



ESPAÑA

(10) ES	(11) NÚMERO 443.873	(10) A1
(20) FECHA DE PRESENTACION 26.12.75		

PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES (31) NÚMERO 536.847	(32) FECHA 27 de diciembre de 1.974	(33) PAIS EE.UU. de A.
--	--	---------------------------

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(41) CLASIFICACION INTERNACIONAL H01L	(52) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
--------------------------	--	--

(64) TITULO DE LA INVENCION  
PERFECCIONAMIENTOS EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.

(71) SOLICITANTE (S)  
WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED, entidad norteamericana,

DOMICILIO DEL SOLICITANTE  
195 Broadway, New York 10007, EE.UU. de A.

(72) INVENTOR (ES)  
THOMAS EDWARD SEIDEL, MASAKAZU SHOJI.

(73) AGENCIAS

(74) REPRESENTANTE  
D. JAIME GOMEZ-ACEBO Y MODET.

18 ENE. 1977

COMUNICACION

UTILICESE COMO PRIMERA PAGINA DE LA MEMORIA

PATENTE DE INVENCION

SEIDFL T E 5-5 (RBA)-Spain  
=====

## *Memoria Descriptiva*

*sobre:*

PERFECCIONAMIENTOS EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.

=====

*Solicitante:* WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED, entidad norteamericana, residente en 195 Broadway, New York 10007, EE. UU. de A.

=====

Este inventose refiere a un circuito integrado semiconductor en un cuerpo semiconductor de un primer tipo de conductividad que comprende una zona de impureza de un segundo tipo de conductividad en el cuerpo semiconductor para utilizarse como resistor.

5.

5. Se sabe que un esfuerzo o tensión puede causar un cambio de resistencia en un material semiconductor. Esta propiedad se conoce como piezorresistencia. Se ha descrito en un artículo descrito por C.S. Smith titulado "efecto de piezorresistencia en Germanio y el Silicio", Phys. Rev., volumen 94, nº1, 1 de Abril de 1954, página 42.

En la exposición de este invento los términos esfuerzo y tensión se emplearán de una forma intercambiable.

10. El efecto de piezorresistencia se ha aprovechado en dispositivo de medición de esfuerzos y tensiones y en transductores. O sea, se han empleado las mediciones de cambio de resistencia en un material semiconductor para determinar el esfuerzo o tensión inducidos en el material semiconductor. Los aparatos de medición de esfuerzos y tensiones y transductores se describen, por ejemplo, en la patente EE. UU. nº 3.137.834 concedida a W.G. Pfann el 16 de Junio de 1964.

15. Además, se conoce el procedimiento de fabricar extensímetros piezorresistivos formando una región difusa de un tipo de conductividad en una oblea semiconductor del tipo de conductividad opuesta. Así mismo, se sabe que supone una ventaja formar la región de modo que la dirección del flujo de la corriente en la región sea en una dirección piezorresistiva sensible. O sea, de modo que haya un cambio de corriente observable resultante del cambio de resistencia debido al esfuerzo. Dicho extensímetro se ha descrito en la patente EE.UU. nº 3.266.303, concedida a W.G. Pfann el 16 de Agosto de 1966.

25. También se sabe que un problema en el arte de los semiconductores es el rendimiento imperfecto durante la fabricación. En particular, se sabe que es difícil conseguir un funcionamiento pronosticable y apropiado de los circuitos sensibles a los cambios de resistencia. Sería conveniente que se pudieran producir y mantener los valores correctos de resistencia en el circuito.

30. No obstante, puede ser suficiente cumplir con una exigencia menos ri

gurosa de mantener los valores relativos de los resistores en un circuito. Por ejemplo, algunos circuitos integrados lineales se diseñan suponiendo que se van a mantener los valores relativos en lugar de los valores absolutos de los resistores. Tales circuitos pueden comprender convertidores de señales digitales en señales analógicas y reguladores de voltaje. En estos casos, la eliminación de los cambios relativos de resistencia durante la fabricación daría por resultado un mejor rendimiento durante la fabricación y una reducción de costos.

