

P.- 24.829

P.H. 17.788
Spain
vDo/MS

25 OCT. 1963



Rehecha I

289480

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud
de

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

formulada el 28 de Junio de 1963, con el número 289.480

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, entidad
holandesa, establecida en Emmasingel 29, Eindhoven, Holan
da, por:

"DISPOSITIVO DE CIRCUITO FOTOSENSIBLE"

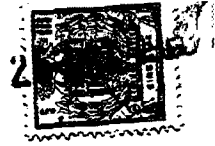
La invención se refiere a un dispositivo semi-
conductor fotosensible que comprende un elemento de cir-
cuito fotosensible con un cuerpo fotosensible con elec-
trodos, en que por medio de una fuente de suministro in-
cluida en un circuito externo son aplicados potenciales a
al menos dos electrodos y en que se forma en el cuerpo un
camino de corriente cuya variación de impedancia de acuer-
do con la radiación incidente, es utilizada en el circui-
to externo. La invención se refiere además a realizacio-
nes particulares de un elemento de circuito fotosensible



con un cuerpo fotosensible con electrodos, adecuado para ser usado en tal dispositivo semiconductor fotosensible.

5 Tales dispositivos semiconductores fotosensibles son utilizados entre otros, para la detección o la medición de energía de irradiación de naturaleza electro-
magnética o corpuscular o como disyuntores sensibles a la radiación, por ejemplo en instalaciones monitoras. Al pro-
ducirse la incidencia de la radiación sobre el cuerpo fo-
10 to sensible se produce una disminución de impedancia entre los electrodos, de modo que se obtiene un aumento de co-
rriente en un circuito de carga externo que incluye dicha impedancia a través de electrodos en unión con una fuente de tensión, aumento de corriente que puede ser utilizado, por ejemplo, medido o suministrado a un otro elemento de
15 circuito. Otro uso importante está comprendido en el campo de las así llamadas instalaciones óptico-electrónicas, en que un cuerpo fotosensible y un cuerpo electroluminiscente están acoplados óptica y/o eléctricamente, de modo que ellos pueden funcionar como un amplificador eléctrico,
20 un intensificador de radiación o imagen o como un disyuntor multiestable.

Con todos estos usos a menudo es importante que sea obtenida una elevada amplificación de energía sin necesidad de usar diferencias de tensión muy elevadas entre
25 los electrodos y del consecuente uso de un cuerpo de gran tamaño. Con muchos otros usos, además, es deseable que el valor de la impedancia, en general, de la resistencia a la radiación y en la ausencia de radiación (la así llama-
da resistencia de negro) y los valores correspondientes
30 de las intensidades de corriente en el circuito externo

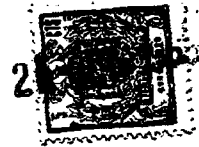


estén nítidamente definidos. La amplificación de energía G de tal dispositivo designa en la presente, como es usual, la potencia eléctrica obtenible entre los electrodos por unidad de potencia de radiación incidente, potencia que puede ser expresada en una fórmula de la manera siguiente:

$$G = \eta \left(\frac{\tau}{t_r} \right) \cdot \left(\frac{V}{V_r} \right)$$

en que η es una constante de proporcionalidad referente a la salida del proceso de excitación y τ la vida útil media en segundos de los portadores de carga libre en el cuerpo entre los electrodos, t_r es el tiempo de tránsito medios de los portadores de carga libre en segundos entre los electrodos, V es la tensión aplicada entre los electrodos en Volts y V_r es la energía requerida para liberar un portador de carga en electro-volts, dividida por la carga electrónica en Coulombs.

En los dispositivos semiconductores fotosensibles conocidos de la clase precedentemente mencionada el elemento de circuito a menudo está formado por un así llamado foto-resistor, que tiene un cuerpo foto-conductor usualmente hecho de un material semiconductor, por ejemplo, CdS o CdSe, en que la conducción eléctrica es provista substancialmente sólo por los electrones. A una corta distancia uno del otro dos electrodos óhmicos están dispuestos sobre el cuerpo, siendo aplicada una diferencia de tensión entre los electrodos. Dado que los electrones pueden ser fácilmente suministrados y retirados a través de electrodos óhmicos, tal resistor fotosensible permite que un número de portadores de carga substancialmente igual al

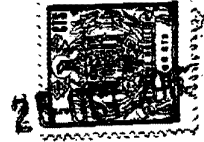


producto del número de electrones libres excitados por la radiación por segundo y de su vida útil τ tomen parte eficientemente en el proceso de conducción. Como consecuencia de la vida larga τ , la distancia entre los electrodos puede ser elegida sin ninguna dificultad, tan pequeña que con la intensidad de campo producida por la tensión aplicada, el tiempo de tránsito t_r de los electrones entre los electrodos es mucho más corto, por ejemplo, un factor de 10^4 más corto que la vida τ . Consecuentemente, estos foto-resistores permiten obtener una amplificación de energía elevada G con una tensión V comparativamente baja, dado que de acuerdo con la fórmula dada precedentemente el factor $(\frac{\tau}{t_r})$, que, en la práctica, representa el factor de amplificación de corriente, puede ser elevado. Sin embargo, una desventaja inherente de estos foto-resistores consiste en que la amplificación de energía elevada es alcanzada con la movilidad dada, comparativamente lenta de los portadores de carga en los semiconductores correspondientes debido a la vida larga τ de uno de los dos tipos de portadores de carga. Esto limita la elección del material a aquellos semiconductores que tienen dicha propiedad y debido a la duración de la vida estos foto-resistores muestran una gran inercia en la conexión y desconexión de la radiación. Con CdS y CdSe, por ejemplo, los tiempos de conmutación varían entre 10 seg. y 0,01 seg., siendo el factor de amplificación G proporcionalmente inferior con los tiempos de conmutación más cortos.

Además de los foto-resistores los elementos de circuito de los dispositivos semiconductores fotosensibles conocidos han sido formados por foto-diodos y foto-

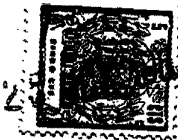


-transistores que comprenden un cuerpo semiconductor, por ejemplo, de germanio o silicio, en que las contribuciones a la conducción de los electrones y lagunas son del mismo orden de magnitud. Con tal foto-diodo el cuerpo semiconductor tiene una estructura pn o p-in. Contactos óhmicos son provistos sobre las zonas n y p y, durante el funcionamiento, el contacto de la región p recibe a través de un circuito externo una tensión negativa en relación a la región n, de modo que la juntura es excitada en la dirección inversa. En el caso de una estructura p-i-n con el foto-diodo conocido la distancia entre los electrodos es como máximo unos pocos largos de difusión-recombinación. La conducción de negro puede ser mantenida baja en este caso, como con el foto-resistor, pero con los foto-diodos de esta clase el número de portadores de carga que toman parte adicionalmente en el proceso de conducción durante la radiación entre los electrodos, prácticamente no puede exceder el número de los excitados por segundo, dado que en contraste con el foto-resistor, no pueden suministrarse lagunas o electrones desde la región n y la región p respectivamente con este foto-diodo. Debido a estas dificultades en el suministro, aparece ya una relación no lineal en la curva característica de corriente-tensión con una diferencia de tensión comparativamente baja en la dirección inversa, que corresponde al agotamiento del suministro de portadores de carga desde la región del semiconductor. Así la amplificación de energía permanece limitada al segundo factor ($\frac{V}{V_F}$) que indica la amplificación de tensión, dado que el factor ($\frac{I}{I_F}$) prácticamente no puede exceder de 1 debido a dichas dificultades de suministro.



Aunque los materiales usualmente utilizados para los foto-
diodos, por ejemplo, germanio o silicio, permiten alcan-
zar velocidades elevadas de conmutación, está involucrada
la desventaja de dicha relación no lineal en la curva ca-
5 racterística de corriente-tensión, mientras que debido a
la ausencia de amplificación de corriente, la amplifica-
ción de energía es comparativamente baja, a menos que se
utilicen diferencias de tensión V muy elevadas, por ejem-
plo, del orden de décimos de kilovolts, lo que necesaria-
10 mente implica un gran aumento de las dimensiones del cuer-
po.

Además de los foto-diodos, un foto-transistor
es usado como un elemento de circuito en los dispositivos
semiconductores conocidos, teniendo dicho transistor, co-
15 mo es conocido, una estructura p-np o n-p-n siendo aplica-
da una diferencia de tensión entre las dos zonas externas
del mismo tipo de conductividad. El funcionamiento del fo-
to-transistor se basa en el efecto de combinación de di-
cha estructura como un foto-diodo y como un amplificador
20 a transistor normal, que amplifica eléctricamente la se-
ñal del foto-diodo. Dado que el elevado factor de amplifi-
cación de energía se debe, en una parte importante, al efec-
to de amplificación normal del transistor, se requiere un
dimensionamiento correcto de la estructura de la parte am-
25 plificadora del transistor. Sin embargo, las exigencias
para un efecto de transistor satisfactorio, esto es, una
zona de base delgada y una distancia corta entre las dos
capas externas, preferentemente en posiciones opuestas,
afecta adversamente el funcionamiento satisfactorio del
30 foto-diodo, dado que debido a la capa intermedia delgada



y al efecto de blindaje de las capas externas y/o de los contactos provistos sobre ellas, la superficie sensible disponible para la irradiación es muy pequeña. Estas exigencias con respecto al dimensionamiento constituyen en la práctica una seria desventaja del foto-transistor.

La invención tiene por objeto, entre otros, proveer una realización novedosa, particularmente eficaz de un dispositivo semiconductor fotosensible que, a diferencia de los foto-resistores conocidos, permite utilizar materiales semiconductores en que la contribución a la conducción de los dos tipos de portadores de carga puede ser prácticamente igual, evitándose, no obstante, total o parcialmente, la mencionada desventaja inherente al foto-diodo conocido y al foto-transistor conocido que utilizan dicha clase de materiales semiconductores y la inercia de conmutación puede ser considerablemente inferior que con los foto-resistores conocidos y la superficie disponible para la irradiación puede ser accesible fácilmente y ser comparativamente grande. La invención tiene además por objeto proveer realizaciones preferidas particulares de tal dispositivo semiconductor fotosensible y realizaciones particulares de un elemento de circuito fotosensible con un cuerpo foto-sensible con electrodos, adecuado para ser usado en el mismo.

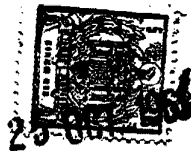
En un dispositivo semiconductor fotosensible de la clase antes mencionada el elemento de circuito fotosensible comprende, de acuerdo con la invención, un cuerpo fotosensible que tiene una región semiconductor práctica intrínseca o débilmente extrínseca en que, durante la irradiación, la conducción de lagunas y la conducción



de electrones son substancialmente del mismo orden de magnitud, y al menos dos electrodos, separados por dicha región para el suministro de corriente al cuerpo, siendo capaz un electrodo de inyectar principalmente sólo electrones y siendo capaz el otro electrodo de inyectar principalmente sólo lagunas hacia dicha región intermedia, mientras que por medio de al menos una fuente de suministro externa, a través de los electrodos, es aplicada una diferencia de tensión a dicha región intermedia, de modo que los mencionados electrodos inyectores son excitados, al menos temporariamente, en la dirección de paso y las lagunas y electrones pasan al menos localmente en la región intermedia, a través de un camino de corriente substancialmente común, cuya impedancia es afectada por la radiación incidente sobre dicha región intermedia.

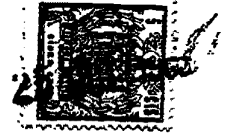
Las expresiones "prácticamente intrínseca", "débilmente extrínseca", "electrodo" y "del mismo orden de magnitud" serán explicadas más detalladamente más adelante en la descripción de las figuras.

La región semiconductora prácticamente intrínseca o débilmente extrínseca, que comprende la impedancia que debe ser afectada por la radiación incidente, es fácilmente accesible a la radiación en un dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención y las dimensiones de dicha región no son de ninguna manera tan críticas como con el foto-transistor conocido. La provisión de un electrodo específicamente inyector de electrones y un electrodo específicamente inyector de lagunas sobre la región intermedia intrínseca o débilmente extrínseca, permite un suministro de electrones y lagunas a la región intermedia.



Con respecto al foto-diodo conocido, en que dicho suministro a través de electrodos bloqueados está prácticamente excluido, el dispositivo de acuerdo con la invención tiene la ventaja que no ocurre agotamiento del suministro, de modo que la curva característica de corriente-tensión permanece substancialmente lineal hasta diferencias de tensión mucho mayores. En comparación con el foto-resistor de CdS o CdSe conocido, el dispositivo de acuerdo con la invención se distingue en particular porque en la región intermedia que determina principalmente la impedancia se utiliza un semiconductor en que las contribuciones a la conducción de los dos tipos de portadores de carga son prácticamente del mismo orden de magnitud, mientras que para los dos portadores de carga el suministro es asegurado, por un lado, por el electrodo inyector de lagunas y, por el otro lado, por el electrodo inyector de electrones. Así es posible al mismo tiempo usar materiales semiconductores que tienen una vida corta τ de modo que pueden lograrse períodos de conmutación más cortos, esto es, razones de conmutación más altas que con los foto-resistores conocidos. Al igual que con el foto-resistor conocido y a diferencia del foto-diodo conocido la amplificación de corriente y por lo tanto, con diferencias de tensión comparativamente pequeñas, puede obtenerse una amplificación de energía elevada aplicando una intensidad de campo adecuadamente elevada, a través de los electrodos, al camino de corriente que determina la impedancia.

