

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 007**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/068 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2013** **E 13717213 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016** **EP 2834857**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera**

30 Prioridad:

03.04.2012 FR 1253058

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

13.05.2016

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

GALL, SAMUEL

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 570 007 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

Procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera.

10 **Antecedentes de la invención**

Las células fotovoltaicas con contactos interdigitados en la cara trasera ("Interdigitated Back Contact" (IBC) según la terminología anglosajona) son unas células prometedoras debido al rendimiento elevado que proporcionan.

15 Unas células de este tipo comprenden un sustrato de silicio dopado recubierto en su cara delantera (es decir, la cara expuesta a la radiación solar) de una capa semi-conductora dopada del mismo tipo eléctrico que el sustrato para formar un campo eléctrico repulsivo ("Front Surface Field" (FSF) según la terminología anglosajona) en la cara delantera, de manera que repela los portadores de carga lejos de la superficie.

20 En la cara trasera, el sustrato está recubierto de una capa semi-conductora que presenta una región dopada de tipo eléctrico opuesto al del sustrato para formar la zona emisora y asegurar la recogida de los fotoportadores generados por la iluminación de la célula y una región dopada del mismo tipo eléctrico que el sustrato para formar un campo eléctrico repulsivo ("Back Surface Field" (BSF) según la terminología anglosajona) en la cara trasera.

25 Estas dos regiones de la cara trasera se presentan generalmente en forma de dos peines interdigitados.

Sobre las caras delantera y trasera de la célula se forman unas capas de pasivación.

30 Por otro lado, se forman unos contactos metálicos sobre cada una de las dos regiones de la cara trasera para asegurar la recogida de las cargas.

Unas estructuras de este tipo son muy eficaces en términos de rendimiento debido a la ausencia de sombreado en la cara delantera (estando las líneas metálicas de contacto únicamente en la cara trasera) y a una reducción de la recombinación en la cara delantera gracias a la presencia de la región que proporciona el campo repulsivo FSF.

35 El fabricante Sunpower ha demostrado así que el rendimiento obtenido por unas células de este tipo podía alcanzar el 25%.

Por el contrario, la fabricación de dichas células es compleja y costosa ya que necesita numerosas etapas.

40 La figura 1 ilustra un ejemplo de célula fotovoltaica de tipo IBC.

Esta célula presenta un sustrato 1 de silicio que, en este ejemplo, es de tipo n.

45 El sustrato 1 está recubierto en su cara delantera F de una capa semi-conductora 2 dopada n+ que forma el campo repulsivo FSF.

De manera preferida, dicha capa 2 está formada por difusión a alta temperatura de POCl_3 en la superficie del sustrato 1 de silicio.

50 A continuación, la capa 2 se recubre de una capa de pasivación 3, que presenta también unas propiedades antirreflejos, a base de nitruro de silicio (SiN_x).

Una capa de este tipo se deposita, por ejemplo, por depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD).

55 En la cara trasera B del sustrato 1, una región 4 de tipo p+ que constituye el emisor, se forma por difusión a alta temperatura de BBr_3 en el sustrato 1 de silicio según un motivo de peine.

60 Por otra parte, una región 5 de tipo n+ se forma por difusión a alta temperatura de POCl_3 en el sustrato 1 de silicio según un motivo de peine complementario del motivo de la región 4.

Un apilamiento de capas de óxido y de nitruro de silicio ($\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$) representado esquemáticamente en forma de una capa 6, se deposita después sobre el conjunto de la cara trasera para asegurar la pasivación de las regiones dopadas.

65 Unas líneas metálicas 7, 8 son depositadas a continuación por serigrafía sobre la cara trasera, con una pasta de

serigrafía a base de Ag sobre las regiones n+ y una pasta a base de Ag/Al sobre las regiones p+.

Según un modo de realización, la fabricación de las regiones p+ y n+ 4 y 5 interdigitadas requiere unas etapas de depósito de barreras de difusión, de grabado localizado de dichas barreras mediante unas técnicas de fotolitografía, seguidas de la difusión de BBr₃ y de POCl₃ para formar las regiones p+ y n+.

