(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 461 524**

(51) Int. Cl.:

H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/0304 (2006.01)
H01L 31/105 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2004** **E 04751056 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014** **EP 1620899**

(54) Título: **Fotodetector PIN**

(30) Prioridad:

02.05.2003 US 467399 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.05.2014

(73) Titular/es:

PICOMETRIX, LLC (100.0%)
2925 BOARDWALK
ANN ARBOR, MI 48104, US

(72) Inventor/es:

KO, CHENG C. y
LEVINE, BARRY

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 461 524 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Fotodetector PIN

Antecedentes

La presente invención se refiere, en general, al campo de la fotodetección. Más específicamente, la invención se refiere a la detección de fotones usando un fotodetector semiconductor.

Debido a la interacción conocida entre fotones y electrones, en los últimos años se han realizado avances en el campo de los fotodetectores, en particular en aquellos fotodetectores que utilizan materiales semiconductores. Un tipo de fotodetector basado en semiconductores, que se conoce como fotodetector PIN, incluye un número de materiales semiconductores que sirven para diferentes fines, tales como absorción y pasivación.

Con muchos tipos de fotodetectores PIN, la sensibilidad y la fiabilidad de los fotodetectores se deterioran con el tiempo. Además, los fotodetectores experimentan fatiga general y desgaste y desgarro. Por lo tanto, es deseable presentar un fotodetector que mantenga un alto factor de respuesta, un alto ancho de banda y una baja corriente de oscuridad a lo largo de su vida útil prevista, así como que sea simple de fabricar.

La patente de los Estados Unidos 5.448.099 divulga a un dispositivo receptor de luz de tipo pin. En este dispositivo receptor de luz de tipo pin, se forman de manera secuencial una capa PD n, una capa PD i, una capa PD p, una capa de detención de ataque químico, y una capa PD p sobre un sustrato semiconductor. A la capa PD p se le da forma de mesa para constituir la primera mesa que tiene una forma de tronco de cono. A la capa de detención de ataque químico, la capa PD p y la capa PD i se les da forma de mesa para constituir la segunda mesa que tiene una forma de tronco de cono. El diámetro de la primera mesa se conforma más pequeño que el de la segunda mesa. A la capa PD n se le da forma de mesa para constituir la tercera mesa que tiene una forma de tronco de cono. Una capa de electrodo óhmica n se forma sobre la capa PD n en una posición predeterminada. Unas capas de electrodo óhmicas p se forman sobre la capa PD p en posiciones predeterminadas. Una capa de pasivación se forma sobre la superficie de cada mesa.

La capa PD i consiste en GaInAs o GaInAsP no intencionalmente dopado con un dopante (a una concentración de dopante de aproximadamente 1×10^{15} a 2×10^{15} cm^{-3}). La capa PD p consiste en GaInAs o GaInAsP dopado con Zn a una concentración de dopante de aproximadamente 1×10^{19} cm^{-3}. La capa de detención de ataque químico consiste en InP o GaInAsP dopado con Zn a una concentración de dopante de aproximadamente 5×10^{18} cm^{-3}.

La solicitud de patente de los Estados Unidos 2003/0226952, presentada el 07 de junio de 2002 y publicada el 11 de diciembre de 2003, divulga un fotodiodo de avalancha que comprende un sustrato que incluye un primer material semiconductor, una capa de multiplicación por encima del sustrato, teniendo la capa de multiplicación una región sin dopar de un segundo material semiconductor, una capa de dosis por encima de la capa de multiplicación, teniendo la capa de dosis una región dopada de un tercer material semiconductor, una capa absorbente que recibe los fotones incidentes y genera portadores de carga, estando la capa absorbente por encima de la capa de dosis y teniendo una región sin dopar de un cuarto material semiconductor y por lo menos dos contactos eléctricos que aplican un voltaje a través del fotodiodo.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona un fotodetector PIN que incluye una primera capa de contacto semiconductora configurada como una estructura de mini-mesa, una capa de absorción semiconductora que tiene un área más grande que la estructura de mini-mesa, una capa de pasivación semiconductora que tiene un área más grande que la estructura de mini-mesa, y colocada entre la estructura de mini-mesa y la capa de absorción, y una segunda capa de contacto semiconductora. La capa de absorción semiconductora y las capas de pasivación están colocadas entre la estructura de mini-mesa y la segunda capa de contacto semiconductora como en la figura 1. La capa de pasivación es de InAlAs. Además, la segunda capa de contacto semiconductora y la estructura de mini-mesa son de tipo de conductividad opuesto.