Con una realización preferida del dispositivo de la invención se obtiene la amplificación de corriente aplicando a través de los electrodos a la región interme-

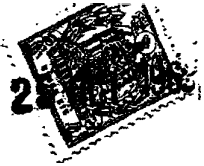


5 día una diferencia de tensión elevada, tal que el tiempo de tránsito medio de los portadores de carga requerido para cruzar el camino de corriente en la región intermedia es más corto que el tiempo de recombinación medio de dichos portadores de carga en la región intermedia. La ocurrencia de la amplificación de corriente, será explicada más detalladamente más adelante en la descripción del dibujo.

10 En una otra realización simple, adecuada, del dispositivo semiconductor de la invención, el cuerpo fotosensible tiene una estructura p-i-n o p-s-n en que la zona p y la zona n con los contactos asociados constituyen los mencionados electrodos inyectores, mientras que el camino de corriente común está ubicado en la región intermedia semiconductor intrínseca (i) o débilmente extrínseca (s) en la que incide la radiación, entre dichos electrodos, mientras que en el circuito externo entre dichos electrodos es aplicada una diferencia de tensión, al menos temporariamente, de modo que el electrodo inyector de lagunas recibe una tensión positiva con respecto al electrodo inyector de electrones. Cuando es aplicada una diferencia de tensión en dicha dirección, los dos electrodos son excitados en la dirección de paso con respecto a la región intermedia (s; l), siendo así posible una inyección eficaz de electrones y lagunas.

25 Obviando el obstáculo para el suministro de electrones y lagunas, la estructura p-s-n o p-i-n como se ha descrito precedentemente, proporciona una importante mejora en varios aspectos en comparación con el foto-diodo conocido, por ejemplo, para la linealidad de la curva ca-

289480



racterística de corriente-tensión y la amplificación de corriente, de modo que puede ser utilizada con grandes ventajas en aquellos casos en que dichas propiedades son particularmente interesantes.

5 En la realización antes citada se asegura un su
ministro eficiente de los dos tipos de portadores de carga, pero otra mejora puede ser obtenida en el drenaje de dichos portadores de carga. Manteniéndose las condiciones favorables del suministro de electrones y lagunas, y por
10 lo tanto, la posibilidad de lograr una o más de las ventajas precedentemente descritas, puede obtenerse un drenaje mejorado en otra realización preferida del dispositivo semiconductor de la invención, proveyendo a dicha región intermedia intrínseca o débilmente extrínseca, en la pro-
15 ximidad de al menos uno de dichos electrodos inyectores, con al menos un electrodo colector separado, que aleja desde el camino de corriente común portadores de carga del tipo opuesto al tipo de portadores de carga inyectado por el electrodo inyector correspondiente. Tal dispositivo semiconductor es construido preferentemente de modo
20 que comprende un cuerpo fotosensible con una región semiconductor prácticamente intrínseca o débilmente extrínseca y al menos dos pares de electrodos, separados uno del otro por dicha región, teniendo un par un electrodo que inyecta principalmente sólo electrones y un electrodo co-
25 lector de lagunas separado y teniendo el otro par un electrodo que inyecta principalmente sólo lagunas y un electrodo colector de electrones separado, siendo mantenida una diferencia de tensión, mediante la aplicación de potenciales a dichos electrodos, al menos temporariamente,
30



sobre dicha región intermedia, en que consecuentemente se obtiene al menos localmente un camino de corriente substancialmente común para electrones y lagunas, siendo afectada la impedancia de dicho camino por la radiación incidente sobre dicha región intermedia. Con esta realización preferida de la invención la adición de un electrodo colector separado a uno o ambos electrodos inyectores hace que la función colectora del electrodo inyector sea realizada al menos parcialmente por dicho electrodo separado, que para este fin, es diferente del electrodo inyector, de modo que tiene una capacidad colectora mejorada para los portadores de carga correspondientes. Las expresiones electrodo colector de "lagunas" y de "electrones" deben ser entendidas en un sentido tan amplio que comprendan un electrodo separado con una capacidad colectora mejorada de los portadores de carga correspondientes con respecto al electrodo inyector, a lo largo del cual dichos portadores deben ser alejados en la primera realización mencionada. Los electrodos colectores preferentemente están constituidos por electrodos capaces de coleccionar principalmente sólo los portadores de carga del tipo correspondiente. Así en uno o en cada par de electrodos la función inyectora y la función colectora están unidas cada una a un electrodo específicamente adecuado para dicha función, de modo que puede ser proporcionado para este fin de una manera óptima. Aunque es posible obtener de una manera conocida, diferente, electrodos colectores o inyectores específicamente de lagunas o electrones, el electrodo inyector de lagunas y el electrodo colector de lagunas están constituidos preferentemente cada uno por una zona conduc



tora p con el contacto asociado y el electrodo inyector de electrones y el electrodo colector de electrones están constituidos cada uno por una zona conductora n con el contacto asociado, siendo excitados los electrodos correspondientes para la inyección en la dirección de paso y para la recolección en la dirección inversa con respecto a la región intermedia.

Una ventaja importante de dicha realización que comprende dos funciones electrónicas separadas en uno y preferentemente en ambos pares consiste en que en comparación con la estructura p-i-n ó p-s-n antes citada se obtiene una corriente de negro menor con el mismo largo del camino de corriente en la región intrínseca entre los electrodos. Debido a la mejora en el drenaje es posible, particularmente con una tensión de funcionamiento baja, reducir las pérdidas de tensión en las juntas entre los electrodos y la región intermedia.

A fin de obtener un funcionamiento óptimo de la función colectora la radiación preferentemente es dirigida no solamente a la región intermedia sino también a las zonas asociadas con los electrodos, tomándose otra medida para obtener entre el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par, una diferencia de tensión en el circuito externo, teniendo dicha diferencia la misma polaridad que la diferencia de potencial flotante que ocurre durante la radiación entre los dos electrodos, estando comprendido el valor de dicha diferencia entre la mitad de la diferencia de tensión flotante y la distancia de banda de la región intermedia, siendo dicha diferencia substancialmente igual a dicho potencial flotante. Entre los dos grupos de

289480

25 OCT 1968

electrodos, en la región intermedia semiconductor intrínseca o débilmente extrínseca, está el camino que determina la impedancia que será puesta en funcionamiento por la radiación.

5 A fin de hacer pasar las lagunas y los electrones a través del camino de corriente en una dirección y en la dirección opuesta respectivamente, y a fin de asegurar un suministro y drenaje satisfactorio, el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par, esto es, en
10 sus zonas asociadas, si las hubiera, están separadas por una distancia máxima de cinco largos de difusión-recombinación. Un largo de difusión-recombinación debe ser entendido en la presente, como es usual, como significando la distancia sobre la cual una concentración adicional de los
15 dos tipos de portadores de carga, producida localmente en dicho material, que fluye hacia las otras partes por difusión y recombinación cae a $1/e$ de su valor en que e designa el número Neper (2,718).

20 Las exigencias generales para un elemento de circuito fotosensible adecuado para ser usado en un dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención son mencionadas precedentemente con referencia al dispositivo semiconductor. La invención se refiere además, no solamente al dispositivo semiconductor que comprende tal elemento
25 de circuito sino a realizaciones particulares de tal elemento de circuito mismo, adecuado para ser usado en tal dispositivo. En una realización preferida adecuada, posible, un elemento de circuito fotosensible de acuerdo con la invención comprende un cuerpo fotosensible que tiene
30 una región semiconductor prácticamente intrínseca o dé-



bilmente extrínseca, en que la conducción de electrones y la conducción de lagunas debido a la radiación son prácticamente del mismo orden de magnitud y al menos dos electrodos, separados por dicha región y que sirven para el suministro de corriente al cuerpo, siendo un electrodo capaz de inyectar substancialmente sólo electrones y siendo capaz el otro electrodo de inyectar substancialmente sólo lagunas hacia dicha región, siendo la distancia entre dichos electrodos, medida a lo largo del camino de corriente a través de dicha región intermedia, al menos cinco largos de difusión-recombinación, preferentemente al menos diez largos de difusión-recombinación. El cuerpo fotosensible preferentemente tiene la forma de una estructura p-i-n o p-s-n, en que la zona p y la zona n con los contactos relevantes constituyen los mencionados electrodos inyectorres, sobre la región intermedia prácticamente intrínseca (i) o débilmente extrínseca (s).

Otra realización preferida del elemento de circuito de acuerdo con la invención comprende un cuerpo fotosensible con una región semiconductora prácticamente intrínseca o débilmente extrínseca, en que la conducción de electrones y la conducción de lagunas producidas por radiación son substancialmente del mismo orden de magnitud y al menos dos electrodos separados por dicha región y que sirven para el suministro de corriente al cuerpo, siendo capaz un electrodo de inyectar substancialmente sólo electrones y siendo capaz el otro electrodo de inyectar substancialmente sólo lagunas hacia dicha región, que está provista, en la proximidad de al menos uno de dichos electrodos inyectorres, con al menos un electrodo colector separado,



que es capaz de coleccionar portadores de carga del tipo opuesto al de los portadores de carga que deben ser inyectados por el electrodo inyector correspondiente, desde la región intermedia. Se ha encontrado que en esta relación es particularmente adecuado un elemento de circuito fotosensible de acuerdo con la invención que comprende al menos dos pares de electrodos separados unos de los otros por dicha región intermedia, teniendo un par un electrodo que es capaz de inyectar substancialmente sólo electrones y un electrodo colector separado capaz de alejar lagunas desde la región intermedia, mientras que el otro par tiene un electrodo capaz de inyectar substancialmente sólo lagunas y un electrodo colector separado, capaz de alejar electrones desde la región intermedia. Los electrodos colectores preferentemente están formados por electrodos capaces de coleccionar substancialmente sólo los portadores de carga del tipo correspondiente. El electrodo inyector de lagunas y el electrodo colector de lagunas preferentemente están formados cada uno por una zona conductora p con el contacto asociado y el electrodo inyector de electrones y el electrodo colector de electrones cada uno, por una zona conductora n con el contacto asociado. A fin de asegurar una cooperación eficiente de los electrodos en la inyección y colección, el electrodo inyector y el electrodo colector de al menos un par, preferentemente de los dos pares, están separados por una distancia de como máximo cinco largos de difusión-recombinación, preferentemente como máximo tres largos de difusión-recombinación. Con vistas a la corriente de negro, la distancia entre los dos pares de electrodos, medida a lo largo del camino de



corriente, es preferentemente al menos tres largos de difu
sión-recombinación. Se ha encontrado además que resulta
eficaz para ciertos usos proveer una estructura substan-
cialmente idéntica del electrodo inyector de portadores
5 de carga de un tipo determinado y del electrodo colector
de portadores de carga del mismo tipo en pares diferentes.

Los elementos fotosensibles de acuerdo con la
invención precedentemente descriptos comprenden además co
mo es usual para un elemento de circuito fotosensible, me
10 dios para la admisión de la radiación hacia el cuerpo fo-
tosensible, por ejemplo, una pared permeable a la radia-
ción de una cubierta. La radiación es hecha incidir, en
el presente caso, sobre la región prácticamente intrínse-
ca o débilmente extrínseca y preferentemente, además en
15 las zonas del cuerpo fotosensible asociadas con los elec-
trodos.

El dispositivo semiconductor fotosensible de
acuerdo con la invención y el elemento de circuito foto-
sensible de acuerdo con la invención y además realizacio-
20 nes particulares de los mismos y las ventajas particulares
así obtenidas, serán descriptos a continuación más deta-
lladamente con referencia a un número de figuras y reali-
zaciones.

La fig. 1 muestra esquemáticamente en una vista
25 en perspectiva un dispositivo fotosensible preferido y
una realización del elemento fotosensible de la invención.

La fig. 2 muestra esquemáticamente en una vista
en perspectiva otra realización preferida del elemento de
circuito fotosensible y de un dispositivo semiconductor
30 fotosensible de la invención.



Las figs. 3 a 5 muestran esquemáticamente varias formas de conexión de acuerdo con la invención para el dispositivo semiconductor fotosensible mostrado en la fig. 2.

5 La fig. 6 muestra una vista en corte de una realización de un elemento de circuito fotosensible de acuerdo con la invención.

Las figs. 7 y 8 son gráficos de los resultados de medición obtenidos del elemento de circuito fotosensible mostrado en la fig. 6.

10 En un dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con la invención, del tipo mostrado en la fig. 1, el elemento de circuito fotosensible comprende un cuerpo fotosensible 1, que puede tener la forma de una tira, provisto en los extremos con contactos 2 y 3. La tira fotosensible 1 comprende una región semiconductor intrínseca o débilmente extrínseca 4, que termina en un extremo de la tira en una zona conductora n 5 y en el otro extremo en una zona conductora p 6. La zona conductora n 5 junto con el contacto 2 provisto sobre ella, constituye un electrodo (2,5) que es capaz de inyectar substancialmente sólo electrones en la región intermedia 4, dado que la concentración de lagunas en dicha zona 5 es substancialmente menor. La zona conductora p 6 junto con el contacto 3, provisto sobre ella, constituye un electrodo (3,6) que es capaz de inyectar substancialmente sólo lagunas hacia la región intermedia 4, dado que la concentración de electrones en dicha zona p 6 es mucho menor que la concentración de lagunas. Cuanto más elevada es la conductividad de la zona conductora n 5 y de la zona conductora p 6 con respecto a la región intermedia 4, tanto mayor es la inyección de e-

15
20
25
30

289480



lectrones o lagunas, respectivamente, hacia la región intermedia. La radiación 7 incide en la región intermedia 4 perpendicularmente al lado ancho de la tira 1 y preferentemente, además, sobre las zonas electródicas 5 y 6, que así pueden tener una conductividad mayor lo que significa una reducción de la resistencia en los caminos de suministro.

