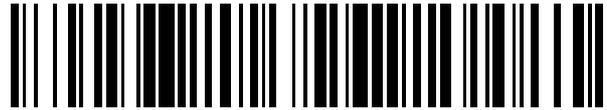


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 168**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/0216 (2014.01)

H01L 31/028 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2004 E 04447115 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 1475844**

54 Título: **Célula solar de germanio y método de producción de la misma**

30 Prioridad:

07.05.2003 US 468752 P

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

29.05.2018

73 Titular/es:

**IMEC VZW (50.0%)
Kapeldreef 75
3001 Leuven, BE y
UMICORE N.V (50.0%)**

72 Inventor/es:

**POSTHUMA, NIELS;
FLAMAND, GIOVANNI y
POORTMANS, JEF**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 670 168 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

Célula solar de germanio y método de producción de la misma

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de las células solares de germanio, de las células fotovoltaicas de germanio y de los fotodetectores de germanio.

10 Estado de la técnica

Se están investigando uniones cuádruples para obtener células solares que convierten la energía con eficiencias de hasta un 40 por ciento. Realizar tales células es relevante, por ejemplo, para aplicaciones espaciales, porque el peso total del conjunto y, por lo tanto, el coste de lanzamiento pueden reducirse aumentando la eficiencia de conversión de la energía. En las aplicaciones terrestres, el uso de tales células resulta en una disminución de la cantidad total de coste por vatio si se concentra la luz solar.

Actualmente, varias compañías están fabricando células de doble y triple unión utilizando células apiladas monolíticamente, donde el germanio se utiliza como material de sustrato y como capa activa. Realizar células de cuatro uniones apiladas monolíticamente y optimizar el ajuste de corriente para obtener una conversión de alta energía al final de la vida útil (EOL) es bastante complejo, considerando que las distintas uniones se degradan a una velocidad diferente.

Para disminuir la necesidad del ajuste de corriente, es interesante estudiar la posibilidad de apilar mecánicamente las células. Un apilamiento de cuatro terminales que consiste en una célula superior de dos uniones junto con una célula inferior separada es un buen compromiso entre la complejidad de la interconexión y la complejidad del crecimiento. El germanio es un material adecuado para realizar esta célula inferior debido a su reducida anchura de banda de energía, a su bajo peso y a un coste de sustrato relativamente bajo.

Se puede usar una célula de germanio independiente como una célula inferior como parte de una célula solar multiunión de alta eficiencia. Además, una célula de germanio es, en sí misma, una opción interesante para usar como receptor en un sistema termofotovoltaico (TPV), donde se usa para convertir la radiación específica de una fuente de calor. El uso de germanio en un sistema TPV es especialmente interesante debido a su coste de sustrato relativamente bajo en comparación con otros semiconductores de anchura de banda reducida como el GaSb. Con el fin de hacer que la aplicación de la célula solar de germanio en un sistema TPV sea factible, también será esencial mantener los costes de procesamiento en sus mínimos.

El principal problema de las células de germanio realizadas en la actualidad es la necesidad de una buena pasivación de la parte anterior y posterior. Una buena pasivación de la parte anterior es especialmente crítica en las células de germanio, puesto que Ge tiene un coeficiente de absorción bastante alto que hace que la luz se absorba cerca de la superficie y, por lo tanto, hace que el dispositivo sea extremadamente sensible a la recombinación en la superficie. La pasivación superficial puede realizarse aplicando un determinado material sobre la superficie, que llena los enlaces libres y reduce de este modo la cantidad de centros de recombinación en esta superficie. Por ejemplo, pueden usarse materiales como el óxido de silicio, el nitruro de silicio o los semiconductores amorfos. Estas capas pueden aplicarse mediante técnicas como la deposición química de vapor (CVD) o la pulverización catódica. Dependiendo del método elegido pueden obtenerse diferencias significativas en las propiedades de material y en el comportamiento de pasivación. Especialmente importante con respecto a la pasivación son la cantidad de hidrógeno en la capa y el daño a la superficie que se causa mediante la técnica de deposición.

En P.N Luke y col., "Germanium Orthogonal Strip detectors with Amorphous-Semiconductor contacts", Acta de la Conferencia del Simposio de Ciencia Nuclear IEEE de 1999 en Seattle, WA, 25-28 de octubre de 1999, una capa de contacto de germanio amorfo con un espesor de 100 nm se aplica por pulverización catódica sobre la superficie de un detector de germanio. La capa de semiconductor amorfo funciona como una unión de bloqueo y actúa como un recubrimiento de pasivación para la superficie de germanio. No se trata el suministro de contactos que se requiere para las células solares.

No es obvia la formación de contactos después de la pasivación de la parte anterior de una célula solar de germanio. Las propiedades del sustrato de germanio y posiblemente de la capa de pasivación no deberían alterarse significativamente durante este proceso, lo que limita las condiciones del proceso como, por ejemplo, temperaturas de procesamiento (preferiblemente mantenidas por debajo de 300 °C).

El documento EP-A-374244 se refiere a un método de fabricación de una célula solar a partir de un sustrato de silicio en el que se aplica una capa de pasivación que consiste en nitruro de silicio, después de lo cual se crean contactos aplicando una pasta que contiene plata sobre la capa de pasivación e "introduciendo a temperatura elevada" los contactos, es decir, sometiendo el sustrato a una etapa de difusión, de manera que las partículas de plata penetran en la capa de nitruro de silicio y hacen contacto con el sustrato. Sin embargo, las condiciones del proceso y los materiales elegidos para este proceso son inadecuados para un sustrato de germanio.

5 El documento US-4.589.006 se refiere a un dispositivo semiconductor cristalino provisto de pasivación mediante un recubrimiento de la superficie de material semiconductor amorfo hidrogenado aplicado por pulverización catódica. Las superficies previstas para llevar los contactos se protegen de la pasivación. Por lo tanto, no se necesita una etapa de difusión para asegurar un camino conductor entre los contactos y el sustrato. Esta solución es difícil de aplicar cuando la geometría de los contactos es compleja, como es el caso de la mayoría de los dispositivos fotovoltaicos.