Según otro modo de realización, la fabricación de las regiones p+ y n+ y 5 implica unas etapas de depósito de capas dopantes que contienen o bien boro, o bien fósforo, que son retiradas selectivamente antes del calentamiento del sustrato para hacer difundir el dopante en el sustrato 4 de silicio y formar así las regiones p+ y n+.

El documento WO 2011/072153 A2 describe un procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera que comprende el suministro de un sustrato de silicio dopado; la formación en la cara trasera del sustrato de una capa semi-conductora dopada con una primera especie de dopantes; la formación, sobre la capa semiconductor dopada, de una capa dopante que comprende una segunda especie de dopantes, de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie; y la formación, en la capa semiconductor dopada, de una región dopada de tipo opuesto al de la primera especie, por irradiación selectiva de una región de la capa dopante por un flujo luminoso que provoca la difusión de los dopantes de la región irradiada de la capa dopante en la región subyacente de la capa semiconductor dopada de manera que exceda la concentración de la primera especie de dopantes.

Por otro lado, las regiones p+ y n+ deben estar aisladas eléctricamente las unas de las otras para evitar cualquier riesgo de cortocircuito.

Este aislamiento eléctrico se puede realizar por ablación láser o conservando unas regiones de sustrato no dopado entre las regiones n+ y p+, a costa de etapas de depósito y de grabado suplementarias.

Por otro lado, se conoce a partir del documento US 2010/263722 A1 separar las regiones de dopaje opuesto por una región eléctricamente aislante a base de un material semiconductor amorfo intrínseco.

Debido a la complejidad de la fabricación de las regiones n+ y p+ en la cara trasera, el coste del kW obtenido mediante este tipo de células es elevado y poco competitivo con respecto a unas células fotovoltaicas más extendidas de tipo homounión, que proporcionan un menor rendimiento pero son sustancialmente menos costosas.

Para aumentar la cuota de mercado de las células de tipo IBC sería por lo tanto deseable poder fabricar las regiones n+ y p+ de la cara trasera mediante un procedimiento menos complejo y menos costoso que los procedimientos existentes.

Un objetivo de la invención es, por lo tanto, definir un procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera que sea más simple y menos costoso que los procedimientos existentes.

Breve descripción de la invención

De acuerdo con la invención, se propone un procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera, que comprende:

- proporcionar un sustrato de silicio dopado,
- la formación, sobre la cara trasera de dicho sustrato, de una capa semiconductor dopada con una primera especie de dopantes,
- la formación, sobre dicha capa semiconductor dopada, de una capa denominada dopante que comprende una segunda especie de dopantes, de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie,
- la formación, en la capa semiconductor dopada, de por lo menos una región dopada de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie, por irradiación selectiva de por lo menos una región de la capa dopante por un flujo luminoso cuya fluencia es superior a un umbral denominado "umbral de inversión de dopaje", más allá del cual los dopantes de la región irradiada de la capa dopante se difunden en la región subyacente de la capa semiconductor dopada de modo que se exceda la concentración de la primera especie de dopantes,
- la formación, en la capa semiconductor dopada, de por lo menos una región eléctricamente aislante, por irradiación selectiva de por lo menos una región de la capa dopante mediante un flujo luminoso cuya fluencia está comprendida en un intervalo denominado "intervalo de compensación del dopaje" inferior a dicho umbral de inversión de dopaje, para el cual los dopantes de la región irradiada de la capa dopante se difunden en la región subyacente de la capa semiconductor dopada de manera que se equilibren las concentraciones de las dos especies de dopantes en dicha región, estando dicha región eléctricamente aislante dispuesta de manera que separe una región de la capa dopada con la primera especie de por lo menos una región dopada

de tipo opuesto al de la primera especie.

Dicha irradiación selectiva se efectúa ventajosamente por la cara trasera del sustrato.

5 La capa semiconductor dopada puede estar formada por difusión a alta temperatura de un reactivo que contiene la primera especie de dopante por la cara trasera del sustrato.

La capa dopante puede ser una capa de nitruro de silicio dopada con la segunda especie de dopantes, depositada por depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD).

10 Según una forma de realización de la invención, la primera especie de dopantes es del mismo tipo eléctrico que el del sustrato.