A través de una fuente de tensión externa 8 es aplicada una tensión negativa con respecto al electrodo inyector de lagunas (3,6) al electrodo inyector de electrones (2,5) en el circuito externo en serie con una impedancia 9, que puede ser un medidor de corriente o tensión o una impedancia, por ejemplo, un resistor de un otro elemento de circuito o un elemento desde el cual es alimentada tensión a la restante disposición, de modo que los dos electrodos son excitados en la dirección de paso con respecto a la región intermedia 4, de modo que ellos están inyectando. Aparte de otras diferencias que serán mencionadas más adelante en la realización preferida del elemento de circuito fotosensible mismo, aparece ahora una diferencia esencial entre un dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención y el dispositivo semiconductor conocido que comprende un foto-diodo, en que a diferencia con el presente dispositivo, los dos electrodos (2,5) y (3,6) son excitados en dirección inversa, de modo que el suministro de electrones y lagunas desde dichos electrodos prácticamente es excluido, lo que involucra las desventajas mencionadas.

En el dispositivo mostrado en la fig. 1 una diferencia de tensión es aplicada a través de los electrodos

289480



(2,5) y (3,6) a la región intermedia 4 y los electrones 10 y las lagunas 12 inyectados por los electrodos y liberados por la radiación, atraviesan un camino de corriente substancialmente común en la región intermedia 4, de una manera tal, que los electrones 10 pasan a través de dicho camino de corriente en la dirección de la flecha 11 y las lagunas 12 pasan a través de dicho camino de corriente en la dirección opuesta indicada por la flecha 13. Este camino de corriente común en la región prácticamente intrínseca o débilmente extrínseca 4 determina al menos principalmente la impedancia que debe ser afectada de acuerdo con la intensidad de radiación incidente entre los electrodos (2,5) y (3,6), para cuyo fin las pérdidas de resistencia en los caminos de suministro y en la proximidad de los electrodos son reducidas al mínimo.

En la región intermedia 4 los electrones y las lagunas tienen una vida media τ , que depende del material semiconductor elegido y de los centros de concentración de recombinación incorporados o disponibles. Si g designa el número de electrones y lagunas liberados por segundo por la radiación, un número de $g\tau$ portadores de carga con la radiación dada, pueden tomar parte, además, en el proceso de conducción, siempre que dicho número no sea agotado por drenaje sin suministro a través de los electrodos, como es el caso con los diodos bloqueados conocidos. Con el dispositivo de acuerdo con la invención este agotamiento es justamente evitado por el fácil suministro de electrones y lagunas a través de los electrodos (2,5) y (3,6) respectivamente. Esto implica que en la región intermedia 4 es mantenida la electro-neutralidad. Así entre los elec



5 trodos (2,5) y (3,6) se obtiene una curva característica de corriente-tensión, que permanece substancialmente lineal hasta diferencias de tensión mucho más altas que con el foto-diodo conocido, donde la no linealidad es indeseable éste resulta ventajoso.

Otra ventaja importante de un dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con la invención, por ejemplo, de la realización mostrada en la fig. 1 y de la realización mostrada en la fig. 2, que será descripta más adelante consiste en que puede lograrse la amplificación de corriente y por lo tanto, una amplificación de energía elevada adicional. Con una realización preferida de un dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención es aplicada una diferencia de potencial a través de los electrodos, a la región intermedia (4), siendo producida así una intensidad de campo elevada tal sobre el camino de corriente común, que el tiempo de tránsito medio de los portadores de carga requerido para cruzar la región intermedia 4 de la fig. 1 entre los electrodos (2,5) y (3,6) es más corto que el tiempo de vida de recombinación medio τ de dichos portadores de carga en la región intermedia 4. Si se supone que el tiempo de tránsito medio de un portador de carga de una zona, por ejemplo, la 5, a la otra zona, por ejemplo, la 6, es t_r , cada portador de carga cruzará $1/t_r$ veces por segundo. Esto significa que con un dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención $g \cdot \tau / t_r$ veces por segundo un portador de carga es transportado entre dichos electrodos o en otras palabras, que $g \cdot (\frac{\tau}{t_r})$ de los portadores de carga toman parte efectivamente en la conducción. Por lo tanto si τ / t_r excede de 1, un nú-



mero de portadores de carga puede fluir en el circuito
(s) externo (s) conectado a los electrodos por segundo,
número que es (τ/t_r) veces el número g liberado por la
radiación por segundo, o en otras palabras, se obtiene un
5 factor de amplificación de corriente τ/t_r que excede de
1. Debido al suministro satisfactorio a través de los
electrodos (2,5) y (3,6), es mantenido un número de porta-
dores de carga $g \cdot \tau$ en la región intermedia aún si el
tiempo de tránsito t_r es más corto que el tiempo de vida
10 τ . Cuanto mayor es la intensidad de campo producida por
la diferencia de tensión aplicada, más corto será el tiem-
po de tránsito medio de los portadores de carga y más ele-
vado puede ser el factor de amplificación de corriente.
Con una intensidad de campo adecuadamente elevada el mis-
15 mo puede ser, por ejemplo, 100 en un caso determinado.

La magnitud absoluta de los potenciales en los
electrodos que debe ser elegida para un caso determinado
depende, entre otros, del grosor de la región intermedia
4 medido a lo largo del paso de corriente promedio entre
20 los electrodos (2,5) y (3,6), de la magnitud de la movili-
dad y el tiempo de vida de los portadores de carga en el
material semiconductor relevante, de las pérdidas de ten-
sión sobre los caminos de suministros a través de los
electrodos (2,5) y (3,6) y del valor deseado del factor
25 de amplificación de corriente. Será obvio que con cada
grosos elegido, la condición precedentemente mencionada de
la amplificación de corriente puede ser cumplida eligien-
do una diferencia de tensión suficientemente elevada que
debe ser aplicada a la región intermedia. A fin de obte-
30 ner un factor de amplificación elevado particularmente en



aquellos casos en que la distancia entre los electrodos
 (2,5) y (3,6), medida a lo largo del camino de corriente
 en la región intermedia asciende a uno o más largos de di-
 fusión-recombinación, la diferencia de potencial sobre la
 5 región intermedia 4, y por lo tanto, la intensidad de cam-
 po en el camino de corriente común debe ser elegida tan
 elevada que la distancia media cubierta por los portado-
 res de carga dentro de su tiempo de vida de recombinación
 media τ , bajo la acción del campo, es mayor que el núme-
 10 ro relevante de largos de difusión-recombinación o en
 otras palabras dado que, con la difusión se produce una
 caída de tensión de $\frac{kT}{q}$, en que k es la constante de
 Boltzmann, T la temperatura en grados Kelvin y q la carga
 15 electrónica elemental, sobre un largo de difusión-recombi-
 nación, debe ser aplicada una diferencia de potencial que
 excede de $\frac{kT}{q}$ a la región intermedia para cada largo de
 difusión-recombinación, siendo dicha diferencia al menos
 tantas veces mayor que la requerida para cubrir la distan-
 20 cia total entre los electrodos dentro del tiempo de vida
 medio.

El material semiconductor del cuerpo semiconduc-
 tor o al menos de la región intermedia 4 es un material en
 que tanto la conducción de lagunas como la conducción de
 electrones son prácticamente del mismo orden de magnitud;
 25 por ejemplo, un semiconductor elemental tal como germanio
 o silice o un compuesto semiconductor tal como un compues-
 to $A_{III}B_V$, esto es, un compuesto de un elemento de la ter-
 cera columna y un elemento de la quinta columna del siste-
 ma periódico en cantidades equimoleculares, por ejemplo
 30 InSb o GaAs. La expresión "prácticamente del mismo orden

289480



de magnitud" debe ser entendida como significando en la presente, que durante la radiación las contribuciones a la conducción, determinadas por el producto de concentración y movilidad de las lagunas libres y los electrones libres, no difieren entre sí en más de un factor 20, preferentemente en menos de un factor 10. La elección del material semiconductor depende, entre otros, de la sensibilidad a la radiación deseada. El germanio y el InSb, por ejemplo, son sensibles en la región infrarroja, mientras que semiconductores que tienen una distancia mayor entre las bandas, tienen, como es sabido, una sensibilidad a la radiación desplazada a mayor distancia hacia la onda corta infrarroja o hacia la región visible. La presente invención proporciona, por lo tanto, la posibilidad de usar materiales semiconductores en que, a diferencia del CdS o CdSe las lagunas y los electrones contribuyen a la conductividad prácticamente en el mismo orden de magnitud, en un dispositivo semiconductor fotosensible, pudiendo obtenerse, sin embargo, las mismas ventajas de las de los foto-resistores de CdS y CdSe conocidos. Dado que estos materiales semiconductores pueden tener, tanto para lagunas como para electrones una movilidad substancialmente más elevada que en el CdS o en CdSe con un tiempo de vida τ corto de los portadores de carga, existe además la posibilidad de alcanzar una amplificación de energía elevada con tiempos de conmutación cortos.

La región 4 entre los electrodos (2,5) y (3,6), que comprende el camino de corriente común para electrones y lagunas, consiste de un semiconductor substancialmente intrínseco o débilmente extrínseco. Una región semicon-



25

ductora prácticamente intrínseca debe ser entendida en la presente como significando una región semiconductor en que, en ausencia de radiación, las concentraciones de electrones libres y de lagunas libres son substancialmente iguales, de modo que esta expresión comprende no solamente un semiconductor en un estado muy puro sino también un semiconductor en que el número de centros dadores y el número de centros aceptores se compensan entre sí substancialmente. En lugar de un material semiconductor intrínseco puede ser usado un material semiconductor débilmente extrínseco, aunque la desviación con respecto a la conducción intrínseca en general, es reducida a un valor tan pequeño como sea posible con vistas a la fabricación del semiconductor correspondiente. El grado de dicha desviación depende, entre otros, del semiconductor utilizado, de la resistencia de negro requerida, del rango de la energía de radiación que debe ser detectada, de la sensibilidad requerida, etc. En semiconductores que tienen una distancia de banda grande, por ejemplo, en general es permisible una desviación mayor con vistas a las exigencias para la resistencia de negro. Comparando con los números de portadores de carga libre que deben ser liberados por la radiación, la diferencia entre los números de los electrones libres y las lagunas libres en la región semiconductor, en ausencia de radiación, preferentemente no será elegida demasiado elevada, a fin de evitar una asimetría excesivamente elevada de la conducción de electrones y la conducción de lagunas. En la práctica, puede fijarse, para cada caso mediante experimentos simples, en que grado es permisible tal desviación de la conducción intrínseca y

5

10

15

20

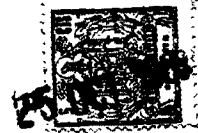
25

30



la expresión "débilmente extrínseca", por lo tanto debe ser tomada en un sentido tan amplio que aún si se desea una desviación mínima ella incluye también aquellos casos en que es posible el uso en un dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con la invención con una o más de las ventajas inherentes. En la práctica, en el caso de un material semiconductor débilmente extrínseco, preferentemente se utilizará un material que incluye, en ausencia de radiación y a la temperatura de funcionamiento, un número de los portadores de carga predominantes que no excede de 10^{15} por cm^3 , preferentemente como máximo 10^{13} cm^3 . Con un material que tiene una tal distancia de banda pequeña pueda alcanzarse un número bajo, por ejemplo, usando también una temperatura de funcionamiento baja, por ejemplo, mediante enfriamiento.

