

260.220



260220

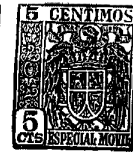
MEMORIA DESCRIPTIVA

que se acompaña a la solicitud de registro de una Patente de Invención, por veinte años, en España, por "Transistor a contacto de superficie", a favor de "TELEFUNKEN G.m.b.H.", domiciliada en Berlín (Alemania), Charlottenburg 1.

- - -

- Se ha indicado oportunamente una disposición de tetrodo, cuyo cuerpo base se compone de silicio n-conductor. En este cuerpo base semiconductor del tipo n se ha difundido dos capas de difusión, o sea, una capa n y una capa p emplazada delante de la capa n. La capa n difundida constituye la zona emisora del tetrodo, mientras que la zona del tipo de potencia p antepuesta a la capa n representa la zona base del tetrodo. A la concentración de puntos perturbadores de la capa n se la ha elegido ahí más grande que la de la capa p. Para la confección del electrodo de base auxiliar y de base de mando, se han aleado electrodos en forma de cinta p-dotados por medio de las dos capas de difusión, en tanto que la zona emisora esta puesta en contacto por medio de un electrodo incorporado por aleación en dicha zona emisora de forma plana entre los dos electrodos de base.

- Si entre el electrodo de base auxiliar y de base de mando se aplica una tensión continua apropiada, se puede generar en esta conocida disposición de tetrodo, a lo largo de la zona de base, un campo eléctrico al cual restringe la emisión del tetrodo a un margen estrecho de la zona emisora, el cual es directa-



mente contiguo al electrodo de base de mando. La conocida disposición tiene la ventaja de ser insignificamente pequeña la resistencia exterior de la base que se presenta entre el electrodo de base de mando incorporado por aleación y el comienzo de la zona emisora directamente contigua. Como quiera que la resistencia interior de la base que viene a actuar en el margen de la zona emisora, puede mantenerse asimismo pequeña en la conocida disposición, o sea mediante la correspondiente disminución de la anchura de la zona emisora con ayuda del campo longitudinal en la zona de la base, la conocida disposición, con el correspondiente dimensionado y dotación de la zona de la base, tiene la resistencia de base más pequeña de todas las disposiciones de transistor conocidas.

La conocida disposición de tetrodo adolece, sin embargo, de inconvenientes fundamentales que van ligados a dificultades tecnológicas, por lo cual, el comportamiento de alta frecuencia de esta conocida disposición no es mejor que el de las otras también conocidas disposiciones de transistor de alta frecuencia.

Estos inconvenientes de la conocida disposición de tetrodo concebida en forma "mesa" son debidos principalmente a que, al contrario que en las conocidas disposiciones de transistor, por el lado del emisor van situados tres electrodos. A estos hay que añadir que para conseguir pequeñas capacidades de colector, en disposiciones que han sido previstas para una frecuencia de regimen de varios cientos de MHz, la estructura o la superficie "mesa" no debe ser sensiblemente más ancha que 100 u, por lo que la mutua separación de los hilos de entrada en la conocida disposición de tetrodo no debe ser mayor que 25 a 30 u. Para frecuencias más elevadas se requieren separaciones correspondientemente menores. Es evidente que la escasa separación de los electrodos situados por el lado del emisor dificulta consi-



derablemente su puesta en contacto. La pequeña separación de electrodos tiene, además, por consecuencia el que como conductores de entrada para los electrodos se pueden emplear solamente hilos muy delgados, los cuales tienen sin embargo resistencias e inductividades de entrada relativamente elevadas que se ponen principalmente de manifiesto con caracter perturbador en las altas frecuencias.

5. Para evitar estos inconvenientes se sugiere según el invento que en un transistor a contacto de superficie con una zona de emisor, de base y de colector, existan por el lado del emisor dos electrodos, que el primero de estos electrodos esté unido óhmicamente con la zona de base y que el segundo electrodo esté también unido óhmicamente con la zona de base para la limitación de la emisión en la parte de la zona emisora contigua al primer electrodo, mediante la generación de un campo eléctrico, y que con la zona emisora forme un contacto supresor u óhmico.

10. Con el ejemplo de un transistor con el orden de zonas pnp se describe más detalladamente la disposición sugerida por el invento, la cual está representada en diversas formas de realización en las Figs. 1 a 5, siendo por supuesto también posibles otras formas de realización análogas con el orden de zonas npn. Debe hacerse observar ya en este lugar que una forma de realización especial del invento según las Figs. 3 a 5, prevé una disposición de transistor en la que, entre la zona de base y la del colector, se ha previsto una zona intermedia débilmente dotada o intrinseco-conductora. Incluso, se ha visto, es ventajoso concebir en forma "masa" una de estas disposiciones npip ó npin de transistor con características de tetrodo, conforme a un perfeccionamiento del invento.

25. La disposición de transistor con orden de zonas pnp que, como se dijo más arriba, se va a examinar a continuación, será

30.



explicada en el ejemplo de un cuerpo semiconductor de germanio, aun cuando, naturalmente, pueden emplearse también otros materiales semiconductores tales como, por ejemplo, silicio o las combinaciones A<sub>III</sub>B<sub>V</sub>. La zona emisora 3 de un transistor pnp

5. de esta clase está dotada muy fuertemente de lugares perturbadores p, mientras que la zona de base 4 relativamente delgada está fuertemente entremezclada con lugares perturbadores n, si bien sólo en tal intensidad que la densidad de lugares perturbadores en la zona de base sea menor que la densidad de lugares perturbadores de la zona emisora. La zona colectora 5 contigua a la zona de base 4 está dotada de lugares perturbadores p lo mismo que la zona emisora, para lograr un tipo de potencia p.
- 10.

15. En la superficie de este transistor pnp por el lado del emisor se han incorporado por aleación solamente dos electrodos, al contrario que en la conocida disposición de tetrodo.

20. El material de aleación para estos dos electrodos de aleación ha sido elegido de manera que por medio de la aleación surjan zonas semiconductoras 6 y 7 fuertemente n-dotadas, pertenecientes a los electrodos de aleación 1 y 2. Estas consideraciones, y las siguientes, son también válidas, naturalmente, en forma análoga para transistores con orden inverso de capas.

