

260219



260219

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se acompaña a la solicitud de registro de una ~~Patente~~ Patente de In-
vención, por veinte años, En España, por "Tetrodo de alta fre-
cuencia", a favor de "TELEFUNKEN G.m.b.H.", de nacionalidad ale-
mana, domiciliada en Berlín (Alemania), Charlottenburg, 1.

- - - -

El invento se refiere a una tetrodo de alta frecuencia con
orden de capas pnip ó npin, o bien $p^+n^+p^-$ o $n^+p^+n^-$.

Si los transistores deben amplificar todavía bien a altas
frecuencias, esto presupone entonces que sean pequeñas, tanto
5. la resistencia de la base como la del colector. Esta condición
puede conseguirse por medio de una dotación relativamente fuerte
en la capa de base y mediante una dotación débil en la región de
la capa aislante del colector.

En los transistores de alta frecuencia se hace distinción,
10. como se sabe, entre dos formas fundamentales de realización, a
saber: el transistor pnip y el transistor "mesa" con estructura
 $p^+n^+p^-$, o bien con la disposición análoga con polaridad inverti-
da.

El transistor pnip tiene, según la Fig. 1, una capa emiso-
15. ra 1 fuertemente dotada de p, una delgada capa de base 2 n-conduct-
tora, dotada algo más debilmente y una capa intermedia de base
4, por lo general debilmente n-dotada, en la que se forma la capa
aislante del emisor. La capa del colector está fuertemente do-
tada de p. Con 30 se ha designado la parte metálica del electro-
20. do E del emisor, con 34 la parte metálica del electrodo C del
colector y con 33 la parte metálica del electrodo de mando B de



la base.

5. El denominado transistor "mesa" ofrece una solución tecnológicamente más sencilla para la estructuración de transistores de alta frecuencia. En esta forma de realización se consigue el necesario espesor de la capa aislante del colector dotando moderadamente p al colector 5 según la Fig. 2, de modo que la capa de carga espacial 3 se extienda en el material p.

10. Una disposición semiconductor, la cual se utiliza asimismo para elevadas frecuencias, es el tetrodo de alta frecuencia -también llamado transistor de base doble-, el cual puede ser considerado como una variedad del transistor "mesa". El tetrodo de alta frecuencia se diferencia del transistor corriente en que por un campo a lo largo de la capa de base es limitada la emisión conforme a las flechas señaladas, en la vecindad del electrodo de mando STB (6) de la base según la Fig. 3. El campo de base necesario es conservado por una corriente a través del electrodo auxiliar HB (8) de la base. De esta manera se obtiene una resistencia óhmica de base muy baja y, por consiguiente, un

15. alta límite de oscilación aunque, no obstante, una considerable

20. capacidad de entrada adicional entre la zona semiconductor 6 del electrodo de mando de la base y el emisor 1, con lo cual se reduce fuertemente la frecuencia límite f_{α} .

25. Si un transistor de alta frecuencia tiene que alcanzar una deseada frecuencia límite f_{α} entonces, bajo ciertas condiciones elementales, las dimensiones esenciales del transistor están determinadas por la frecuencia límite previamente dada. Las condiciones en que se tiene que basar el cálculo de los tamaños de transistor vienen dadas por la consideración, de que para la consecución de una amplificación lo más grande posible a una f_{α} dada, sobre la que se seguirá hablando más adelante, es ventajosa

30. una distribución del tiempo de marcha del colector, emisor y base en la relación de 10:3:2. El tiempo de marcha del emisor está



determinado por la constancia de tiempo entre la resistencia de emisión (=resistencia de entrada en conexión de base en bloque) y la capacidad de la capa aislante del emisor. La frecuencia límite f_{α} resulta de los respectivos tiempos de marcha según la formula

$$1/2\pi f_{\alpha} = \tau_B + \tau_C/2 + \tau_E,$$

en donde f_{α} es la frecuencia límite α , τ_B el tiempo de marcha de la base, τ_C el tiempo de marcha del colector y τ_E el tiempo de marcha del emisor. Así pues, con frecuencia límite α previamente

10. dada, de esta formula se pueden calcular oportunamente los respectivos tiempos de marcha, siempre que sean conocidas sus partes que intervienen en el tiempo de marcha total $\tau_B + \frac{1}{2} \tau_C + \tau_E$.

La fig. 4 muestra la dependencia entre el espesor de capa de base W_B (9), el espesor de capa aislante del colector W_{SC} (10) y la densidad de corriente de emisión i_E (11) con respecto a la frecuencia límite $f_{\alpha 0}$. El índice "0" significa que en la zona de base no existe ninguna capa marginal fuertemente dotada, de lo cual hablaremos también más adelante con más detalle. Para la dotación de la base se ha dado aquí por supuesto una densidad constante de lugares perturbadores de $10^{18}/\text{cm}^3$ con tránsito abrupto en la zona de la capa emisora o de la capa aislante. Para intensidades de campo suficientemente grandes (mayores que 10^4 V/cm en Ge), el espesor W_{SC} de la capa aislante del colector se calcula a partir del tiempo de marcha del colector τ_C con ayuda de la formula,

$$\tau_C = W_{SC}/v_m,$$

en la que v_m es la velocidad de flujo máxima de los portadores de carga (aprox. $5 \cdot 10^6$ cm/seg para electrones de defecto en Ge). El espesor de la capa de base dotada de forma homogénea se calcula según la formula

$$\tau_B = W_B^2 / (2U_T \cdot b).$$



U_T es ahí la tensión de temperatura, τ_B el tiempo de marcha de la base y b la movilidad de los portadores de carga de minoría, la cual, por ejemplo con una dotación $N_{DB} = 10^{18}/\text{cm}^3$ para electrones de defecto en germanio es de unos $230 \text{ cm}^2/\text{V seg.}$ y, para electrones, de unos $950 \text{ cm}^2/\text{V seg.}$

5.

De la constante de tiempo τ_E del R-C formado a partir de la resistencia de emisión y de la capacidad de entrada específica estática c_{ES} , se obtiene la necesaria densidad de corriente de emisión

10.

$$i_E = U_T \cdot c_{ES} / \tau_E = (U_T / \tau_E \cdot e \cdot \epsilon_0 N_{DB} / 2V^2 E$$

($\epsilon_0 =$ D.K. absoluta del Ge, $e =$ carga elemental). La diferencia de potencial efectiva V_E en la capa aislante del emisor asciende corrientemente a unos 0,1 hasta 0,3 voltios.

15.