La expresión "electrodos" designa en la presente no solamente los contactos metálicos (2 y 3) sino también las zonas semiconductoras asociadas, si las hubiera, (5 y 6, respectivamente), que cumplen la función específica (inyección de electrones y lagunas) de los electrodos. En muchos casos los electrodos (2,5) y (3,6) que inyectan principalmente sólo electrones y lagunas respectivamente, estarán formados por un contacto metálico 2 y 3 respectivamente con las zonas conductoras n y p asociadas 5 y 6 respectivamente, que son polarizadas en la dirección de paso mediante una fuente de tensión 8 en el circuito externo. A fin de obtener una inyección satisfactoria, la conductividad extrínseca en la región intermedia 4 debe ser en estos casos menor que la conductividad de las zonas electródicas 5 y 6, preferentemente un factor de al



menos 100 veces menor en la ausencia de radiación. Dentro del alcance de la invención es posible también, sin embargo, usar otros tipos de electrodos capaces de realizar dichas funciones, por ejemplo, un contacto metálico con una zona relevante de un material semiconductor distinta que
5 la de la región intermedia 4, por ejemplo, de un material semiconductor que tiene una distancia de banda mayor o un electrodo que consiste solamente de un metal y forma una unión metal-semiconductor con la región intermedia, realizando dicha unión directamente la función correspondiente.
10 Los contactos pueden ser dispuestos directamente sobre el cuerpo, por ejemplo, sobre las zonas semiconductoras asociadas o ellos pueden ser aislados eléctricamente del cuerpo de modo que constituyen una conexión capacitiva a las zonas electrónicas asociadas del cuerpo, lo que a veces puede ser deseable en el funcionamiento con corriente alterna.
15

La estructura p-s-n ó p-i-n de la fig. 1 es particularmente adecuada para ser usada en unión con una fuente de tensión continua 8, en el circuito externo, fuente
20 8 que polariza continuamente los dos electrodos (2,5) y (3,6) en la dirección de paso. Como alternativa puede utilizarse una fuente de suministro 8 que proporciona impulsos en la dirección de paso o de una fuente de tensión alterna, en cuyo caso las ventajas particulares del dispositivo semiconductor de acuerdo con la invención se obtienen en los medios períodos de la tensión alterna correspondientes a la dirección de paso.
25

A pesar del hecho que con la realización simple de la fig. 1 que tiene una estructura p-i-n ó p-s-n las
30



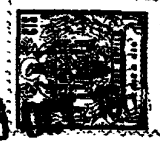
dos zonas electródicas 5 y 6 son polarizadas en la dirección de paso, es posible, sin embargo, debido a la presencia de la región intermedia prácticamente intrínseca o débilmente extrínseca 4, obtener una distinción entre la corriente de negro que circula en ausencia de radiación, y la corriente de radiación producida durante la radiación, distinción que es suficiente para muchos usos. Para el uso en el campo medidor de radiación, por ejemplo, el valor de la corriente de negro es en lo demás de poca importancia, dado que puede ser eliminada de una manera simple conocida por medio de un circuito puente. La corriente de negro puede ser reducida a voluntad eligiendo la sección transversal del camino de corriente en la región intermedia 4 de modo que sea pequeña, usando un semiconductor con una distancia de banda grande y usando una distancia grande entre los electrodos, medida a lo largo del camino de corriente en la región intermedia. Así pueden usarse tiras o capas muy delgadas, cuyo grosor es aproximadamente del orden de magnitud de unos pocos largos de absorción de la radiación relevante en el semiconductor correspondiente. En ausencia de radiación los electrodos (2,5) y (3,6) pueden sin embargo inyectar electrones y lagunas respectivamente en las partes de la región intermedia adyacentes a dichos electrodos. La corriente de negro puede ser mantenida baja evitando la coincidencia de dichas partes 14 y 15, en que los electrones y las lagunas tienen una gran concentración y que se extienden sobre una distancia de unos pocos largos de difusión-recombinación desde los electrodos (2,5) y (3,6) (en la fig. 1 el límite de dichas partes está indicado, a título de ejemplo, por

289480



las líneas punteadas 16 y 17 respectivamente). Por lo tanto, con un dispositivo semiconductor fotosensible y con un elemento de circuito fotosensible de acuerdo con la invención, que tiene la estructura mostrada en la fig. 1, la distancia entre los dos electrodos inyectores (2,5) y (3,6), particularmente con una estructura p-i-n o p-s-n como se muestra en la fig. 1, medida a lo largo del camino de corriente en la región intermedia 4, es elegida de modo que sea al menos cinco largos de difusión-recombinación, preferentemente al menos diez largos de difusión-recombinación.

Con una estructura que tiene solamente dos electrodos (2,5) y (3,6) como en la realización mostrada en la fig. 1, los electrones deben ser alejados, conducidos hacia el electrodo inyector de lagunas (3,6) y las lagunas deben ser conducidas hacia el electrodo inyector de electrones (2,5). En general, es válido que un electrodo específicamente destinado para la inyección de portadores de carga de un tipo determinado, por ejemplo, un electrodo de tipo p destinado para la inyección de lagunas es menos adecuado para coleccionar portadores de carga del tipo opuesto, por ejemplo, electrones, esto es para alejarlos, dado que la concentración de los portadores de carga de tipo opuesto en este electrodo es pequeña. El flujo de portadores de carga que deben ser alejados, por ejemplo, el flujo de electrones debe ser convertido primero en un flujo de portadores de carga del tipo opuesto, por ejemplo, un flujo de lagunas por recombinación, de modo que pueden producirse pérdidas adicionales debido a los saltos de potencial en las partes y porciones de suministro



de corriente 14 y 15 de la región intermedia 4 adyacentes a la misma, pérdidas que deberían ser evitadas tanto como sea posible. Estas pérdidas son contrarrestadas por una compensación, dado que por inyección el largo operativo de la región intermedia disminuye, lo que implica, sin embargo, un aumento en la corriente de negro. Con una realización que tiene solamente dos electrodos como se muestra en la fig. 1 las pérdidas de tensión mencionadas pueden ser reducidas de acuerdo con la invención uniendo a la región intermedia los electrodos inyectoras, esto es, en la realización mostrada en la fig. 1, las zonas electródicas 5 y 6 a través de capas de transición 14 y 15, que tienen, con relación a la parte restante de la región 4, una concentración más alta de centros de recombinación para los portadores de carga del tipo relevante que deben ser recolectados. Así es posible proveer una recombinación sobre un camino corto de modo que es mejorado el drenaje.

Como se ha descrito en el exordio en términos generales, el drenaje puede ser mejorado en otra realización preferida particularmente adecuada de la invención uniendo a uno o a ambos electrodos inyectoras uno o más electrodos colectores separados. La fig. 2 muestra a título de ejemplo, tal realización preferida en vista esquemática en perspectiva. En esta realización la región intermedia intrínseca o débilmente extrínseca 4 separa dos pares de electrodos, esto es, un par (2,5) y (20,21) y un par (3,6) y (22,23) uno del otro. Un par comprende un electrodo que específicamente inyecta electrones (2,5) formado preferentemente por un contacto 2, y la zona de tipo 5 y un electrodo separado colector de lagunas (20,21)



que preferentemente está formado por un electrodo que es capaz de coleccionar principalmente sólo lagunas, consistiendo dicho electrodo, por ejemplo, de un contacto 20 y una zona de tipo p 21. El otro comprende un electrodo que específicamente inyecta lagunas (3,6) que está formado preferentemente por un contacto 3 y la zona de tipo p 6 y un electrodo colector de electrones separado (22,23), formado preferentemente por un electrodo que es capaz de coleccionar principalmente sólo electrones, a cuyo fin puede estar formado efectivamente por un contacto 22 y la zona electródica conductora n asociada. Si en el circuito externo estos electrodos reciben potenciales de acuerdo con sus funciones, de modo que los electrodos inyectores son excitados en la dirección de paso y los electrodos colectores son excitados en la dirección inversa, y si al mismo tiempo es mantenida una diferencia de tensión sobre la región intermedia 4, los electrones 10 atraviesan en la dirección de la flecha 11 y las lagunas 12 en la dirección de la flecha 13 en la región intermedia 4, al menos a una distancia determinada de los electrodos, un camino de corriente substancialmente común que está indicado a título de ejemplo, por la línea punteada 24 y para una laguna por la línea punteada 25. Cerca de los electrodos los caminos de corriente de los electrones y las lagunas están separados uno del otro. Así por un lado el electrodo (2,5) suministra electrones a la región intermedia y las lagunas son alejadas por el electrodo (20,21), mientras por otro lado son suministradas lagunas por el electrodo (3,6) y son alejados electrones por el electrodo (22,23). Entre los dos pares de electrones está el camino de co-



rriente común en la región intermedia 4, camino que determina principalmente la impedancia que debe ser accionada de acuerdo con la radiación incidente.

5 La radiación que debe ser detectada (indicada por las flechas 7) es hecha incidir no solamente sobre la región intermedia 4 sino preferentemente también sobre la proximidad de las zonas electródicas y sobre las zonas electródicas mismas (21, 5, 3 y 23). Se logra así que también en las zonas electródicas y en su proximidad la conductividad sea elevada y las pérdidas de tensión en los
10 caminos de suministro sean reducidas.

A fin de asegurar una separación particularmente ventajosa entre el suministro y el drenaje con un par de electrodos y obtener una formación eficaz del camino de corriente común, el electrodo inyector y el electrodo
15 colector, preferentemente de cada par, están dispuestos preferentemente a una distancia uno del otro de como máximo cinco largos de difusión-recombinación, preferentemente como máximo tres largos de difusión-recombinación. Con el
20 conjunto electródico mostrado en la fig. 2 significa que las zonas electródicas 5 y 3 están separadas de las zonas electródicas 21 y 23, respectivamente, por tal distancia.

A fin de utilizar completamente el efecto favorable del aumento adicional de la conductividad producida por la radiación incidente en la proximidad de los electrodos de cada par o sobre los mismos electrodos mencionados, para mejorar el suministro y drenaje, es mantenida
25 una diferencia de tensión preferentemente en el circuito externo entre el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par, estando comprendida dicha diferencia en
30



tre la mitad de la diferencia de potencial flotante y la distancia de banda en volts del semiconductor correspondiente, teniendo dicha diferencia la misma polaridad que dicha diferencia de tensión flotante y siendo preferentemente substancialmente igual a dicha diferencia de potencial flotante, que es producida, durante la radiación, entre los electrodos relevantes. La diferencia de potencial flotante designa en la presente la fuerza foto-electromotriz producida entre dichos electrodos sin interconexión externa. Una disminución en la diferencia de tensión o una inversión de la polaridad afecta adversamente dicho aumento adicional de la conductividad, mientras que con un aumento en dicha diferencia, en exceso de la distancia de bandas en volts, las ventajas de estas estructuras sobre las de la fig. 1 son menos notables. Aunque la diferencia de tensión es elegida preferentemente igual a la diferencia de potencial flotante, puede ser deseable en algunos casos, por ejemplo, con la aparición de escapes parásitos entre los electrodos o resistencias serie en los electrodos de un par, realizar una corrección de la desviación de la diferencia de potencial flotante en el circuito externo.

Una ventaja importante de la realización descrita con referencia a la fig. 2 con electrodos inyectoros y electrodos colectores separados consiste en que debido al drenaje mejorado en algunos casos ocurren pérdidas de tensión inferiores en los caminos de suministro de corriente a través de los electrodos que en la realización mostrada en la fig. 1, mientras que de cualquier modo también puede ser mejorada aún más la linealidad de la característi-



ca corriente-tensión. Debido a la provisión de un electrodo satisfactoriamente colector en cuyo par, la concentración de los portadores de carga en las partes de la región intermedia adyacente a los electrodos es mantenida inferior en la ausencia de radiación de modo que con respecto a las estructuras p-s-n y p-i-n de la fig. 1 se obtiene otra importante ventaja por el hecho que aparece una corriente de negro menor con la misma distancia entre los electrodos inyectoros. La última ventaja mencionada es obtenida particularmente, si en el circuito externo entre los electrodos de cada grupo, es mantenida una diferencia de tensión igual a la diferencia de potencial flotante o una diferencia de tensión comprendida dentro de los límites antes mencionados. En la realización mostrada en la fig. 2 por lo tanto, puede obtenerse una corriente de negro y/o es permisible una distancia entre el electrodo inyector (2,5) y (3,6) más corta, que con la realización mostrada en la fig. 1, o, en otras palabras, con un tamaño pequeño del cuerpo fotosensible es obtenible una corriente de negro más pequeña. Con vistas a la corriente de negro la distancia mínima entre los dos pares de electrodos es preferiblemente al menos tres largos de difusión-recombinación.

En lo que antecede se indican límites inferiores preferidos, diferentes para la distancia entre los electrodos inyectoros (2,5) y (3,6) o, en otras palabras, para el grosor de la región intermedia 4, para las realizaciones mostradas en las figs. 1 y 2. El límite superior de dicha distancia depende, entre otros, de la diferencia de tensión elegida para el circuito externo. Con una dis-



tancia grande entre los electrodos la aplicación de una diferencia de tensión correspondientemente elevada a la región intermedia puede producir las mismas ventajas que las obtenidas con una distancia menor, por ejemplo, un factor de amplificación de corriente que excede de 1, elevando la diferencia de tensión sobre la región intermedia y, por lo tanto, la intensidad de campo en la región intermedia, en grado tal que el tiempo de tránsito es más corto que el tiempo de vida. Cuanto menores son las distancias entre los electrodos y el grosor de la región intermedia, una diferencia de tensión inferior puede producir una amplificación de energía más alta, dado que el tiempo de tránsito es más corto. La tensión operativa puede ser inferior que aproximadamente 300 V; preferentemente es menor que 50V.

En la realización mostrada en la fig. 2 los electrodos inyectores y colectores, por ejemplo, (2,5) y (20,21) están formados por contactos con las zonas semiconductoras correspondientes 5 y 21, respectivamente. Debería mencionarse aquí que similarmente al electrodo inyector descrito con referencia a la figura 1, los dos electrodos pueden ser contruidos de una manera diferente, por ejemplo, en la forma de una unión metal-semiconductor o un contacto con la zona semiconductor relevante que tiene una distancia de banda diferente (así llamada hetero-juntura). Aunque preferentemente se usará un electrodo específicamente adecuado para la recolección de los portadores de carga relevantes, por ejemplo, lagunas, ya se obtiene una mejora en el drenaje, si el electrodo colector tiene una capacidad colectora mejorada con respecto al

289480



electrodo inyector al cual está agregado. Esto significa que, dentro del alcance de la invención, puede usarse un electrodo óhmico sobre la región intermedia, ventajosamente, para el electrodo colector de lagunas o electrones, 5
teniendo dicho electrodo una capacidad colectora mejorada para los portadores de carga relevantes en comparación con el electrodo específicamente destinado para la inyección de portadores de carga del tipo opuesto. Un electrodo que tiene una capacidad colectora mejorada designa en 10
la presente un electrodo que es capaz de alejar un flujo más elevado de portadores de carga del tipo relevante, cuando es aplicada una diferencia de tensión entre dicho electrodo y la región intermedia que lo que es el caso, bajo las mismas condiciones, con el electrodo inyector al 15
cual está asociado.

