho de un determinado tipo de conductividad. Polarizando a la inversa el empalme rectificador formado entre la parte grande tipo p del cuerpo y la capa infiltrada de tipo n, se hace que la porción de tipo p sirva efectivamente de aislador. La anchura del canal conductor, y por ello su conductividad, se regulan por la capa de carga espacial asociada al empalme rectificador fundido asociado a la puerta, polarizado también a la inversa.

20

25

30 Las diferentes modificaciones sugeridas en el curso de la descripción del proceso de fabricación de cuerpos semicon-

227447 -6 MA
227447



ductivos empleados en transistores de empalme, pueden hacerse también en los procedimientos de preparación de cuerpos semiconductivos para uso en transistores de efecto de campo.

5 Por consiguiente, debe entenderse que las formas específicas de realización descritas son simplemente ilustrativas de los principios generales del invento.

10 En lo que concierne a las reivindicaciones, se empleará la expresión "tipo de conductividad" para referirse conjuntamente a los tipos de conductividad intrínseca y extrínseca, mientras que la expresión "tipo de conductividad extrínseca" se empleará refiriéndose únicamente a los tipos de conductividad p y n.

-----: N O T A :-----

15

Se reivindica como objeto de esta patente:

20

1.- Método de preparar cuerpos semiconductivos para su empleo en aparatos semiconductores, caracterizado por hacer en la superficie de un cuerpo semiconductor de un determinado tipo de conductividad, una capa difundida o infiltrada de un tipo de conductividad extrínseca diferente, y reconvertir luego una porción superficial de la capa infiltrada a la conductividad extrínseca opuesta a la del resto de la misma capa.

25

2.- Método según la reivindicación 1, en el que la capa infiltrada se obtiene difundiendo en ella una impureza apreciable en estado de vapor; caracterizado porque se establecen conexiones óhmicas separadas con la capa infiltrada y con la porción superficial del cuerpo.

30

3.- Método según la reivindicación 1, en el que el cuerpo es de carácter semiconductor substancialmente intrínseco, y la capa infiltrada es de un tipo de conductividad extrínseca;

227447



-6 MAR

5 caracterizado por formar en una diferente porción del cuerpo semiconductor intrínseco, otra región del mencionado tipo de conductividad extrínseca opuesto, a fin de obtener un cuerpo semiconductor con regiones adyacentes del referido tipo de conductividad extrínseca y de tipo de conductividad intrínseca entre regiones del tipo de conductividad extrínseca opuesto.

10 4.- Método según la reivindicación 1, caracterizado por formarse la capa infiltrada de conductividad extrínseca distinta, sobre la superficie de un cuerpo de una conductividad extrínseca, y reconvertir dicha porción superficial para formar una región de tipo de conductividad extrínseca opuesto entre dos regiones de un tipo de conductividad extrínseca, disponiendo conexiones óhmicas separadas con la porción principal del cuerpo, la capa infiltrada y la porción superficial reconvertida de la capa infiltrada.

15

20 5.- Método según la reivindicación 1, caracterizado por difundir una impureza apreciable, característica de un tipo de conductividad extrínseca, en una capa superficial de un cuerpo semiconductor de distinto tipo de conductividad, mientras el cuerpo se mantiene a una temperatura elevada, y luego en una operación distinta, introducir una impureza apreciable, característica del tipo opuesto de conductividad extrínseca, en una porción superficial de la capa infiltrada, para convertirla al tipo de conductividad extrínseca opuesto.

25 6.- Método según la reivindicación 5, caracterizado por adherir o soldar la impureza apreciable característica del tipo opuesto de conductividad extrínseca a una porción superficial de la citada capa infiltrada.

30 7.- Método según la reivindicación 1, en el que el aparato semiconductor ha de ser de tipo n-p-n, caracterizado porque el difusivo es arsénico, el cuerpo semiconductor es de



227447⁻⁶ M

tipo p, y el agente para convertir una porción superficial de la capa infiltrada de arsénico a conductividad de tipo p es aluminio.

5 8.- Método según la reivindicación 1, en el que el cuerpo semiconductor es de tipo n-p-i-n; caracterizado porque el cuerpo semiconductor es un cuerpo intrínseco de germanio, la capa infiltrada es de arsénico difundido de tipo n; y porque se suelda aluminio a una porción superficial de la citada capa infiltrada de arsénico, para convertirla al tipo de conductividad p, y se convierte una porción distinta del cuerpo al tipo de conductividad p.

10 9.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la capa superficial es de tipo n, infiltrada de arsénico, que se difunde en un cuerpo de germanio de tipo p, con una concentración superficial inferior a 10^{18} átomos/cm²; se evapora una película delgada de aluminio sobre una porción elegida de esta capa superficial infiltrada de arsénico, y se establece un empalme p-n en la interficie de la película con la capa infiltrada que sirve de substrato, calentando primero la interficie entre la película delgada de aluminio y el cuerpo de germanio infiltrado de arsénico aproximadamente a la temperatura eutéctica de aluminio-germanio, y luego, por poco tiempo, a otra más elevada.

15 10.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la citada porción superficial se convierte mediante bombardeo iónico.

20 11.- Método según la reivindicación 4, caracterizado porque la concentración de la impureza apreciable difundida varía desde un valor elevado en un empalme rectificador hasta otro más bajo en el otro empalme rectificador, y porque el primer empalme es el fundido.