Cuando el fotodetector se encuentra en uso, el campo eléctrico cerca del centro de la capa de absorción semiconductora es más grande que el campo eléctrico cerca de los bordes de la capa de absorción semiconductora tal como se indica en la figura 2, y la capacidad del fotodiodo también está determinada por el área de la pequeña estructura de mini-mesa. El fotodetector puede tener un ancho de banda 3 dB más grande que 20 GHz. En determinadas realizaciones, el fotodiodo tiene un comportamiento de corriente de oscuridad que es sustancialmente constante a lo largo de unos periodos de tiempo prolongados (por ejemplo, 20 años) en relación con un valor inicial.

Las realizaciones de la invención pueden tener una o más de las siguientes ventajas. La configuración tiene una vida útil aumentada y unas características de envejecimiento por temperatura mejoradas. La primera capa de contacto semiconductora define una estructura de mini-mesa que es ventajosa para un PIN de alto rendimiento de absorción

potenciada y de alto ancho de banda. Además, se simplifica la fabricación del fotodetector PIN de mini-mesa debido a que se elimina la necesidad de una etapa de difusión p para formar un contacto p localizado.

Otras características y ventajas serán evidentes a partir de la descripción y de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

la figura 1 es una vista lateral de una estructura PIN de acuerdo con una realización de la invención;
la figura 2 es una gráfica que muestra el perfil de campo eléctrico a través de la capa de absorción de la estructura PIN de la figura 1;
la figura 3 es una gráfica que muestra el comportamiento de corriente de oscuridad para un grupo de dispositivos de mesa convencionales envejecidos a 125 ºC con una polarización de voltaje constante;
la figura 4 es una gráfica que muestra el comportamiento de corriente de oscuridad para un grupo de estructuras PIN de la figura 1 envejecidas a 175 ºC con una polarización de voltaje constante;
la figura 5 es una vista lateral de una realización alternativa de una estructura PIN de acuerdo con la invención.

Descripción detallada

Haciendo referencia a continuación a los dibujos, un fotodetector PIN de mini-mesa que realiza los principios de la presente invención se ilustra en los mismos y se designa en 10. Como sus componentes primarios, el fotodetector PIN 10 incluye una capa de contacto n+ 12, una capa de contacto de metal p+ 14, y una mini-mesa p+ 16. Una capa de absorción de InGaAs 22 está dispuesta entre la mini-mesa p+ 16 y la capa de contacto n+ 12. Un par de capas de graduación de banda prohibida 20 limitan la capa de absorción de InGaAs 22. Una capa de pasivación de nid ("*not intentionally doped*", no intencionalmente dopado) 18 también está dispuesta entre la capa de absorción de InGaAs 22 y la mini-mesa p+ 16. En realizaciones particulares, una capa de pasivación 24 está dispuesta sobre la superficie exterior del fotodetector PIN 10. La capa de pasivación 24 puede ser de BCB (benzociclobuteno), dióxido de silicio, nitruro de silicio, o poliimida. Un contacto de metal n 26 capta electrones y está colocado sobre la capa de contacto n+ 12.