25. La disposición sugerida por el invento se conecta ahora lo mismo que un transistor normal, y, lo mismo que éste, solo tiene en total tres entradas al electrodo, a saber: la entrada 10 que pone en contacto al electrodo del colector 9, la entrada 11 que pone en contacto al electrodo de aleación 1 y la entrada 12 que va unida al electrodo de aleación 2. En el estado de funcionamiento del transistor, por la entrada de electrodo 12 circula ahora, además de la corriente de emisión, otra corriente todavía desde el electrodo de aleación 2 hacia el electrodo de aleación 1 por medio de la zona de base, la cual,
- 30.



lo mismo que un tetrodo, genera en la zona de base el campo longitudinal necesario para la restricción de la emisión. La ventaja esencial del invento estriba en que el efecto tetrodo se consigue con una disposición de tres electrodos.

5. Mediante una fuerte dotación de la zona emisora 3 y de la zona semiconductor 7 contigua a la anterior, perteneciente al electrodo de aleación 2, se puede conseguir que el tránsito pn formado por esta zona semiconductor y la zona emisora en el margen de transición tenga una tensión de ruptura zener que sea menor que 0,5 voltios, o bien la característica de una de las llamadas "diodo backward". Con semejante característica del tránsito pn formado por la zona emisora 3 y por la zona semiconductor 7 del electrodo de aleación 2, la corriente, lo mismo que en el caso de la disposición según Fig. 1, puede ser conducida al emisor a través de este tránsito pn, por lo que
10. para la zona emisora 3 no se necesita ningún recubrimiento metálico unido óhmicamente con el electrodo de aleación 2. Los transistores de este tipo se pueden construir con relativa facilidad, y a varios cientos de MHz presentan propiedades de amplificación satisfactorias.
15. de amplificación satisfactorias.

20. Pero si la disposición de semiconductor descrita tiene que responder a mayores exigencias, sobre todo en lo que respecta al límite de frecuencia, entonces se manifiesta con caracter perturbador la resistencia en la zona emisora 3 entre el electrodo de aleación 2 y el lugar emisor 13. Por esos es ventajoso, según se expone en la Fig. 2, aplicar sobre la zona emisora 3 un recubrimiento metálico 14 que establezca contacto metálico con el electrodo 2, pero no con el electrodo 1. El recubrimiento metálico 14 se extiende ventajosamente de tal modo, que solo quede una separación de seguridad entre dicho recubrimiento 14 y el electrodo 1 para evitar un cortocircuito,
25. es decir, para el comportamiento de a.f. del transistor sugeri-
- 30.



do por el invento es ventajoso que la zona emisora se halle lo más recubierta posible con metal, salvo en una cierta separación de seguridad, tecnológicamente estipulada, con respecto al electrodo 1.

5. El hecho de que la disposición sugerida por el invento, a pesar de su caracter de tetrodo, necesite solamente dos entradas de electrodo en el lado del emisor, permite que dichas entradas sean de mayor grosor que en el caso de tres entradas de electrodo existentes por el lado del emisor, y en consecuencia, que se las pueda confeccionar de baja resistencia óhmica y de poca inducción. La fig. 2 muestra, por ejemplo, una disposición con entradas de electrodo 11 y 12 confeccionadas en forma de cinta, cuya anchura en sentido perpendicular al plano del dibujo, puede ser elegida aproximadamente igual a la correspondiente longitud de la cinta de electrodo 1 ó 2.

10. El electrodo 2, según se muestra en la Fig. 5, puede también estar construído de modo que rodee completamente, por ejemplo anularmente, al electrodo 1, Además de la ventaja de que con esta disposición no puede llegar ninguna corriente de fuga superficial desde el colector hasta el electrodo 1, las entradas de electrodo 10, 11 y 12 pueden establecerse conforme a la Fig. 5 de tal manera, que el transistor pueda ser incorporado fácilmente en un conductor coaxial, en cuyo caso la entrada del emisor 12 se tiende en el conductor exterior.

15. Se ha comprobado que principalmente la resistencia previa del colector de la conocida disposición de tetrodo contribuye sensiblemente a que ésta no sea utilizable para frecuencias muy elevadas. Unos cálculos detallados han revelado que a frecuencias muy elevadas, las pérdidas en la zona del colector 5 constituyen la proporción principal de la parte real de la conductancia de uno de estos tetrodos y que, con ello, reducen fuertemente al límite oscilante. Para la evitación de estas pérdidas se sugiere, como perfeccionamiento ulterior del invento, el do-



tar en muy alta media a la zona del colector 5, por ejemplo con  $10^{17}$  hasta  $10^{20}$  lugares perturbadores por  $\text{cm}^3$  y, conforme a la Fig. 3, prever entre la zona de base 4 y la zona del colector 5 una zona intrínseco-conductora 8.

5. Esta zona intermedia puede ser también débilmente conductora n ó p, en el caso de que semejante débil dotación n ó p pueda realizarse tecnológicamente con mayor facilidad. Sin embargo una eventual dotación n de la zona 8 sólo debe ser tan grande que, por lo menos en el margen de emisión 13, la zona de carga espacial del tránsito pn por el lado del colector se extiende por toda la anchura de la zona 8 de alta resistencia óhmica cuando entre el colector y la base se aplica la tensión de régimen más baja prevista.

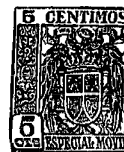
15. Se logran las pérdidas mínimas y, al mismo tiempo, las capacidades de reacción y de salida dependientes de la tensión cuando el tránsito entre la zona del colector 5 fuertemente dotada y la zona 8 de elevada resistencia óhmica se lleva a cabo lo más bruscamente posible, y la citada zona 8 está tan escasamente dotada que la zona de carga espacial de la capa aislante del colector se extiende por toda la zona 8, es decir, desde la región altamente dotada de la zona de base 4 hasta la región altamente dotada de la zona del colector 5.

20. Para muchas aplicaciones es deseable que no sólo sean pequeñas las partes reales de la conductancia de salida y de reacción, lo que según la sugerencia anterior se consigue mediante una zona intermedia intrínseca 8 uniforme, es decir, de la misma anchura, sino también las partes reactivas. Esto

- se puede lograr por el hecho de que, según un perfeccionamiento ulterior del invento, la separación entre la zona de base y la del colector, es decir la anchura de la zona intrínseca, se hace más pequeña por el lugar en el que tiene lugar en esencia la emisión, que en las restantes regiones de dicha zona

30.

260220



intrínseca. Así pues, esto confirma que la anchura de la zona intrínseca tiene que variar, y en la región del lugar 13 de emisión preferente, ser más pequeña que en las demás regiones, cuando se tienen que reducir las proporciones reactivas.