30



227447

-6

5

12.- Método según la reivindicación 11, caracterizado porque se aplica un electrodo de figura lineal como conexión óhmica a la zona terminal que comprende el empalme fundido, y un par de electrodos de figura lineal a ambos lados del electrodo mencionado, para establecer conexiones con la región intermedia.

13.- Método de preparar cuerpos semiconductivos para su empleo en aparatos semiconductores.

10

Esta memoria consta de veintiseis páginas, escritas por una sola cara.

BARCELONA, - 6 MAR. 1956
P.A.



FIG. 1A

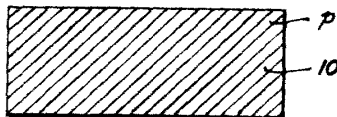


FIG. 1B

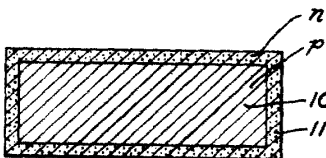


FIG. 1C

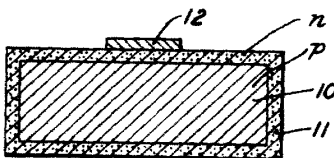


FIG. 1D

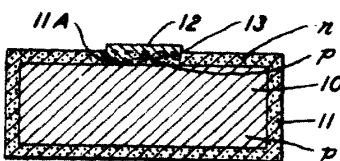


FIG. 1E

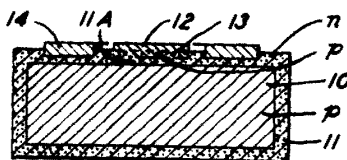


FIG. 1F

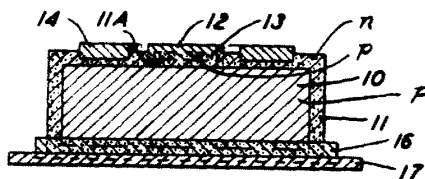
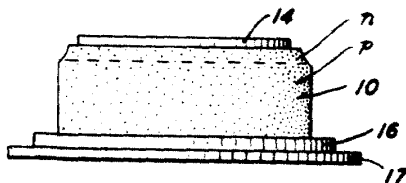


FIG. 1G



NOTA EL DISEÑO
P. E. [Signature]



FIG. 4.

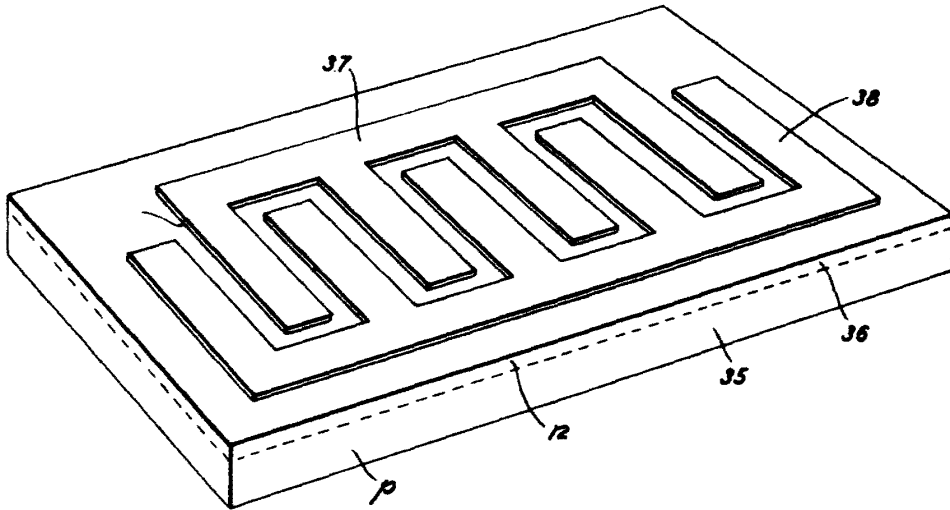
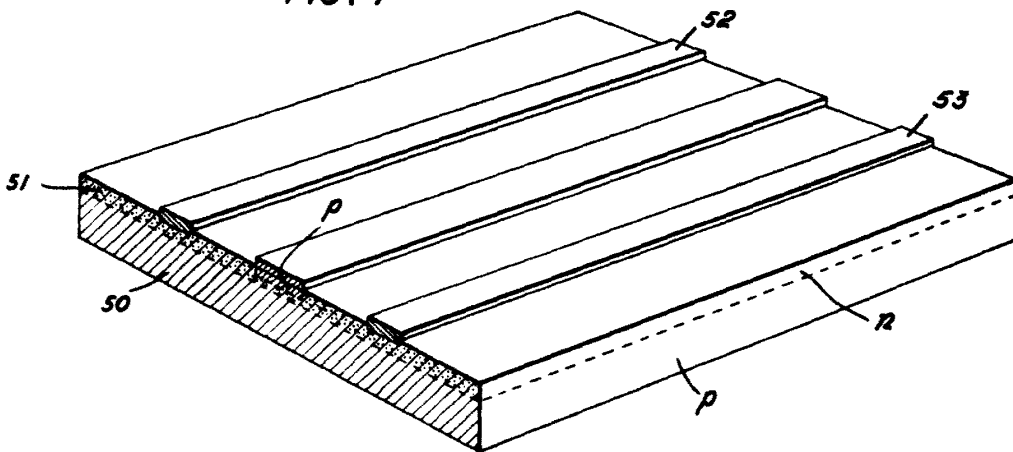


FIG. 7



MADE IN U.S.A.

[Handwritten signature]