Por ejemplo, el sustrato es dopado n y la primera especie de dopante es fósforo.

15 La capa semiconductor dopada puede estar formada por difusión a alta temperatura de POCl_3 por la cara trasera del sustrato.

La capa dopante puede ser una capa de nitruro de silicio dopada con boro.

20 Según otra forma de realización de la invención, la primera especie de dopantes es del tipo eléctrico opuesto al del sustrato.

Por ejemplo, el sustrato es dopado n y la primera especie de dopante es boro.

25 La capa semiconductor dopada puede estar formada por difusión a alta temperatura de BBr_3 o de BCl_3 por la cara trasera del sustrato.

La capa dopante puede ser una capa de nitruro de silicio dopada con fósforo.

30 De manera ventajosa, el grosor de la capa semiconductor dopada está comprendido entre 100 nm y 1 μm y el grosor de la capa dopante está comprendido entre 10 y 300 nm.

35 Antes de la formación de la capa dopante, se forma ventajosamente en la capa semiconductor dopada una capa de óxido de silicio.

Preferentemente, la o las irradiaciones selectivas se efectúan mediante un láser.

40 Por otro lado, el procedimiento comprende además la formación, en la cara delantera de dicho sustrato, de una capa semiconductor dopada del mismo tipo eléctrico que el sustrato, de manera que se forme un campo eléctrico repulsivo sobre dicha cara delantera.

Dicha capa de campo eléctrico repulsivo está formada preferentemente por difusión a alta temperatura de POCl_3 en el sustrato.

45 Otro objeto de la invención se refiere a una estructura que comprende un sustrato de silicio dopado, recubierto sucesivamente de una capa semiconductor dopada con una primera especie de dopantes y de una capa denominada dopante que comprende una segunda especie de dopantes, de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie, caracterizada por que la capa semi-conductora dopada comprende por lo menos una región dopada de tipo opuesto al de la primera especie, que comprende unos dopantes de la segunda especie en concentración superior a la de los dopantes de la primera especie, y una región eléctricamente aislante, que comprende unos dopantes de la segunda especie, en concentración equilibrada con la de los dopantes de la primera especie, estando dicha región eléctricamente aislante dispuesta de manera que separe una región de la capa dopada con la primera especie de por lo menos una región dopada de tipo opuesto al de la primera especie.

55 Por último, otro objeto de la invención se refiere a una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera, que comprende un sustrato de silicio dopado y, en la cara trasera de dicho sustrato, una alternancia, en forma de un peine interdigitado, de regiones dopadas p+ y de regiones dopadas n+, estando dicha célula caracterizada por que el conjunto de dichas regiones p+ y n+ presenta una concentración sustancialmente homogénea de dopantes de una misma especie, y por que dicha célula comprende además, en la cara trasera del sustrato, una pluralidad de regiones eléctricamente aislantes que separan las regiones dopadas p+ y las regiones dopadas n+, presentando dichas regiones eléctricamente aislantes una concentración en dopantes de dicha especie sustancialmente homogénea a la de las regiones dopadas p+ y de las regiones dopadas n+.

60

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán a partir de la descripción detallada siguiente, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 - la figura 1 ilustra la estructura de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera,
- las figuras 2A a 2C ilustran unas etapas del procedimiento según un modo de realización de la invención,
- 10 - la figura 3 presenta la evolución de la resistencia R_{sheet} de una capa inicialmente dopada con boro en función de la fluencia de irradiación por una fuente láser de una capa dopante de SiN(P) depositada sobre dicha capa dopada,
- la figura 4 presenta, para diferentes fluencias de irradiación, los perfiles de concentración de boro y de fósforo en dicha capa inicialmente dopada con boro,
- 15 - la figura 5 presenta la evolución de la resistencia R_{sheet} de una capa inicialmente dopada con fósforo en función de la fluencia de irradiación por una fuente láser de una capa dopante de SiN(B) depositada sobre dicha capa dopada,
- 20 - la figura 6 presenta, para diferentes fluencias de irradiación, los perfiles de concentración de boro y de fósforo en dicha capa inicialmente dopada con fósforo,
- las figuras 7A a 7C ilustran unas etapas de un ejemplo de realización de la invención.