Objetivos de la invención

10 La presente invención pretende proporcionar un método novedoso de pasivación y contacto de una superficie de germanio. Preferiblemente, la superficie de germanio es una superficie de una célula solar de germanio, una célula termofotovoltaica de germanio o un fotodetector de germanio. Puede ser, por ejemplo, la superficie anterior o posterior de la célula solar.

15 Otro objetivo de la invención es proporcionar una célula solar de germanio novedosa altamente eficiente y un método de producción de tal célula.

Sumario de la invención

20 La invención se refiere a un método y a dispositivos según las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

25 La Fig. 1 ilustra una realización de la presente invención donde se produce una célula solar de germanio, que se pasiva mediante el método según la presente invención.

Las Figs. 2 y 3 ilustran el comportamiento de una célula solar según una realización preferida de la presente invención.

30 La Fig. 3 ilustra la eficiencia cuántica interna, la eficiencia cuántica externa y la reflectancia de una célula solar creada mediante una realización preferida de la presente invención, como una función de la longitud de onda de la luz entrante.

La Fig. 4 muestra los resultados de la simulación donde el espesor del emisor y las velocidades de recombinación de superficie se han variado,

35 En la Fig. 5 se representa la vida útil del vehículo en función de la duración del tiempo de exposición del sustrato al plasma H₂ durante la etapa de limpieza preliminar.

Descripción detallada de la invención

40 La presente invención describe un método novedoso de pasivación y contacto de una superficie de germanio. Preferiblemente, la superficie de germanio es una superficie de una célula solar de germanio.

El método según la presente invención comprende las etapas de:

45 a. proporcionar un sustrato de germanio con una primera superficie; esta superficie de germanio puede estar dopada o no dopada.

b. depositar una capa de pasivación de silicio amorfo sobre la superficie de germanio. De forma ventajosa, para esta etapa se utiliza la deposición química de vapor asistida por plasma (PECVD). Son posibles otras técnicas del estado de la técnica. Preferiblemente, el espesor de la capa es inferior a 500 nm. Más preferiblemente, el espesor de la capa es inferior a 300 nm. Aún más preferiblemente, el espesor de la capa está por debajo de 100 nm. Con máxima preferencia, el espesor de la capa está por debajo de 40 nm. De forma ventajosa para aplicaciones de células solares eficientes, el espesor de la capa está entre 10 y 50 nm, p. ej., 10 nm, 15 nm, 20 nm, 25 nm, 30 nm, 35 nm, 40 nm, 45 nm o 50 nm. Son críticos el tratamiento de limpieza anterior a la deposición, la composición del flujo de gas y la potencia de la RF aplicada para realizar el plasma. Preferiblemente, la PECVD se lleva a cabo a una temperatura de oblea entre 150 °C y 250 °C o 300 °C, p. ej., 150 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C, 200 °C, 210 °C, 220 °C, 230 °C, 240 °C, 250 °C, 275 °C, 300 °C. Una temperatura de deposición superior provoca una difusión externa del hidrógeno dentro del material, que posteriormente provoca propiedades de pasivación no tan buenas. Se logra una mejora de la calidad de la pasivación optimizando el espesor de la capa. Una capa demasiado delgada provoca propiedades de pasivación de peor calidad, mientras que una capa demasiado gruesa absorbe una parte más grande del espectro solar. Para la aplicación en una célula solar apilada mecánicamente, o en una célula TPV, las restricciones con respecto al espesor son menos estrictas, ya que en estas aplicaciones la parte del espectro que utiliza la célula de germanio no se absorberá en la capa de silicio amorfo.

50

55

60

c. depositar una capa de metal con un diseño sobre la capa de silicio amorfo. Esto puede hacerse mediante cualquier técnica del estado de la técnica. Preferiblemente, el metal es un metal altamente conductor, tal como Ag o Au. Esta etapa puede comprender diferentes subetapas. Esta capa puede tener un diseño que forma una rejilla de contacto.

- 5 d. "introducción a temperatura elevada", es decir, difusión del metal a través de la capa de silicio amorfo aplicando una etapa de difusión a una temperatura dada, de manera que se contacte la superficie de germanio. La etapa de difusión debería elegirse de manera que pueda controlarse el proceso.

10 El efecto de la difusión es que las partículas de metal de la capa de contacto penetren en la capa de pasivación de silicio amorfo para formar un camino conductor entre el contacto y el sustrato de Ge. La resistividad de contacto resultante es preferiblemente inferior a $5 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, más preferiblemente, inferior a $10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, con máxima preferencia, inferior a $10^{-5} \Omega \text{cm}^2$. La temperatura de difusión está entre 150 y 300 °C, por ejemplo, 250 °C. Más preferiblemente se utiliza una temperatura entre 160 y 220 °C. El tiempo de difusión está entre 5 min y 60 min. El tiempo de difusión óptimo cambiará dependiendo del espesor de la capa de pasivación. La atmósfera de difusión es preferiblemente un gas protector, tal como (N₂ + H₂ (10 %)).

15 El método de la invención puede usarse para la producción de una célula solar de germanio. En este caso, el método comprende las etapas (Fig. 1):

- 20 1. Proporcionar un sustrato (1) de germanio de tipo p (o de forma alternativa, de tipo n).

25 2. (Fig. 1; A) Formación del emisor (región n⁺, 2) en el sustrato de germanio de tipo p mediante difusión utilizando una fuente (3) de dopante de centrifugación (SOD, preferiblemente, que comprenda fósforo (P), p. ej., PH₃). Una alternativa posible es la situación inversa con un emisor p⁺ en el sustrato de tipo n. Los parámetros más relevantes son el tiempo de difusión, la temperatura de difusión, la atmósfera de difusión y el contenido de fósforo de la SOD. La temperatura de difusión está preferiblemente entre 500 y 700 °C. Más preferiblemente, se utiliza una temperatura de aproximadamente 600 °C. El tiempo de difusión está preferiblemente entre 10 segundos y 20 minutos. Más preferiblemente, se utiliza un tiempo de difusión de aproximadamente 30 segundos. La atmósfera de difusión es preferiblemente un gas protector como N₂+H₂ (10 %). Después de la difusión, se elimina el material de centrifugado utilizando una solución de HF.