Si se examina el curso según la Fig. 4, se ve que a elevadas frecuencias límite se necesitan espesores de capa de base δ extremadamente pequeños. Pero con esto se hace muy grande la resistencia superficial específica R_B de la capa de base entre el emisor y el colector: como resistencia superficial específica se califica la resistencia de un cuadrado, dotado de

20.

contactos por los lados frontales, de la capa conductora de base. Además, a elevadas frecuencias límite, las densidades de corriente del emisor i_E adquieren valores considerables y, por lo mismo, presuponen una conductancia transversal capacitiva específica elevada entre el emisor y la base. Esto tiene por

25.

consecuencia que disminuya considerablemente la tensión alterna de alta frecuencia existente entre la capa de base y el emisor, a media que aumenta la separación de la conexión de la base. Como anchura activa del emisor B_{EW} se puede considerar la separación desde el borde del emisor, en la que la tensión entre

30.

la base y el emisor ha descendido hasta las 2,7 partes de la tensión de entrada. Como quiera que a la frecuencia límite, la conductancia transversal específica de la capacidad estática y dinámica entre el emisor y la base es aproximadamente J_E / U_T , se-



260219

gún las formulas conocidas para una conexión eléctrica homogénea se obtiene con la frecuencia f:

$$B_{EW} \approx B_{EW_0} \cdot \sqrt{f/f_0}$$

5.

con

$$B_{EW_0} = \sqrt{V U_T / R_B I_E}$$

Para el tipo considerado en la Fig. 4, los valores de la anchura activa de emisor B_{EWO} , a $f = f_0$, se han registrado bajo 12. Para la anchura activa de emisor B_{EWO} resulta un máximo

10.

a $\tau_E : \tau_B = 2 : 1$, caso de que las movilidades sean independientes de la concentración. En cambio, el máximo se halla aproximadamente en $\tau_E : \tau_B = 3 : 2$ cuando las movilidades presentan la dependencia de la concentración como en $N_{DB} = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

La anchura activa de emisor B_{EW} es a elevadas frecuencias sensiblemente menor que la anchura practicamente realizable del emisor. Mediante otro dimensionado tampoco se pueden conseguir mas que valores para B_{EWO} insignificamente mayores que en la Fig. 4, que como máximo (en una capa intermedia sin dotación entre

15.

la base y el emisor) el doble (8000 MHz) hasta el cuadruple (800 MHz) de la fig. 4.

20.

Puesto que el espesor de capa de base a atravesar por los portadores de carga en el recorrido desde el emisor al colector debe ser, a elevadas frecuencias límite, lo mas pequeño posible, la resistencia de la base existente entre el emisor y la conexión de la base se suele reducir generalmente dando a la

25.

capa de base 36, en la zona del emisor, mayor espesor y, eventualmente, una mayor dotación de lo que es posible para el sector de difusión de la base 2 propiamente dicho entre el emisor y el colector. En la practica se puede conseguir esto, por ejemplo, incorporando por aleación, según fig. 1, el emisor a mayor profundidad en la capa de base.

30.

La resistencia previa de la zona de base exterior es tanto



más pequeña cuanto mas gruesa y mas dotada esté esta zona marginal. Pero, por otra parte, disminuye la amplificación de corriente y la frecuencia límite f_{α} , ya que una parte creciente de la corriente de entrada circula a través de la capacidad estática y dinámica de la superficie límite entre dicha zona marginal y el emisor y, por lo mismo, no contribuye a la amplificación de la corriente.

La capacidad marginal específica (por superficie l) es aproximadamente del mismo orden que la capacidad de entrada específica del transistor. Con el fin de que, por lo mismo, no sean demasiado reducidas la amplificación de corriente y f_{α} , la mayoría de las veces es conveniente hacer que el espesor W_R de la capa exterior de base sea, al menos en el emisor, igual, o mejor todavía, menor que la anchura activa de emisor B_{EW} . Para una dotación marginal de $10^{18}/\text{cm}^3$, la fig. 4 señala el espesor de zona marginal $W_R(13)$ que reduce la frecuencia límite f_{α} hasta el 80% del valor sin zona marginal. En esto se tuvo en cuenta la capacidad marginal estática y dinámica.

En el dimensionado del transistor hay que tener también en cuenta que la intensidad de campo en la capa aislante del colector es más grande o, al menos, igual que aquella intensidad de campo con la que los portadores de carga se mueven en la capa aislante del colector con la máxima velocidad de flujo. Esta intensidad de campo mínima en germanio n es, por ejemplo, de 10^4 V/cm. Así pues, cuando todavía no ha intervenido la corriente de emisión, la tensión U_0 en la capa aislante del colector tiene que ser mayor que 1 V por 1 μ de espesor de esta capa. Pero si, por el contrario circula por la capa aislante del colector una corriente de emisión, en dicha capa aislante del colector se forma entonces una carga espacial, la cual viene dada por la relación de densidad de corriente a velocidad de flujo. Pero esta carga espacial requiere una tensión adicional de colector, cuya magnitud U resulta de la consideración, de que a una densidad previamente dada



de carga espacial y a un espesor de capa aislante va subordinada una tensión determinada.

5. En la Fig. 5 se han registrado en escala logaritmica, para los ejemplos de dimensionado de la Fig. 4, las tensiones U_o (14), U_J (15) y la tensión de colector minima U_o U_J (16), y además, las tensiones máximas (17) para ruptura de avalancha, (18) para ruptura zener y, máxima tensión de servicio segura, la semiten-
 10. sión de ruptura (19). Por consiguiente, con la región a rayas (20) se tiene marcada la región de trabajo de estos transisto-
 res. Caso de que esta región se halle, no obstante, a una tensión muy alta, entonces hay que disminuir W_{SC} , ya que $U_o \sim W_{SC}$ y $U_J \sim W_{SC}^2$. Sin embargo, de esta manera empeora a $f \leq f_{\alpha}$ la capaci-
 15. dad de amplificación del transistor, puesto que las conductan-
 cias de salida se vuelven mas grandes, según se explicará toda-
 vía mas adelante con más detalles.

20. Sin embargo, la frecuencia limite α no es por si sola deci-
 siva para la utilidad de un transistor a elevadas frecuencias. Tan importante como ella es que, a la frecuencia limite α , el tran-
 sistor suministre todavía una suficiente amplificación de poten-
 cia.

Para los transistores, cuyo emisor es mas ancho que la an-
 chura activa B_{EW} del mismo, la amplificación unilateral se pue-
 de expresar aproximadamente por

25.
$$V_u = \frac{jY_{12} - Y_{21}^2}{4(Y_{11}'Y_{22}' - Y_{12}'Y_{21}')} \approx P \cdot Y_{11}' / 4Y_{22}'$$

30. en la que Y_{11} es la cuantía de la conductancia Y_{11} de cortocir-
 cuito de entrada, Y_{22} la parte real de la conductancia de corto-
 circuito de salida y, β la amplificación de corriente en la cone-
 xión de la base del emisor. En transistores utiles. P es una ci-
 fra entre 0,5 y 1,5.

Por amplificación unilateral hay que entender aquella am-



plificación que resulta cuando, mediante la conexión adicional de elementos de contacto exteriores pasivos y libres de pérdidas, se hace que el transistor carezca de retroactividad. Por lo tanto, la amplificación unilateral sólo depende de las partes

5. reales de las conductancias y del grado de pendiente $|S| = |y_{12} - y_{21}| \approx \beta \cdot y_{11}$, y es independiente de la elección de los bornes de entrada. $V_u = 1$ significa que el transistor se comporta en todos los circuitos, lo mismo que un elemento de contacto pasivo.