25

Descripción detallada de la invención

Las etapas del procedimiento según un modo de realización de la invención se ilustran de manera esquemática en las figuras 2A a 2C.

30

En referencia a la figura 2A, se forma en un sustrato 1 de silicio dopado la capa 2 que forma el campo repulsivo FSF en la cara delantera y una capa dopada 10 en la cara trasera.

35

En el ejemplo, el sustrato es de tipo n pero podría, como variante, ser de tipo p.

El dopaje de este sustrato debe ventajosamente permitir obtener unos buenos tiempos de vida útil (tiempo entre la creación de los pares electrón/orificio y su recombinación), típicamente superior a 700 μ s, lo cual corresponde a unas resistividades comprendidas entre 14 y 22 ohm-cm.

40

Este sustrato se puede obtener mediante cualquier técnica de crecimiento conocida (por ejemplo de tipo float zone, o por estirado Czochralski, etc.).

45

La capa 2 está dopada con el mismo tipo eléctrico que el sustrato 1, pero con un nivel de dopaje más importante (n+ o n++).

La capa 2 presenta preferentemente una resistencia de tipo R_{Sheet} ("Sheet Resistance" según la terminología anglosajona) del orden de 70 a 100 ohm/cuadrado.

50

En un modo particular de realización de la invención, la capa 2 está formada en el sustrato antes de la capa dopada 10.

La formación de dicha capa FSF es conocida por el experto en la materia y no se describirá con mayor detalle en la presente memoria.

55

Por ejemplo, se puede formar la capa 2 por difusión a alta temperatura de BCl_3 o de BBR_3 por la cara delantera del sustrato 1.

60

De manera alternativa, se puede efectuar también una implantación iónica de fósforo a través de la cara delantera F del sustrato 1, seguida de un recocido de activación.

Se deposita después una capa de protección (no representada) en la capa 2.

65

Dicha capa puede, por ejemplo, consistir en una capa de 200 nm de dióxido de silicio depositado por PECVD a 450°C.

Se forma después en la cara trasera B del sustrato una capa semiconductor dopada 10 con una primera especie

dopantes.

Según una primera forma de realización de la invención, los dopantes de esta primera especie son del mismo tipo eléctrico que el del sustrato 1.

- 5 De manera ventajosa, la primera especie de dopantes es boro; la capa 10 es entonces dopada de tipo p+.
- El nivel de dopaje de dicha capa de tipo p+ es tal que la resistencia R_{sheet} es del orden de 50 a 100 ohm/cuadrado.
- 10 Según una segunda forma de realización de la invención, los dopantes de esta primera especie son del tipo opuesto al del sustrato 1.

La invención permite en efecto una gran flexibilidad en la elección del primer dopaje a realizar.

- 15 En este segundo caso (que se describe en detalle en un ejemplo siguiente), es posible entonces formar simultáneamente la capa 2 en la cara delantera y la capa dopada 10 en la cara trasera del sustrato.

De manera ventajosa, la primera especie de dopantes es fósforo; la capa 10 es entonces dopada de tipo n+.

- 20 La capa semiconductor dopada 10 (y, llegado el caso, la capa 2 si está formada en la misma etapa) está formada preferentemente por difusión a alta temperatura de un reactivo que contiene la primera especie de dopante por la cara trasera B del sustrato 1.

- 25 La difusión a alta temperatura es una técnica conocida en sí misma y el experto en la materia es capaz de definir los reactivos y las condiciones de realización para formar la capa dopada 10 ya sea de tipo n+ o de tipo p+.

La difusión se efectúa a alta temperatura, típicamente entre 750°C y 950°C.

- 30 Para formar la capa dopada 10 de tipo p+ en el sustrato 1 de tipo n, se difunde boro a alta temperatura a partir de BCl_3 o de BBr_3 por la cara trasera B del sustrato, estando la cara delantera protegida por la capa de protección mencionada más arriba.

En general, para formar la capa dopada 10 de tipo n+ en el sustrato 1 de tipo n, se difunde el fósforo a alta temperatura a partir de $POCl_3$ por la cara trasera B del sustrato.