30 3. (Fig. 1, B) Aplicación del contacto posterior (4) y realización del campo superficial posterior (BSF) utilizando preferiblemente aluminio aplicado por evaporación. Posteriormente, el Al se difunde en el sustrato aplicando una etapa de temperatura en el gas protector (preferiblemente, N₂+H₂(10 %)) para crear una zona p⁺ que sirva como campo (5) superficial posterior (BSF). Preferiblemente se evapora una capa de aluminio de aproximadamente 1 μm de espesor. La temperatura de difusión está preferiblemente entre 350 y 600 °C. El tiempo de difusión está preferiblemente entre 10 minutos y 60 minutos. La atmósfera de difusión es preferiblemente un gas protector como N₂+H₂ (10 %).

- 35 4. (Fig. 1, C) Definición del área de la célula solar por grabado químico de las estructuras MESA.

40 5. (Fig. 1, D) Pasivación de la parte anterior aplicando una capa (6) muy fina de silicio amorfo hidrogenado intrínseco (Si:H) usando deposición química de vapor asistida por plasma (PECVD). Preferiblemente, la superficie se prepara aplicando un plasma H₂, dentro de la cámara de deposición, realizado justo antes de la deposición del silicio amorfo. Preferiblemente, la potencia de RF aplicada es inferior a 50 vatios. Más preferiblemente, la energía es inferior a 15 vatios. El tiempo de exposición es preferiblemente inferior a 2 minutos; más preferiblemente el tiempo de exposición puede elegirse entre 30 y 45 segundos. Preferiblemente el espesor de la capa es inferior a 100 nm. Más preferiblemente puede elegirse un espesor inferior a 40 nm o 50 nm. Para aplicaciones de células solares, un espesor de 10 a 40 o 50 nm puede ser ventajoso. Las capas más gruesas absorben demasiada luz, lo que puede ser desventajoso cuando una alta eficiencia de una célula solar es importante. La composición de flujo de gas y la potencia de RF aplicada para realizar el plasma son críticos. Preferiblemente el PECVD se lleva a cabo a una temperatura de oblea de entre 150 y 250 °C. Preferiblemente el plasma está entre 6 y 20 vatios. Preferiblemente, la composición de gas comprende de 20 a 100 cm³/min de SiH₄ y de 0 a 600 cm³/min de H₂.

- 50 6. Aplicación del contacto anterior mediante:

55 i. Evaporación del metal, preferiblemente, de la estructura de contacto de plata (Ag) u oro (Au) (Fig. 1, E), usando preferiblemente la técnica de "lift-off" para definir el diseño de dedo (Fig. 1-F, 7). Por ejemplo, se puede usar una capa de metal de aproximadamente 2 μm de espesor.

60 ii. Etapa de difusión, (Fig. 1, G) es decir, introducción a temperatura elevada de los contactos aplicados de metal a través de la capa de silicio amorfo (difusión del metal a través de la capa de silicio amorfo pasivado) para obtener un buen contacto con el emisor n⁺ de germanio. El tiempo y la temperatura de difusión son críticos. La temperatura de difusión está entre 150 y 300 °C, por ejemplo, 250 °C. Más preferiblemente se utiliza una temperatura entre 160 y 220 °C. El tiempo de difusión está entre 5 min y 60 min. El tiempo de difusión óptimo cambiará dependiendo del espesor de la capa de pasivación. La atmósfera de difusión es preferiblemente un gas protector, tal como (N₂ + H₂ (10 %)).

- 65 7. (Fig. 1-H) Evaporación del recubrimiento antirreflectante (8) utilizando preferiblemente sulfuro de cinc (ZnS) y fluoruro de magnesio (MgF₂).

Descripción de una realización preferida de la invención

Una realización preferida del método según la presente invención para la producción de una célula solar de germanio comprende las etapas (Fig. 1):

1. Proporcionar un sustrato (1) de germanio de tipo p.

2. (Fig. 1, A) Formación del emisor (región n^+ , 2) en el sustrato de germanio de tipo p mediante difusión utilizando una fuente (3) de dopante de centrifugación (PH_3). Se utilizó una temperatura de difusión de 600 °C y un tiempo de difusión de 30 segundos. La atmósfera de difusión era un gas protector, N_2+H_2 (10 %).

3. (Fig. 1, B) Aplicación del contacto posterior (4) y realización del campo (5) superficial posterior (BSF), utilizando aluminio 10 aplicado por evaporación. Posteriormente, el Al se difunde en el sustrato aplicando una etapa de temperatura en el gas protector ($N_2+H_2(100\%)$) para crear una zona p^+ que sirve como campo (5) superficial posterior (BSF). Se evaporó una capa de aluminio de 1 μm de espesor. La temperatura de difusión estaba entre 350 y 600 °C. El tiempo de difusión está entre 10 minutos y 60 minutos. La atmósfera de difusión es un gas protector N_2+H_2 (10 %).

4. (Fig. 1, C) Definición del área de la célula solar por grabado químico de las estructuras MESA.

5. (Fig. 1, D) Pasivación de la parte anterior aplicando una capa (6) muy fina de silicio amorfo hidrogenado intrínseco (Si:H) usando deposición química de vapor asistida por plasma (PECVD) a una temperatura de sustrato de 170 °C. Se depositó una capa con un espesor de 10 nm. La potencia del plasma estaba entre 6 y 20 vatios. La composición del gas estuvo comprendida entre 20 y 100 cm^3/min de SiH_4 y entre 0 y 600 cm^3/min de H_2 .