Debido a que la mini-mesa 16 tiene un área reducida, los campos eléctricos en los bordes de la gran mesa n se reducen sustancialmente, reduciendo de este modo los efectos perjudiciales de cualesquiera estados superficiales u otros defectos superficiales. Además, debido a que la corriente también se reduce en estas superficies, se reducen cualesquiera estados de interfase o carga en estos límites.

La figura 2 muestra de manera esquemática el perfil de campo eléctrico a través de la capa de absorción 22 para un fotodetector PIN con una mini-mesa de 30 µm 16 y una mesa n exterior de 50 µm. El campo cae a casi cero en los bordes de la mesa exterior que muestra las características de pasivación del fotodetector PIN 10.

Estos efectos aumentan sustancialmente la vida útil y mejoran las características de envejecimiento de los fotodetectores, tal como los APD y los PIN sin dopar o de dopado bajo, por encima de las de los dispositivos de fotodetector de mesa convencionales.

Las figuras 3 y 4 ilustran una comparación entre las características de envejecimiento de dispositivo de un dispositivo convencional (figura 3) y las del fotodetector PIN 10 (figura 4). La figura 3 muestra el comportamiento de corriente de oscuridad para un grupo de dispositivos de mesa convencionales envejecidos a la temperatura de envejecimiento relativamente baja de 125 ºC con una polarización de voltaje constante. Tal como se muestra, la corriente de oscuridad aumenta en un factor de 20 veces con respecto a los valores iniciales en solo 1500 horas, lo que indica un rápido deterioro de estos dispositivos de mesa.

La figura 4, por el contrario, muestra el comportamiento de corriente de oscuridad para un grupo de fotodetectores PIN de mini-mesa 10 envejecidos a la temperatura de envejecimiento mucho más alta de 175 ºC, con una polarización de voltaje constante. Tal como puede verse fácilmente, las corrientes de oscuridad para los fotodetectores PIN 10 se mantienen estables a sus valores iniciales con poco o nulo deterioro a lo largo de 5000 horas. Esto se corresponde con una vida útil que es más grande que 20 años a temperaturas de funcionamiento normales, tal como, por ejemplo, 70 ºC.

Una de las características del fotodetector PIN de mini-mesa 10 es que la capacidad del fotodetector no se aumenta de manera significativa debido a la mesa n más grande. En consecuencia, el ancho de banda del fotodetector PIN 10 no difiere considerablemente del ancho de banda de los PIN de mesa convencionales, tal como se verificó de manera experimental a través de una serie de mediciones de dispositivo usando un Analizador de Componentes de Ondas Débiles.

Una comparación del ancho de banda eléctrico medido de los PIN de mini-mesa y los PIN de mesa tradicionales muestra que el ancho de banda de 3 dB tanto para un fotodetector PIN de mini-mesa 10 de 40 micras de diámetro, como para un PIN de mesa convencional de tamaño similar son ambos de aproximadamente 15 GHz. Por lo tanto,

el fotodetector PIN 10 tiene un ancho de banda más que adecuado para aplicaciones de telecomunicaciones de OC-192.

Además, el fotodetector PIN de mini-mesa 10 es particularmente adecuado para los PIN dopados “potenciados”, con unas concentraciones de dopado graduadas que aumentan en gran medida la velocidad y la sensibilidad de los PIN de alto ancho de banda. En algunas implementaciones, la estructura de fotodetector comporta una graduación del dopado p, de tal modo que la estructura PIN se invierte con el contacto p en la parte de arriba y el dopado n se encuentra encima, según se ilustra como un fotodetector PIN 110 en la figura 5.