- 35 Tal como se ha indicado más arriba, es posible formar, en una misma etapa, la capa 2 y la capa 10, si son del mismo tipo eléctrico.

En la etapa de difusión a alta temperatura, se forma un vidrio de fósforo (en el caso de la difusión a partir de $POCl_3$) o de boro (en el caso de la difusión a partir de BCl_3 o BBr_3).

- 40 Este vidrio se puede retirar mediante un tratamiento químico apropiado.

La capa semi-conductora dopada 10 puede estar formada a partir de otras técnicas, por ejemplo por "sputtering" (evaporación) o también por "spin on" (depósito sobre plato giratorio), por depósito PECVD, depósito PVD, etc, en presencia de los dopantes (por ejemplo en forma de fosfina PH_3 o de trimetilborato TMB).

- 50 Se forma a continuación, en la capa semiconductor dopada 10, una capa dopante 11 de tipo eléctrico opuesto al de la capa dopada 10.

Así, si la capa semiconductor dopada 10 es de tipo p+, la capa dopante 11 está dopada con boro.

Si la capa semiconductor dopada 10 es de tipo n+, la capa dopante 11 está dopada con fósforo.

- 55 La capa dopante es preferentemente una capa de nitruro de silicio (de fórmula general SiN_x).
- Puede tratarse también de una capa de óxido de silicio (de fórmula general SiO_x , por ejemplo SiO_2) o de un óxido transparente conductor (como el ITO) o también de un apilamiento de dichas capas.

- 60 Esta capa dopante puede ser depositada eventualmente sobre una capa fina de óxido de silicio (típicamente inferior a 10 nm, y del orden de 4 a 6 nm) que podrá, al final, ser conservada y servir de capa de pasivación de la estructura. Podrá tratarse, por ejemplo de un óxido térmico o depositado.

- 65 La capa dopante 11 está formada ventajosamente por depósito, por ejemplo, de tipo PECVD, sobre la capa semiconductor dopada 10, introduciendo en el recinto de depósito un gas que contiene el elemento dopante deseado (por ejemplo fosfina PH_3 para obtener un dopaje fósforo o TMB para obtener un dopaje boro).

Por supuesto, son posibles otras técnicas de depósito.

5 Por ejemplo, se podrá realizar por crecimiento térmico del óxido de silicio (para formar la capa de pasivación) y proseguir el tratamiento térmico inyectando el dopante deseado (por ejemplo fosfina) para obtener el óxido dopado que forma la capa dopante.

10 Después, se realiza una irradiación selectiva, es decir limitada a unas regiones predefinidas, de la cara trasera B del sustrato mediante una fuente láser.

La irradiación de una región de la capa dopante tiene como efecto hacer difundir unos átomos dopantes de dicha capa en la región subyacente de la capa semiconductor dopada.

15 Más precisamente, la irradiación provoca una fusión del silicio de la capa semiconductor en la interfaz con la capa dopante; los átomos dopantes se difunden entonces en esta fase líquida y son activados eléctricamente cuando tiene lugar la recristalización del silicio.

Se habla a continuación en la presente memoria de "dopaje láser"

20 Ahora bien, se han puesto en evidencia tres regímenes de difusión en función de la fluencia de la fuente láser.

La figura 3 ilustra la variación de la resistencia R_{sheet} (expresada en ohm/cuadrado) en una capa 10 dopada con boro, sobre la que se ha depositado una capa dopante 11 de SiN(P) e irradiado por una fuente láser, en función de la fluencia f (expresada en J/cm^2) de dicha fuente.

25 En el caso de este experimento, dicha capa semiconductor 10 dopada p+ está formada por difusión a alta temperatura de BCl_3 a $940^\circ C$ durante 30 minutos, proporcionando una resistencia R_{sheet} de 60 ohm/cuadrado, y después parcialmente grabada por una solución química durante 10 minutos, de manera que se ajuste su resistencia R_{sheet} para que alcance 90 ohm/cuadrado.

30 Esta etapa de grabado es opcional y puede ser omitida si la capa semiconductor dopada directamente procedente de la difusión a alta temperatura presenta la resistencia R_{sheet} deseada.