Para la realización mostrada en la fig. 2 son válidas también las indicaciones hechas con referencia a la fig. 1, por ejemplo, en relación con la obtención de la 20
amplificación de corriente, la elección del material semiconductor y de los electrodos. En la realización mostrada en la fig. 2 se utilizan dos pares de electrodos. Si fuera deseable, el electrodo inyector (2,5) y/o el electrodo colector (20,21) naturalmente, puede ser subdividido en dos 25
o más electrodos parciales, de modo que se forman dos o más grupos de dos o más de dos electrodos, mientras que los electrodos que tienen la misma función pueden ser conectados en paralelo en cada grupo.

Una diferencia de tensión substancialmente igual a la diferencia de potencial flotante entre el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par o una 30



diferencia de tensión comprendida dentro de dichos límites, puede ser mantenida de diferentes maneras. La fig. 2 ilustra una disposición adecuada para este fin, en que se utilizan dos circuitos externos 25 y 26, estando conectado un circuito 25 con una fuente de suministro 8a entre el electrodo inyector de electrones (2,5) de un par y el electrodo colector de electrones (22,23) del otro par y el otro circuito 26 con una fuente de suministro 8b que preferentemente es substancialmente idéntica a la primera fuente de suministro mencionada 8a, estando conectado entre electrodo colector de lagunas (22,21) de un par y el electrodo inyector de lagunas (3,6) del otro par, mientras que dichos circuitos 25 y 26 están acoplados entre sí a través del cuerpo fotosensible 1. Así la diferencia de tensión flotante asociada con la intensidad de radiación relevante es automáticamente ajustada entre los dos electrodos de cada par, si dicho circuito 25 y 26 están separados uno del otro y d.e acoplados entre sí solamente a través del cuerpo fotosensible. Las fuentes de suministro 8a y 8b y las impedancias 9a y 9b, si hay alguna. Son elegidas de modo que las diferencias de tensión entre los electrodos son substancialmente idénticas y las impedancias son inversamente proporcionales a las corrientes que pasan a través de los circuitos y están adaptadas a la resistencia interna del cuerpo en los dos circuitos.

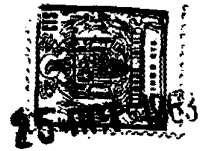
Las dos fuentes de suministro 8a y 8b mostradas en la fig. 2 en la forma de fuentes de tensión continua, están incluídas en los dos circuitos 25 y 26 de acuerdo con sus funciones de modo que los electrodos inyectores (2,5) y (3,6) son excitados en la dirección de paso y los



electrodos colectores (20,21) y (22,23) son excitados de acuerdo con sus funciones en la dirección inversa. Para este fin el electrodo inyector de tipo n (2,5) y el electrodo colector de tipo p (20,21) sobre un lado de la región intermedia 4 están conectados a los terminales negativos de las baterías 8a y 8b mientras que el electrodo inyector de tipo p (3,6) y el electrodo colector de tipo n (22,23) sobre el otro lado de la región intermedia 4 están conectados a los terminales positivos de las baterías 8a y 8b. Las baterías 8a y 8b producen así una diferencia de tensión sobre la región intermedia 4, diferencia que corresponde a un campo eléctrico en la dirección de la flecha 26, que conduce las lagunas 12 en la dirección del electrodo inyector (3,6) hacia el electrodo colector (20,21) y los electrones 10 en la dirección del electrodo inyector (2,5) hacia el electrodo colector (22,23).

Un electrodo que es adecuado para inyectar principalmente sólo portadores de carga de un tipo determinado, por ejemplo, electrones, en general, es al mismo tiempo un electrodo que es adecuado para coleccionar principalmente sólo portadores de carga del mismo tipo. Por ejemplo, un electrodo inyector de lagunas (3,6) y un electrodo colector de lagunas (20,21) pueden estar ambos formados por un electrodo de tipo p. La diferencia entre las funciones se pone de manifiesto solamente en la forma de conexión, dado que un electrodo inyector es excitado en la dirección de paso y un electrodo colector es excitado en la dirección inversa. En una realización como la mostrada en la fig. 2, por lo tanto, es ventajoso para ciertos usos proveer electrodos substancialmente idénticos,

289480

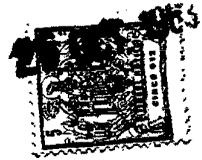


que inyectan un tipo determinado de portadores de carga y electrodos que colectan portadores de carga del mismo tipo para los varios pares, de modo que pueden intercambiar sus funciones en la disposición. Esto significa además,
 5 que tal realización del elemento de circuito fotosensible de la fig. 2 es adecuada también para funcionar con corriente alterna, a cuyo fin las fuentes de suministro 8a y 8b deben ser reemplazadas por fuentes de tensión alterna que tienen substancialmente la misma fase y amplitud.
 10 Para un medio período de la tensión alterna, los electrodos (2,5) y (3,6) funcionan como electrodos inyectores y los electrodos (20, 21) y (22,23) funcionan como electrodos colectores, mientras que para el otro medio período la función colectora y la función inyectora son intercambiadas.
 15

En los circuitos 25 y 26 están incluidas además la impedancia 9a y 9b, que pueden estar formadas por resistores o, en el caso de tensión alterna, por elementos capacitivos o inductivos. Las impedancias 9a y 9b preferentemente son inversamente proporcionales a las corrientes que pasan a través de los circuitos 25 y 26. La corriente que pasa a través de la región intermedia 4 es entonces subdividida de acuerdo con la relación entre las contribuciones a la corriente en los circuitos 25 y 26. Pueden aparecer diferencias entre las contribuciones de corrientes en los dos circuitos debido a diferencias en la calidad de los electrodos destinados para las lagunas y los electrodos destinados para los electrones o debido a una diferencia en movilidad y tiempo de vida de las lagunas y electrones o debido a desviaciones debidas a la conduc-

20
 25
 30

289480



ción extrínseca en la región intermedia 4.

Una impedancia o ambas impedancias 9a y 9b, como en la realización mostrada en la fig. 1, puede ser un instrumento de medición, otro elemento de circuito, por ejemplo, un relevador o lo similar. Si solamente una de las dos impedancias de circuitos 9a y 9b se usan para este fin, aún es deseable incluir en el otro circuito una impedancia substituta de adaptación a fin de no perturbar la relación correcta entre la conducción de lagunas y la conducción de electrones en la región intermedia.

La fig. 3 muestra esquemáticamente un dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con la invención en que el elemento de circuito fotosensible está construido de la misma manera que la mostrada en la fig. 2; él se diferencia de la realización mostrada en la fig. 2 solamente por la forma de conexión. Los dos circuitos 25 y 26, a diferencia de la disposición de la fig. 2, están acoplados no solamente a través del cuerpo fotosensible 1, sino también entre sí, dado que la tensión sobre una parte 30 de una impedancia 9a es realimentada entre un par de electrodos (2,5) y (20,21) y la tensión sobre una parte 30b de la otra impedancia 9b es realimentada entre el otro par de electrodos (3,6) y (22,23) a fin de mantener dicha diferencia de tensión, que, preferentemente es substancialmente igual a la diferencia de potencial flotante producida por la radiación entre los electrodos de cada par de dos electrodos. La fig. 3 muestra, por lo tanto, una variante de la realización de la fig. 2, variante que incluye un acoplamiento directo adicional entre los dos circuitos.

289480



La realización mostrada en la fig. 3 comprende dos circuitos paralelos 25 y 26. Combinando parcialmente estos circuitos paralelos, puede obtenerse una realización particularmente simple; esta es mostrada esquemáticamente en la fig. 4, en que solamente están provistas una fuente de suministro 8 y una impedancia de carga 9. En el dispositivo semiconductor fotosensible mostrado en la fig. 4 los electrodos de cada par están conectados para este fin a la fuente de suministro común 8 y a la impedancia de carga 9, mientras que el camino conector de al menos uno de los electrodos de cada par (en la fig. 4 los electrodos (2,5) y (3,6) incluyen una impedancia auxiliar 30a ó 30b, por medio de las cuales es aplicada la mencionada diferencia de tensión, que preferentemente es substancialmente igual a la diferencia de potencial flotante para una radiación determinada, entre los electrodos de cada par. Dado que la diferencia de potencial flotante entre un electrodo inyector y un electrodo colector puede ser como máximo del orden de la 2 V, las impedancias series 30a y 30b producen solamente una pérdida de energía baja con respecto a la tensión total sobre la región intermedia, que puede ser de 20 a 30 V o mayor, de acuerdo con el grosor de la región intermedia. En comparación con la realización mostrada en la fig. 2, la realización presente tiene, por lo tanto, la ventaja de un circuito externo parcialmente común; pero la realización mostrada en la fig. 2 tiene la ventaja que, debido a los circuitos externos separados, la tensión de batido automáticamente se ajusta por sí misma al valor correcto de acuerdo con la intensidad de radiación, mientras que en la realización

289480



25

mostrada en la fig. 4 al menos en el funcionamiento con
 tensión continua, particularmente en el caso de una inten-
 sidad de radiación variable el ajuste puede ser realizado
 solamente a una diferencia de potencial flotante que co-
 rresponde a una intensidad de radiación media.

En la realización mostrada en la fig. 4 está in-
 cluída una fuente de tensión continua 8 y a fin de mante-
 ner, durante el funcionamiento con tensión continua, la
 diferencia de tensión de la polaridad correcta entre los
 electrodos de cada par, las impedancias auxiliares prefe-
 rentemente son incluídas en la forma de resistores 30a y
 30b respectivamente en los caminos conductores, hacia el
 electrodo colector (2,5) y (3,6).

De la fig. 5 se verá que una realización simi-
 lar es adecuada también para el funcionamiento con tensión
 alterna, en cuyo caso las impedancias auxiliares pueden
 estar formadas ventajosamente por capacitores separadores
 30a y 30b, mientras que la fuente de suministro común 8
 consiste de una fuente de tensión alterna. Los capacitores
 separadores 30a y 30b constituyen una separación efí-
 ciente para la tensión continua entre el electrodo inyector
 y el electrodo colector de cada par, de modo que, de
 acuerdo con la intensidad de radiación, la diferencia de
 potencial flotante entre dichos electrodos puede ajustarse
 por si misma automáticamente, mientras que por otro la-
 do ellos no constituyen un obstáculo para la tensión al-
 terna suministrada, de modo que en un medio período el
 electrodo (2,5) y el electrodo (3,6) inyectarán electro-
 nes y lagunas, respectivamente, y los electrodos (20,21)
 y 22,23) coleccionarán lagunas y electrones respectivamente,

289480



mientras que en el otro medio período se invierten las funciones inyectoras y colectoras. La fig. 5 muestra a título de ejemplo que los capacitores separadores 30a y 30b están incluidos en las conexiones hacia el electrodo (2,5) pero con el mismo efecto los capacitores separadores pueden ser incluidos en lugar de ello o simultáneamente en las conexiones 51 y 52. Con una realización particular del elemento de circuito fotosensible de acuerdo con la invención adecuada por ser usada con tensión alterna, los capacitores separadores son integrales con el cuerpo fotosensible dado que con al menos uno de los electrodos de cada par, el contacto (por ejemplo, 2 y 3) está conectado capacitivamente, por ejemplo, con la interposición de una capa aislante, a la zona del cuerpo asociada con el electrodo. En lugar de resistores o capacitores de separación, pueden usarse resistores dependientes de la tensión o diodos para la separación. Además, será obvio que en el caso de funcionamiento con tensión alterna, pueden usarse inductores en el circuito externo, inductores que, si fuera deseable, pueden conectar las corrientes en los dos circuitos con la relación correcta.

En las realizaciones precedentes el electrodo inyector está conectado siempre en el circuito externo al electrodo colector de portadores de carga del mismo tipo. En ciertos casos, por ejemplo, cuando la conducción electrónica y la conducción de lagunas son substancialmente iguales entre sí, o tienen solamente una pequeña diferencia, también es posible usar dos circuitos externos, estando conectado uno, con una fuente de suministro, entre los electrodos inyectoras (2,5) y (3,6) de los dos pares

289480



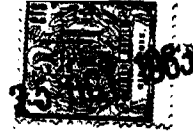
de electrodos y estando conectado el otro con una fuente de suministro entre los electrodos colectores (20,21) y (22,23) de los dos pares estando dichos circuitos directamente conocidos entre sí a través del cuerpo fotosensible.

5 En un circuito puede ser ajustada una inyección óptima y en el otro circuito una colección óptima.

Debería mencionarse que aún una diferencia de tensión ubicada más allá del rango indicado, por ejemplo, en el caso de un cortocircuito entre los electrodos de cada par, pueden lograrse diferentes ventajas, por ejemplo, una mejora en la curva característica corriente-tensión, 10 amplificación de corriente y lo similar, en comparación con los dispositivos conocidos, de modo que tal dispositivo con electrodos en cortocircuito en cada par también puede ser usado ventajosamente tanto con tensión continua 15 como con tensión alterna. A fin de mantener la diferencia de tensión, preferentemente substancialmente igual a la diferencia de potencial flotante, puede obtenerse aún otra disminución en la corriente de negro, aún otra reducción de la distancia entre los pares de electrodos y una 20 linealidad mejorada con diferencias de tensión aún más elevadas.