El fotodetector PIN 110 incluye un contacto p+ 112, tal como InAlAs, un contacto de metal n+ 114, y una mini-mesa n+ 116. En determinadas realizaciones, la mini-mesa n+ 116 es de InAlAs. Una capa de absorción 122, que puede ser de InGaAs de dopado bajo o de nid, está dispuesta entre la mini-mesa n+ 116 y el contacto p+ 112. Un par de capas graduadas de banda prohibida 120, está dispuesto por encima y por debajo de la capa de absorción 122. La capa p+ graduada 124 está dispuesta entre la capa de absorción 122 y el contacto p+ 112 de tal modo que la concentración de dopado de la capa p+ graduada 124 aumenta con la proximidad a los contactos p+ 112. Una capa de pasivación de nid 118, que es de InAlAs, está dispuesta entre la mini-mesa n+ 116 y la capa graduada de banda prohibida superior 120. Una capa de pasivación 126 está dispuesta sobre la superficie del PIN potenciado 110. La capa de pasivación 126 puede ser, por ejemplo, de BCB (benzociclobuteno), dióxido de silicio, nitruro de silicio, o poliimida. El contacto de metal p 128 está colocado sobre la capa de contacto p+ 112. Esta estructura permite que la capa de absorción p graduada sea tan ancha como la gran mesa de contacto exterior, y siga teniendo un pequeño contacto n de mini-mesa para reducir la capacidad y aumentar el ancho de banda.

Un proceso de ataque químico simple con una capa para detener el ataque químico puede usarse para fabricar los fotodetectores PIN 10 o 110 que se han mencionado en lo que antecede. Estas estructuras de mini-mesa sometidas a ataque químico simple pueden desarrollarse y fabricarse de manera reproducible, y son sumamente uniformes por la totalidad de la oblea. La estructura completa se desarrolla inicialmente y a continuación se rebaja por ataque químico para definir una pequeña región de contacto de mini-mesa localizada que controla el área de capacidad relevante, dando como resultado de este modo un PIN de baja capacidad y de alta velocidad.
Por lo tanto, este diseño no requiere una etapa de difusión para definir el pequeño contacto de arriba, y por lo tanto es más simple y produce unos fotodetectores que son más sumamente uniformes por la totalidad de la oblea.

Obsérvese que, en la estructuras PIN 10, 110, el alto campo superficial cerca de la parte de arriba de la estructura está muy bien controlado por las capas de pasivación de banda prohibida alta 18 y 118. Tal como se ha mencionado anteriormente, estas estructuras son de alta velocidad debido a que la baja capacidad está determinada por el área del diámetro de la pequeña mini-mesa y no la gran mesa de aislamiento no crítica.

Además, se encuentra dentro del alcance de la invención que la primera capa de contacto semiconductora 12; 112, la capa de absorción 22; 122 y / o la capa de mini-mesa 16; 116 sean de InP o de otros semiconductores III-V binarios o terciarios.

Las implementaciones anteriores, y otras, de los principios de la invención se encuentran dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un fotodetector PIN (10; 110) que comprende:

una primera capa de contacto semiconductora configurada como una estructura de mini-mesa (16; 116);
una capa de absorción semiconductora (22; 122), teniendo la estructura de mini-mesa (16; 116) un área más pequeña que la capa de absorción semiconductora (22; 122);
una capa de pasivación semiconductora (18; 118) colocada entre la estructura de mini-mesa (16; 116) y la capa de absorción semiconductora (22; 122), en relación con la capa de pasivación (18; 118) y la capa de absorción (22; 122), estando la estructura de mini-mesa (16; 116) en contacto físico directo solo con la capa de pasivación (18; 118); y
una segunda capa de contacto semiconductora (12; 112), estando colocadas la capa de absorción semiconductora (22; 122) y la capa de pasivación (18; 118) entre la estructura de mini-mesa (16; 116) y la segunda capa de contacto semiconductora (12; 112), y siendo la segunda capa de contacto semiconductora (12; 112) y la estructura de mini-mesa (16; 116) de tipo de conductividad opuesto,
caracterizado por que
la capa de pasivación (18; 118) es de InAlAs y la capa de absorción semiconductora (22; 122) es de InGaAs.

2. El fotodetector de la reivindicación 1, en el que la estructura de mini-mesa (16) es de un tipo p y la segunda capa de contacto semiconductora (12) es de un tipo n.