Se puede conseguir un perfeccionamiento en los circuitos integrados apreciando apropiadamente un fenómeno que con anterioridad se ha considerado insignificante. Aunque se ha comprendido la piezorresistencia, no se ha apreciado completamente su relación con el proceso de fabricación y con un producto ventajosamente fiable. En particular, no se ha apreciado plenamente el efecto de la piezorresistencia en los circuitos integrados que no se ha dirigido hacia la medición de esfuerzo y tensión. El efecto de piezorresistencia puede ser de menor magnitud que otros efectos como es la pureza del material semiconductor, perfección cristalina del material semiconductor, y el número y tipo de impurezas que determinan la conductividad. Normalmente, estos últimos efectos se pueden tener cuidadosamente en consideración cuando se fabrican circuitos integrados semiconductores. También sería conveniente tener plenamente en cuenta la significación de la piezorresistencia en los circuitos integrados.

Como es lógico, se ha reconocido que una tensión y un esfuerzo excesivos pueden deteriorar un circuito integrado. Por ejemplo, las debilidades mecánicas producidas por esfuerzos o tensiones pueden dar por resultado el fallo de los circuitos. Por consiguiente, se han realizado algunos intentos para evitar los esfuerzos y tensiones. No obstante, no siempre se pueden eliminar todos los esfuerzos y tensiones importantes.

Se pueden producir esfuerzos indeseables durante la formación de

- un bloqucito semiconductor en un conjunto y durante el empleo del propio bloqucito de circuito. Por ejemplo, se producen esfuerzos acumulados cuando las impurezas se difunden en un lado de una pastilla semiconductor. También se producen esfuerzos cuando una pastilla semiconductor se corta en bloqucitos individuales. Cuando un bloqucito de circuito integrado se pone en un troquel, el bloqucito puede quedar expuesto a esfuerzos por fuerzas mecánicas y térmicas en la zona interfacial. El troquel se suele emplear para apoyo mecánico y como medidor de calor. Un efecto particularmente importante es el esfuerzo inducido por las diferencias de dilatación térmica de un bloqucito y un conjunto de bloqucitos en paquete durante la ciclación de la temperatura. El resultado de tales esfuerzos y tensiones pueden ser un funcionamiento inadecuado del circuito. Cuando un bloqucito se expone a un esfuerzo no uniforme, se pueden perturbar los valores de resistencia relativos y, por lo tanto, se puede perturbar también el comportamiento del circuito. Además, de reconocer los problemas producidos por los esfuerzos y tensiones, este invento proporciona también un medio para reducir la pérdida de rendimiento cuando se fabrican circuitos integrados semiconductores y proporcionar mejores valores de resistencia controlados y más pronosticables que, a su vez, mejoran el comportamiento de los circuitos.

El problema citado se alivia mediante el empleo de dos contactos óhmicos en la zona de impureza situados de tal forma que una línea recta entre los contactos quede incluida enteramente dentro de la zona de impureza y sea paralela a la dirección cristalográfica entre 100 del cuerpo semiconductor.

En el dibujo, la Fig. 1 ilustra una vista en perspectiva de una oblea semiconductor y su orientación con respecto a un conjunto de ejes cristalográficos; y

La Fig. 2 ilustra una vista en planta de una oblea semiconductor con resistores, una parte de una máscara de fabricación y la orientación

cristalográfica relativa de los resistores y la oblea.

5. Este invento reconoce que el comportamiento de los circuitos integrados semiconductores está limitado por los cambios de resistencia debidos a los efectos de esfuerzos y tensiones. Además, este invento reduce los cambios de resistencia debidos a efectos de esfuerzos y tensiones.

Con el invento se reduce el cambio absoluto debido a efecto de piezoresistencia. Igualmente se reduce el cambio de resistencia relativo debido a efecto de piezoresistencia de un resistor con otro resistor.

10. Este invento reconoce la importancia de la direccionalidad cristalográfica y la concentración de impurezas de un resistor para reducir un cambio piezoresistivo.

15. En primer lugar, este invento reconoce que la alineación relativa de la dirección del flujo de la corriente a la orientación cristalográfica de un circuito semiconductor puede ser un factor particularmente importante en la fabricación y funcionamiento de los circuitos, por consiguiente, parte de este invento es un reconocimiento del hecho de que una elección apropiada de dicha alineación relativa puede mejorar el rendimiento en la producción y reducir el coste.

20. Con este fin, se elige una orientación cristalográfica apropiada de la oblea semiconductor y una configuración de un resistor para conseguir una dirección apropiada del flujo de la corriente.

