

mo/

Caso

W. Shockley 48

227104

227104

28 FEB 5



===== PATENTE DE INVENCION =====

a favor de

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED - de nacionalidad
norteamericana - domiciliada en NEW YORK (E. U.), 195
Broadway,

por:

" Procedimiento para formar una zona de características
determinadas en un cuerpo semiconductor ".

-----:oOo:-----

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

El presente invento se refiere a la fabricación de

227104



aparatos semiconductivos, y más concretamente a un método o procedimiento para formar capas superficiales de un determinado tipo de conductividad en cuerpos semiconductivos, para uso en aparatos semiconductores.

5 Un objeto general del invento es facilitar la formación de capas superficiales de características prefijadas en cuerpos semiconductivos.

10 La formación de una capa superficial de características prescritas en la superficie de un cuerpo semiconductor es cada vez de mayor importancia como proceso técnico para obtener un empalme rectificador de amplia superficie en el cuerpo. Hasta ahora se han sugerido varias técnicas para convertir el tipo de conductividad de una porción de la superficie de un cuerpo semiconductor, a fin de formar en
15 el mismo un empalme rectificador. En el procedimiento descrito en la patente de los Estados Unidos 2.567.970, otorgada el 18 de Septiembre de 1951 a J.H.Scaff y H.C.Theuerer, se forma un empalme rectificador p-n en un cuerpo de silicio. Este procedimiento consiste en calentar un cuerpo de
20 silicio de tipo p en presencia del vapor desprendido al calentar fósforo amarillo, para difundir el fósforo en el cuerpo de silicio y formar una capa superficial difundida o salpicada de fósforo, de tipo de conductividad n.

25 Sin embargo, esta técnica, en tal forma, es de aplicabilidad limitada, puesto que en sentido práctico queda limitada al empleo de ciertos difusivos caracterizados por presiones de vapor comprendidas dentro de la estrecha escala en que tal difusión se regula fácilmente. Esto es un inconveniente, puesto que algunas de las impurezas apreciables o
30 influyentes, de mejores perspectivas como difusivos por otras razones, como es, por ejemplo, el arsénico, para convertir



5 el germanio de tipo p en tipo n, se caracterizan por presiones de vapor tan elevadas en estado puro, para temperaturas a las que se defundirían fácilmente en un cuerpo semiconductor, que se hace difícil regular la concentración del difusivo introducido. En particular, para aplicaciones de la clase especificada más adelante, en las que se hace necesario reconvertir después una porción superficial de la capa difundida formada, a un tipo de conductividad opuesto al de la capa difundida, conviene limitar la concentración del difusivo original a la superficie de la capa difundida, con lo que resulta más fácil la reconversión sub-
10 siguiente.

Para remediar esta deficiencia del procedimiento descrito, y dar más flexibilidad a la técnica de difusión, de acuerdo con el presente invento se diluye la impureza apreciable que ha de usarse como difusivo en un vehículo apropiado, a fin de reducir su presión efectiva de vapor a términos convenientes. Sin embargo, es importante que el vehículo empleado sea tal que no ocasione contaminación del cuerpo semiconductor en tratamiento. Además, cuando se emplea un vehículo, se plantea el problema de regulación; es de suma importancia en muchas aplicaciones de esta técnica regular con cuidado los diversos parámetros en juego, para mejorar la reproducibilidad y conseguir fácilmente las características prescritas. En particular, cuando han de prepararse grandes cantidades de cuerpos semiconductivos en varias tandas, interesa poder determinar convenientemente a
20 intervalos periódicos la concentración de la impureza empleada como difusivo en el vehículo, con el fin de asegurar que se mantiene dentro de un margen prescrito. También es conveniente, desde el punto de vista de la producción, que la
25
30



concentración de la impureza apreciable difundida en el vehículo se pueda mantener uniforme en un gran número de "cargas impuras" (término que designa la mezcla del vehículo y la impureza apreciable difusiva.

5 Para ello, de acuerdo con una característica del invento, se emplea como vehículo, en una carga impura, material semiconductor de gran pureza, y económicamente de forma policristalina. Conviene que el semiconductor utilizado como vehículo en la carga impura sea el mismo del cuerpo que ha de tratarse. De este modo se reduce al mínimo el riesgo de contaminación, y además se facilita el problema de regulación. Esta se simplifica porque la concentración de impureza apreciable en tal carga impura se puede determinar sin dificultad midiendo simplemente la resistividad de la carga impura, ya que existirá una relación definida entre la resistividad de la carga impura y la concentración de la impureza apreciable que contiene.