5. Este requerimiento puede realizarse según la Fig. 3 por el hecho de que, en caso de una anchura invariable de la zona del colector, la zona de base se halla situada en la región de emisión 13 a mayor profundidad que en las restantes regiones. Otra posibilidad consisten en hacer que la zona del colector 5, según Fig. 5, no sea uniforme, sino que tenga diferente anchura, de tal modo que la separación entre la zona de base y la del colector en los lugares de emisión 13 sea más pequeña que en las regiones restantes. Dicho con otras palabras, la zona intrínseca 8 debe ser, en este caso especial, por los lugares de emisión más delgada que en sus restantes regiones. En semejante disposición, en donde la zona intermedia 8 es por la región exterior más gruesa que por la interior, una configuración anular cerrada del electrodo 2 impide el riesgo de una ruptura superficial.
- 10.
- 15.
20. Sobre este particular hay que hacer observar que las medidas que se acaban de describir, o sea adición de una zona intrínseca entre la zona del colector y de base y el variable dimensionado de la anchura de esta zona intrínseca, se pueden aplicar asimismo a disposiciones de transistor normales sin efecto de tetrodo, y que, en tales disposiciones, dan también por resultado un mejoramiento del límite oscilante mediante la disminución de la conductancia de salida.
- 25.

Las medidas que se describieron ultimamente se refirieron a la evitación de pérdidas de a.f.. Sin embargo, en transistores de alta frecuencia hay que tener también en cuenta que la amplificación de corriente en el circuito de base del emisor sea lo más grande posible. Si se señala con  $F_1$  la frecuencia en la

30.



que la amplificación de corrientes  $\beta$  ha descendido hasta el valor 1, la relación que rige entonces es, como se sabe:

$$1/2\pi f_1 = \tau_c/2 + \tau_B + \tau_E + \tau_R$$

- $\tau_c$  es ahí el tiempo de marcha de los portadores de carga de mino  
 5. ría por la capa aislante del colector,  $\tau_B$ , su tiempo de recorrido por la zona de base. Las demás magnitudes  $\tau_E$  y  $\tau_R$  representan las constantes de tiempo de la conexión en paralelo de la resistencia de emisión con la capacidad emisora estática ( $\tau_E$ ) o con la capacidad marginal ( $\tau_R$ ). La capacidad marginal se da en el límite en  
 10. tre la zona emisora 3 y la zona semiconductor 6 del electrodo 1.

- El tiempo de marcha del colector  $\tau_c$  es proporcional al espesor  $W_{SC}$  de la capa aislante del colector e inversamente proporcional a la velocidad de flujo de los portadores de carga de minoría. Comoquiera que la conductancia de salida del transistor depende en  
 15. gran manera del la capacidad del colector, conviene entonces hacer  $W_{SC}$  lo más grande posible, de modo que  $f_1$  esté determinada en esencia por  $\tau_c$ . Por consiguiente debe ser  $\tau_c \geq \tau_E + \tau_B + \tau_R$ .

- Puesto que en los tebrodos y también en la disposición sugeri  
 20. da por el invento, la zona emisora es muy estrecha y limita directamente con el electrodo 1, es necesario no alear este electrodo 1 a demasiada profundidad para que en el lugar emisor 13 no reduzca el electrodo 1, por la zona semiconductor adelantada 6, la intensidad de campo del colector debido a efectos de pantalla. Por lo  
 25. mismo, en disposiciones sin capas intermedias de elevada resistencia óhmica o intrínseco-conductoras, el electrodo 1 no debe hallarse aleado dentro del cuerpo semiconductor, a más profundidad que la mitad del espesor de la capa aislante del colector.

- Los electrones de defecto alcanzan, con una intensidad de  
 30. campo de  $E_m = 10^4$  v/cm o mayor todavía, en germanio, una veloci-



dad límite de aproximadamente  $5 \cdot 10^6$  cm/seg. Para  $v = v_m$ , y con un tiempo de marcha del colector  $C = w_{SC}/v_m$ , asciende a  $2 \cdot 10^{-11}$  segundos.

5. En el dimensionado del transistor según el invento hay que tener presente que la intensidad de campo en la capa aislante es mayor o, por lo menos, igual a esta intensidad de campo  $E_m$ . Así pues, cuando todavía no se ha presentado la corriente de emisión, la tensión  $U_0$  en la capa aislante del colector tiene que ser mayor que 1 V por  $1 \mu$  de espesor de dicha capa supresora. Si, por
10. el contrario, circula por la capa supresora del colector una corriente de emisión, en esta capa se forma entonces una carga espacial, la cual viene dada por la relación de densidad de corriente  $j_E$  a velocidad del flujo. Pero esta carga espacial requiere una tensión de colector adicional, cuya magnitud resulta de la con-
15. sideración de que a una densidad previamente estipulada de carga espacial y espesor de capa aislante está subordinada una tensión determinada.

- Para conseguir una elevada densidad de corriente  $j_E$  y, por consiguiente, una  $\tau_E$  pequeña, es ventajoso por lo mismo hacer
20. que los transistores trabajen con tensiones lo más altas posibles, por ejemplo a un tercio hasta la mitad de la tensión de ruptura  $U_B$ , la cual viene a ser de unos 20 V en transistores pnp de germanio con un espesor de capa aislante de  $1 \mu$ . A una tensión de colector de 10 V, la disposición sugerida por el invento puede ha-
25. cer funcionar, por consiguiente, con densidades de corriente  $j_E$  hasta de  $8000 \text{ A/cm}^2$ , sin que se produzca ninguna disminución de la velocidad del flujo de los electrones de defecto o de la emisión con carga espacial limitada.

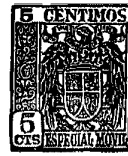
- Es evidente que unas densidades de corriente de tal magnitud
- 30 se pueden lograr, con miras al calor que se desarrolla de paso, únicamente con disposiciones en las que, lo mismo que en el caso



de la disposición sugerida por el invento y también en el del te-  
trodo, la zona emisora es muy estrecha.  $\tau_E$  es relativamente peque-  
ña en comparación con  $\tau_C$ , incluso en el caso de bruscos tránsi-  
tos pn entre la zona de emisión y de base. Así, por ejemplo, en  
5 una dotación de la base de  $10^{18}$  lugares perturbadores por  $\text{cm}^3$  y  
con una caída de potencia  $V_{EB}$  de 0,1 V, a través de esta capa  
aislante de emisión y de base el espesor de esta capa ascenderá  
aproximadamente a  $1,4 \cdot 10^{-6}$  cm y, la capacidad específica emisora  
estática  $c_{ES} = 1 \cdot 10^{-6}$  F/cm<sup>2</sup>, mientras que la constante de tiempo  
10 de emisión  $\tau_E$ , toma el valor de  $3 \cdot 10^{-12}$  segundos.