35 La capa dopante 11 se deposita sobre la capa semiconductor dopada así grabada mediante una técnica de PECVD a $300^\circ C$ con unos gases precursores SiH_4 , NH_3 y 50 sccm de PH_3 .

La fuente láser es en este caso de tipo excímero, con una longitud de onda de 308 nm, una duración de impulso de 150 ns y una frecuencia de 100 Hz.

40 En un primer régimen (región 1 del gráfico), comprendido entre una fluencia nula y un primer umbral S_1 de fluencia que, para esta fuente, es de $3 J/cm^2$, la resistencia inicial de la capa dopada 10 (emisor p+) aumenta ligeramente de 90 a 150 ohm/cuadrado.

45 En un segundo régimen (región 2), comprendido entre el primer umbral S_1 y un segundo umbral S_2 que, para esta fuente, es de $4 J/cm^2$, se observa un aumento muy elevado de la resistencia, que alcanza unos valores superiores a 450 ohm/cuadrado.

50 Este fuerte aumento traduce una compensación de la capa semiconductor dopada 10, es decir una concentración equilibrada entre átomos de boro y de fósforo eléctricamente activos. Un dopante es activo eléctricamente cuando se coloca en el sitio sustitucional en el cristal de silicio. No es eléctricamente activo cuando se coloca en el sitio intersticial. Cuando se menciona una concentración en dopante en el presente texto, se hace referencia a la concentración de dopantes activos.

55 La capa 10, inicialmente dopada p+, se ha transformado así en una capa eléctricamente aislante, típicamente con una resistencia R_{sheet} superior a 200 ohm/cuadrado.

El régimen comprendido entre los umbrales S_1 y S_2 puede entonces ser calificado de "intervalo de compensación del dopaje".

60 Por último, el tercer régimen (región 3), que corresponde a una fluencia superior al umbral S_2 , la resistencia disminuye fuertemente para alcanzar unos valores inferiores a 50 ohm/cuadrado.

65 Esta disminución traduce el hecho de que los átomos de fósforo de la capa dopante 11 se han difundido masivamente en la capa semi-conductora dopada 10, de manera que la concentración de átomos de boro de la capa dopada 10 se vuelva insignificante (típicamente con por lo menos un factor 10 en términos de concentración) frente a la concentración de átomos de fósforo.

La capa 10, inicialmente dopada p+, se ha transformado así en la capa dopada n+.

El segundo umbral S2 puede entonces ser calificado de "umbral de inversión de dopaje".

5 Los niveles de dopajes identificados en los tres regímenes mencionados anteriormente son confirmados por los análisis de los perfiles de los dopantes P y B en la capa dopada medidos por SIMS (espectrometría de masa de ionización secundaria).

10 Los perfiles SIMS dan la concentración total de dopantes (eléctricamente activos e inactivos).

Sin embargo, como la mayoría de los dopantes son eléctricamente activos, el perfil SIMS es un buen indicador de la inversión de concentración.

15 Estos resultados se han confirmado por otro lado mediante unas mediciones ECV ("Electrochemical Capacitance Voltage"), mediciones que dan sólo la concentración de dopantes activos.

20 Los gráficos (a) a (c) de la figura 4 presentan los perfiles de boro y de fósforo (concentraciones expresadas en at/cm^3) en función de la profundidad d (expresada en μm) en la capa semiconductora dopada 10 después de la irradiación de la capa dopante 11 a unas fluencias respectivas de 1,5, 2,0 y 4,1 J/cm^2 .

25 En el gráfico (a), que corresponde a una fluencia de 1,5 J/cm^2 , el perfil B presenta una concentración de superficie de $1\text{E}20 \text{ at}/\text{cm}^3$ y una profundidad de 400 nm, mientras que un perfil P es visible con una concentración de superficie de aproximadamente $5\text{E}19 \text{ at}/\text{cm}^3$ y una profundidad de 75 nm.

En el gráfico (b), que corresponde a una fluencia de 2,0 J/cm^2 , se ha modificado el perfil inicial de B con una concentración de superficie de $5\text{E}19 \text{ at}/\text{cm}^3$ y una profundidad de 700 nm. El perfil P está más marcado con una profundidad de 400 nm.