10. Para que la conductancia de entrada Y_{11} sea lo mas grande posible, hay que hacer que la resistencia adicional de la base, o bien la resistencia adicional del emisor, sea lo más pequeña posible. Esto significa que hay que conservar lo menor posible la separación entre los electrodos metálicos de la base y del emisor.

15. Además, la zona marginal de base 3δ entre la conexión del emisor y de la base ha de tener la menor resistencia óhmica posible. Pero al menos en el limite entre el emisor y la base, no debe ser sensiblemente mas gruesa que la anchura activa de emisor B_{EW} , pues de lo contrario β disminuye considerablemente.

20. Con transito abrupto pn en el emisor, la dotación de la zona de base está limitada aproximadamente a $10^{18}/\text{cm}^3$ para evitar una ruptura zener. En cambio, el emisor puede ser dotado tan fuertemente como lo permitan las condiciones tecnologicas. Aun cuando mediante la resistencia adicional del emisor circula una corriente

25. $1 + \beta$ veces mayor, y la movilidad de los electrones de defecto es menor en el transistor pnip, para frecuencias muy elevadas, y con la misma separación entre los electrodos metálicos del emisor y de la base e identico espesor W_R de la capa emisora o de la zona marginal de la base, se pueden lograr mayores conductancias de entrada si la separación tecnologicamente necesaria entre

30. los electrodos metálicos es dividida de manera que el electrodo metálico de la base esté a la menor distancia posible de la capa aislante del emisor.



Para conseguir una alta amplificación unilateral V_u , la parte real Y_{22} de la conductancia de salida tiene, además, que ser lo más pequeña posible. La misma se compone, en esencia, de tres partes. Una de ellas se la tiene que atribuir a que la corriente con-

- 5. tinua del emisor varía con la tensión del colector. Esta modulación de la corriente continua del emisor se produce porque debido a la "respiración" de la capa aislante del colector, el espesor de la capa de base aumenta o disminuye a medida que varía la tensión del colector. Si, por ejemplo, se aumenta la tensión del
- 10. colector, entonces disminuye el espesor de la capa de base y, por consiguiente, aumenta la corriente del emisor. Esta parte de la conductancia de salida Y_{22} , a la que se designa con Y_E , es proporcional a la corriente continua del emisor, e inversamente proporcional a la dotación, así como al espesor de la capa de
- 15. base y al espesor de la capa aislante del colector. Por debajo de la frecuencia límite ω_c , Y_E es real e independiente de la frecuencia.

- 20. La conductancia de salida Y_{22} del transistor se mide, como es sabido, poniendo por el lado de corriente alterna en cortocircuito la conexión de la base y del emisor, y midiendo el valor de la conductividad entre estos electrodos y el colector. Si de paso se aplica al electrodo del emisor una tensión negativa frente a la base, entonces no circula ninguna corriente continua del emisor y, como parte principal de la conductancia de salida Y_{22} , se
- 25. obtiene la conductancia de la capacidad del colector. Si no se toman en consideración las pérdidas, la capacidad del colector da solo por resultado una parte reactiva correspondiente a la conductancia de salida Y_{22} , la cual no hay que tener en cuenta en el cálculo de la amplificación V_u , ya que se le puede eliminar con
- 30. elementos de contacto externos exentos de pérdidas.

Por las pérdidas J_{ole} en el transistor, por ejemplo en la superficie no cubierta por metal entre el electrodo del emisor y



el de la base, así como en el transistor "mesa" por las pérdidas en la resistencia previa del colector, la conductancia de salida recibe una componente real, a la que se designará con Y_v , la cual aumenta proporcionalmente con el cuadrado de la frecuencia.

5. Si se aplica al emisor una tensión previa positiva hacia la base, en cuyo caso circula una corriente de emisión, entonces se obtiene, además de la componente real Y_E ya apuntada de la conductancia de salida debido a la "respiración" de la capa aislante, otra componente real Y_k , la cual llega a establecerse de la siguiente manera. La corriente que circula ya sin emisión al aplicar una tensión de salida a través de la capa aislante del colector, fluye en parte a través del electrodo del emisor y, el resto, a través del electrodo de la base. Si la resistencia externa de la base es demasiado pequeña frente al valor de retorno de la conductancia de entrada (24) del transistor sin zona marginal, entonces solo fluye la parte de esta corriente del electrodo del emisor, la cual entra en la parte del emisor no influida desde la base, es decir en una superficie F_k que comprende aproximadamente la superficie emisora menos la zona marginal regulable de la anchura B_{EW} . Pero si, por el contrario, es muy grande la resistencia superficial de la capa de base entonces, a una frecuencia suficientemente elevada, se puede considerar el electrodo emisor como una unión de cortocircuito con la capa de base. Entonces la superficie F_k , cuya corriente circula hacia el electrodo del emisor, abarca toda la superficie del emisor y la mitad del espacio entre el electrodo del emisor y el de la base, así como todas las partes de la capa de base que se hallan en el lado del emisor opuesto a la conexión de la base. Así pues, en el transistor "mesa" según Fig. 2, F_k llega a ser igual que la mitad de la superficie "mesa" sin atacar, ya que el electrodo del emisor y de la base están colocados si-



metricamente.

Pero toda corriente de electrones que circula desde el emisor de un transistor a traves de la capa de base, provoca una corriente de electrones de defecto de una proporción equivalente

- 5. a la amplificación de corriente β en conexión de base del emisor, la cual circula desde el emisor hasta el colector. Sin embargo, por debajo de la frecuencia límite χ , dicha corriente del colector esta defasada en unos 90° como corriente a través de la capacidad del colector en comparación con la tensión de este último,
- 10. entonces se obtiene de esta manera una parte real de la conductancia de salida.

$$Y_K = 2\pi f \cdot \epsilon \epsilon_0 \cdot F_K \cdot \beta / W_{SC}$$

Puesto que $\beta \sim f_\chi / f$, resulta

15.

$$Y_K \approx 2 \cdot \epsilon \epsilon_0 f_\chi \cdot F_K / W_{SC}$$

y, por consiguiente, con F_K fija, es independiente de la frecuencia desde las frecuencias medias hasta aproximadamente f_χ .

- 20. En la Fig. 6 se han registrado los valores de conductancia de entrada y las partes reales de las conductancias de salida de transistores de la Fig. 4, en ejecución rectangular con una longitud de 1 mm, una anchura de emisor de 10 u y una separación de 5 u entre el recubrimiento metálico del electrodo de la base o del emisor y el borde del emisor para una frecuencia $f = 0,8 f_{\chi_0}$.

25.

La curva 21 representa la conductancia de entrada con una zona exterior 36 de 5 u de anchura de la capa de base. Según puede apreciarse por las explicaciones anteriores, por longitud y anchura hay que entender unas coordenadas que se extienden en el plano de la superficie del semiconductor, mientras que la expresión "grueso" se refiere siempre a la extensión perpendicularmente a la superficie del semiconductor por medio del cristal semiconductor. La zona exterior 36 de la capa de base tiene ahí la

30.



misma dotación que la zona interior de la capa de base y, prácticamente, también el mismo espesor cuando - como debe suceder en este caso - el emisor está incrustado por aleación en forma muy plana.