25. En segundo lugar, este invento reconoce que el número de impurezas donadoras y aceptadoras compensadas en un resistor afectan al cambio piezoresistivo en el resistor. Según este invento, la concentración total de impurezas del resistor se elige a un nivel apropiadamente elevado. No obstante, la concentración de portadores libres, o la diferencia entre la concentración de aceptadores y la concentración de donadores puede ser relativamente pequeña para que se pueda obtener una resistencia de lámina bastante elevada. Para la conductividad del tipo p el resistor tendrá una concentración de aceptadores mayor que la concentración

30.

de donadores. Análogamente, para la conductividad del tipo en el resistor tendrá una concentración de donador mayor que la concentración de aceptador.

5. La Fig. 1 ilustra una oblea semiconductor con una orientación cristalográfica alineada con un conjunto de direcciones cristalográficas 1, 2 y 3. Cuando dicha oblea semiconductor se somete a esfuerzo, según indica la flecha, cambia la resistencia de la oblea. Dicho cambio debido a esfuerzo o tensión se denomina piezorresistencia de Germania del tipo n y del tipo p y en el Silicio el tipo p. Los componentes de esfuerzos  
10. en direcciones diferentes tienen distintos efectos piezorresistivos sobre la corriente que fluye en direcciones diferentes. La adulteración del material ejerce también un efecto sobre el efecto piezorresistivo.

La relación básica  $E = \rho J$ , donde E es el vector del campo eléctrico  $\rho$  es la resistividad y J es el vector de la densidad de la corriente, es  
15. una relación ya conocida. Examinemos de un modo más específico como cambia el campo eléctrico cuando se inducen esfuerzos. Como E es un vector, puede cambiar en diferentes magnitudes en diferentes direcciones. Según se sabe, la resistividad  $\rho$ , en presencia de esfuerzos o tensiones pueden expresarse como una matriz de coeficientes experimentalmente determinados  
20. multiplicada por una matriz que expresa el esfuerzo o tensión. Por lo tanto, la resistividad se puede expresar como una matriz resultante de la multiplicación de estas dos matrices. La densidad de la corriente, es un vector que también se puede expresar como una matriz de columna simple, que es un vector. Por consiguiente, el vector E se puede expresar como  
25. la matriz de columna simple que representa la densidad de la corriente multiplicada por la matriz que representa la resistividad. Se comprenderá que las magnitudes de los coeficientes determinados experimentalmente y los diversos componentes del esfuerzo y la corriente determinan la magnitud del campo eléctrico resultante.

30. Los coeficientes determinados experimentalmente tienen en considera

ción el material particular de la oblea y la orientación cristalegráfica de la misma. Estos coeficientes no son todos de igual magnitud, Por ejemplo, puede existir una diferencia de 10 veces entre los coeficientes. En el artículo citado escrito por Smith, algunos de los coeficientes dados para el Silicio de tipo p son 0,3,4, 11,2 y 110,0.

5.

Por consiguiente, se ha averiguado que ciertas relaciones de esfuerzo, dirección de la corriente y orientación cristalegráfica producen un menor cambio en el campo eléctrico que otras relaciones, o sea, hay un menor efecto piezoresistivo.

10.

Si el objetivo es adaptar el circuito integrado para que resista mejor los efectos del esfuerzo, las variables controlables comprenden la dirección de la corriente y la orientación cristalegráfica de la oblea. Para reducir la piezoresistencia, se ha averiguado que es conveniente que la corriente fluya a lo largo de una dirección en la familia  $\langle 100 \rangle$

15.

de direcciones. Un fundamento matemático para esta conclusión se encuentra en un apéndice siguiente. Además, como en los circuitos integrados planos típicos el flujo de corriente en paralelo a una superficie principal de la oblea, se impone una restricción en la orientación cristalegráfica de la oblea semiconductor. O sea, una superficie principal de la

20.

oblea semiconductor deberá ser paralela a una de la familia  $\langle 100 \rangle$  de direcciones. Solamente hay dos orientaciones de la pastilla para circuitos integrados planos donde el término dominante para el cambio producido por el esfuerzo en el campo dieléctrico desaparece. Un caso es una oblea

25.

orientada  $(100)$  con el flujo de corriente las direcciones  $(0,10)$ ,  $(0,1)$ ,  $(001)$ ,  $(00\bar{1})$ . El otro caso es una oblea orientada  $(110)$ , con flujo de corriente en la dirección  $(001)$  o  $(00\bar{1})$ .