De las presentes consideraciones se desprende que en dispo-  
siciones de transistor que trabajan con densidades de corrientes  
tan elevadas; es poco el beneficio que puede reportar un curso de  
plano de la dotación entre la zona de emisión t de base. Sem-  
15 jante curso de la dotación se pone incluso negativamente de ma-  
nifiesto ya que con un espesor doble aproximadamente de la capa  
aislante entre la zona de emisión y de base se producen, con es-  
tas elevadas densidades de corriente, aglomeraciones de electro-  
nes de defecto por ambos lados de la capa supresora, lo cual tie-  
ne por consecuencia un fuerte aumento de la capacidad del emisor  
20 y de la base. Además, con idéntico espesor de la base, un curso  
de concentración en el que por la capa aislante para el emisor  
predomina una concentración de lugares perturbadores más baja que  
en el centro de la zona de la base, da por resultado un tiempo de  
marcha de la base considerablemente mayor que un curso de concen-  
25 tración con dotación de base constante o decreciente desde el emi-  
sor hacia el colector.

Por eso es desfavorable establecer las zonas de emisión y de  
base según el método de doble difusión en el caso de las disposi-  
30 ciones de semiconductor, las cuales están ideadas para la ampli-  
ficación de frecuencias extremadamente elevadas, como sucede por



ejemplo en la conocida disposición de tetrodo, ya que de ahí resulta siempre una zona de transición ligeramente dotada entre la zona de emisión y de base, aproximadamente de la anchura de la zona de la base.

5 Por lo mismo, según perfeccionamiento ulterior del invento, es ventajoso concebir bruscamente el tránsito pn entre la zona de emisión y de base. Semejante tránsito pn brusco puede establecerse, por ejemplo, como se expone más adelante, por difusión desde una zona aleada de emisión que contenga en menor densidad lugares  
10 perturbadores de más rápida difusión del tipo de potencia que no determina el tipo de potencia de la zona de emisión, por ejemplo en un cuerpo semiconductor de germanio por adición de Sb al emisor dotado de galio. En este procedimiento alloy-diffused, los lugares perturbadores que determinan la zona de la base pueden en  
15 ocasiones concentrarse muy intensamente directamente en el límite del emisor, por lo que se pueden presentar capacidades estáticas extremadamente altas del emisor-base.

Sin embargo se puede evitar este efecto si a la zona de emisión no se la dota en mayor dimensión que la densidad de degeneración a temperatura ambiente  $T_2$  (en Ge aproximadamente  $10^{19}$  lugares perturbadores por  $cm^3$ ); y si la dotación máxima de la base  $N_{Bm}$  es igual o menor que el múltiplo  $T_2/T_D$  de la densidad de autoconducción  $n_1$  a la temperatura  $T_D$  en la que se establece la zona de la base por difusión.  $T_2$  y  $T_D$  están medidas aquí en grados  
20 Kelvin. A continuación debe enfriarse lo más deprisa posible. A una temperatura  $T_D$  de 973°K, equivalentes a 700°C, la densidad  $n_1$  de autoconducción es, en germanio aproximadamente igual a  $3,4 \cdot 10^{18}$  lugares perturbadores por  $cm^3$ .

Si como ejemplo del curso de la capa de base se toma un perfil aproximadamente lineal con  $10^{18}$  lugares perturbadores por  $cm^3$  de dotación máxima y un espesor de dicha capa  $w_B$  de  $1,5 \cdot 10^{-5}$  cm, se calcula de ahí conforme a relaciones ya conocidas, un tiempo  
30



de marcha de la base  $\tau_B$  igual a  $3,8 \cdot 10^{-12}$  segundos.

Sin embargo la resistencia plana específica  $R_B$  de la zona de la base es relativamente grande. Como resistencia plana específica se califica la resistencia de un cuadrado, puesto en

- 5. contanto por los lados frontales, de la capa conductora de la base. Además, a altas frecuencias límites  $f_1$ , las densidades  $j_E$  de corriente del emisor adquieren valores considerables y, por lo mismo, estipulan una elevada conductancia transversal capacitiva específica entre el emisor y la base. Esto tiene
- 10. por consecuencia el que la tensión alterna de alta frecuencia existente entre la capa de la base y el emisor disminuya fuertemente a medida que aumenta la distancia con la conexión de la base. Como anchura eficaz del emisor  $B_{EW}$  se puede designar el múltiplo de 0,7 de la distancia del borde del emisor, en
- 15. la que la tensión existente entre la base y el emisor ha disminuido hasta las 2,7 partes de la tensión de entrada.  $B_{EW}$  es al mismo tiempo la anchura de un transistor con  $R_B = 0$  - aunque con la misma  $\tau_E, \tau_C, \tau_B$  -, el cual a idéntica densidad de corriente  $j_E$  y con la misma frecuencia  $f$ , presenta la misma
- 20. magnitud de la pendiente y de la resistencia de entrada que un transistor sensiblemente más ancho con  $R_B$  finita.

Como quiera que a la frecuencia límite  $f_{10}$ , la conductancia transversal específica de la capacidad estática y dinámica entre el emisor y la base es aproximadamente igual a  $j_E/U_T$ , se obtiene según las fórmulas conocidas, para un conductor eléctrico homogéneo, a la frecuencia  $f$ , la relación

25.

$$B_{EW} \approx B_{EW_0} \cdot \sqrt{f_{10}/f},$$

en donde

$$B_{EW_0} = \sqrt{U_T/R_B j_E}$$

30.

y  $f_{10}$  es aquella frecuencia en la que la amplificación de corriente ha descendido hasta el valor uno, sin tomar en con-



sideración la influencia de la zona marginal.

Para la disposición utilizada como ejemplo numérico, la frecuencia límite sin zona marginal ( $\tau_R \rightarrow 0$ ) es igual a  $9,5 \cdot 10^9$  Hz. A esta frecuencia límite, la anchura eficaz del emisor  $B_{EW}$  llega a ser igual a  $0,61 \mu$  y, a  $f = 3000$  MHz, aproximadamente  $1,1 \mu$ .

5. La anchura eficaz del emisor  $B_{EW}$  llega a ser igual a  $0,61 \mu$  y, a  $f = 3000$  MHz, aproximadamente  $1,1 \mu$ .