5. La curva 22 se refiere al caso en que la zona exterior 36 de la capa de base es mas gruesa que la capa de base interior 2, o sea tan gruesa que mediante su capacidad marginal frente al emisor, la frecuencia limite f_c se reduzca hasta el 80% de la frecuencia limite del transistor sin zona marginal. El grueso W_R ha sido elegido conforme a la curva 13 en la Fig. 4; la dotación marginal es la misma que la de la capa de base interior 2, o sea $10^{18}/\text{cm}^3$.

La curva 23 muestra el caso en que el electrodo de base de mando está completamente cubierto de metal, mientras que, por el contrario, el electrodo del emisor está cubierto de una capa metálica, por razones tecnologicas salvo en una separación de 5μ del electrodo de base de mando.

15. La curva 24 muestra el caso limite para la conductancia de entrada de un transistor a $f = 0,8 f_{c0}$, en el que la capa del emisor y de la base esta totalmente cubierta con metal.

20. La curva 25 reproduce en Fig. 6 la parte real Y_E de la conductancia de salida Y_{22} que retrocede por la "respiración" de la capa aislante del colector, en un emisor de emisión homogena, de 10μ de anchura.

25. La curva 26 muestra la parte real Y_k de la conductancia de salida Y_{22} , la cual se forma por la reacción capacitiva entre el colector y el emisor, con una superficie de reacción F_k que es igual que la superficie emisora.

30. La curva 27 se refiere a un transistor "mesa", el cual tiene una capa de colector de 30μ de anchura y 30μ de grueso, que estan tan fuertemente dotada que el espesor W_{SC} (10) de la capa aislante del colector no se consigue más que hasta un tercio de la tensión de ruptura de volumen (17 ó 18). La curva 27 reproduce la parte Y_v estipulada por las pérdidas en la resistencia previa



del colector, de la conductancia de salida a $f = 0,8 f_{\chi 0}$.

La parte real de la conductancia de salida, la cual se debe a las pérdidas en una zona exterior de 5μ de anchura de la capa de base del grueso W_R corresponde a la curva 28.

- 5. Si se observa el curso de cada una de las curvas, se vera que para una buena capacidad de amplificación del transistor es ventajoso que los contactos metálicos del emisor y de la base tengan una separación lo mas pequeña posible y que la zona exterior de la capa de base sea mas gruesa que la zona interior
- 10. de esta misma capa (vease curva 22). En proximidad de la frecuencia limite χ se obtiene una conductancia de entrada mayor todavía si se hace que el contacto metálico de la base termine lo mas cerca posible de la capa emisora y si la separación teconologicamente necesaria entre los electrodos metálicos se situa en la capa
- 15. emisora fuertemente dotada (curva 23). De la curva 27 en Fig. 6 se desprende que en las disposiciones "mesa" usuales, ala resistencia previa del colector reduce considerablemente la capacidad de amplificación en proximidad de la frecuencia limite χ y, debido a la proporcionalidad de Y_V con f^2 , principalmente por encima
- 20. de esta frecuencia.

En un emisor que emita con uniformidad, la amplificación es generalmente reducida por la reacción capacitiva Y_K (26), o bien, con una dotación no tan fuerte de la base, también por Y_E (25).

- 25. Sin que el emisor tenga que ser extremadamente estrecho, Y_E y Y_K se pueden reducir sensiblemente mediante un campo longitudinal E_l en la capa de base (tetrodo alta frecuencia). Si x es la separación del borde del emisor, se obtiene asi una densidad de emisión de corriente continua que decrece exponencialmente

30.

$$i_E = i_{E0} \cdot e^{-\frac{E_l x}{U_T}}$$



A una densidad de corriente i_{Eo} igual, Y_E disminuye en el borde en la relación de anchura de emisión $B_{EE} = U_T/E\ell$ a anchura total del emisor B_E , ya que Y_E es proporcional a la corriente continua del emisor.

- 5. Si la separación del electrodo de la base con el borde del emisor es pequeña frente a la anchura activa de emisor B_{EW} , entonces es válido aproximadamente lo mismo para la parte de reacción Y_K , que es la que mas estorba. Sin embargo a la superficie emisora no se la debe hacer demasiado estrecha, ya que por la concentración de la emisión, con i_{Eo} fijo la amplificación de corriente β_T y, por consiguiente, la frecuencia limite $f_{\alpha T}$ del tetrodo se vuelven mas pequeñas que β y f_{α} en el transistor de emisión homogena.

- 10. Si $f_{\alpha T}$ se determina unicamente por medio de la capacidad estática del emisor, rige entonces a frecuencias $f \leq f_{\alpha}$ para la amplificación de corriente β en conexión de base del emisor, con el vector unitario imaginario j :

20.
$$\frac{\beta_T}{\beta} = \frac{1}{1 + v j B_{EW}/B_{EE}}$$

Asi pues, para $B_{EE} = B_{EW}$ resulta en este caso $\beta_T = 0,54 \beta$. Si es estática solamente una parte de la capacidad de entrada, entonces β_T se vuelve mas grande, en el caso extremo de la parte estatica despreciable igual a β .

- 25. Asi pues, según las explicaciones anteriores, es muy ventajosos emplear en transistores del tipo "mesa" o bien pnip, un campo longitudinal en la capa de base, el cual concentre la emisión en una superficie emisora, cuya anchura sea igual a 0,5 hasta 3 veces la anchura activa de emisor B_{EW} a la frecuencia de regimen f .

Estos denominados tetrodos de alta frecuencia tienen, como se sabe, una estructura como la que se expone en la Fig. 3. Con



en tetrodos de alta frecuencia con orden de capas pnip ó npin, o bien p⁺n⁺p⁻ ó n⁺p⁺n⁻, situar el electrodo de mando de la base en el lado del emisor opuesto al colector. Con semejante disposición, la zona semiconductor de dicho electrodo de mando de la

- 5. base debe extenderse, en esencia, paralelamente a la capa de base o de colector. Según muestra la Fig. 7 por ejemplo, la superficie limite perturbadora F_R entre el emisor y el electrodo de mando de la base en una disposición sugerida por el invento, es sensiblemente menor que en la conocida disposición según Fig. 3. Pero además se tiene también la posibilidad de disminuir como convenga la relación de superficie perturbadora de zona marginal F_R a superficie activa de emisor, sin tener en cuenta la superficie del electrodo de mando, eligiendo para ello correspondientemente pequeño el espesor de la capa emisora l.

15. Las figs. 7 a 10, las cuales tienen las mismas referencias que las figs. 1 a 3, muestran ejemplos de realización.

La Fig. 7 muestra la forma de realización de un tetrodo de esta clase a modo de los transistores corrientes pnip (de flujo) aleados, en donde sin embargo, la capa de base 2 y la capa del emisor 1 se han confeccionado, por ejemplo por difusión, en forma de capas delgadas. El contacto de aleación 33 opuesto al colector, es el electrodo de mando de la base dotado de n, el cual está aleado por la capa emisora. La conexión auxiliar 32 de la base y la conexión 30 del emisor van soldadas a modo de contactos en anillo con materiales de soldar dotadores de n ó de p.