30.

Por lo tanto, según una modalidad de este invento, el flujo de corriente se alinea con una de la familia  $\langle 100 \rangle$  de direcciones cristalegráficas equivalentes. Dicha alineación reduce al mínimo los efectos piezoresistivos del esfuerzo en cualquier dirección. Se comprenderá por

la Fig. 1 que un resistor que tenga dos contactos óhmicos conectados por una línea recta paralela a una de las direcciones  $\langle 100 \rangle$  por ejemplo representada por uno de los ejes 1, 2 ó 3, puede producir dicho flujo de corrientes resultante en un esfuerzo (representado en la Fig. 1 por una flecha) mínimo.

5.

La Fig. 2 ilustra una vista en planta de una parte de una máscara de fabricación 30 y una oblea semiconductor 31 con resistores planos formados en una superficie principal. Dichos resistores se pueden formar por técnicas bien conocidas de enmascaramiento e introducción de impurezas. Las aberturas de la máscara 30 se alinean para quedar paralelas a una dirección cristalográfica  $\langle 100 \rangle$  de oblea semiconductor 31 y por encima de un lugar donde se ha de formar un resistor, un canto plano de la oblea indica la alineación cristalográfica relativa de la oblea. En este ejemplo ilustrativo, el canto plano es paralelo a una dirección  $\langle 100 \rangle$ . Normalmente, en dicha oblea se forma una pluralidad de bloques de circuitos integrados. Según se sabe, esta oblea semiconductor se corta o separa en bloques con mayor facilidad a lo largo de la familia  $\langle 110 \rangle$  de direcciones equivalentes. Por consiguiente, los límites de los bloques formados en la oblea se alinean convenientemente a lo largo de la familia  $\langle 110 \rangle$  de direcciones. Dicho límite está indicado como una línea de rayas 23. Suele ser común el orientar cualquier resistor formado dentro de la línea de rayas 23 para emplear con la máxima eficacia el espacio comprendido por la línea de rayas 23. Esto quiere decir formar resistores en forma de U como el resistor 231 o resistores en forma de S como el resistor 232. Igualmente, quiere decir el alinear resistores separados a corta distancia con el límite del bloque según indican los resistores no suele ser una consideración. Frecuentemente, como en este caso de la tecnología anterior, el flujo de corriente dominante es paralelo a los límites  $\langle 110 \rangle$  del bloque.

10.

15.

20.

25.

30.

Para reducir al mínimo los efectos del esfuerzo según una modalidad

de este invento, el flujo de la corriente, en este caso, deberá ser perpendicular e paralelo al plano de la oblea. En la Fig. 2 se ilustra una agrupación de resistores 201, 202, 203 y 204 comprendidos dentro de una línea de rayas 20. Los resistores tienen cada uno un eje longitudinal que es paralelo a una dirección  $\langle 100 \rangle$ . En el contacto eléctrico a cada resistor se hace como una línea recta entre los contactos y es aproximadamente paralela a una dirección  $\langle 100 \rangle$ . Esto está indicado por los contactos 4 y 5 al resistor 201. Los límites de un bloquecito que contiene resistores 201-204 pueden encontrarse a lo largo de la línea de rayas 20.

5. Como es lógico, dicho bloquecito puede contener, además de resistores, otros elementos tales como, por ejemplo, transistores. Además, una oblea se puede utilizar para producir una pluralidad de dichos bloquecitos.

No obstante, como una oblea semiconductor se corta o rompe con más facilidad a lo largo de la familia  $\langle 110 \rangle$  de direcciones equivalentes, es conveniente elegir límites de los bloquecitos así alineados. Los límites de un bloquecito en la dirección  $\langle 110 \rangle$  se indican como una línea de rayas 21. Dentro de la línea de rayas 21 se encuentran los resistores 211, 212, 213 y 214. Para mantener la orientación deseada de los resistores dentro del bloquecito, según una modalidad de este invento, los resistores se colocan formando un ángulo de  $45^\circ$  respecto al límite del bloquecito.