3. El fotodetector de la reivindicación 1, en el que la estructura de mini-mesa (116) es de un tipo n y la segunda capa de contacto semiconductora (112) es de un tipo p.

4. El fotodetector de la reivindicación 3, en el que la estructura de mini-mesa (16; 116) y la segunda capa de contacto semiconductora (12; 112) son de InAlAs.

5. El fotodetector de la reivindicación 1, que comprende además una segunda capa de pasivación semiconductora (24; 126) colocada alrededor de la primera capa de pasivación semiconductora (18; 118) y la capa de absorción semiconductora (22; 122).

6. El fotodetector de la reivindicación 1, que comprende además un primer contacto de metal (14; 114) colocado junto a la estructura de mini-mesa y por lo menos un segundo contacto de metal (26; 128) colocado junto a la segunda capa de contacto semiconductora (12; 112).

7. El fotodetector de la reivindicación 6, en el que el primer contacto de metal (14) es de un tipo p y el segundo contacto de metal (26) es de un tipo n.

8. El fotodetector de la reivindicación 6, en el que el primer contacto de metal (114) es de un tipo n y el segundo contacto de metal (128) es de un tipo p.

9. El fotodetector de la reivindicación 1, que comprende además una primera capa de graduación de banda prohibida (20; 120) colocada entre la capa de pasivación semiconductora (18; 118) y la capa de absorción semiconductora (22; 122) y una segunda capa de graduación de banda prohibida (20; 120) colocada entre la capa de absorción semiconductora (22; 122) y la segunda capa de contacto semiconductora (12; 112).

10. Un método de fabricación de un fotodetector PIN (10; 110) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, que comprende:

proporcionar una capa de contacto semiconductora inferior (12; 112);
depositar una capa de absorción semiconductora (22; 122), siendo la capa de absorción semiconductora (22; 122) de InGaAs;
depositar una capa de pasivación semiconductora (18; 118), siendo la capa de pasivación (18; 118) de InAlAs; y
depositar o fabricar una capa de contacto semiconductora superior configurada como una estructura de mini-mesa (16; 116) que tiene un área más pequeña que la capa de absorción semiconductora (22; 122), en relación con la capa de pasivación (18; 118) y la capa de absorción (22; 122), estando la estructura de mini-mesa (16; 116) en contacto físico directo solo con la capa de pasivación (18; 118).

11. El método de la reivindicación 10, en el que la capa de contacto semiconductora inferior (12) es de un tipo n y la estructura de mini-mesa (16) es de un tipo p.

12. El método de la reivindicación 10, en el que la capa de contacto semiconductora inferior (112) es de un tipo p y la estructura de mini-mesa (116) es de un tipo n.

13. El método de la reivindicación 12, en el que ambas capas de contacto semiconductoras (12; 112; 16; 116) son de InAlAs.

14. El método de la reivindicación 10, que comprende además depositar una segunda capa de pasivación semiconductora (24; 126) alrededor de la primera capa de pasivación semiconductora (18; 118) y la capa de absorción semiconductora (22; 122).

15. El método de la reivindicación 10, que comprende además depositar una primera capa de graduación (20; 120) sobre la capa de contacto semiconductora inferior (12; 112) y depositar una segunda capa de graduación (20; 120) sobre la capa de absorción semiconductora (22; 122).