10. La frecuencia límite  $f_{\beta 10}$  es reducida ahora fuertemente por la capacidad de la capa supresora marginal entre la zona emisora 3 un espesor semiconductor 6 del electrodo 1. Si se toma para la zona emisora 3 un espesor  $W_R$  de  $1 \mu$  y, para la zona marginal, una dotación máxima  $N_R = 4 N_B = 4 \cdot 10^{18}$  lugares perturbadores por  $cm^3$ , cuando  $N_B$  representa la dotación de la base,  $\tau_R$  es entonces aproximadamente igual a  $\tau_E \frac{W_R}{B_{EW}} \cdot \sqrt{\frac{N_R}{N_B}}$ . Así pues, para el ejemplo de cálculo indicado, la frecuencia

15. límite  $f_{\beta 1}$ , incluida la zona marginal, es sensiblemente menor que  $f_{\beta 10}$ , o sea igual a  $6000$  MHz. Por eso es ventajoso el reducir la capacidad marginal concibiendo delgada la zona de emisión, de modo que la superficie límite entre el primer electrodo y dicha zona de emisión sea igual o más pequeña que la superficie emisora.

20. Después es ventajoso establecer entre la zona de semiconductor 6 del electrodo 1 y la zona de emisión 3, un transito pn que se extienda paulatinamente. La mejor manera de hacerlo es dotando a la zona emisora 3 solamente de 3 a  $10$  veces tan grande como la zona de la base 4 y, la zona 6, por lo menos el doble de grande que la zona de emisión.

25. Si se establece el espesor definitivo  $W_B$  de la zona de base 4 sólo después de realizada la aleación de los electrodos 1 y 2 mediante un templado pasajero a una temperatura que sea sólo un poco inferior a la máxima temperatura de aleación, los donadores fácilmente movibles de la zona de semiconductor 6 se difunden en la zona de emisión 3 y dan por resultado un

30.



transito pn de curso plano.

5. Sin embargo hay que hacer observar que las relaciones anteriores han sido derivadas para un transistor con superficie de emision muy ancha. Si emite solamente una cinta estrecha del emisor, como en la disposicion sugerida por el invento, la amplificacion de corriente es entonces mas pequena.

Si se designa con  $B_{EE}$  la separacion entre la zona de semiconductor 6 y el electrodo 1, en donde la emision de la zona emisora 3 ha disminuido hasta las 2,7 partes, en el caso mas des-

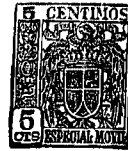
10. favorable, o sea cuando la frecuencia limite es determinada solamente por la capacidad estatica del emisor o del borde ( $\tau_E + \tau_R \gg \tau_C / 2 + \tau_B$ ), la relacion  $\beta / \beta_0$ , en terminos vectoriales, es igual a  $1 / (1 + \sqrt{j} \cdot B_{EW} / B_{EE})$ , cuando representan,  $\beta$

15. la amplificacion, de corriente del electrodo,  $\beta_0$  la amplificacion de corriente de un transistor con zona de emision relativamente ancha, y  $j$  el vector unitario imaginario. Para  $B_{EE} = B_{EW}$ ,  $\beta$  es igual a  $0,54 \cdot \beta_0$ .

20. Para la amplificacion de señal grande y para la produccion de oscilaciones es ventajoso hacer que  $B_{EE}$  sea menor o igual que  $B_{EW}$ , ya que entonces se puede maniobrar toda la corriente del emisor, Si para la amplificacion de señales pequenas interesa un  $\beta$  grande,  $B_{EE}$  se puede agrandar entonces ventajosamente hasta unos 3  $B_{EW}$ . En una disposicion de transistores en forma de cinta segun las Figs. 1 a 4 con resistencia plana constante  $R_B$  de la base, es

$$B_{EE} = U_T \cdot B_E / U_{EB}$$

30. Ahí  $B_E$  es la anchura de la zona de emision 3 entre los electrodos 1 y 2,  $U_T$  es igual a 25 mV y  $U_{EB}$  es la tension de regimen entre el emisor y la base, que para disposiciones de germanio es aproximadamente de 0,5 V. Así, en una disposicion lineal,  $B_{EE}$  es aproximadamente igual que  $B_E / 20$ . Así pues, segun sean las condiciones de servicio, para la disposicion



sugerida por el invento es ventajosa una anchura de emisor de 10 - 100  $\mu$ .

5. Para la confección de un transistor según la Fig. 1, se parte por ejemplo de discos semiconductores dotados de p, con una resistencia específica de unos 0,3 a 1  $\Omega$ cm. Por evaporación al alto vacío se aplica primero una delgada capa de un metal dotador de p̄ por ejemplo In con algo de Ga, bajo adición de un pequeño porcentaje de material dotador de n As ó Sb, sobre el disco semiconductor, y se prepara la zona emisora por aleación. Durante el templado posterior, los lugares perturbadores n móviles se difunden a través de la zona de aleación en el material de fondo y forman una zona de base conductora de n.

15. La capa metálica se disuelve ahora en un ácido apropiado y se distribuye en plaquitas de 1 x 1 x 0,5 aproximadamente. A continuación se alean en forma corriente dos glóbulos de aleación de unos 80  $\mu$  de diámetro, por ejemplo de una aleación In-Sb-Ag, con una separación de unos 130  $\mu$ , y se temple seguidamente a temperatura un poco más baja. Después de un breve ataque, se cubre por el método de fotore sist, a lo largo de la línea de unión entre los dos globulos de aleación, una tira de unos 70  $\mu$  de anchura y se realiza un ataque "mesa". Después de la separación del recubrimiento fotore sist se puede soldar la plaquita semiconductor a sobre el pie de transistor y ponerla en contacto con dos tiritas de plata.

25. Para transistores según la Fig. 2, después de la separación del recubrimiento fotore sist, se aplica por evaporación, por ejemplo, cinc sobre la superficie del elemento de transistor. A continuación se vuelven a tapar por el método fotore sist aquellos lugares de la superficie del emisor, los cuales han de llevar un recubrimiento metálico. En los lugares no tapados, el cinc se elimina mediante un breve ataque en ácido nítrico



diluido, y al elemento semiconductor se le provée, como antes, del zócalo y se le monta.

Para poder confeccionar también con globulos de aleación esféricos, disposiciones análogas a las de la Fig. 5, se reco-

- 5. mienda confeccionar según el procedimiento antes citado, sobre una plaquita semiconductor, tres o más transistores, y luego disponer los mismos en forma de estrella. Semejante montaje permite proveer de contactos a todos los electrodos exteriores de estos transistores, con un disco metálico perforado,
- 10. lo mismo que el electrodo 2 en la Fig. 5, y dotar de contactos a todos los electrodos interiores, en común por medio de un conductor interior cilíndrico o cónico, en forma parecida al electrodo 1 en la Fig. 5. También se pueden disponer los transistores de manera que en vez de emplear varios electrodos interiores, se use un solo electrodo interior que sea común a todas las disposiciones de transistores.