15. Al igual que anteriormente, una oblea puede tener una pluralidad de bloquecitos con límites orientados como indica la línea de rayas 21. Una línea de rayas 22 se alinea también con las direcciones  $\langle 110 \rangle$  pero contiene otra organización de resistores 221, 222, 223 y 224 se organizan paralelos a una dirección  $\langle 100 \rangle$  y perpendicular a los resistores indicados dentro de la línea de rayas 21. Como es lógico, se puede emplear cualquier combinación de alineaciones de resistores indicados dentro de las líneas de rayas 21 y 22 para obtener las mismas ventajas.

20. Se comprenderá que el flujo de corriente sea en general paralelo dentro de un resistor, la forma del resistor deberá ser en general rec-

30.

tangular con contactos de tamaño limitado. Se comprenderá también que un resistor delgado controla mejor la direccionalidad de la corriente que un resistor más ancho. Hablando en términos generales, es conveniente que la longitud del resistor exceda del doble de la anchura del resistor. Un resistor circular con un contacto en el centro y otro contacto alrededor de la circunferencia del círculo haría que la corriente fluyera en todas las direcciones radiales. Esto sería indeseable.

5.

Se comprenderá que este invento puede tener aplicación a un resistor vertical. O sea, la dirección vertical del flujo de la corriente en el resistor vertical se alinearía con una dirección  $\langle 100 \rangle$ . Dicho flujo de corriente vertical se puede conseguir, por ejemplo, con contactos ohmicos en los lados opuestos de la oblea. No obstante, los resistores verticales son relativos menos comunes que los resistores planos.

10.

Se comprenderá también que este invento puede tener aplicación a zonas de impurezas resistivas no rectangulares, por ejemplo en forma de U en forma de L y combinaciones de las mismas, o sea, a pesar de que la corriente cambie de dirección todavía fluye principalmente en una de la familia de direcciones  $\langle 100 \rangle$ . En tales zonas de impurezas es conveniente que la resistividad en el ángulo donde debe cambiar la corriente de dirección sea baja. Por ejemplo, esto se puede conseguir con una gran adu-  
teración en el ángulo o mediante una metalización conductiva que derive el ángulo.

15.

20.

Además, la variación de resistencia debida al esfuerzo se puede reducir por un aumento de la concentración total de impurezas de un resistor. La concentración total puede aumentar aumentando la concentración de las impurezas de ambos tipos donadores y aceptadores.

25.

Normalmente, la oblea semiconductor es de silicio tipo n que tiene una concentración de aproximadamente  $10^{15}$  impurezas por  $\text{cm}^3$ . Los resistores formados en la oblea, son normalmente de conductividad de tipo p y tienen una concentración de impurezas de, por ejemplo, aproxima-

30.

mente  $10^{18}$  a  $10^{20}$  impurezas por  $\text{cm}^3$ . Frecuentemente, suele ser conveniente mantener una alta resistividad pero reduciendo la respuesta de la resistividad al esfuerzo. El factor que relaciona el cambio de resistencia con el esfuerzo, se conoce como factor de medición,  $\sigma$  es decir,  $\Delta R/R = \sigma (\Delta l/l)$ , donde  $\Delta R/R$  es el cambio en resistencia y  $\Delta l/l$  es el esfuerzo. Para reducir la magnitud del factor de medición, se pueden aumentar las concentraciones de impurezas del tipo p y del tipo n. Como los dos tipos de concentración se compensa entre sí, la resistividad puede mantenerse elevada mientras se reduce el cambio de resistencia debido a esfuerzo. Queda que el mecanismo para tal reducción en el esfuerzo es: (1) la movilidad del resistor compensado se reduce notablemente por dispersión de impurezas ionizadas y los cambios relativos en movilidad de la red debido a cambios en el potencial de deformación será menos importante, o (2) la formación de un aglutinamiento de impurezas que se degenera para que el factor de medición se aproxime al del metal que es muy pequeño. El reconocimiento de que la conveniencia de aumentar las impurezas tanto donadoras como aceptadoras para reducir el efecto de piezorresistencia se considera parte de este invento.