30 En el gráfico (c), que corresponde a una fluencia de 4,1 J/cm^2 , el perfil de P está muy marcado con una concentración de superficie de $1\text{E}20 \text{ at}/\text{cm}^3$ y una profundidad de 1 μm , mientras que el perfil de B presenta una concentración de superficie de $3,5\text{E}19 \text{ at}/\text{cm}^3$ y una profundidad de 1 μm .

35 Estas curvas confirman por lo tanto los mecanismos de compensación de la capa inicialmente dopada con boro por la difusión láser del fósforo a partir de la capa dopante de SiN(P).

Naturalmente, el valor de los umbrales de fluencia S1 y S2 depende de la naturaleza de la fuente láser.

40 Por otro lado, este fenómeno se puede observar con otros láseres de tipo excímero (típicamente en el intervalo de longitud de onda de 193 a 308 nm y con unas duraciones de impulso de 15 a 300 ns).

Se ha observado también este fenómeno para un láser Yag (355 nm, duración de impulso 15 ps, 80 MHz).

45 En este caso, el umbral de compensación en potencia se ha evaluado entre 4,5 y 6,5 W (siendo la fluencia la potencia dividida por el tamaño del foco y la frecuencia de pulso).

Por otro lado, el fenómeno de compensación y de inversión del dopaje se observa asimismo cuando la capa semiconductora dopada 10 es de tipo n+ y la capa dopante 11 contiene unos dopantes de tipo eléctrico opuesto.

50 La figura 5 ilustra así la variación de la resistencia Rsheet (expresada en $\text{ohm}/\text{cuadrado}$) en una capa semiconductora 10 dopada con fósforo, en la que una capa dopante 11 de SiN(B) se ha depositado e irradiado por una fuente láser, en función de la fluencia f (expresada en J/cm^2) de dicha fuente.

55 Dicha capa semiconductora 10 dopada n+ está formada por difusión a alta temperatura de POCl_3 a 830°C durante 30 minutos, y después grabada por una solución química durante 10 minutos, de manera que presente una resistencia Rsheet de 100 $\text{ohm}/\text{cuadrado}$.

60 La capa dopante 11 se deposita sobre la capa semiconductora dopada así grabada mediante una técnica de PECVD a 300°C con unos gases precursores SiH_4 , NH_3 y 50 sccm de TMB.

La fuente láser es en este caso de tipo excímero, con una longitud de onda de 308 nm, una duración de impulso de 150 ns y una frecuencia de 100 Hz.

65 En el primer régimen (región 1 del gráfico), comprendido entre una fluencia nula y un primer umbral S1 de fluencia que, para esta fuente, es de 2,6 J/cm^2 , la resistencia inicial de la capa dopada 10 (emisor p+) aumenta ligeramente de 100 a 150 $\text{ohm}/\text{cuadrado}$.

En el segundo régimen (región 2), o intervalo de compensación del dopaje, que está comprendido entre el primer umbral S1 y un segundo umbral S2 que, para esta fuente, es de 3,9 J/cm², se observa un aumento muy fuerte de la resistencia, que alcanza unos valores del orden de 300 ohm/cuadrado.

5 Este fuerte aumento traduce una compensación de la capa semiconductor dopada 10, es decir una concentración equilibrada entre átomos de boro y de fósforo.

La capa semiconductor 10, inicialmente dopada n+, se ha transformado así en una capa eléctricamente aislante.

10 Por último, el tercer régimen (región 3), denominado de inversión de dopaje, que corresponde a una fluencia superior al umbral S2, la resistencia disminuye fuertemente para alcanzar unos valores inferiores a 50 ohm/cuadrado.

15 La capa semi-conductora 10 inicialmente dopada n+, se ha transformado así en capa dopada p+.

Los niveles de dopajes identificados en los tres regímenes mencionados anteriormente son confirmados por los análisis de los perfiles de los dopantes P y B en la capa semi-conductora dopada medidos por SIMS (espectrometría de masas de iones secundarios).

20 Los gráficos (a) a (c) de la figura 6 presentan los perfiles de boro y de fósforo (concentraciones expresadas en at/cm³) en función de la profundidad d (expresada en nm) en la capa dopada 10 después de la irradiación de la capa dopante 11 a unas fluencias respectivas de 2,0, 3,4 y 5,0 J/cm².