6. Aplicación del contacto anterior mediante:

i. Evaporación de la estructura de contacto de plata (Ag) (Fig. 1, E), usando la técnica de “lift-off” para definir el diseño de dedo (Fig. 1-F,7). La técnica de “lift-off” comprendió depositar selectivamente una capa protectora sobre la capa de silicio amorfo antes de la deposición de Ag. Después de la siguiente deposición de Ag, se retira la capa protectora, junto con la Ag depositada en la capa protectora, de manera que solo el área en la que no se había aplicado capa protectora permanece cubierta con Ag. Se utilizó una capa de plata de 2 μm de grosor.

ii. (Fig. 1, G) introducción a temperatura elevada de los contactos de Ag aplicados a través de la capa de silicio amorfo (difusión de plata a través de la capa de silicio amorfo pasivado) para obtener un buen contacto con el emisor n^+ de germanio. El tiempo y la temperatura de difusión son críticos. Se utilizó una temperatura de difusión de 250 °C y un tiempo de difusión de aproximadamente 20 minutos. La atmósfera de difusión es un gas protector ($N_2 + H_2$ (10 %)).

7. (Fig. 1, H) Evaporación del recubrimiento antirreflectante (8) usando sulfuro de cinc (ZnS) y fluoruro de magnesio (MgF_2).

Las Figs. 2 y 3 ilustran el comportamiento de una célula solar según una realización preferida de la presente invención. Como se muestra en la tensión de corriente característica mostrada en la Fig. 2, la corriente (J_{SC}) de cortocircuito es igual a 45,8 mA/cm^2 , la tensión Voc de circuito abierto es igual a 245 mV y se concluyó que el factor (FF) de relleno era de 59,6 %. Se midió una eficiencia de AM1.5 de 6,7 %.

La Fig. 3 ilustra la eficiencia cuántica interna, la eficiencia cuántica externa y la reflectancia de una célula solar creada mediante una realización preferida de la presente invención, en función de la longitud de onda de la luz entrante.

El espesor del emisor y la técnica de pasivación de la superficie aplicada son importantes para la realización de la célula de germanio con eficiencias como las mostradas por la célula realizada mediante la aplicación de la realización preferida. La Figura 4 muestra resultados de simulación donde el espesor del emisor y las velocidades de recombinación de superficie han variado, la célula 1 tiene una velocidad ($S_{anterior}$) simulada de recombinación de superficie anterior de 70000 cm/s y la célula 2 tiene una $S_{anterior}$ igual a 50 cm/s . Con la disminución de la profundidad del emisor y la disminución de la velocidad de recombinación en la superficie anterior se mejora la respuesta de la célula.

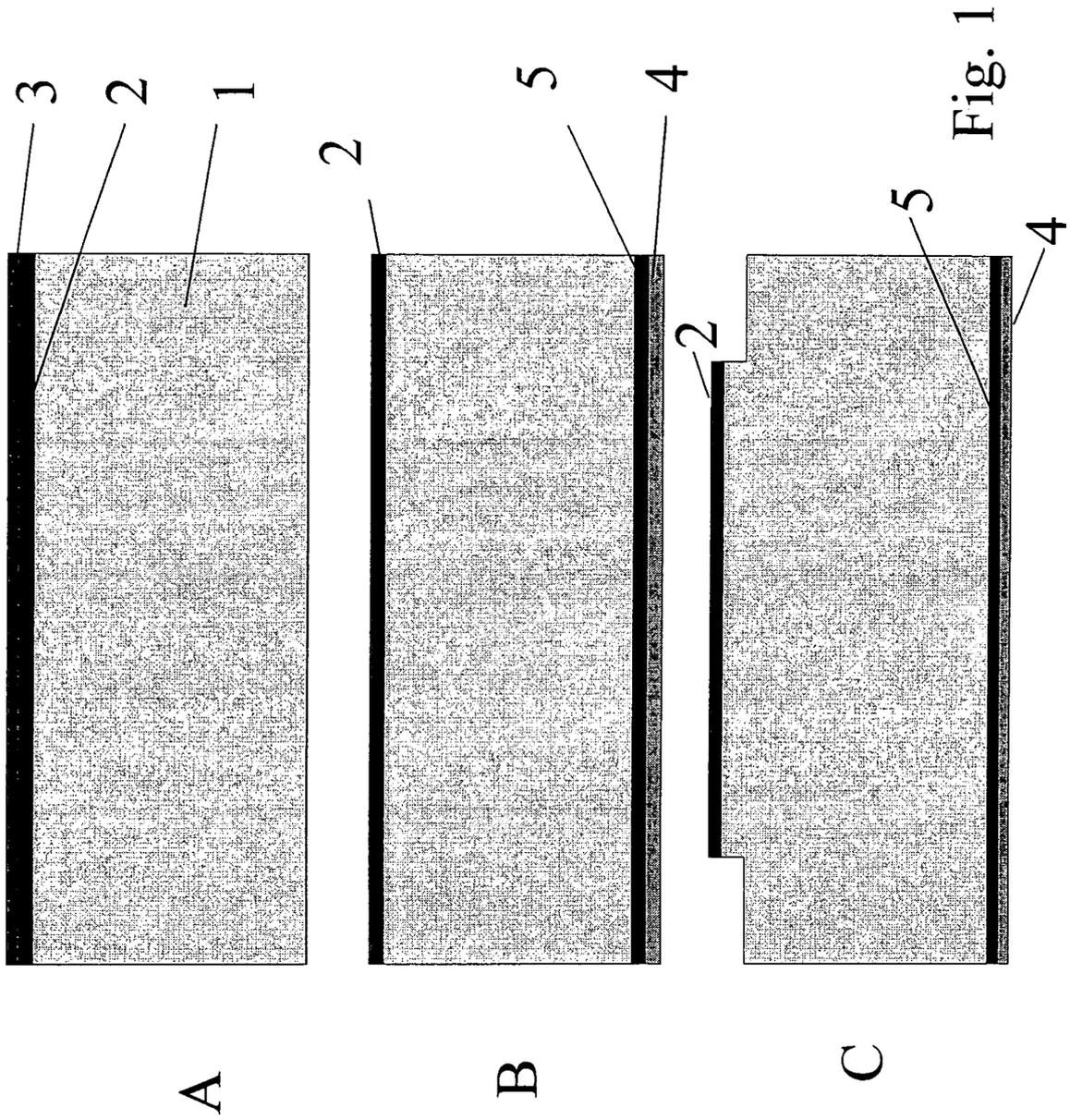
La calidad de la capa de pasivación se ve fuertemente afectada por el tratamiento de limpieza anterior a la deposición. Por ejemplo, puede utilizarse un plasma H_2 para preparar la superficie. En la Fig. 5, la vida útil efectiva medida del vehículo minoritario se representa en función de la duración del tiempo de exposición del sustrato al plasma H_2 durante la etapa de limpieza preliminar. La cantidad de exposición juega un papel importante en la optimización de la eficiencia de la célula solar.