En la disposición pnip del tipo "mesa" conforme a la Fig. 3, hay que confeccionar discos semiconductores, en cuyo interior están fuertemente dotados de p y tienen una capa superficial uniformemente delgada, debilmente dotada de n, de

- 20. 1 a 10  $\mu$  aproximadamente de espesor, según sea el tipo de transistor.

La forma más sencilla de obtener estos discos es la de alear (por ejemplo con In) un electrodo de gran superficie que abarque casi todo el disco, sobre discos más gruesos de la deseada dotación débil n de la capa superficial, de acuerdo con

- 25. el procedimiento empleado en los rectificadores de potencia.

Las condiciones de aleación y de enfriamiento deben elegirse ahí de modo que el frente de aleación contra el material de fondo sea lo mas plano posible y que la parte precipitada con caracter monocristalino y homogéneo de la capa de germanio recristalizada sea lo más gruesa posible. Además, el frente de aleación debe quedar cerca por debajo de la superficie

- 30.

260220



opuesta del disco.

- 5. En el borde del disco se incorpora por aleación un contacto auxiliar (base) dotador de n, y lo mismo que el electrodo In, se le provee de hilos de alimentación y se le cubre con un barniz aislante apropiado. La parte delantera no tapada del disco preparada de esta manera es atacada según un procedimiento de ataque electrolitico autolimitador. Durante el ataque existe una tensión negativa entre el electrodo posterior y el contacto auxiliar, por lo que en el contacto posterior se forma una capa aislante, cuyo espesor depende de la dotación del material n y de la tensión en el contacto posterior.
- 10. Entre el electrolito y el contacto auxiliar se aplica una tensión, la cual tiene que ser asimismo negativa pero, respecto a la cuantía, ha de ser menor que la tensión que existe entre el electrodo posterior y el contacto auxiliar.

- 15. Sobre el disco a atacar, con una potente fuente luminosa se proyecta a través del electrolito una tira luminosa de unos 100  $\mu$  de anchura que pasa por todo el disco, y se la va moviendo por esto último despacio, perpendicularmente a sus extensión longitudinal.

- 20. El germanio es atacado rápidamente por los lugares iluminados. Sin embargo, el ataque cesa por sí mismo cuando en un lugar se llega a la capa aislante del lado posterior (mas exacto, la capa aislante que corresponde a la diferencia de tensión electrodo posterior-electrolito).

- 25. Así pues, de esta manera se pueden confeccionar discos altamente dotados de p, los cuales tienen en la superficie una delgada capa debilmente dotada de n de un espesor exactamente previsible. Después de la separación del recubrimiento y de la capa metálica por el lado posterior, a estos discos se les puede proveer, como se dijo oportunamente, de una capa de emisión y una de base.
- 30.

En disposiciones de semiconductor según Fig. 4, la zona



intrínseca 8, por los lugares no emisores. tiene que ser mas gruesa que en los lugares emisores. Según el procedimiento anterior, esto se puede conseguir fácilmente ajustando primero la tensión previa que corresponde al menor espesor de capa,

- 5. y exponiendo a la luz unicamente aquellos lugares del disco semiconductor, en los que mas tarde el espesor de capa de la zona intrínseca ha de ser menor que en los restantes lugares. A continuación se aumenta la tensión previa, y en la forma descrita, se ataca a tiras la superficie restante hasta llegar
- 10. al deseado espesor de capa de la zona intrínseca.

El curso de capa expuesto en la Fig. 5 puede conseguirse, por ejemplo, según el siguiente procedimiento. En un disco de material semiconductor debilmente dotado de n se alea primero, por aquellos lugares que mas adelante deben dar por resultado

- 15. una zona 8 mas delgada de alta resistencia óhmica, unos electrodos dotadores de p a unos 10 - 15  $\mu$  de profundidad. Sobre esta superficie se aplica entonces una delgada capa de sustancia dotadora de p, por ejemplo In, de modo que cubra toda la superficie. Sobre esta capa se oprime un segundo disco semiconductor, ya este conjunto se le calienta hasta temperatura de aleación de tal manera, que el segundo disco semiconductor adquiera mayor temperatura que el disco de partida. De este modo se obtiene un cuerpo semiconductor con una mitad fuertemente dotada de p y, otra mitad, dotada de n.
- 25. A continuación se va rebajando la superficie dotada de n, según el procedimiento descrito, hasta el punto de que los lugares previamente incorporados por aleación sean justamente visibles como prominencias. Si esto es así, el proceso de ataque se da por finalizado.

- 30. La disposición según el invento puede, por supuesto, prepararse también conforme al procedimiento de doble difusión o de otra manera. La línea a rayas 15 indica en cada caso el



límite de la zona de emisión 3 antes de la incorporación por aleación de los dos electrodos 1 y 2. Sobre todo en el proceso de doble difusión se pueden establecer las conexiones de la base 6 y 7 por el hecho de que antes de la difusión del emisor, se cubren estos lugares, por ejemplo, con una capa de cuarzo.

5.

Si después de la separación de la capa de cuarzo se llevan seguidamente los discos a una solución apropiada de sal metálica, tal como se la utiliza corrientemente, por ejemplo, para hacer visibles los tránsitos pn, en las zonas 6 y 7 se pueden depositar entonces los contactos metálicos 1 y 2.

10.

La disposición anular según Fig. 5 puede hacerse por evaporación de los materiales de aleación, haciendo uso de pantallas apropiadas o por precipitación galvánica después de la cubrición del resto de la superficie semiconductora con fotoresist.

15.

En la forma de realización según Fig. 5, el electrodo 2 rodea al electrodo 1. Pero también es posible una forma de realización en la que el electrodo 1 rodea al electrodo 2, principalmente en forma anular. Los ensayos han demostrado que las disposiciones, en las que un electrodo rodea al otro completamente, facilitan el empleo de capas de base 4 particularmente delgadas.

20.

La razón de esto estriba en que en tales disposiciones, la delgada zona de base 4 no aparece por ningún lado en la superficie y, por lo mismo, no es posible ninguna perforación superficial a través de la delgada capa de base.

25.