Se ha averiguado experimentalmente que eligiendo una combinación apropiada de compensación de impurezas y orientación cristalográficas se puede cambiar convenientemente el factor de medición. El factor de medición se puede reducir y obtenerse una inversión de signo. Como puede haber un cambio de signo, evidentemente hay una combinación que da "medición cero". O sea, el esfuerzo no produciría cambio alguno en la resistencia. Por ejemplo, en las condiciones de flujo de corriente en una dirección  $100$  y esfuerzos hasta  $10^{-2}$  aplicados en una dirección ortogonal el factor de medición se reduce de  $+13$  a  $-4$  empleando compensación de impurezas. Sin compensación de impurezas, al cambiar la dirección de la corriente desde una dirección  $110$  a una dirección  $100$  se reduce el factor de medición de  $+80$  a  $+13$ . Los resistores compensador tienen

una resistividad de aproximadamente 500 Ohms por cuadrado y contienen un total de impurezas aproximadamente 10 a 20 veces mayor que la diferencia entre la concentración de impurezas donadoras y aceptadoras. Por ejemplo, la concentración del tipo p puede ser de aproximadamente  $10^{20}$

- 5. impureza por  $\text{cm}^3$  y la concentración del tipo n aproximadamente de  $9 \times 10^{19}$ . La diferencia entre las concentraciones de  $10^{19}$  y la suma de las concentraciones es de  $19 \times 10^{19}$ . Normalmente, la relación de las concentraciones es del orden de 0,1 a 0,99 y la suma de las concentraciones es por lo menos de  $10^{18}$  impurezas por  $\text{cm}^3$ . Estas propiedades de transporte compleje no se comprenden completamente pero muestran claramente la reducción adicional en sensibilidad piezorresistiva por selección de la adulteración.

La resistividad de un silicio cúbico de tipo semiconductor es una cantidad escalar  $\rho_0$ . Cuando el semiconductor se somete a esfuerzo la resistividad se vuelve una cantidad tensora de segundo orden,  $(\rho_{ij})$  donde  $\rho_{ij}$  indica el campo eléctrico en la dirección del eje i cuando la densidad de la corriente unitaria fluye en la dirección del eje j. Por ejemplo cuando se trata de silicio p los ejes 1, 2 y 3 se toman como los tres ejes cúbicos.

- 20. Es conveniente introducir un tensor de cambio de resistividad  $(\Delta_{ij})$ , definido por

$$\Delta_{ij} = \rho_{ij} / \rho_0 \quad (1)$$

Se observará que las expresiones

$$\rho_{ij} = \rho_{ji} \quad ; \quad \Delta_{ij} = \Delta_{ji} \quad (2)$$

- 25. se mantienen sobre bases termodinámicas (teorema de reciprocidad de Onsager), Por consiguiente; Los componentes independientes del tensor de cambio de resistividad son  $\Delta_{11}, \Delta_{22}, \Delta_{33}, \Delta_{23}, \Delta_{31}, \text{ y } \Delta_{12}$ . Estas seis cantidades se suelen escribir en una forma seudevectorial como ecuación (3).

30.

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_{11} \\ \Delta_{22} \\ \Delta_{33} \\ \Delta_{23} \\ \Delta_{31} \\ \Delta_{12} \end{bmatrix} \quad (3)$$

5.

Los términos del tensor  $\Delta_{11}, \dots, \Delta_{12}$  dependen de componentes de esfuerzo del cristal,  $e_{11}, e_{22}, e_{33}, e_{23}, e_{31},$  y  $e_{12}$ . El componente de tensión,  $e_{11}$  es la deformación fraccional del cristal en la dirección del eje 1. El componente de tensión  $e_{23}$  es el coseno de ángulo entre el eje 2 y el eje 3. Estas seis cantidades se suelen escribir como una forma seodvectorial como en la ecuación (4)

10.

$$e = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{22} \\ e_{33} \\ e_{23} \\ e_{31} \\ e_{12} \end{bmatrix} \quad (4)$$

15.

La relación entre  $\Delta$  y  $e$  en un siliceo ca modo de cristal cúbico es

20.

$$\begin{bmatrix} \Delta_{11} \\ \Delta_{22} \\ \Delta_{33} \\ \Delta_{23} \\ \Delta_{31} \\ \Delta_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{12} & 0 & 0 & 0 \\ m_{12} & m_{11} & m_{12} & 0 & 0 & 0 \\ m_{12} & m_{12} & m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{22} \\ e_{33} \\ e_{23} \\ e_{31} \\ e_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

25.

Como los  $\Delta$  y los  $e$  son cantidades adimensionales los,  $m_{ij}$  son adimensionales. Charles Smith, en el trabajo citado anteriormente determina las tres cantidades independientes para el siliceo p como

$$m_{11} = 11,2 \quad m_{12} = 3,4 \quad m_{44} = 110,0. \quad (6)$$

30.