20. Sobre el proceso de fabricación hablaremos todavía mas adelante.

La fig. 8 muestra la disposición sugerida en el ejemplo de un tetrodo p⁺n⁺p⁻ a modo de los transistores "mesa". La técnica de fabricación es similar a la de los transistores "mesa" corriente, si bien aqui se vuelve a partir de una plaquita semiconductor, dotada esta vez moderadamente de p, la cual, por una de las superficies, tiene una delgada capa emisora 1 fuertemente dotada e p con una delgada de base 2 n-conductora situada por debajo. El electrodo de mando de la base 6 y el elec-

30.

260219



trodo auxiliar 8 de la misma estan aleados por la capa emisora. Por lo demas se puede confeccionar una disposición de esta clase, en forma analoga a lo que se describe mas adelante para la disposición según Fig. 9.

5. Para que se conserve pequeña la superficie limite perturbadora $F_R(31)$ entre el electrodo de mando 6 de la base y la capa emisora 1, es conveniente confeccionar dicho electrodo de mando de manera que la citada superficie limite quede a ser posible perpendicular a la capa emisora. Por otra parte, para que no disminuya demasiado la intensidad de campo en la capa aislante del colector por el ángulo entrante 35, tal y como se dijo mas arriba, el electrodo de mando 6 de la base no debe alearse a demasiada profundidad en proximidad de la capa de base. Si esto no fuese realizable tecnológicamente, es decir si el electrodo de mando de la base atraviesa tambien la capa de base de baja resistencia óhmica conforme a la línea a rayas 37, entonces habria que procurar siempre que por un lugar, el cual está tan alejado del emisor como la mitad del espesor W_{SC} de la capa aislante del colector, el referido electrodo de mando de la base sobresalga del plano del frente delantero de la capa de base en una proporción no mayor que la de dicho semiespesor W_{SC} .
- 10.
- 15.
- 20.

25. Para hacer que la parte de pérdidas Y_V de la conductancia de salida se mantenga lo mas pequeña posible se sugiere recubrir la superficie del emisor y la cpa de base lo mas extensamente posible con una capa metálica de buenas propiedades conductoras. Por eso, por ejemplo en la sugerencia según la Fig. 7, se ha previsto una capa metálica 29 que se extiende hasta cerca del electrodo de mando de la base y aplicada por evaporación sobre la capa emisora.1.

30. Con los conocidos procedimientos de aleación para contactos pn, p ro también con algunos procedimientos quimicos de recubrimiento, sobre los que todavía se hablará con mas detalle, se consigue de forma relativamente sencilla que la capa semiconductor del electrodo confeccionado de esta manera quede cubier-



ta de metal hasta cerca del limite pn. Sin embargo, la mayoría de las veces es difícil recubrir con metal, asimismo hasta cerca del limite pn, la superficie semiconductor contigua a este electrodo. Por eso hay que emplear recubrimientos, pantallas, etc.

- 5. y conservar una cierta separación de seguridad con el citado limite pn. Este es generalmente mayor que la separación entre la capa metálica de un contacto de aleación y el limite pn.

Según se explicó anteriormente, por lo expuesto es ventajoso construir las disposiciones de semiconductor de tal manera que la necesaria separación de seguridad quedese situada en la capa emisora y que el electrodo de mando de la base sea cubierto de metal ya durante el proceso de fabricación, practicamente hasta el limite pn como, por ejemplo, en las Figs. 7 a 10.

- 10.

Además de una menor resistencia de entrada (vease Fig. 6), de esta manera se obtiene también una parte de reacción óhmica Y_K sensiblemente menor, ya que las corrientes capacitivas en la entrada del emisor no dan, a $f < f_{\alpha}$, por resultado ningunaa componente óhmica de la conductancia de salida.

- 15.

Se obtienen ventajas particularmente grandes cuando se construye un tetrodo de alta frecuencia segun el tipo del transistor "mesa" (vease Fig. 8) y, sin embargo, se emplea como material de fondo un material muy fuertemente dotado, por ejemplo $N_A \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, con una zona superficial de material debilmente dotado, la cual sea algo mas gruesa que el deseado espesor W_{SC} de la capa aislante del colector. El procedimiento de fabricación de semejantes plaquitas con capa superficial debilmente dotada se describe mas adelante con mayor detalle. La construcción, por lo demás, de este tetrodo "mesa" pnip es la misma que en el tetrodo "mesa" normal según Fig. 8.

- 25.

Como quiera que la zona del colector tiene una conductibilidad aproximadamente 100 a 1000 veces mayor que en el transistor "mesa" normal, la parte real Y_V - que se ha producido por

- 30.

las perdidas en la resistencia previa del colector- de la conductancia de salida es insignificamente pequeña, aun cuando se



las pérdidas en la resistencia previa del colector- de la conduc-
tancia de salida es insignificamente pequeña, aun cuando se
haga mucho mas grande la superficie del colector de lo que se
supuso en la Fig. 6 con la curva 27.

- 5. Debido al menor espesor, con una conductibilidad especifi-
ca aproximadamente igual de grande viene a ~~gar~~ mas pequeña toda-
via la parte de pérdidas, la cual se produce en aquellas partes
de la capa de emisor y de base que estan dotadas de un recubri-
miento metálico de buenas propiedades conductoras. El tetrodo
- 10. "mesa" pnp se puede construir conforme a la Fig. 8, de tal modo
que la capa de emisor y de base, salvo las estrechas regiones 38,
estén provistas por los transistos pn de recubrimientos metáli-
cos que, o bien fueron empleados ya durante la confección de las
capas semiconductoras del electrodo (30,33), o bien, aplicadas
posteriormente (29).

- 15. Las pérdidas en estas regiones 38 junto a los transitos
p-n son proporcionales a la resistencia superficial de la parte
no recubierta con metal de la capa emisora, o bien de la capa
exterior de la base, y aumenta con la tercera potencia de la
- 20. anchura de esta zona no cubierta. Si a esta separación de las
partes cubiertas con metal del emisor o del electrodo de base
se le hace suficientemente pequeña, se puede reducir entonces la
parte de pérdidas Y_V , producidas en aquélla, de la conductancia
de salida, hasta el punto de que llega a ser despreciable en com-
paración con las restantes partes Y_E y Y_K . Esto lo muestra, por
- 25. ejemplo, la curva 28 en la Fig. 6, la cual señala la parte de
pérdidas Y_V que resulta en una capa de base exterior no recubier-
ta metalicamente, de 5 y de anchura, con $N_{DR} = 10^{18}/\text{cm}^3$ y un
espesor W_R (vease 13, Fig. 4).

- 30. Un electrodo, el cual esté recubierto con una capa de cobre
o de plata del mismo espesor W_R , debido a su conductibilidad unas
3600 veces mayor con idéntico espesor W_R , puede hacerse unas 15
veces mas ancho que la región 38 sin recubrir, antes de que en



esta capa metálica se produzcan las mismas pérdidas Y_V (28). Ahí se ha supuesto que el electrodo en forma de cinta está dotado de contacto a lo largo de la línea central con una tirita metálica de buenas propiedades conductoras.