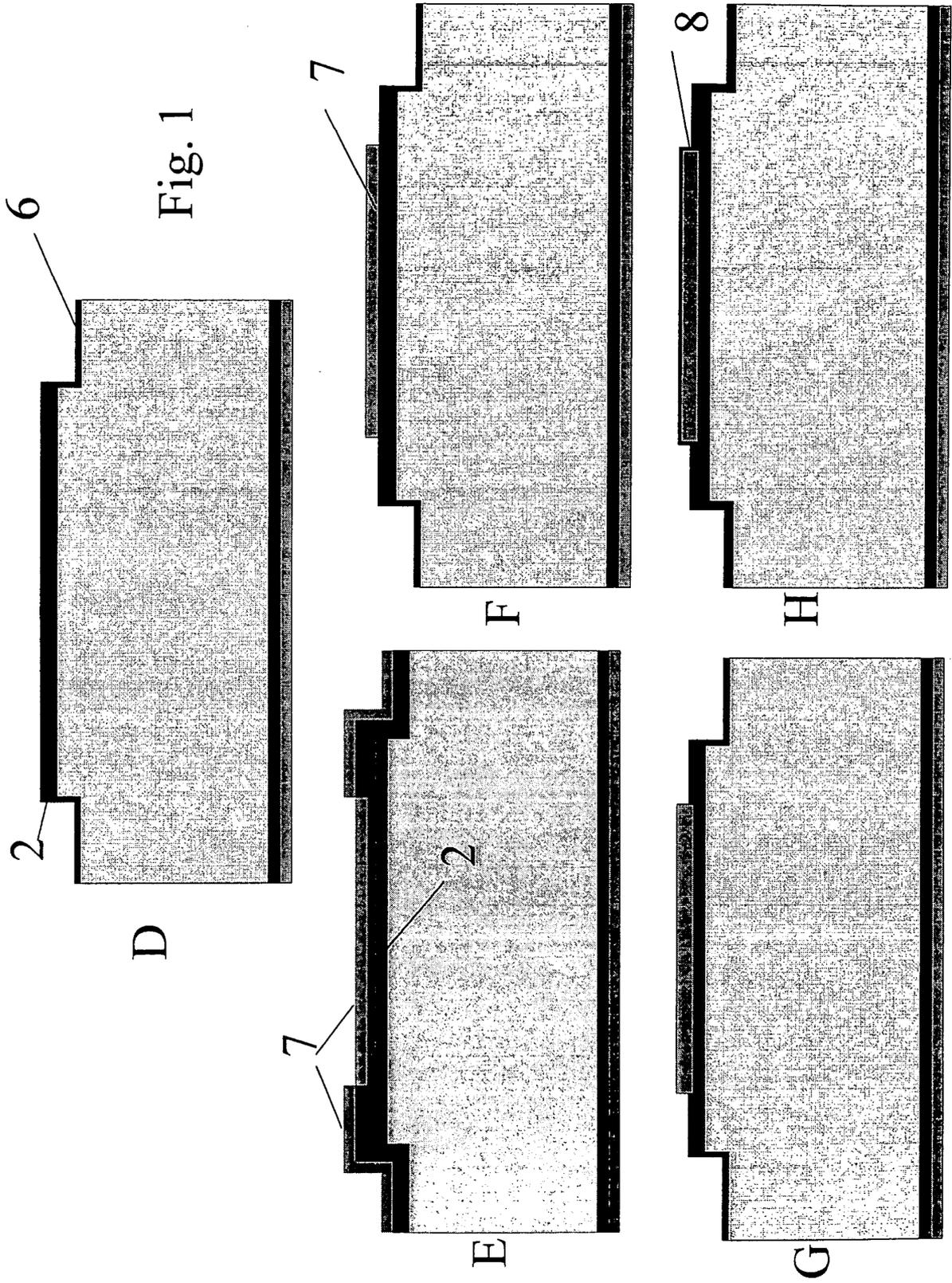
REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Método para la pasivación y el contacto de una superficie de un sustrato (1) de germanio, que comprende las etapas de;
 - proporcionar dicho sustrato (1) de germanio con una primera superficie;
 - producir una capa (6) de pasivación de silicio amorfo hidrogenado intrínseco en dicha primera superficie;
 - producir una capa (7) de contacto de metal sobre dicha capa de pasivación;
 - 10 - aplicar una etapa de difusión, en donde dicha etapa de difusión se lleva a cabo a una temperatura entre 150 °C y 300 °C y el tiempo de difusión está entre 5 y 60 minutos, de manera que dicha superficie de germanio se pone en contacto con dicha capa (7) de contacto, a través de dicha capa de pasivación.
- 15 **2.** El método según la reivindicación 1, en donde dicha etapa de difusión se lleva a cabo a una temperatura entre 160 y 220 °C.
- 3.** El método según la reivindicación 1 o 2, que además comprende una etapa de limpieza de dicha superficie de germanio antes de la etapa de producción de dicha capa de pasivación, comprendiendo dicha etapa de limpieza una etapa de aplicar un H₂ que contiene plasma a dicha superficie de germanio.
- 20 **4.** El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dicha etapa de producción de dicha capa de pasivación se lleva a cabo mediante deposición química de vapor asistida por plasma.
- 25 **5.** El método según la reivindicación 4, en donde dicha etapa de PECVD se realiza a temperaturas entre 150 y 300 °C.
- 6.** El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dicha capa de pasivación tiene un espesor inferior a 100 nm.
- 30 **7.** El método según la reivindicación 6, en donde dicha capa de pasivación tiene un espesor inferior a 40 nm.
- 8.** El método según la reivindicación 6, en donde dicha capa de pasivación tiene un espesor comprendido entre 10 nm y 50 nm.
- 35 **9.** El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde dicha superficie de germanio es una superficie de una célula solar de germanio.
- 10.** El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde dicha capa (7) de contacto comprende Ag o Au.
- 40 **11.** El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde dicha capa (7) de contacto es diseñada para formar una rejilla de contacto.
- 45 **12.** El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para la producción de un dispositivo fotovoltaico de germanio, que además comprende las siguientes etapas, llevándose a cabo dichas etapas antes de la etapa de producción de una capa (6) de pasivación de silicio amorfo hidrogenado intrínseco sobre dicha primera superficie:
 - 50 - producir un área de emisor (2) en dicho sustrato (1) de germanio sobre dicha primera superficie,
 - producir un contacto posterior (4) sobre una segunda superficie de dicho sustrato (1) de germanio y realizar un campo (5) superficial posterior,
 - Definir las áreas de célula fotovoltaica mediante grabado químico de estructuras MESA.
- 55 **13.** El método según la reivindicación 12, que además comprende la etapa de producir un recubrimiento antirreflectante (8) sobre las partes expuestas de dicha capa de pasivación y dicha capa (7) de contacto, llevándose a cabo dicha etapa después de la etapa de aplicar una etapa de difusión.
- 60 **14.** Un sustrato de germanio pasivado y contactado, que comprende
 - un sustrato (1) de germanio que comprende una primera superficie;
 - una capa (6) de pasivación de silicio amorfo hidrogenado intrínseco depositado por PECVD sobre dicha primera superficie;
 - 65 - una capa de contacto de metal sobre dicha capa de pasivación, en contacto con dicho sustrato a través de dicha capa de pasivación, mediante partículas de dicho metal que han penetrado en dicha