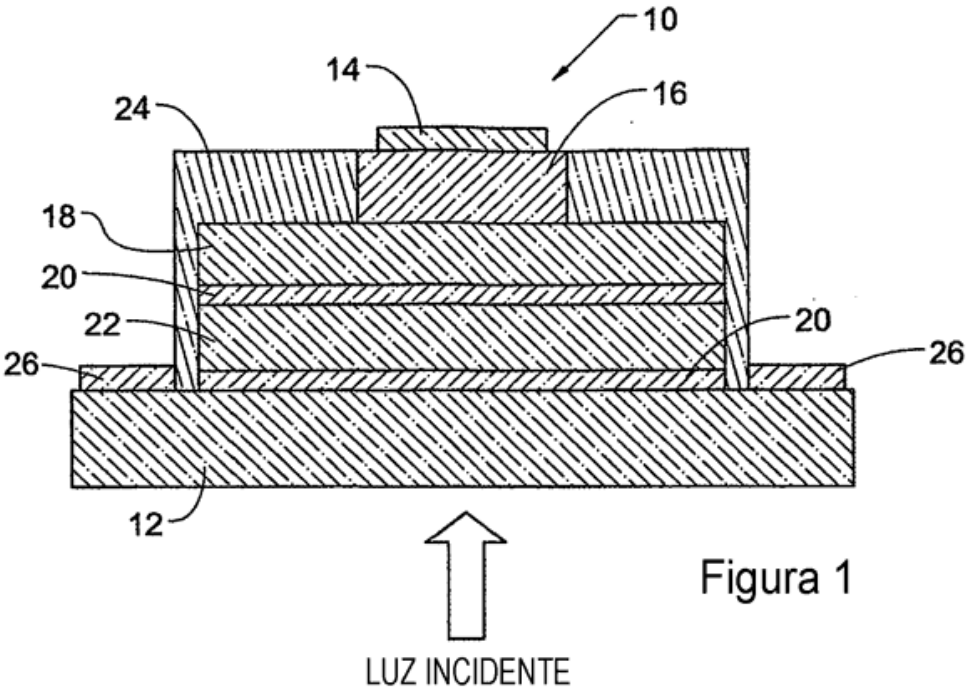

Figura 1

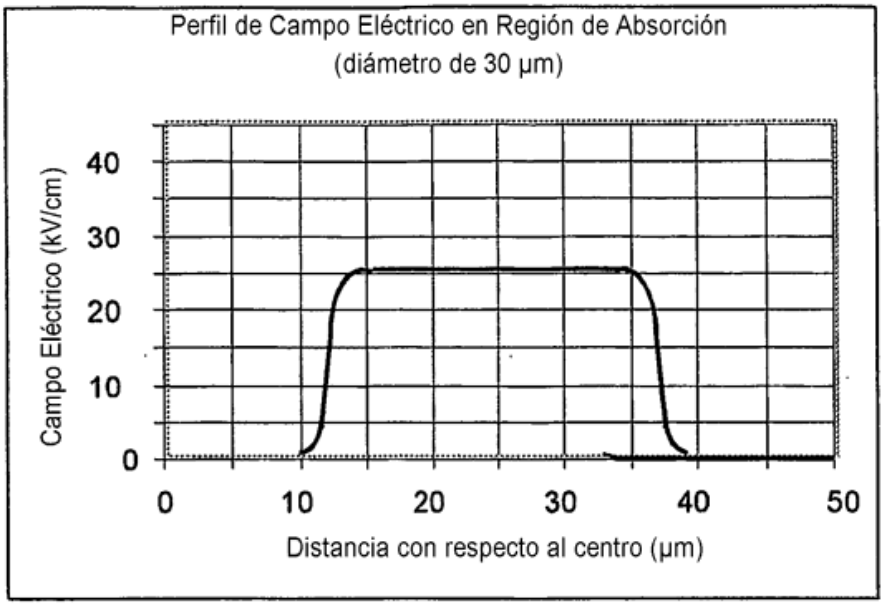
Perfil de Campo Eléctrico en Región de Absorción
(diámetro de 30 μm)
Campo Eléctrico (kV/cm)
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
Distancia con respecto al centro (μm)