5. El amplio recubrimiento de la capa de emisor y de base con una capa metálica, así como la disposición "mesa" que se acaba de describir con capa intermedia intrínseca o débilmente dotada, por lo demás, también por resultado en la disposición de triodo una sensible mejora con respecto al límite de oscilación y a la capacidad de amplificación a elevadas frecuencias.

10. En los transistores "mesa" pnp no se dan otras pérdidas, las cuales dependan de la anchura de los electrodos, tales como las pérdidas en la resistencia previa del colector del transistor "mesa" según las Figs. 2 y 8, o en la zona marginal débilmente dotada de las disposiciones de transistores pnp según Figs. 1 y 7. En transistores "mesa" pnp, construido análogamente a la Fig. 2, se puede por lo mismo, hacer relativamente ancho el electrodo de la base sin que disminuya por eso el límite de oscilación de los transistores. Sin embargo, el emisor tiene que ser muy estrecho debido a las componentes reales Y_E (25) y Y_K (26) de la conductancia de salida, dependientes de la anchura del emisor.

15. No obstante, en los electrodos "mesa" pnp, la superficie emisora del emisor se puede estrechar como convenga, sin miramiento alguno a su anchura, por lo cual Y_E y Y_K se vuelven también independientes de la anchura del emisor.

20. Por lo mismo, en tetrodos "mesa" pnp, la anchura de todos los electrodos se puede hacer sensiblemente mayor que en todas las demás disposiciones ya conocidas de transistores de alta frecuencia. Incluso a frecuencias máximas se pueden emplear todavía superficies de electrodo fácilmente dotables de contacto y de 0,050 milímetros de anchura, sin que disminuya por eso la capacidad de amplificación en conexiones con circuitos de resonancia.

25. Por lo mismo, en tetrodos "mesa" pnp, la anchura de todos los electrodos se puede hacer sensiblemente mayor que en todas las demás disposiciones ya conocidas de transistores de alta frecuencia. Incluso a frecuencias máximas se pueden emplear todavía superficies de electrodo fácilmente dotables de contacto y de 0,050 milímetros de anchura, sin que disminuya por eso la capacidad de amplificación en conexiones con circuitos de resonancia.

30. Por lo mismo, en tetrodos "mesa" pnp, la anchura de todos los electrodos se puede hacer sensiblemente mayor que en todas las demás disposiciones ya conocidas de transistores de alta frecuencia. Incluso a frecuencias máximas se pueden emplear todavía superficies de electrodo fácilmente dotables de contacto y de 0,050 milímetros de anchura, sin que disminuya por eso la capacidad de amplificación en conexiones con circuitos de resonancia.



cia ni el límite de oscilación. Se ha supuesto aquí el conductores de entrada tienen que ser de la menor resistencia óhmica posible, por lo que con medios de distribución exteriores (circuitos oscilantes) se pueden apartar las componentes reactivas de la conductancia de salida o de reacción, todavía lo suficientemente libre de pérdidas. Para ello es particularmente ventajoso que estas capacidades, en tetrodos "mesa" pnp, apenas sean dependientes de la corriente o de la tensión.

5. En cambio, en los transistores "mesa" corrientes, a frecuencias límite de unos 500 MHz el electrodo en forma de cinta del emisor y de la base han de tener ya una anchura de menos de 25μ con una separación de unos 10μ entre las cintas del emisor y de la base. Es bastante difícil dotar a este transistor de hilos de conexión. En las dimensiones sensiblemente menores que se requieren para frecuencias máximas, este problema podría no encontrarse una solución técnica. Se consigue otra sensible simplificación tecnológica si a la parte metálica 32 del electrodo auxiliar de la base se la une ya con carácter conductor en el elemento transistor con la parte metálica 30 del electrodo del emisor, por ejemplo por medio de una capa metálica 29 depositada químicamente o por evaporación, que recubra ambos electrodos, como en la Fig. 9. En esta disposición de tetrodo sólo hacen falta, lo mismo que en los transistores "mesa" usuales, dos hilos de conexión en el lado emisor de la plaquita.

15. Con una construcción en forma de cinta del electrodo auxiliar de la base la anchura de la zona emisora es $B_{EE} = B_E \cdot U_T / U_{EB}$, en donde B_E es la anchura del emisor entre el electrodo de mando 6 de la base y el electrodo auxiliar 8 de la misma, y U_{EB} es la tensión continua necesaria para el funcionamiento, entre el electrodo de mando y el emisor. En transistores Ge, con las elevadas densidades de corriente i_E necesarias para transistores de máxima frecuencia, la misma es de unos 0,5 voltios, por lo que
- 20.
- 25.
- 30.



para ello resulta $B_{EE} \approx \frac{1}{20} B_E$.

5. Para disminuir la parte reactiva de la conductancia de reacción, el tetrodo de la Fig. 10 ha sido montado simetricamente al electrodo de mando 6 de la base. El electrodo auxiliar 8 de esta última puede tener ahí forma de anillo o de U. Sin embargo, desde el punto de vista tecnologico es mas sencillo emplear dos electrodos auxiliares en forma de cinta, los cuales van unidos metalicamente a traves del electrodo del emisor.

10. Las disposiciones descritas pueden realizarse sistemáticamente con todos los materiales semiconductores practicamente utilizables para los transistores, tanto con el orden de capas pnp como npn. A continuación se explican detalladamente algunos procesos de fabricación en varios ejemplos de realización.

15. Primeramente explicaremos en detalle el procedimiento de fabricación de las capas de emisor y de base. En la confección de estas capas es recomendable partir de discos que tengan el diametro del material unicristalino existente. Para la confección de las capas de emisor y de base se puede recurrir, por ejemplo, al proceso de doble difusión o a un procedimiento por el que la difusión se hace a partir de una capa aleada.

20. En el proceso de doble difusión, y según procesos ya conocidos y empleados técnicamente para transistores Si, primeramente se puede difundir en el cuerpo semiconductor existente una delgada zona p fuertemente dotada (por ejemplo Ga a partir de la fase de vapor o a partir de Ga_2O_3 en el proceso $Paste$). Seguidamente se difunden los discos en vapor dotado de n (p.eje. As, Sb). La presión del vapor y el tiempo de difusión del material a difundir tiene ahí que estar ajustados de modo, que la densidad marginal de la sustancia n sea pequeña en comparación con la de la dotación p y, no obstante, que su profundidad de penetración sea algo mayor; de este modo se obtiene una zona p relativamente gruesa (emisor) y una zona n estrecha, como capa de

25.

30.



base, contigua a la anterior. Como material de fondo semiconductor, en el cual se lleva a cabo la intradifusión, se emplea en la confección de las disposiciones "mesa" según Fig. 8, material semiconductor moderadamente dotado y, en cambio, para disposiciones pnip según la Fig. 7, material semiconductor debilmente dotado de n.

5.