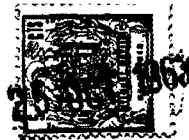
Con referencia a las figuras 6 a 8, serán explicados ahora más detalladamente los resultados de medición 25 obtenidos con una realización mostrada en la fig. 6 de un elemento de circuito de acuerdo con la invención.

En el elemento de circuito fotosensible mostrado en la fig. 6 en una vista esquemática en corte, el cuerpo fotosensible 1 consiste de germanio monocristalino 30 de conductividad p que tiene una resistividad de aproxima



damente 20 Ohm/cm, lo que corresponde a 18° en ausencia de
exposición a una concentración predominante de lagunas de
aproximadamente $2,10^{14}$ cm³. El cuerpo está formado por
una tira con una sección transversal de aproximadamente 1
5 mm. x 0,2 mm. y una longitud de aproximadamente 15 mm. A
los extremos de los lados de 1 mm. de la tira 2, están
aleados dos pares de electrodos. Sobre el lado superior
están provistos dos electrodos de tipo p. formados por
los contactos 20 y 3, que consisten de Pb-Ga (0,5% en de
10 Ga) y las zonas 21 y 6 asociadas recristalizadas de tipo
p, respectivamente, con un grosor de aproximadamente 4 mi
cronos y una concentración Ga (y una concentración de la-
gunas correspondiente) de aproximadamente 10^{20} cm³. Sobre
el lado inferior opuesto a los dos electrodos de tipo n,
15 formados por contactos 2 y 22 respectivamente que consis-
ten de una aleación de plomo-antimonio (2% en peso de 8b)
y las zonas 5 y 23 asociadas de tipo n recristalizadas,
respectivamente, que tienen un grosor de 4 micrones y una
concentración de antimonio (y una concentración correspon
20 diente de electrones) de aproximadamente 10^{19} /cm³.

Debido a su elevada concentración de lagunas o
electrones, los electrodos de tipo p (20,21) y (3,6) y los
electrodos de tipo n (2,5) y (22,23) son específicamente
adecuados para inyectar y coleccionar lagunas y electrones
25 respectivamente; los electrodos de tipo n, así como los
electrodos de tipo p, tienen substancialmente la misma es-
tructura, de modo que ellos pueden ser intercambiados con
su función inyectora y su función coleccionadora. Los electro-
dos son obtenidos fusionando las aleaciones correspondien-
30 tes en la forma de una bolita con un diámetro de aproxima



damente 250 micrones al cuerpo 1 a una temperatura de aproximadamente 700°C durante 5 minutos en una atmósfera de hidrógeno.

5 La movilidad μ_i de las lagunas y los electrones asciende respectivamente en este germanio a aproximadamente 1800 cm²/V seg. y 3600 cm²/V seg., respectivamente. Dado que el germanio tiene una distancia de banda bastante pequeña de aproximadamente 0,72 e.V, es particularmente sensible a la radiación infrarroja de una longitud de onda de, por ejemplo, 1,8 micrones, con lo que es liberada una concentración substancialmente idéntica de electrones y lagunas de modo que la conducción de lagunas y la conducción de electrones tienen substancialmente la misma magnitud. La magnitud de un largo de difusión-recombinación, con un tiempo de vida de aproximadamente 10⁻⁴ segundos, asciende a aproximadamente 1 mm. en la región intermedia 4, de modo que la distancia entre las zonas eléctricas de cada par es aproximadamente 0,2 largos de difusión-recombinación, mientras que la distancia entre los pares de electrodos es aproximadamente 13 mms., que corresponde a aproximadamente 13 largos de difusión-recombinación.

10

15

20

El elemento de circuito fotosensible mostrado en la fig. 6 fue sometido a temperatura ambiente (aproximadamente 18°C) a diferentes mediciones en distintas formas de conexión, siendo medido el cuerpo fotosensible alternadamente en la oscuridad y con exposición a una fuente de radiación infrarroja formada por una lámpara de banda de tungsteno con una temperatura de color de 2800°C, frente a la cual fue dispuesto un filtro de interferencia con

25

30

289480



un rango de paso máximo de aproximadamente 10% para 1,8 micrones y un ancho de paso de 0,1 micrón. La radiación incidió sobre todo el lado superior del cuerpo con una intensidad de radiación uniforme de aproximadamente 1,65 mV/cm², lo que producía una excitación de aproximadamente 1 mV/cm², corregida por reflexión desde la superficie de germanio.

Los resultados de medición se muestran gráficamente en las figuras 7 y 8 asociadas. En ambas figuras 7 y 8 la tensión en volts entre los electrodos para las dos polaridades está trazada sobre la abscisa; en la fig. 7 está trazada sobre la ordenada la intensidad de corriente I_1 menos la intensidad de corriente I_d en la oscuridad en μ Amperes que ocurre durante la exposición y en la fig. 8 está trazada sobre la ordenada la relación $I_1 : I_d$ en %.

Las varias curvas características se refieren a una forma de conexión correspondientemente distinta. La fig. 7 provee los datos de la foto-corriente neta $I_1 - I_d$ como una función de la tensión entre los electrodos y la fig. 8 proporciona información sobre el curso de la relación entre la foto-corriente y la corriente de negro $I_1 : I_d$. Las curvas características de las figs. 7 y 8 asociadas entre sí para una forma determinada de conexión están designadas por el mismo número e índice de referencia, siendo los caracteres en la figura 7 una mayúscula (por ejemplo A) y en la fig. 8 la correspondiente letra minúscula (a).

Las curvas características 41A de la fig. 7 y 41a de la fig. 8 se refieren a una medición en que el ele



5 mento de circuito de la fig. 6, de acuerdo con la inven-
ción fue usado de la manera descripta con referencia a la
fig. 1. Para este fin la medición fue realizada solamente
entre el electrodo de tipo n (2,5) y el electrodo de tipo
5 p (3,6), no siendo utilizados los electrodos (20,21) y
(22,23). Entre estos electrodos se aplicó una diferencia
de tensión, siendo conectado el terminal negativo de una
batería al electrodo de tipo n (2,5) y el terminal positi-
vo al electrodo de tipo p (3,6) de modo que los dos elec-
10 trodos fueron polarizados en la dirección de inyección.
Se verá del curso de la curva característica 41A que la
curva característica corriente-tensión permanece substan-
cialmente lineal, mientras que $I_1 - I_d$ aumenta linealmen-
te con la tensión V , lo que significa, además, que, dado
15 que la intensidad de radiación es constante, la amplifica-
ción de energía y la amplificación de corriente aumentan
de canera substancialmente lineal con la tensión. En la
fig. 8 la curva 41a ilustra el curso de la relación $I_1 :$
 I_d bajo las mismas condiciones.

20 Con fines de comparación las figs. 7 y 8 mues-
tran también las curvas 41B y 41b, que se refieren a las
mismas formas de conexión que las curvas 41A y 41a, sien-
do la diferencia esencial, sin embargo, que los termina-
les de la batería están intercambiados, de modo que los
25 electrodos (2,5) y (3,6) están conectados en la dirección
inversa en la forma de los foto-diodos conocidos, de modo
que el suministro a través de los electrodos está obstruí-
do. La curva 41B muestra, por lo tanto, ya a 1 V, una sa-
turación en el curso similarmente al foto-diodo conocido
30 y la foto-corriente neta ($I_1 - I_d$) aumenta muy poco por

289480



25 Cts.

encima de aproximadamente 1 V, dado que el factor de amplificación de corriente no puede exceder de aproximadamente 1 debido al suministro obstruido. De acuerdo con la curva 41b de la fig. 8 la relación de $I_1 : I_d$ es más favorable, es cierto, que la curva característica 41a, si bien la curva 41b varía más intensamente en el rango de tensión correspondiente, pero es evidente de una comparación de las curvas 41A y 41B que el dispositivo de acuerdo con la invención proporciona una gran mejora en la linealidad y amplificación de corriente y amplificación de energía. En la práctica, la relación entre las intensidades de corriente de las curvas 41A y 41B con la misma tensión, es substancialmente igual al factor de amplificación de corriente, al menos en el rango que excede de 1 V.

Las curvas características 42A y 42B de la fig. 7 y 42a y 42b de la fig. 8 se refieren a un dispositivo de acuerdo con la invención en que fue medido el elemento de circuito mostrado en la fig. 6, mientras los electrodos (20,21) y (2,5) por un lado y los electrodos (22,23) y (3,6) por el otro estaban en corto circuito, siendo aplicada entre dichos pares de electrodos una diferencia de tensión, y la corriente total I_1 fue medida con irradiación y la corriente I_d fue medida en la oscuridad. Las curvas características 42A y 42B ó 42a y 42b corresponden a la misma forma de conexión con la excepción de la polarización opuesta de la batería. Estando conectado en una dirección de polarización el terminal positivo al par de electrodos (2,5) y (20,21) y estando conectado el terminal negativo al par de electrodos (6,3) y (22,23), los electrodos (20,21) y (22,23) sirven como electrodos inyec



tores de lagunas y electrones, respectivamente, y los electrodos (2,5) y (3,6) sirven como electrodos colectores de electrones y de lagunas, respectivamente, en la dirección opuesta de polarización solamente la función inyectora y la función colectora están intercambiadas. Dado que el electrodo inyector de electrones y el electrodo colector de electrones, así como el electrodo inyector de lagunas y el electrodo colector de lagunas son substancialmente de la misma estructura, las curvas características 42A y 42B de la fig. 7 y 42a y 42b de la fig. 8 son substancialmente simétricas para las dos direcciones de polarización. En esta forma el dispositivo de acuerdo con la invención puede ser excitado con corriente alterna para el período total de una manera eficaz. Este dispositivo de acuerdo con la invención, como se verá del curso de las curvas características 42A y 52B de la fig. 7, tiene para las dos direcciones de polarización una curva característica de corriente-tensión substancialmente lineal, favorable, aumentando la intensidad de corriente y, por lo tanto, también la amplificación de corriente de manera substancialmente lineal con la tensión. De las curvas características 42a y 42b de la fig. 8 resulta, además, que la relación $I_1 : I_d$ en el rango de tensión indicado es más constante que con las curvas características 41a y 41b.

Las curvas características 43A y 43B de la fig. 7 y 43a y 43b de la fig. 8 se refieren a un dispositivo de acuerdo con la invención, en que el elemento de circuito de la fig. 6 fue usado de la manera ilustrada en la fig. 2. Las intensidades de corriente I_1 e I_d son las sumas de las corrientes medidas en los dos circuitos externos



como una función de las tensiones de batería, que fueron elegidas iguales para los dos circuitos. Usando los dos circuitos separados, la diferencia de potencial flotante es ajustada automáticamente entre los electrodos de cada par, siendo dicha diferencia en el caso correspondiente aproximadamente 15 mV, estando conectado el terminal positivo a los electrodos de tipo p. Las mismas curvas características son válidas también para las formas de conexión mostradas en las figs. 3 y 5, al menos cuando las impedancias auxiliares 20 son elegidas de modo que es ajustada substancialmente la misma diferencia de potencial flotante con la polaridad correcta. Para estas formas de conexión de acuerdo con la invención, el curso de la curva característica corriente-tensión es extremadamente lineal, siendo también muy favorable la amplificación de corriente. Además, tienen la ventaja, como se verá de la fig. 8 que las curvas características 43a y 43b asumen, en el rango de tensión correspondiente, un valor constante favorable I_1/I_2 , que también es constante con las diferencias de tensión elevadas y es más favorable con respecto a la corriente de negro que las curvas características 41a, 42a y 42b. Este dispositivo de acuerdo con la invención, por ejemplo, en la disposición mostrada en la fig. 5 es particularmente adecuado para funcionar con corriente alterna.

A modo de comparación las figs. 7 y 8 muestran, además, las curvas características 40A y 40B y 40a y 40b, respectivamente, siendo medido el elemento de circuito mostrado en las fig. 6 entre los dos electrodos de tipo n (2,5) y (22,23), dejándose fuera del circuito los electro



dos (3,6) y (20,21). Con esta forma de conexión, que no corresponde a la invención, dado que son usados dos electrodos inyectores de tipo opuesto, se encontró una curva característica corriente-tensión de saturación desfavorable para las dos direcciones de polarización, mostrando una amplificación de corriente baja, desfavorable. Se encontró una curva característica de saturación similar, en una medición entre los electrodos (20,21) y (3,6).

De lo que antecede se verá que las curvas características 41a, 42A, 42B, 43A, 43B que se refieren a los dispositivos de acuerdo con la invención, se distinguen favorablemente por una linealidad satisfactoria de la curva característica corriente-tensión y un aumento ventajoso en la amplificación de corriente, debiendo ser preferidas las formas de conexión que determinan las curvas características 43A, 43B y 43 a y 43 b debido a su corriente de negro, favorable. Debería mencionarse aquí que la relación $I_1 : I_0$ puede ser hecha mayor a voluntad usando un camino de corriente más angosto en la región intermedia, por ejemplo, una capa delgada, utilizando un semiconductor que tiene una desviación inferior de la conducción intrínseca o un semiconductor con una distancia de banda mayor o mediante enfriamiento a por ejemplo, -70° con semiconductores que tienen una distancia de banda comparativamente pequeña. Con las curvas características 41A, 42A y 42B la intensidad de corriente y la amplificación de corriente son ligeramente más favorables que con las curvas 43A y 43B, es cierto, pero el curso de las curvas características 43A y 43B es más ventajoso con respecto a la linealidad y la relación $I_1 : I_0$ es apreciablemente más fa-



vorable con las últimas curvas mencionadas, particularmente con tensiones más altas.