Es conveniente indicar que  $m_{44}$  es aproximadamente de un orden de

magnitud mayor que  $m_{11}$  o  $m_{12}$ .

De las ecuaciones (1)-(6), se puede derivar el cambio de resistencia dependiente del esfuerzo de los resistores de circuitos integrados.

Consideremos ahora el caso en el que una delgada placa de silicio con

5. una superficie principal (001) se somete a tensión en una dirección D (formando ángulo  $\theta$  con un primer eje cúbico). Por simple algebra, los componentes de la tensión se obtienen por:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{11} &= \alpha(\cos^2 \theta - p \sin^2 \theta) & \sigma_{23} &= 0 \\
 \sigma_{22} &= \alpha(\sin^2 \theta - p \cos^2 \theta) & \sigma_{31} &= 0 \\
 \sigma_{33} &= -\alpha p & \sigma_{12} &= 2\alpha(1+p) \cos \theta \sin \theta \quad (7)
 \end{aligned}$$

Donde  $\alpha$  es la tensión, la dirección D y p es la relación de Poisson

Los componentes de la matriz  $\Delta$  se obtienen por

$$\begin{aligned}
 \Delta_{11} &= \alpha \left\{ m_{11} (\cos^2 \theta - p \sin^2 \theta) + m_{12} (\sin^2 \theta - p \cos^2 \theta - p) \right\} \\
 \Delta_{22} &= \alpha \left\{ m_{11} (\sin^2 \theta - p \cos^2 \theta) + m_{12} (\cos^2 \theta - p \sin^2 \theta - p) \right\} \\
 \Delta_{33} &= -\alpha \left\{ m_{11} p + m_{12} (1-p) \right\} \\
 \Delta_{12} &= \alpha \frac{2m_{44}}{4} (1+p) \cos \theta \sin \theta \\
 \Delta_{23} &= \Delta_{31} = 0. \quad (8)
 \end{aligned}$$

20. Supongamos que el flujo de corriente forma ángulo  $\xi$  con el primer eje cúbico. El ángulo de resistencia en la dirección de la corriente se obtiene por

$$\Delta(\theta, \xi) = \Delta_{11} \cos^2 \xi + \Delta_{22} \sin^2 \xi + 2\Delta_{12} \sin \xi \cos \xi \quad (9)$$

Como la magnitud de  $\Delta_{12}$  es aproximadamente 10 veces mayor que otros componentes de la matriz,

$$\Delta(\theta, \xi) \approx 2\Delta_{12} \sin \xi \cos \xi = \alpha \frac{m_{44}}{4} (1+p) \sin 2\theta \sin 2\xi \quad (10)$$

25. Para que se desvanezca este término dominante,  $\theta = 0$  debe ser un múltiplo entero de  $\pi/2$ .

Dependiendo de la dirección del esfuerzo existen tres casos diferentes:

(1) para la mejor configuración,  $\sin 2\theta = 0$  y  $\sin 2\xi = 0$ .

30. Per lo tanto, una pequeña desviación de la dirección del esfuerzo no in

ducirá un gran cambio en la resistencia.

(2) Para la peor configuración,  $\text{sen}2\theta = \text{sen}2\theta = 1$ , ocurre el mayor cambio de resistencia.

(3) Para el caso intermedio,  $\text{sen}2\theta = 0$  o  $\text{sen}2\theta = 0$  y el cambio de resistencia es pequeño.

5.

**N O T A**

Descrita suficientemente la naturaleza del invento así como la manera de realizarlo en la práctica se hace constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental, también se hace constar que el invento corresponde a una solicitud de patente presentada en Norteamérica Ser. No. 536.847 de 27 de diciembre de 1.974, acogiéndose por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España, sobre: PERFECCIONAMIENTOS EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES; caracterizándose por lo siguiente:

10.

15.

1.- Perfeccionamientos en dispositivos semiconductores del tipo que comprenden un cuerpo semiconductor de un primer tipo de conductividad que incluye una zona de impurezas de un segundo tipo de conductividad para utilizarse como resistor, dos contactos óhmicos a la zona de impurezas, caracterizados porque una línea recta entre los contactos es paralela a la dirección cristalográfica  $\langle 100 \rangle$  del cuerpo semiconductor.