NOTA

Descrito suficientemente el objeto de la presente patente de invención y sus distintas partes, interesa afirmar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle, materia, forma, dimensiones y proporciones, en cuanto no alteren su esencialidad, que los dibujos presentados son a escala variable, siendo lo que constituye el objeto de esta solicitud de patente, que se acoge a los derechos

30.



de prioridad de la patente de invención alemana nº T 17 044 VIIc/21g depositada en la Oficina alemana de patentes el día 6 de agosto de 1.959, lo que se concreta en las siguientes reivindicaciones:

5. 1ª.- Transistor a contacto de superficie para altas frecuencias con una zona de emisión, de base y de colector, caracterizado porque por el lado del emisor se han previsto dos electrodos, porque el primero de estos electrodos está unido óhmicamente con la zona de base, y porque el segundo electrodo, para la limitación de la emisión a la parte de la zona de emisión contigua al primer electrodo mediante la generación de un campo eléctrico en la zona de base, está unido asimismo óhmicamente con la zona de base, y con la zona de emisión forma un contacto aislante u óhmico.
10. 2ª.- Transistor a contacto de superficie, según la reivindicación anterior, caracterizado, además, porque la zona de emisión está tapada por un recubrimiento metálico, y porque este recubrimiento metálico está unido metálicamente con el segundo electrodo por el lado del emisor.
15. 3ª.- Transistor a contacto de superficie, según la reivindicación anterior, caracterizado, además, porque la zona de emisión está tapada por el recubrimiento metálico de tal modo, que quede asegurada solamente la necesaria separación de seguridad para evitar un cortocircuito entre el recubrimiento metálico y el primer electrodo.
20. 4ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque las respectivas zonas del cuerpo semiconductor están dotadas de tal manera, que resulte un orden de zonas  $p^+n^-p^-$  o bien  $n^+p^+n^-$ , en donde la zona citada en primer lugar representa la zona de emisión.
25. 5ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque entre



la zona de base y la zona de colector se ha previsto una zona debilmente dotada o intrinsec-conductora.

5. 6ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque las respectivas zonas del cuerpo semiconductor estan dotadas de tal manera, que se forme un orden de zonas  $p^+n^+ip^+$  - o bien  $n^+p^+in^+$  -, en donde la zona citada en primer lugar representa la zona de emisión.

10. 7ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el transito entre la zona de colector y la zona de alta resistencia óhmica, o bien intrinseco-conductora, tiene un curso abrupto.

15. 8ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la zona de alta resistencia óhmica, o bien intrinseco-conductora, está concebida con diferente espesor.

20. 9ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la separación entre la zona de base y la zona de colector en la región de la parte emisora de la zona de emisión ha sido elegida más pequeña que en la región restantes del cuerpo semiconductor.

25. 10ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque para conseguir una reducida resistencia previa del colector, la zona de colector está dotada muy guertemente, por ejemplo con  $10^{18}$  hasta  $10^{20}$  lugares perturbadores por  $cm^3$ , y porque en estado de servicio, al menos en la región de emisión, la zona de carga espacial del tránsito pn por el lado del colector se extiende a todo lo ancho de la zona de alta resistencia óhmica o intrinseco-conductora.

30.



- 11ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el cuerpo semiconductor está concebido en forma "mesa" y, debido a la estructura de ésta, la superficie de la zona de base es mas pequeña, o a lo sumo igual, que la superficie de la zona de colector.
- 5.
- 12ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la superficie límite entre el primer electrodo y la zona de emisión es igual o más pequeña que la superficie emisora.
- 10.
- 13ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el espesor de la capa aislante del colector ha sido elegido de manera, que la amplificación de corriente en conexión emisor-base sea determinada, a altas frecuencias, en la mitad o más por el tiempo de marcha del colector.
- 15.
- 14ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la tensión del colector ha sido elegida de manera, que la misma sea mayor que una tercera parte de la tensión de ruptura del sector colector-base.
- 20.
- 15ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la densidad de corriente de emisión ha sido elegida tan alta, que la carga espacial de los portadores de carga fluyentes en la capa aislante del colector no se ponga todavía de manifiesto de forma perturbadora con la tensión más baja de régimen.
- 25.
- 16ª.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la superficie emisora está elegida de manera, que la misma sea 0,5 hasta 3 veces mas ancha que la superficie que actua con alta frecuencia, a frecuencia de régimen.
- 30.



17<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque al tránsito pn entre la zona de emisión y de base está concebido de forma abrupta.

5. 18<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el curso de la concentración de lugares perturbadores está elegido de manera, que para conseguir una escasa capacidad de capa aislante, entre el primer electrodo y la zona de emisión se produzca un tránsito pn de curso plano.

10. 19<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la profundidad de aleación del primer electrodo aleado en la zona de base o de colector débilmente dotada es más pequeña, o igual, que la mitad del espesor de la capa aislante del colector.

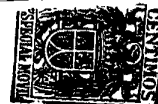
15. 20<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la capa semiconductor del primer electrodo está dotado más intensamente que la zona de base.

20. 21<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque, en cuanto al orden de magnitud, la zona de base está entremezclada con  $10^{18}$  lugares perturbadores por  $\text{cm}^3$ .

25. 22<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la zona de emisión está dotada 3 a 10 veces más que la zona de base.

30. 23<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la anchura de la zona de emisión entre los dos electrodos del lado del emisor es de 10 a 100  $\mu$ .

24<sup>a</sup>.- Transistor a contacto de superficie, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el pri-



mer electrodo rodea al segundo electrodo, por ejemplo en forma anular.

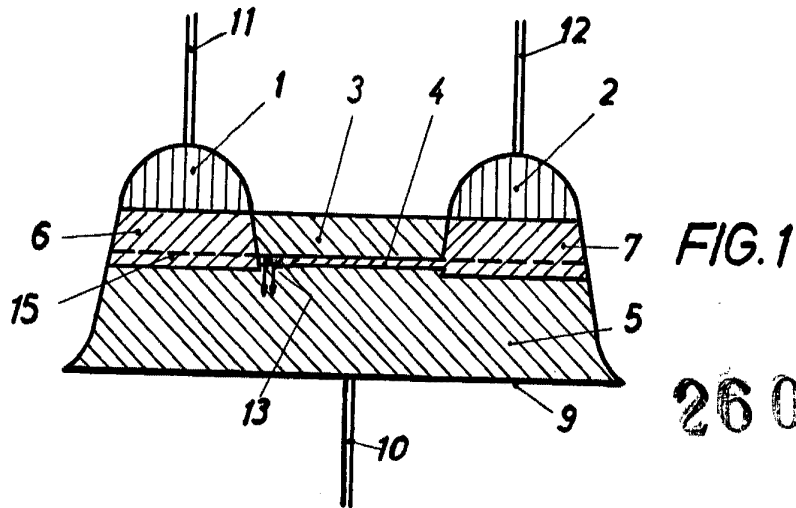
25ª.- Transistor a contacto de superficie.