Finalmente, debería mencionarse que dentro del alcance de la invención los expertos en la técnica pueden aplicar varias modificaciones. Por ejemplo, la forma del cuerpo foto-sensible puede ser diferente y los electrodos pueden ser dispuestos unos con respecto a los otros de una manera diferente, por ejemplo, sobre un cuerpo al menos parcialmente anular. Si fuera deseable, pueden incorporarse resistores auxiliares en las zonas electródicas del cuerpo semiconductor o los electrodos pueden estar dispuestos con desplazamientos relativos en el lugar en vez de estar opuestos entre sí. En lugar de impedancias auxiliares, por ejemplo, pueden conectarse fuentes de tensión adicionales entre los electrodos de cada par a fin de mantener el potencial flotante entre dichos electrodos.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en Holanda, el 2 de Julio de 1962, bajo el número 280.435, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

N O T A

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España; por VEINTE años, son los siguientes:

289480

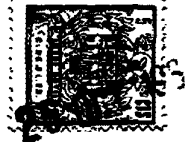


25

1.- Dispositivo de circuito fotosensible que comprende un elemento de circuito fotosensible que comprende un cuerpo fotosensible con electrodos, dispositivo en que, por medio de una fuente de suministro incluida en un circuito externo, son aplicados potenciales a al menos dos electrodos y está provisto un camino de corriente en el cuerpo, cuyas variaciones de impedancia son utilizadas en el circuito externo en dependencia de la radiación incidente, caracterizado porque el elemento de circuito fotosensible comprende un cuerpo fotosensible con una región semiconductora substancialmente intrínseca o débilmente extrínseca, en que, durante la radiación, la conducción de lagunas y la conducción de electrones son substancialmente del mismo orden de magnitud y al menos dos electrodos, separados por dicha región, para el suministro de corriente al cuerpo, siendo capaz un electrodo de inyectar principalmente sólo electrones y siendo capaz el otro electrodo de inyectar principalmente sólo lagunas hacia dicha región intermedia, siendo aplicada una diferencia de tensión por medio de al menos una fuente de suministro externa, a través de los electrodos, a la región intermedia, de modo que dichos electrodos inyectoros son excitados, al menos temporariamente en la dirección de paso y las lagunas y los electrones pasan, al menos localmente, en la región intermedia a través de un camino de corriente substancialmente común, cuya impedancia es afectada por la radiación incidente sobre la región intermedia.

2.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque a fin de obtener una amplificación de corriente, a través de los

289480



electrodos, sobre la región intermedia, es aplicada una diferencia de tensión elevada tal que el tiempo de tránsito medio de los portadores de carga requerido para cubrir el camino de corriente en la región intermedia, es más corto que el tiempo de vida de recombinación media de dichos portadores de carga en la región intermedia.

3.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con las reivindicaciones 1 y/o 2, caracterizado porque el cuerpo fotosensible tiene una estructura p-i-n ó p-s-n y que la zona p y la zona n con los contactos asociados constituyen los mencionados electrodos inyectores, estando ubicado el camino de corriente común en la región intermedia semiconductor intrínseca (i) o débilmente extrínseca (s), sobre la que incide la radiación entre dichos electrodos y, siendo aplicada, al menos temporariamente, una diferencia de tensión en el circuito externo entre dichos electrodos, recibiendo el electrodo inyector de lagunas una tensión positiva con relación al electrodo inyector de electrones.

4.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque la distancia entre los dos electrodos inyectores medida a lo largo del camino de corriente en la región intermedia, es al menos 5 largos de difusión-recombinación, preferentemente más de 10 largos de difusión-recombinación.

5.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con las reivindicaciones 3 ó 4, caracterizado porque los electrodos inyectores se unen a la región intermedia a través de capas de transición que tienen una concentración de centros de recombinación para los portadores



de carga de la clase correspondiente que deben ser recolectados, en comparación con el resto de la región intermedia.

5 6.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con las reivindicaciones 1 y/o 2, caracterizado porque dicha región intermedia está provista, en la proximidad de al menos uno de dichos electrodos inyectoros con al menos un electrodo colector separado que aleja del camino de corriente común portadores de carga del tipo opuesto al tipo de portadores de carga inyectado por el electrodo correspondiente.

10 7.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por comprender un cuerpo fotosensible con una región semiconductor substancialmente intrínseca o débilmente extrínseca y al menos dos pares de electrodos, separados entre sí por dicha región, comprendiendo un par un electrodo capaz de inyectar substancialmente sólo electrones y un electrodo colector de lagunas separado y comprendiendo el otro par un electrodo que inyecta substancialmente sólo lagunas y un electrodo colector de electrones separado, siendo mantenida al menos temporariamente una diferencia de tensión mediante la aplicación de potenciales a dichos electrodos sobre dicha región intermedia, de modo que en dicha región intermedia, al menos localmente, se forma un camino de corriente substancialmente común para las lagunas y electrones, siendo afectada la impedancia de dicho camino por la radiación incidente sobre la región intermedia.

25 8.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con las reivindicaciones 6 ó 7, caracterizado por

30



que el electrodo colector está formado por un electrodo capaz de coleccionar substancialmente sólo los portadores de carga del tipo correspondiente.

5 9.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque el electrodo inyector de lagunas y el electrodo colector de lagunas están formados cada uno por una zona conductora de tipo p con un contacto asociado y el electrodo inyector de electrones y el electrodo colector de electrones están formados cada uno por una zona conductora de tipo n con el contacto asociado.

15 10.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque un electrodo que inyecta portadores de carga de un tipo determinado y un electrodo colector de portadores de carga del mismo tipo, en los varios pares de electrodos, son de estructura idéntica.

20 11.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, caracterizado porque el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par están separados entre sí por una distancia de como máximo 5 largos de difusión-recombinación, preferentemente como máximo 3 largos de difusión-recombinación.

25 12.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado porque los pares de electrodos están separados entre sí por una distancia de al menos 3 largos de difusión-recombinación.

30 13.- Dispositivo de circuito fotosensible de a-



1963

cuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque la radiación incidente sobre la región intermedia incide también sobre las zonas asociadas con los electrodos.

5 14.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 13, caracterizado porque entre el electrodo inyector y el electrodo colector de cada par es mantenida una diferencia de tensión en el circuito externo, teniendo dicha diferencia
10 la misma polaridad que la diferencia de potencial flotante producida por la radiación entre dichos electrodos, estando comprendido el valor de dicha diferencia entre la mitad de la diferencia de potencial flotante y la distancia de banda de la región intermedia y siendo preferentemente
15 substancialmente igual a la diferencia de potencial flotante.

 15.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado porque a fin de mantener dicha diferencia de tensión se utilizan
20 dos circuitos externos, incluyendo uno una fuente de suministro y estando conectado entre el electrodo inyector de electrones de un par y el electrodo colector de electrones del otro par, incluyendo el otro circuito una fuente de suministro preferentemente idéntica y estando conectada
25 entre el electrodo colector de lagunas de un par y el electrodo inyector de lagunas del otro par, estando acoplados dichos circuitos entre sí a través del cuerpo fotosensible.

 16.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado porque los
30



electrodos de cada par están conectados a una fuente de suministro común y a una impedancia de carga común, incluyendo el camino de conexión de al menos uno de los electrodos de cada par una impedancia auxiliar adicional por medio de la cual es aplicada dicha diferencia de tensión entre los electrodos de cada par.

17.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado porque la fuente de suministro común es una fuente de tensión continua y que las impedancias auxiliares están provistas en la forma de resistores, en los caminos conectores al electrodo colector de cada par.

18.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado porque la fuente de suministro común está formada por una fuente de tensión alterna y que las impedancias auxiliares están formadas por capacitores separadores.

19.- Dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque los capacitores separadores son integrales con el cuerpo fotosensible conectando el contacto con al menos uno de los electrodos de cada par capacitivamente a la zona de cuerpo asociada con el electrodo relevante.

20.- Dispositivo semiconductor fotosensible adecuado para ser usado en un dispositivo de circuito fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por comprender un cuerpo fotosensible con una región semiconductora substancialmente intrínseca o débilmente extrínseca en que la conducción de electrones y la conducción de lagunas producidas por radiación



25 06

son substancialmente del mismo orden de magnitud y al me-
nos dos electrodos separados por dicha región para el su-
ministro de corriente al cuerpo, siendo capaz un electro-
do de inyectar principalmente sólo electrones y siendo ca-
5 paz el otro de inyectar principalmente sólo lagunas hacia
dicha región intermedia y en que la distancia entre dichos
electrodos, medida a lo largo del camino de corriente so-
bre dicha región intermedia, es al menos 5 largos de difu-
sión-recombinación, preferentemente al menos 10 largos de
10 difusión-recombinación.

21.- Dispositivo semiconductor fotosensible de a-
cuerdo con la reivindicación 20, caracterizado porque el
cuerpo fotosensible tiene una estructura p-i-n ó p-s-n,
formando las zonas p y n con los contactos asociados los
15 mencionados electrodos inyectores sobre la región interme-
dia substancialmente intrínseca (i) o débilmente extrínse-
ca (s).

22.- Dispositivo semiconductor fotosensible de a-
cuerdo con las reivindicaciones 20 y/o 21, caracterizado
porque los electrodos inyectores se unen a la región in-
20 termedia a través de capas de transición que tienen una
concentración de centros de recombinación para los porta-
dores de carga del tipo relevante que deben ser recolecta-
do, concentración que es mayor con respecto al resto de
25 la región intermedia.

23.- Dispositivo semiconductor fotosensible ade-
cuado para ser usado en un dispositivo semiconductor foto-
sensible de acuerdo con la reivindicación 6, caracteriza-
do por comprender un cuerpo fotosensible con una región
30 semiconductoras substancialmente intrínseca o débilmente



extrínseca en que la conducción de electrones y la conduc
ción de laguna que aparecen durante la irradiación son
del mismo orden de magnitud y al menos dos electrodos se-
parados por dicha región, para el suministro de corriente
5 al cuerpo, siendo capaz un electrodo de inyectar princi-
palmente sólo electrones y siendo capaz el otro electrodo
de inyectar principalmente sólo lagunas hacia dicha re-
gión, que está provista, en la proximidad de al menos uno
de dichos electrodos inyectoros, con al menos un electro-
10 do colector separado capaz de recolectar desde la región
intermedia portadores de carga del tipo opuesto al tipo
de portadores de carga que debe ser inyectado por el elec-
trodo inyector relevante.

24.- Dispositivo semiconductor fotosensible de
15 acuerdo con la reivindicación 23, adecuado para ser usado
en un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivin-
dicaciones 7 a 19, caracterizado porque el cuerpo fotosen-
sible comprende al menos dos pares de electrodos separa-
dos entre sí por dicha región intermedia, teniendo un par
20 un electrodo capaz de inyectar sólo electrones y un elec-
trodo colector separado capaz de alejar lagunas desde la
región intermedia, teniendo el otro par un electrodo capaz
de inyectar substancialmente sólo lagunas y un electrodo
colector separado capaz de alejar electrones de la región
25 intermedia.

25.- Dispositivo semiconductor fotosensible de
acuerdo con la reivindicación 24, caracterizado porque
los electrodos colectores están formados por electrodos
capaces de recolectar substancialmente sólo los portado-
30 res de carga del tipo relevante.

289480



1962

26.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 23 a 25, caracterizado porque el electrodo inyector de lagunas y el electrodo colector de lagunas están formados cada uno por una zona conductora p con el contacto asociado y el electrodo inyector de electrones y el electrodo colector de electrones están formados cada uno por una zona conductora n con el contacto asociado.

27.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 23 a 26, caracterizado porque el electrodo inyector y electrodo colector de al menos un par, preferentemente de los dos pares, están separados por una distancia de como máximo 5 largos de difusión-recombinación, preferentemente como máximo 3 largos de difusión-recombinación.

28.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 24 a 27, caracterizado porque la distancia, medida a lo largo del camino de corriente entre los dos pares de electrodos es al menos 3 largos de difusión-recombinación.

29.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 20 a 28, caracterizado porque están provistos medios para hacer incidir la radiación no solamente sobre la región intermedia sino también sobre las zonas del cuerpo asociadas con los electrodos.

30.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 24 a 29, caracterizado porque un electrodo inyector de portadores de carga de un tipo determinado y un electrodo colector



de portadores de carga del mismo tipo en los varios pares, tienen una estructura substancialmente idéntica.

5 31.- Dispositivo semiconductor fotosensible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 24 a 30, caracterizado porque capacitores separadores son integrales con el cuerpo fotosensible conectando el contacto con al menos uno de los electrodos de cada par, capacitivamente a la zona del cuerpo asociado con el electrodo.