20.

2.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el semiconductor es silicio, porque una superficie principal del cuerpo semiconductor es el plano (110) y los dos contactos óhmicos se encuentran sobre el plano  $(110)$ .

25.

3.- Perfeccionamientos según las reivindicación 2, caracterizados porque una superficie principal del cuerpo de silicio es el plano (100) y los dos contactos óhmicos se encuentran en el plano (100).

30.

4.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el semiconductor es germanio y la línea entre los contactos se encuentra en el plano de una superficie principal del cuerpo de germanio.

5. 5.- Perfeccionamientos según la reivindicación 3, caracterizados porque la zona de impurezas es generalmente rectangular y tiene una longitud mayor que aproximadamente dos veces la anchura.

6.- Perfeccionamientos según la reivindicación 5, caracterizados porque se dispone una pluralidad de zonas de impurezas empleadas como resistores, donde una mayoría de las zonas de impurezas tienen dos contactos óhmicos a cada zona de impurezas de forma que una línea entre dos contactos quede situado enteramente dentro de los límites de la zona de impurezas respectiva y sea paralela a una dirección cristalográfica  $\langle 100 \rangle$

7.- Perfeccionamientos según la reivindicación 6, caracterizados porque la zona de impurezas en el cuerpo semiconductor tiene una concentración de un primer tipo de impurezas menor que la concentración de un segundo tipo de impurezas, siendo la relación de las concentraciones del orden de 0,1 a 0,99 y la suma de las concentraciones por lo menos de aproximadamente  $10^{18}$  impurezas por  $\text{cm}^3$ .

8.- Perfeccionamientos según la reivindicación 7, caracterizados porque un límite del plano (100) es paralelo a una dirección cristalográfica  $\langle 110 \rangle$ .

9.- Perfeccionamientos en dispositivos semiconductores, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

25. Esta Memoria consta de 16 hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

9 MAR. 1975

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED.

30.

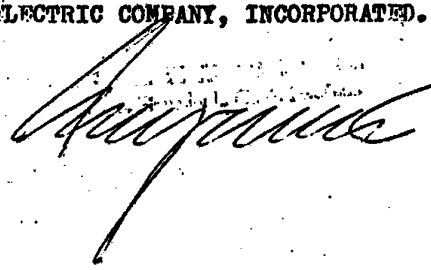


FIG. 1

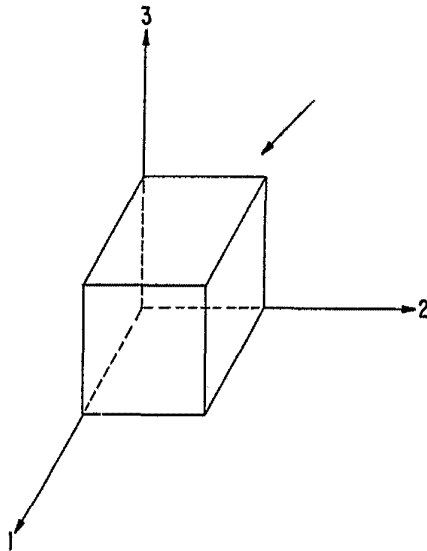
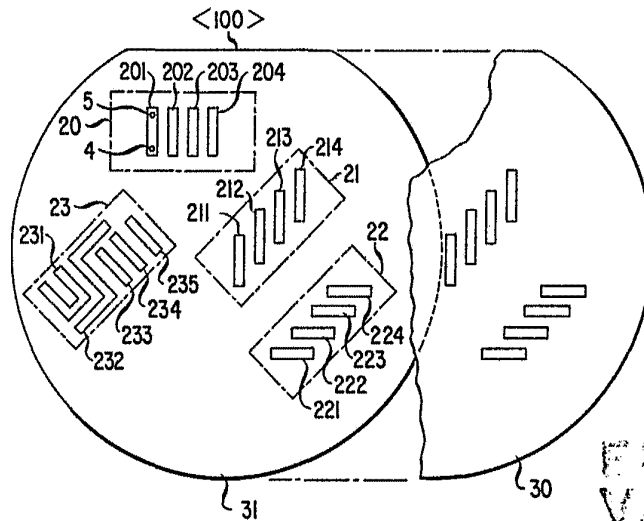


FIG. 2



RECIBIDA  
VALLE

Madrid MAR 1973