En la difusión a partir de una capa aleada se evapora primeramente sobre los discos una delgada capa, por ejemplo, de material dotador de p (Al ó aleación Pb-Ga ó In) agregando de paso un cierto porcentaje de material dotador de n (As, Sb), y se confecciona la capa emisora por aleación. En el templado posterior, el material n de movilidad mas rapida se difunde a través de la zona de aleación en el material de fondo y forma una capa de base conductora de n.

10.

El, procedimiento que queda descrito, en el que se difunde a partir de una capa aleada, se emplea en la actualidad, en parte, para transistores de alta frecuencia. Este proceso podría suministrar capas de base mas uniformes y reproductibles con mayor facilidad aunque, al parecer, ninguna superficie de emisor tan plana como el proceso de doble difusión ya apuntado.

20.

En lo que se refiere a la confección de los electrodos de mando y auxiliares de la base, el procedimiento más sencillo consiste en colocar o evpaorar sobre el disco semiconductor doblemente dotado, un glohlo metálico dotador de n (p.ej. de aleación Pb-Sb ó de Au-Sb), e incorporarlo por aleación en la forma acostumbrada.

25.

En este procedimiento es ventajosos para la capa emisora, emplear una sustancia con un coeficiente de distribución menor o pequeño en comparación de 1 (o sea, plej. nada de boro en Ge), para que la zona semiconductor de del electrodos de mando de la base pueda ser dotado en menor porporción que el emisor (máximo aprox. 10^{18} cm^{-3}).

30.



También es favorable para esto el que el volumen del glo-
bulo de metal sea grande frente al volumen del material semi-
conductor disuelto y nuevamente recristalizado.

- Otra posibilidad para la confección de los necesarios elec-
5. trodos de conexión en tetrodos Si npin, consiste en aplicar un
procedimiento de difusión combinado con una separación química
Evaporando por ejemplo una capa de cuarzo de las dimensiones de
estos electrodos sobre los discos ya difundidos con la base n,
se cubren aquellos lugares que mas adelante han de suministrar
10. los electrodos de conexión, y a continuación se difunde boro pa-
ra la confección de la capa p del emisor. Según los conociemien-
tos actuales, los recubrimientos de cuarzo son impermeables al
As, Sb, B, malamente permeables para P, permeables para Ga, Al y
In. Si seguidamente se meten los discos en una solución apropia-
15. da de sal metálica, tal y como se utiliza, p. eje. para hacer vi-
sible los límites pn, entonces sólo se precipita metal sobre las
partes de la superficie que están dotadas de n, o sea el electro-
do de mando y el auxiliar de la base. Así pues, en el defecto
final, se obtiene de nuevo lo mismo que en el procedimiento por
20. aleación, o sea electrodos de mando de la base extendidos para-
lelamente a la capa de base, los cuales están cubiertos casi por
completo de metal.

- En las disposiciones npip a modo de "mesa" según las Figs.
8 y 9, hay que confeccionar discos semiconductores los cuales,
25. por el interior, están muy fuertemente dotados de p y tienen una
capa uniformemente delgada, de aprox. 1 a 10 μ de espesor, según
sea el tipo de transistor, y débilmente dotada de n.

- La manera mas sencilla de obtener estos discos es la de
incorporar por aleación un electrodo de gran superficie (p. ej.
30. con In) que abarque todo el disco, sobre discos mas gruesos de
la débil dotación n deseada de la capa superficial según el pro-
ceso aplicado en rectificadores de potencia.



Las condiciones de aleación y de enfriamiento tienen que escogerse ahí de manera, que el frente de aleación contra el material de fondo sea lo mas plano posible, y la parte que se precipita de forma unicristalina y homogena de la capa de germanio recristalizada sea lo mas gruesa posible. Además, dicho frente de aleación tiene que hallarse próximo por debajo de la superficie opuesta del disco.

- 5.
- 10.
- 15.
- 20.
- En el Borde del disco se incorpora por aleación un contacto auxiliar dotador de n (base) y, lo mismo que el electrodo In, se le provee de hilos de alimentación y se le cubre con un barniz aislante apropiado. El lado delantero no cubierto del disco preparado de esta manera es tratado por un proceso de ataque electrolítico autolimitador. Durante el ataque existe una tensión negativa entre el electrodo posterior y el contacto auxiliar, por lo que en el contacto de la parte posterior se forma una capa aislante, cuyo espesor depende de la dotación del material n y de la tensión y de dicho contacto posterior. Entre el electrolito y el contacto auxiliar se aplica una tensión, la cual tiene que ser asimismo negativa aunque, en cuanto a su magnitud, ha de ser menor que la tensión que existe entre el electrodo del lado posterior y el contacto auxiliar.

- 25.
- Sobre el disco a atacar se proyecta a través del electrolito, con una potente fuente luminosa, una franja de luz de unos 100μ de anchura que pasa por todo el disco, se la mueva despacio y perpendicularmente a su extensión longitudinal a través de dicho disco.

- 30.
- El germanio es rapidamente atacado en los lugares iluminados. Sin embargo; el ataque cesa por si mismo cuando en un lugar se ha alcanzado la capa aislante del lado posterior (mas exactamente, la capa aislante que corresponde a la diferencia de tensión electrodo posterior-electrolito).

Asi pues, de esta manera se pueden confeccionar discos al-



tamente dotados de p, los cuales tienen en la superficie una delgada capa debilmente dotada de n, los cuales tienen en la superficie una delgada capa debilmente dotada de n, de espesor exactamente previsible. Después de la separación del recubrimiento y de la capa metálica por el lado posterior se pueden dotar estos discos, como se dijo oportunamente, de una capa de emisor y de base.

5. Además de las particularidades expuestas anteriormente, los tipos sugeridos por el invento se pueden confeccionar según los procedimientos habituales para transistores de alta frecuencia. Como ejemplos de ejecución explicaremos todavía más detalladamente los procedimientos de fabricación de los tipos según las Figs. 7 y 9.

10. En la confección del tetrodo de alta frecuencia según la Fig. 7, a un disco semiconductor del tipo n con una resistencia específica de aproximadamente 20 a 40 ohmios cm, se le provee según uno de los procedimientos antes descritos, de una delgada capa emisora 1 y una capa de base 2 fuertemente dotada, situada por debajo. La confección de la capa de emisor y de base puede realizarse, por consiguiente, por intradifusión de una sustancia dotadora de n a partir de la fase gaseosa, o por difusión del material de lugares perturbadores previsto para la confección de la capa de base 2, a partir de la zona emisora debilmente contradotada.

15. En la aplicación del procedimiento por aleación, se elimina el recubrimiento metálico existente por el lado del emisor con un ácido apropiado. A continuación se pega el disco por el lado del emisor, p.ej. sobre una hoja de vidrio, y por el lado del colector se le rebaja mediante una solución caustica apropiada hasta un espesor de unos 30 μ . Seguidamente se divide el disco semiconductor, por reticulación, en plaquitas de 1,5 . 1,5 mm de dimensión, se le seapra del fondo y se le decapa to-

20.

25.