10

15

Una aplicación típica del invento es la fabricación de transistores de empalme en los que una capa superficial de un cuerpo de germanio de tipo p se convierte en germanio de tipo n mediante difusión en ella de átomos de arsénico, y la parte mayor de esta capa sirve de zona básica del transistor. Sin embargo, una parte de la superficie de esta zona de tipo n se reconvierte en tipo p para que sirva de zona emisora, por evaporación y aleación subsiguiente de una película de aluminio sobre la capa difundida con arsénico. Para que el procedimiento resulte bien, es importante regular con gran exactitud las características de la superficie de la capa formada por difusión de átomos de arsénico. En particular, es necesario limitar la concentración de átomos de arsénico en la superficie de la capa difundida

20

25

30



a unos 2×10^{17} átomos/c.c. Para ello, se ha comprobado que es ventajoso en ese procedimiento hacer la capa superficial difundida con arsénico de acuerdo con el presente invento.

5 En una forma específica de realización del presente invento, para uso particular en el procedimiento que acaba de describirse, una chapa o pieza de germanio de tipo p se calienta en condiciones prescritas dentro de una estufa, de molibdeno limpia, que comprende también como carga
10 impura una masa de germanio policristalino de tipo n que contiene una determinada concentración de arsénico.

El invento se comprenderá mejor por la siguiente descripción más detallada, con referencia al plano adjunto, en el cual:

15 La figura 1, representa una estufa en la que se calienta una chapa o pieza semiconductiva en presencia de una carga impura de material semiconductivo, de acuerdo con el invento; y

20 La figura 2, es una gráfica que representa la concentración relativa de difusivo al aumentar la penetración del mismo en una chapa semiconductiva, después de tratamiento conforme a la invención. En esta gráfica, las ordenadas representan la concentración de difusivo y las abcisas la profundidad de penetración.

25 Con referencia más concreta al plano, en la figura 1 se representa esquemáticamente un equipo apropiado para realizar una forma del invento. Dentro de una cámara -10-, por ejemplo, de material refractario, como cuarzo, que cede un mínimo de impurezas indeseables al calentarlo, se dispone
30 convenientemente apoyada una estufa -11-, con preferencia de molibdeno u otro material adecuado, que pueda limpiarse



bien de impurezas apreciables, en particular de cobre. Se disponen medios para evacuar la cámara -10-, y también la estufa -11-, por ejemplo por el tubo -15-. Unos carretes de inducción -12-, a los que se aplican corrientes de radio-
5 frecuencia, rodean la cámara -10- para calentar el interior de la estufa. Se emplea un aparato medidor de temperatura apropiado (que no se representa) para regular la temperatura de la estufa. Dentro de ésta se coloca una carga impura
10 -13-, que, en una forma preferida del invento, comprende una masa de germanio policristalino con arsénico como diluyente, pero muy purificado por lo demás. Típicamente, la masa de germanio se puede diluir con una concentración de arsénico de unos 10^{19} átomos/c.c., que a la temperatura ambiente corresponde a una resistividad de 0,002 ohm-cm. para
15 la carga impura.

La estufa aloja asimismo una chapa o pieza de germanio -14-, con preferencia de material monocristalino, y normalmente de conductividad de tipo p, obtenida agregando galio como agente de contaminación al germanio fundido durante la formación del cristal. Conviene tratar previamente
20 la chapa de germanio -14- para reducir al mínimo las impurezas superficiales, en particular cobre. Típicamente, ese tratamiento incluye pulimento superficial e inmersión en cianuro potásico.

25 Para formar la capa superficial deseada, difundida con arsénico, sobre la chapa de germanio, se hace el vacío en la estufa, y se calienta con su contenido a una temperatura y por un tiempo determinados por las propiedades que haya de tener la capa difundida.

30 La concentración del arsénico difundido en la superficie de la chapa o pieza de germanio se puede regular por

27747A

28 FEB



la concentración de arsénico en la carga impura. Esta tendrá en general una masa grande comparada con la de la chapa en tratamiento. La temperatura de régimen de la estufa regula el ritmo de difusión del arsénico en la chapa de germanio, el cual, junto con el tiempo de calentamiento, determina la profundidad de difusión del arsénico en esa chapa. Para una carga impura típica del género descrito, un tiempo de calentamiento de unos quince minutos a unos 800°C produce en una chapa de germanio de tipo p, con resistividad inicial de 5 ohm-cm., una capa de tipo n difundida con arsénico de 0,25 mm., con una concentración superficial aproximada de arsénico de 2×10^{17} átomos/c.c., y una conductividad superficial de unos 10^{-2} mho/cm².