capa de pasivación y que de este modo han formado un camino conductor entre dicha capa de contacto y dicho sustrato (1) de germanio.

- 5
15. El sustrato de germanio pasivado y contactado según la reivindicación 14, en donde dicha capa de pasivación tiene un espesor comprendido entre 10 y 50 nm.
 16. Uso del sustrato de germanio pasivado y contactado según la reivindicación 14 o 15 en un dispositivo fotovoltaico.





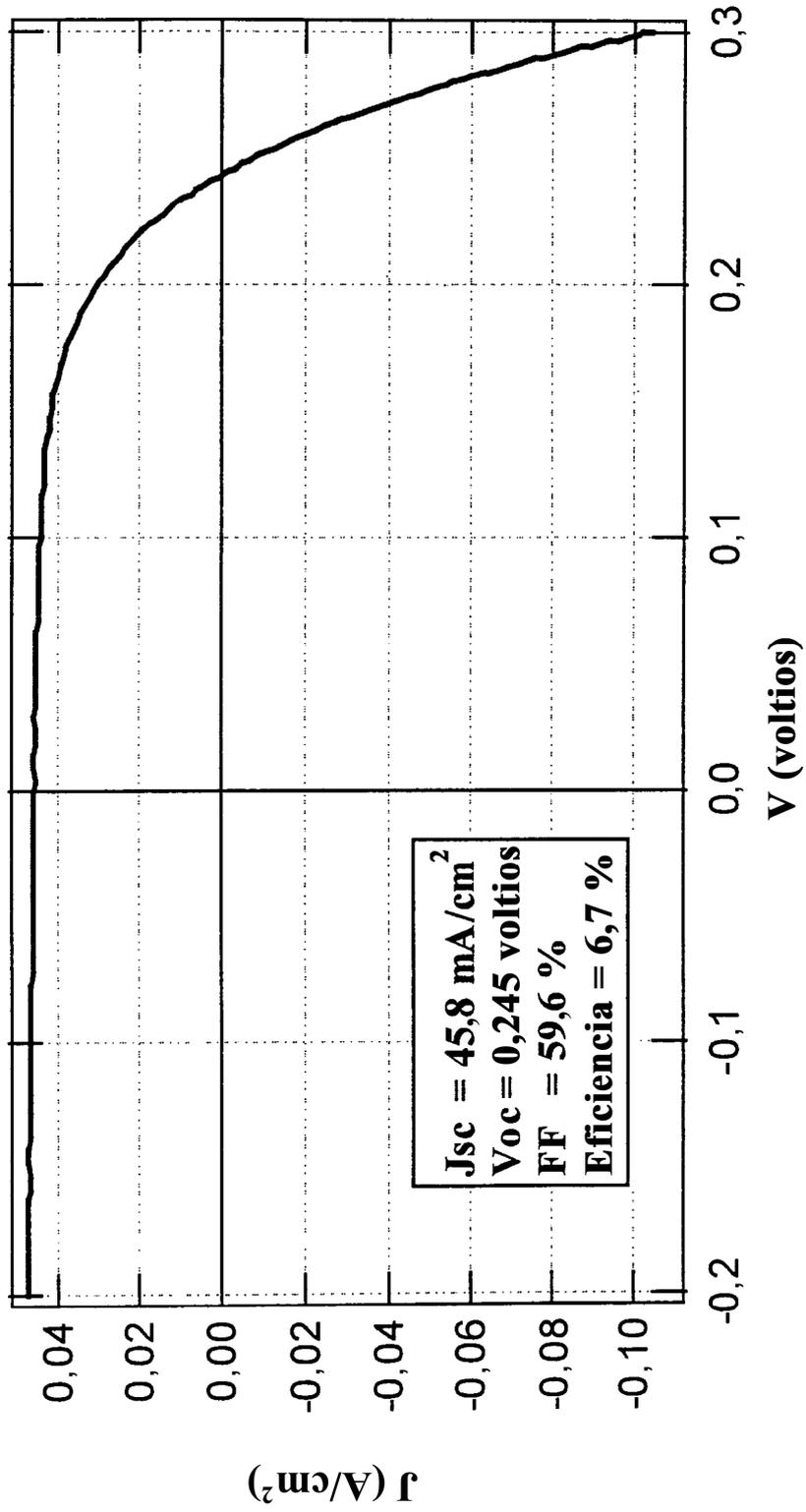
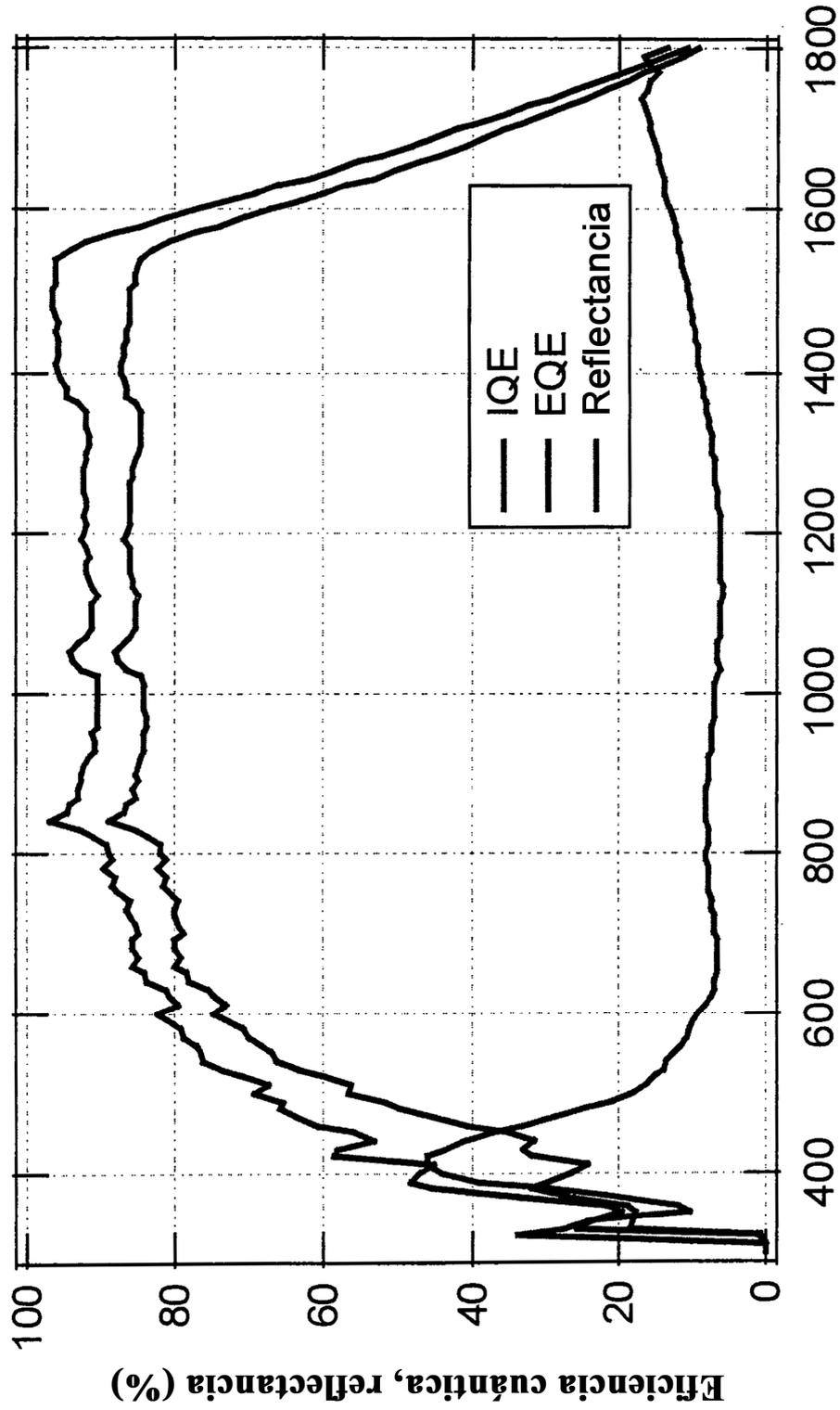
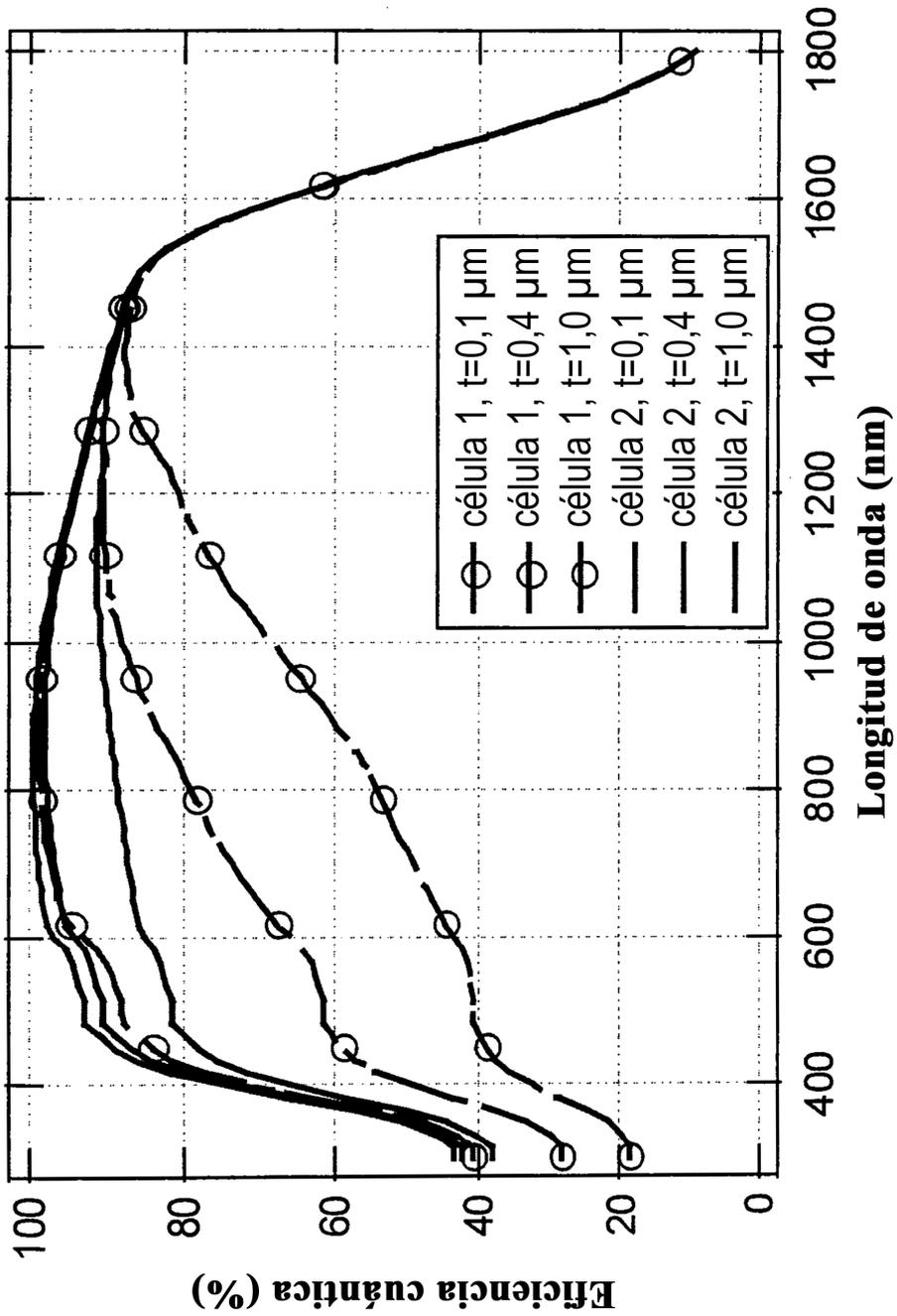