30.



davía brevemente para obtener una eventual limpieza. Sobre la superficie cubierta se introduce entonces por aleación uncolector dotador de p de unos 300 μ de diametro, a tal profundidad que la separación entre el frente de aleación del colector y la

5. capade base fuertemente dotada sea de unos 3 a 10 μ . Despues de alear el colector, por el lado del emisor se introduce por aleación, centrado con respecto al colector y con una sustancia de aleación dotadora de n, el electrodo de mando de la base de un diametro de unos 150 μ , a tal profundidad, que atraviesa la capa emisora, pero que a lo sumo presione 1 a 2 u en el resinto de la base debilmente dotado. Sobre esta plaquita semiconductor se suelda por el lado del emisor, con unapasta de soldar dotadora de p, un electrodo de anillo como conexión del emisor y, por el lado del colector, con una pasta de soldar dotadora de n, otro electrodo de anillo como conexión auxiliar de la base. A continuación, por el lado del emisor del tetrodo se deposita por evaporación una capa metalica 29, en donde en ocasiones, el globulo de forma esférica del electrodo de mando de la base 33 sirve de pantalla cubridora. La colocación de los hilos de alimentación asi como el resto del montaje del tetrodo se hacen como de costumbre.

25. Para la confección del tetrodo "mesa" pnip según Fig. 9, sirve un disco de material de fondo fuertemente dotado de p, el cual posee una delgada capa debilmente dotada, cuyo espesor se rige por el deseado espesor de la capa aislante del colector. El disco semiconductor se puede preparar, p. eje. segun el proceso de ataque luminoso descrito mas arriba. Sobre este disco, en el procedimiento para la confección de la tetrodo según Fig. 7, se aplica una capa de base y de emisor.

30. Acto seguido, con el concurso de un sistema de pantallas apropiado, se depositan por evaporación dos tiras metálicas dotadoras de n, como electrodo de mando y auxiliar de la base; estas



- tiras tiene una dimensión, por ejemplo, de $200 \cdot 30 \mu^2$, y van colocadas paralelamente entre si con una separación de 30μ . Después se procede a incorporar por aleación estas tiras y se deposita por evaporación la capa metálica 29 del emisor. Después de la división del disco semiconductor en plaquita, se cubren estas plaquitas con un agente cubridor apropiado, p. eje. empleando el conocido "método fotoresist", de tal modo que el electrodo de mando y auxiliar de la base, así como la parte de emisor que queda entremedias, queden blindados, salvo una pequeña zona marginal. A la plaquita tratada de esta manera se la ataca ahora hasta que el material quederebajado por los lugares no cubiertos hasta la zona p fuertemente dotada del colector. Finalmente la plaquita es soldada por el lado del colector sobre una placa de base, y el electrodo del emisor y el de la base son provistos de forma en si conocida de los hilos de conexión.
- 5.
- 10.
- 15.

N O T A

- 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 de prioridad de la patente de invención alemana nº T 17044 VIIIc/21g depositada en la Oficina alemana de patentes el día 6 de agosto de 1.959, lo que se concreta en las siguientes reivindicaciones:
- 20.
- 25.

1ª.- Tetrodo de alta frecuencia, con orden de capas pnip ó npin, o bien $p^+n^+p^-$ - ó $n^+p^+n^-$ - caracterizado porque el electrodo de mando de la base va situado por el lado del emisor o puesto al colector.

30.

2ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según la reivindicación



anterior, caracterizado, además, porque las partes metálicas del electrodo auxiliar de la base y del electrodo del emisor están unidos entre sí eléctricamente de forma bien conductora.

5. 3ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el electrodo auxiliar de la base se compone de varias zonas semiconductoras no directamente coherentes entre sí.

10. 4ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el espesor de la capa emisora es igual o más pequeña que la anchura activa de emisor, es decir, que la anchura, en cuya separación del borde del emisor, la tensión alterna existente entre el emisor y la base ha descendido hasta $1/e$ partes.

15. 5ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la máxima densidad de corriente del emisor es elegida mediante la correspondiente selección de la tensión previa del emisor, de tal modo que la constante de tiempo de la resistencia específica de emisión y la capacidad estática de la capa aislante del emisor guarden con respecto al tiempo de marcha de la base de los portadores de carga de minoría, la relación de 3:2.

25. 6ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el espesor de la capa de la zona de base debilmente dotada (zona intrínseca), o bien en la disposición "mesa", el espesor de la capa aislante del colector, está elegida de tal modo que el tiempo de marcha del colector con respecto a la suma del tiempo de marcha de la base y de la constante de tiempo de la resistencia específica de emisión y capacidad estática de capa aislante del emisor, guarden una relación de 2 : 1.

30. 7ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la dotación de la



base es aproximadamente de $10^{18}/\text{cm}^3$.

5. 8ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la superficie de la zona del emisor y de la base está cubierta con una capa metálica, salvo la separación debida para evitar un cortocircuito.
10. 9ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque el electrodo de mando de la base está incorporado por aleación, a una profundidad no mayor que la mitad del espesor de la capa aislante del colector, en la zona debilmente dotada de la base o del colector.
15. 10ª.- Tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque con el orden pnip ó npin de las capas semiconductoras, el cuerpo semiconductor está concebido en forma "messa", es decir que la superficie de la capa de base es menor o, a lo sumo igual, que la superficie de la capa del colector.
20. 11ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque a una plaquita semiconductor se la provee primero de una capa emisora y una delgada capa de base situada por debajo, y porque luego se alea el electrodo de mando de la base por medio de la capa emisora.
25. 12ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque la capa emisora se confecciona por aleación, empleando al mismo tiempo una sustancia aleante que para la confección de la capa de base contiene adicionalmente una sustancia contradotadora, y porque luego se prepara la capa de base por difusión a partir de esta capa emisora, o bien a partir de la aleación flúida del emisor.
30. 13ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según la reivindicación 11ª, caracterizado, adee



más, porque la capa de emisor y de base se prepara por difusión simultanea o sucesiva a partir de la fase gaseosa, o bien por difusión a partir de una sustancia no aleante, aplicada sobre la superficie semiconductora.

5. 14ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones las diez primeras reivindicaciones, caracterizado, además, porque en una plaquita semiconductora se difunde primero la capa de base, y porque antes de la difusión de la capa emisora se cubren con una sustancia apropiada que impida la intradifusión de los lugares perturbadores, los lugares de la superficie semiconductora en los que se han previsto los electrodos de la base.
10. 15ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según la reivindicación catorce, caracterizado, además, porque los lugares cubiertos son revestidos química o galvanicamente con metal, despues de separar el material de cubrición.
15. 16ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado, además, porque como material de partida se emplea una plaquita fuertemente dotada la cual, debajo de una superficie, tiene una capa debilmente dotada, aproximadamente del espesor de la deseada capa aislante del colector.
20. 17ª.- Procedimiento para la confección de un tetrodo de alta frecuencia, según la reivindicación anterior, caracterizado, además, porque en la preparación de una disposición pnip, se confecciona el espesor deseado de la capa de alta resistencia hmica por medio de un proceso de ataque electroquímico, de tal modo que la zona fuertemente dotada de p reciba una tensión previa mas negativa frente a la capa debilmente dotada de n, que el electrolito.
25. 30.



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

Madrid, 5 de agosto de 1.960.

EL AGENTE,