Es característico de un procedimiento de difusión de esta clase que produce en la chapa semiconductiva un gradiente o inclinación en la concentración del difusivo en la capa difundida con la característica de una función de error complementario. En la figura 2 se ha trazado, como línea llena -20-, la concentración relativa del difusivo representada por las ordenadas, frente a la profundidad de penetración del mismo en virtud de la técnica descrita, representada por las abcisas.

Pueden conseguirse fácilmente variaciones de tal distribución. Mediante sucesivos ciclos de difusión a base de cargas impuras diluídas con diferentes concentraciones de la impureza, se puede regular el gradiente de concentración. Por ejemplo, la concentración resultante en la superficie de la capa difundida de la chapa en un primer ciclo, puede reducirse en un segundo ciclo utilizando una carga impura de concentración de impurezas relativamente baja. Para algunas aplicaciones, tal segundo ciclo puede desarrollarse



incluso en una atmósfera libre de vapor difusivo, como el que proporcionaría una carga impura de material semiconductor intrínseco, para proporcionar una porción superficial en la que la concentración de difusivo sea relativamente baja. De este modo, el valor máximo de la concentración de difusivo se desvía a una región algo separada de la superficie, como indica la línea discontinua -21- en la figura 2. Tal técnica es particularmente útil para aplicaciones en que interese reconvertir el tipo de conductividad de una porción de superficie de la capa difundida, para emplearla como zona emisora en un transistor de empalme.

Según se ha indicado sucintamente, el vehículo usado en la carga impura para reducir la presión de vapor de un difusivo no necesita ser un semiconductor, aún cuando su elección ofrece las ventajas reseñadas. Alternativamente, por razones de economía, el difusivo se puede diluir en otros vehículos apropiados, como plomo o estaño, que no contaminen más de lo tolerable la chapa en tratamiento.

En general conviene que la masa de la carga impura sea mayor que la de la chapa sometida a tratamiento. En algunos casos puede ser ventajoso calentar la chapa en una estufa revestida o compuesta de material adecuado para servir de carga impura, como germanio policristalino, convenientemente diluido con arsénico, pero muy puro por lo demás.

Las técnicas descritas pueden aplicarse fácilmente a la formación de capas de difusión de tipo de conductividad extrínseca sobre chapas de material intrínseco. Además, sirven para formar capas de difusión de una determinada característica de resistividad del mismo tipo de conductividad extrínseca sobre una chapa semiconductor extrínseca.

Para aplicaciones en que interesen varios empalmes



rectificadores en una sola chapa, se pueden emplear varios
 ciclos consecutivos de difusión usando como difusivos en los
 distintos ciclos impurezas apreciables características de
 diferentes tipos de conductividad. En tal proceso, una
 5 porción superficial de la capa últimamente difundida, se
 reconvierte al otro tipo de conductividad en el siguiente
 ciclo de difusión. Alternativamente, con igual objeto se
 pueden emplear otras técnicas, como la de fusión con cris-
 talización, para reconvertir el tipo de conductividad de
 10 porciones superficiales de la capa difundida recién obteni-
 da.

Es factible, desde luego, emplear como difusivo di-
 versas impurezas apreciables. Otros elementos donadores que
 pueden utilizarse de este modo son fósforo, antimonio y bis-
 15 muto. Los aceptores útiles para formar capas de tipo p com-
 prenden aluminio, indio y galio. Además, la práctica del
 invento no se limita al tratamiento de chapas de germanio,
 sinó que puede ampliarse al uso de otros varios semiconduc-
 tores conocidos, como silicio, aleaciones de germanio y sili-
 20 cio, y compuestos de los grupos III a V, como antimoniuro de
 indio y arseniuro de aluminio.

En consecuencia, el procedimiento específico des-
 crito con detalle debe entenderse sólo como ilustrativo de
 los principios generales del invento. Pueden introducirse
 25 en el mismo diversas modificaciones sin apartarse del es-
 píritu y alcance del invento.