Todo según queda descrito y reivindicado en la presente Memoria que consta de veinticinco hojas foliadas y escritas a máquina por una sola de sus caras y se representa en las adjuntas hojas de planos.

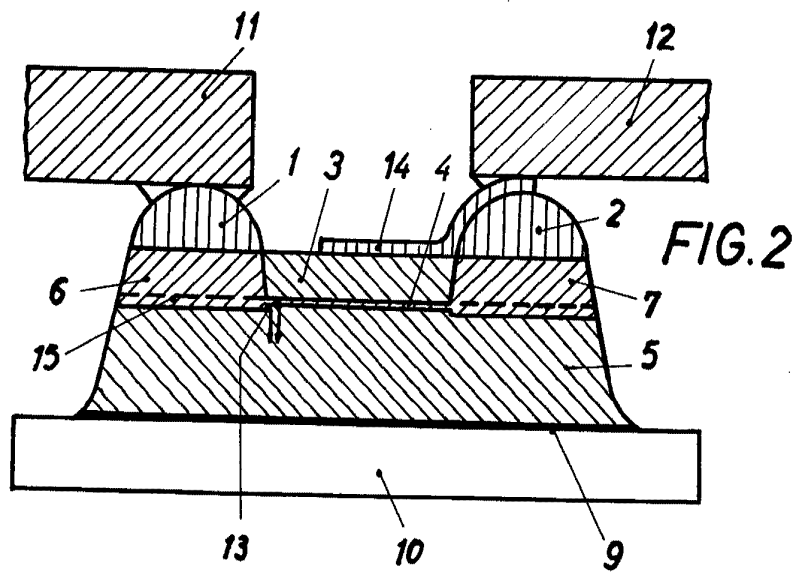
Madrid, 4 de agosto de 1.960.

EL AGENTE,

p.p.



260220



ESCALA VARIABLE

Madrid 4 agosto 1960

El Agente

*Handwritten signature*  
 Madrid 4 Agosto 1960  
 El Agente

ESCALA VARIABLE

FIG. 5

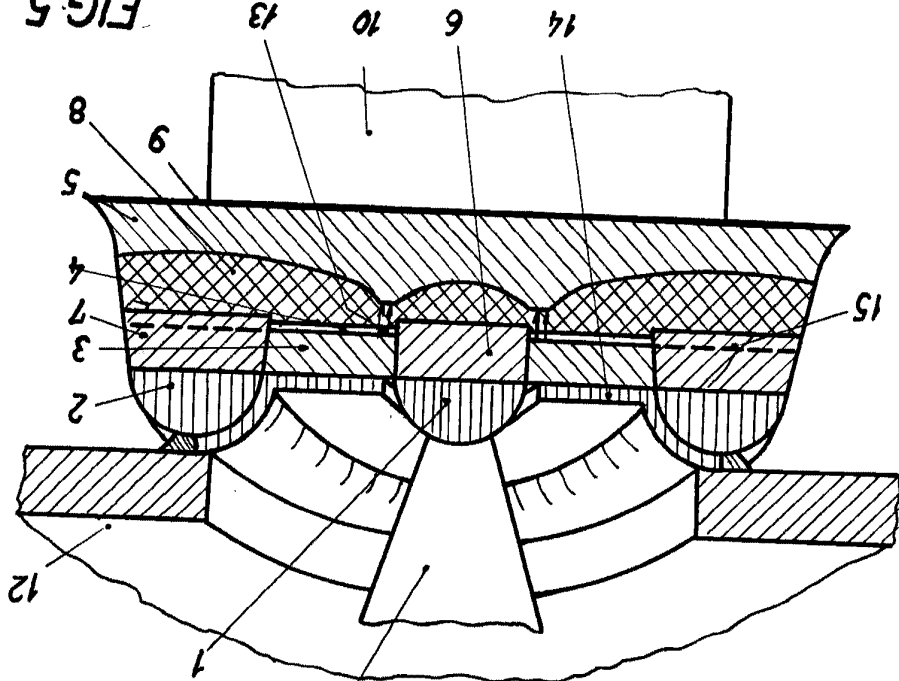


FIG. 4

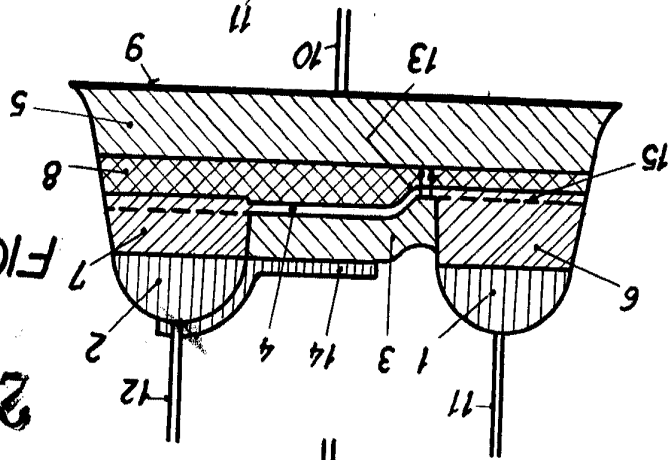
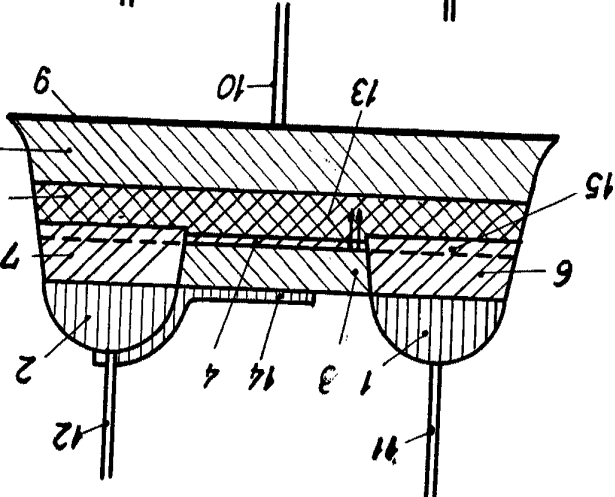


FIG. 3



260220



2 hojas - hoja 2ª

Telefunken, GmbH