Fig. 2



Longitud de onda (nm) Fig. 3



Célula 1: $S_{\text{anterior}} = 70000 \text{ cm/s}$
 Célula 2: $S_{\text{anterior}} = 50 \text{ cm/s}$

Fig. 4

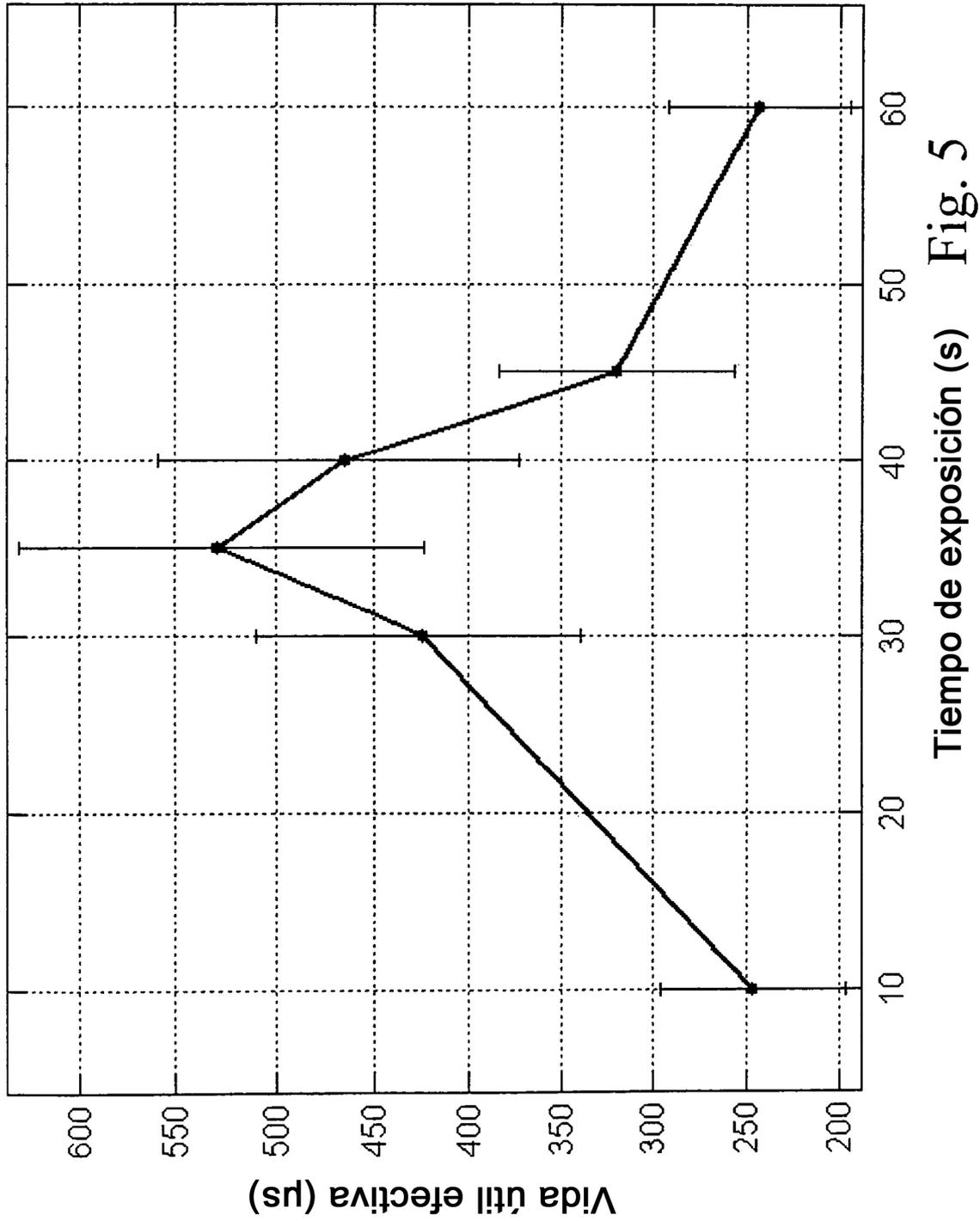


Fig. 5