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

30

Se reivindica como objeto de esta patente:

1.- Procedimiento para formar una zona de caracterís-



5 ticas determinadas en un cuerpo semiconductor, por difusión de átomos de impurezas en el mismo y formación de una capa superficial difundida, de características determinadas por los referidos átomos de impurezas; caracterizado porque se calienta una masa de material semiconductor que comprende una concentración prescrita de átomos de impureza apreciable o influyente, y se expone el cuerpo semiconductor en tratamiento al vapor engendrado por ese calentamiento, durante un intervalo prescrito.

10 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el cuerpo semiconductor en tratamiento es monocristalino, y ha de formarse en él un empalme rectificador; caracterizado porque la masa de material semiconductor que contiene la concentración prescrita de átomos de impureza apreciable, se diluye con una concentración prescrita de átomos de impureza apreciable, pero por lo demás es de gran pureza.

20 3.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el cuerpo semiconductor en tratamiento es monocristalino, y ha de formarse en él una región de tipo de conductividad prescrito; caracterizado porque se utiliza dicha masa como carga impura, y la concentración de átomos de impureza apreciable es característica del tipo de conductividad opuesto al del cuerpo semiconductor monocristalino.

25 4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque se repite el calentamiento del cuerpo semiconductor en presencia de la masa de material semiconductor que contiene la concentración prescrita de átomos de impureza, en una serie de ciclos, siendo diferentes los átomos de impureza en la masa de material semiconductor, en ciclos sucesivos.

30

227104

28 FEB



5 5.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2, 3 o 4, en el que el cuerpo en tratamiento es semiconductor, de germanio monocristalino de tipo p; caracterizado porque se emplea una masa de material que comprende germanio diluido con una concentración prescrita de arsénico, de manera que se forma una capa superficial de tipo n difundida de arsénico sobre el cuerpo semiconductor de germanio monocristalino de tipo p.

10 6.- Procedimiento para formar una zona de características determinadas en un cuerpo semiconductor.

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

BARCELONA, 28 FEB. 1956

P.A.



FIG. 1

227104

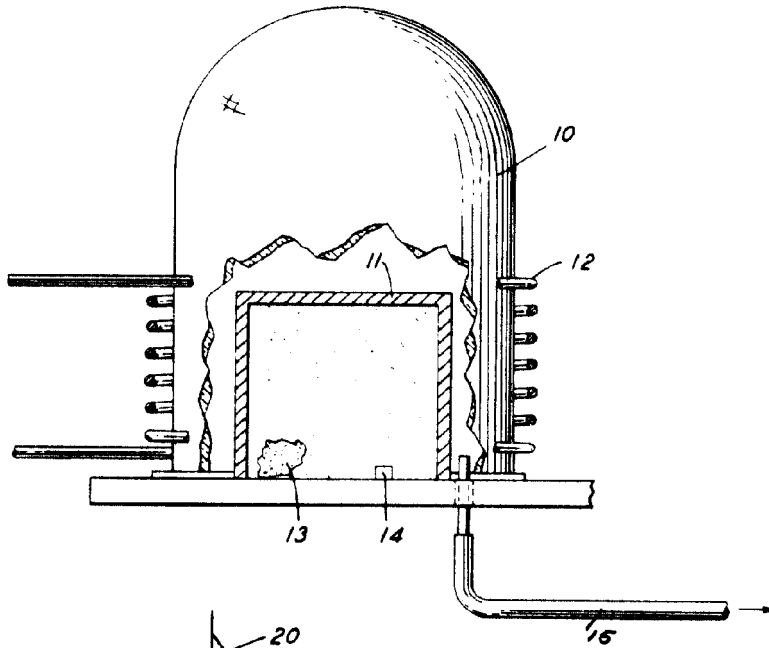
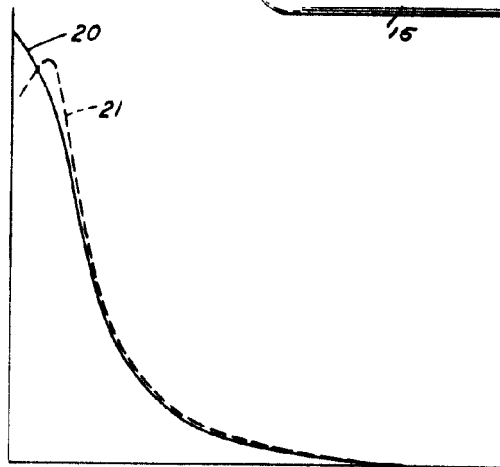


FIG. 2



P.H.
JOSE M. GUILIBAR
P. P.