10 32.- Dispositivo de circuito fotosensible. Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los cuatro dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de sesenta y tres hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

25 OCT. 1963

P. A.

Alberd de Elizabeth
Por Poder

289480

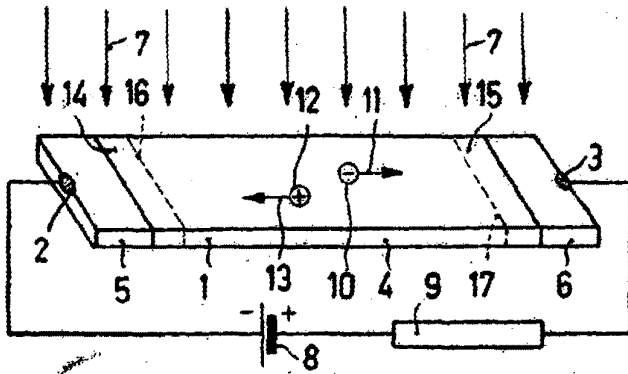


FIG. 1

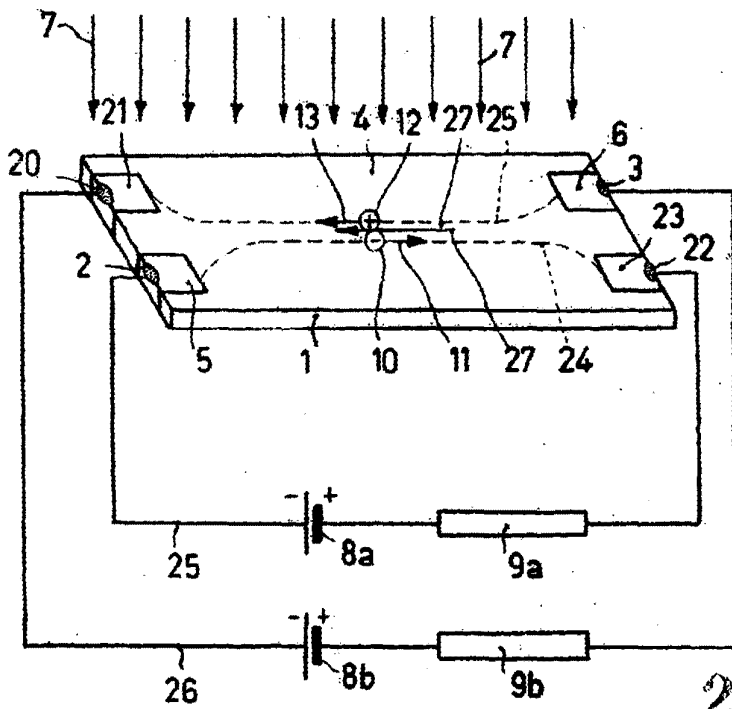


FIG. 2

289480

Handwritten signature or initials.

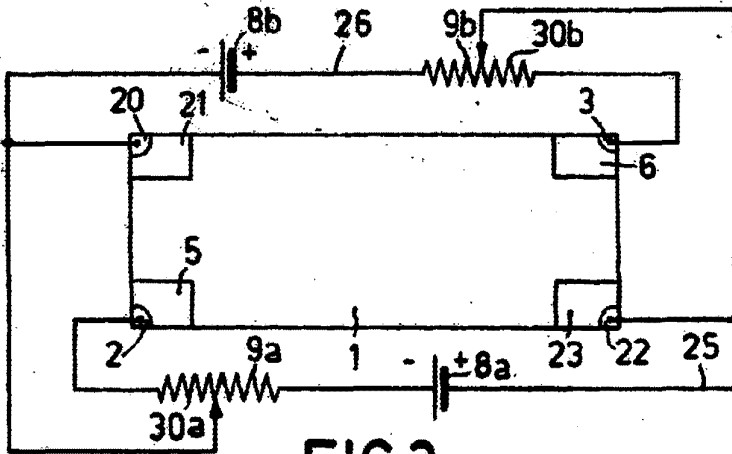


FIG. 3

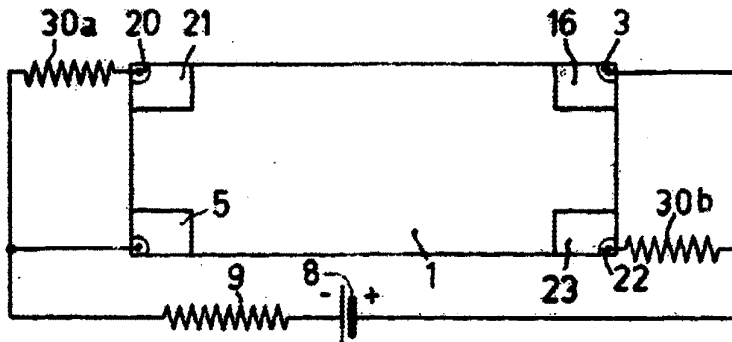


FIG. 4

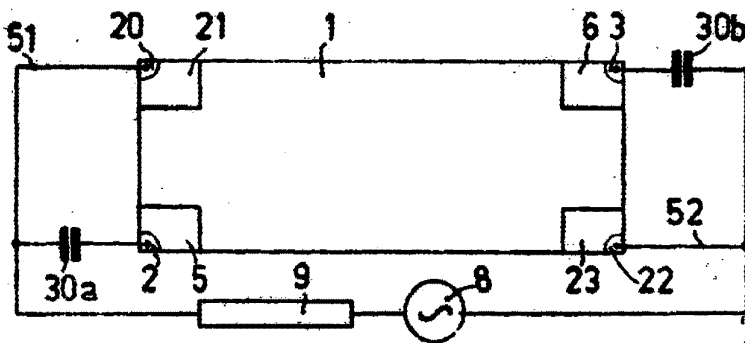


FIG. 5

2 8 9 4 8 0

Adm. de El. B. N. L. G.
P. N. 10000

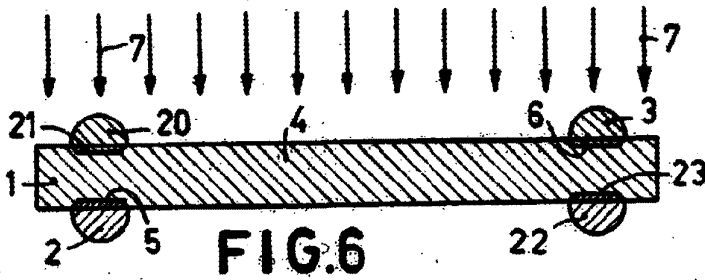
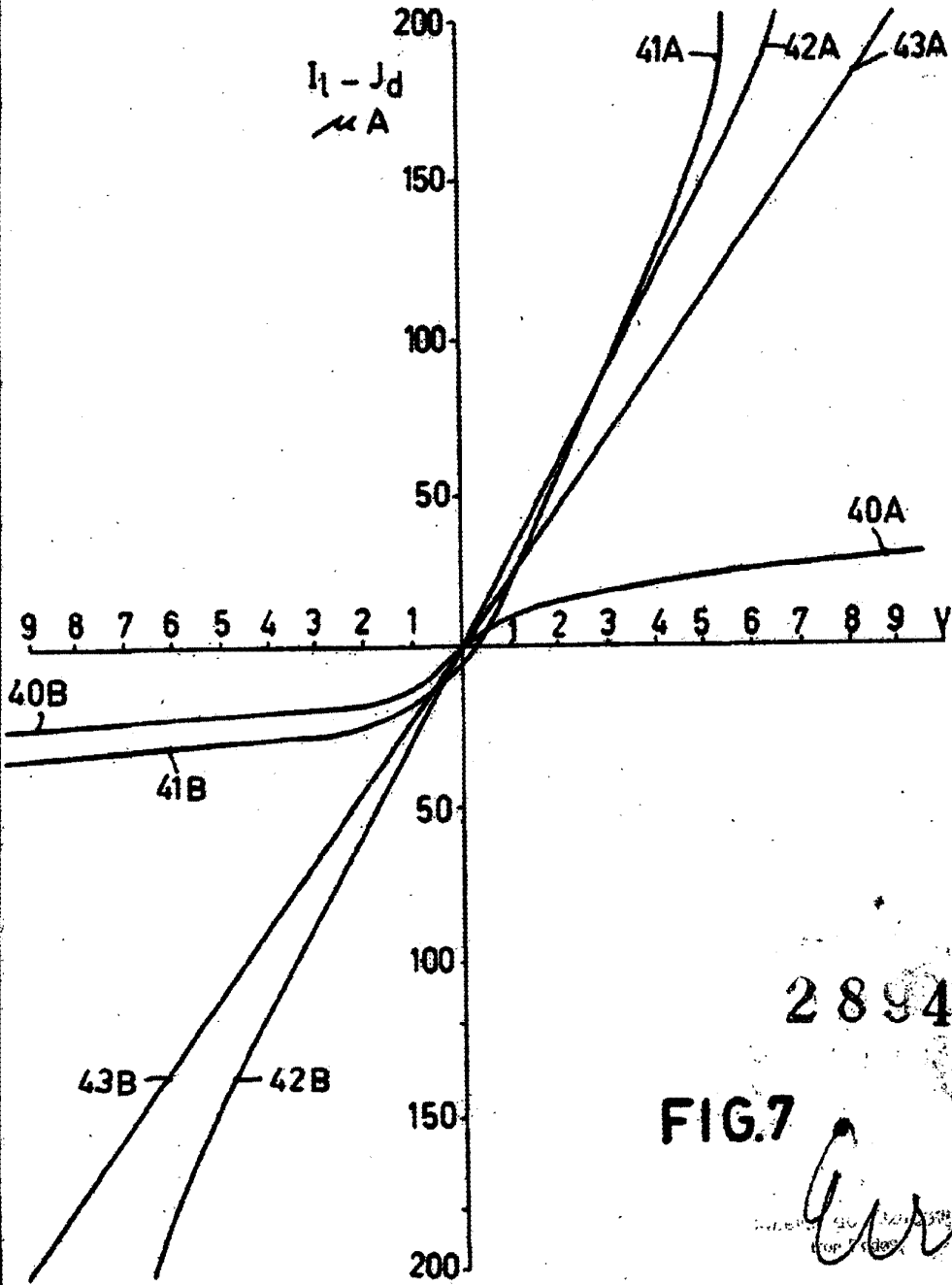


FIG.6

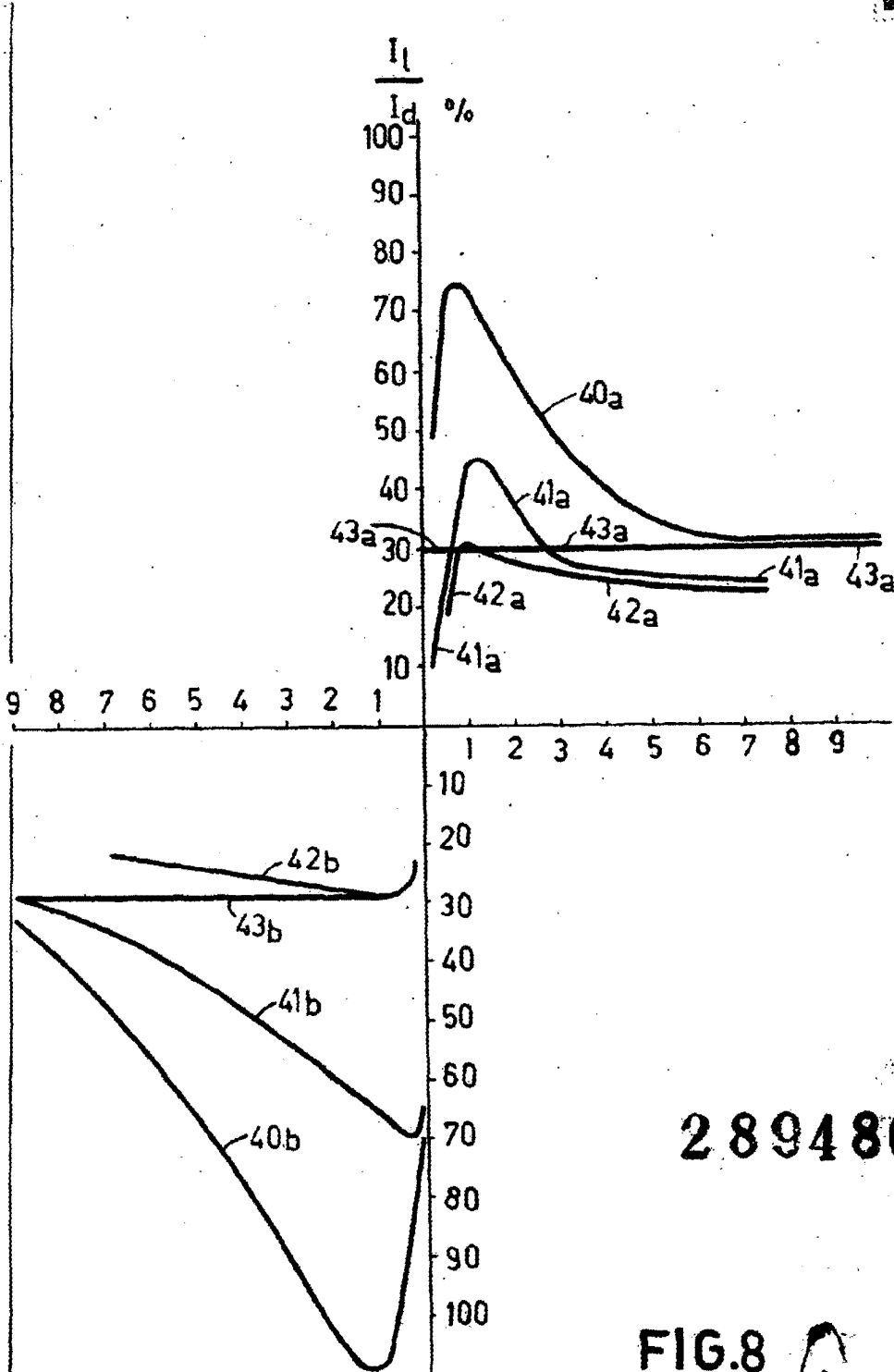


289480

FIG.7

Curk

VARIABLE



289480

FIG.8

Handwritten signature or initials