Figura 2

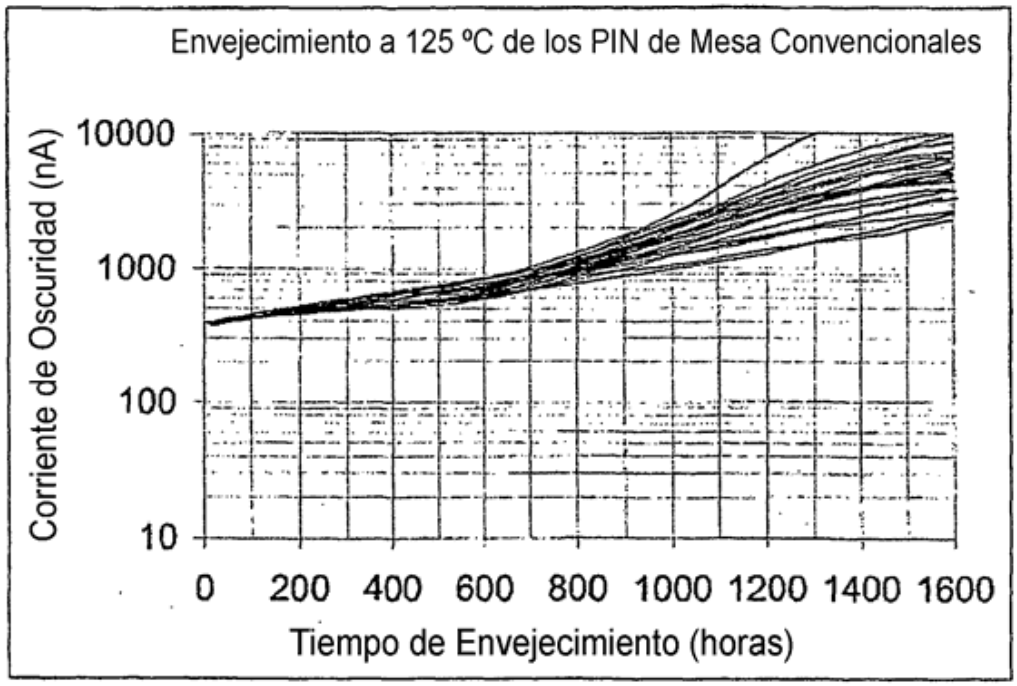
Envejecimiento a 125 ºC de los PIN de Mesa Convencionales
Corriente de Oscuridad (nA)
10000
1000
100
10
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
Tiempo de Envejecimiento (horas)

Figura 3

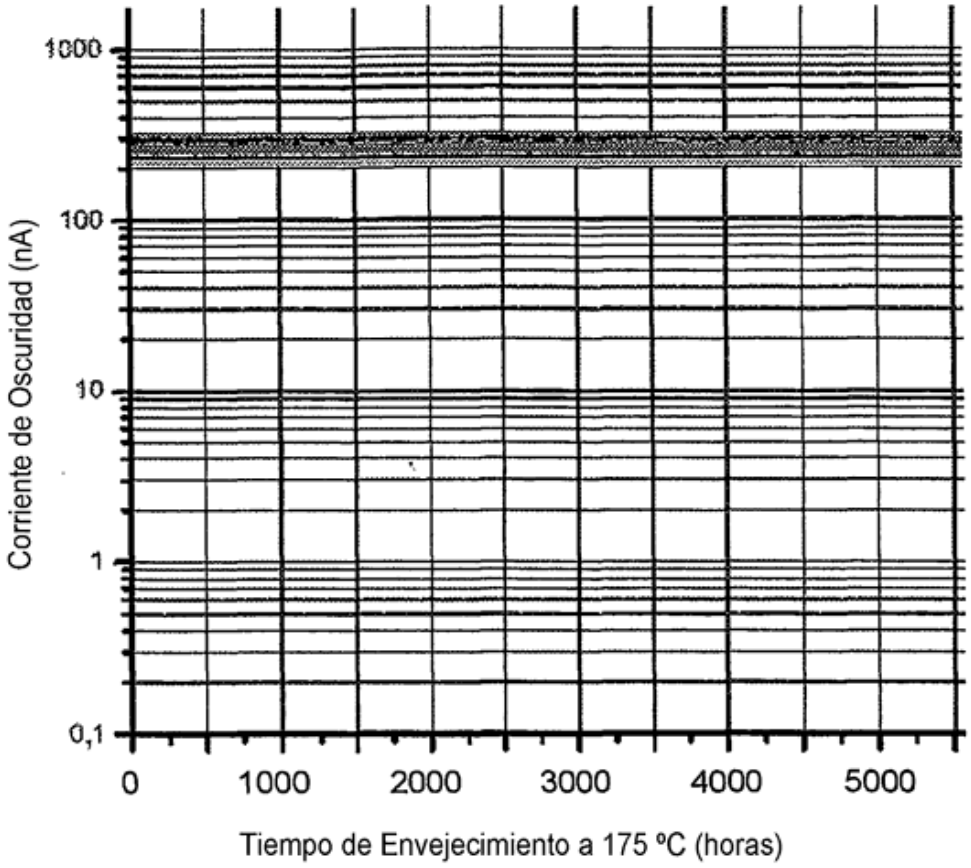
1000
100
10
1
0,1
Corriente de Oscuridad (nA)
0
1000
2000
3000
4000
5000
Tiempo de Envejecimiento a 175 ºC (horas)

Figura 4

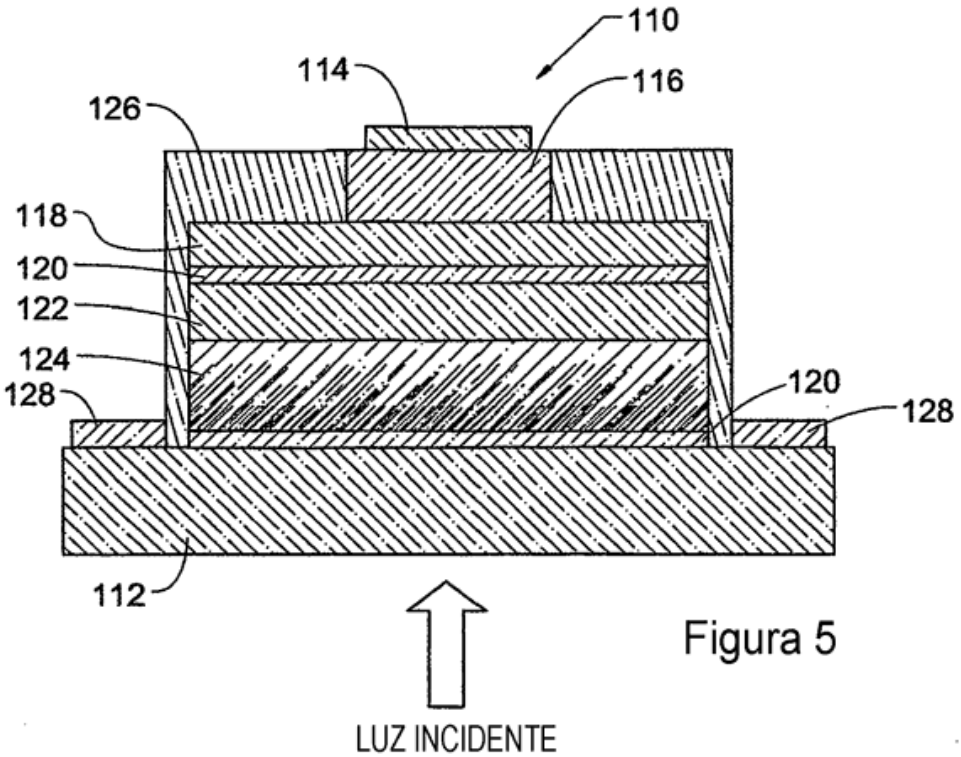

Figura 5