25 En el gráfico (a), que corresponde a una fluencia de 2,0 J/cm², el perfil B presenta una concentración de superficie de 1E20 at/cm³ y una profundidad de 100 nm mientras que un perfil P es visible con una concentración de superficie de aproximadamente 1E19 at/cm³ y una profundidad de 500 nm.

30 En el gráfico (b), que corresponde a una fluencia de 3,4 J/cm², incluida en el intervalo de compensación del dopaje, el perfil inicial de B se ha modificado con una concentración de superficie de 1E20 at/cm³ y una profundidad de 400 nm.

35 En el gráfico (c), que corresponde a una fluencia de 5,0 J/cm², es decir superior al umbral de inversión del dopaje, el perfil de B está muy marcado, con una concentración de superficie de 1E20 at/cm³ y una profundidad de 500 nm, mientras que el perfil de P presenta una concentración de superficie de 1E19 at/cm³ y una profundidad de 500 nm.

Estas curvas confirman por lo tanto los mecanismos de compensación de la capa semiconductor inicialmente dopada con fósforo por la difusión láser del boro a partir de la capa dopante de SiN(B).

40 De manera particularmente ventajosa, se aprovecha el fenómeno de inversión del dopaje puesto en evidencia para formar, en la capa semiconductor dopada 10, unas regiones que presentan un dopaje de tipo opuesto.

45 Para ello, se irradia con la ayuda de una fuente láser que presenta una fluencia superior al umbral S2 de inversión del dopaje, unas regiones 11a de la capa dopante que corresponde a las regiones 10a de la capa semi-conductora dopada 10 de la cual se desea invertir el tipo eléctrico de dopaje.

En la figura 2A, esta irradiación está esquematizada por las flechas más largas.

50 Así, en la primera forma de realización considerada, si la capa semiconductor dopada 10 es de tipo p+, la irradiación de regiones 11a de la capa dopante 11 de SiN(P) con fluencia superior al umbral S2 tiene como efecto formar en la capa semiconductor dopada 10 unas regiones 10a dopadas n+.

55 En la segunda forma de realización considerada, en la que la capa semiconductor dopada 10 es de tipo n+, la irradiación de la capa dopante 11 de SiN(B) con una fluencia superior al umbral S2 tiene como efecto formar en la capa semiconductor dopada 10 unas regiones 10a dopadas p+.

60 Según un modo de realización preferido de la invención, se aprovecha también el fenómeno de compensación del dopaje para formar, en la capa semiconductor dopada 10, unas regiones eléctricamente aislantes que permiten aislar eléctricamente las regiones n+ que forman el campo eléctrico repulsivo en la cara trasera de las regiones p+ que constituyen el emisor.

65 Con este fin, se irradia con la ayuda de una fuente láser que presenta una fluencia comprendida en el intervalo [S1, S2] de compensación del dopaje, unas regiones 11b de la capa dopante que corresponden a las regiones 10b de la capa semiconductor dopada 10 que se desea hacer eléctricamente aislantes.

En la figura 2A, esta irradiación está esquematizada por las flechas más cortas.

Como variante, el aislamiento se puede obtener mediante otras técnicas, por ejemplo por ablación láser, retirando localmente la capa semiconductor dopada 10.

5 Se cuidará en este caso de que la ablación láser no genere ningún efecto térmico (que provocaría un dopaje mediante la capa dopante).

Se puede utilizar para ello, por ejemplo, un láser UV de baja duración de impulso y de baja frecuencia, por ejemplo un láser a 355 nm, de duración de impulso de 15 s y de frecuencia de 200 Khz.

10 En la célula fotovoltaica final, se obtiene por lo tanto en la capa semiconductor dopada 10 tres regiones de tipo eléctrico diferente.

15 En la primera forma de realización considerada, en la que la capa semiconductor dopada 10 es inicialmente de tipo p+, las regiones 10a, de tipo n+, formarán por lo tanto el campo eléctrico repulsivo en la cara trasera, mientras que las regiones 10c no afectadas por el dopaje láser constituirán el emisor p+, estando dichas regiones 10a y 10c separadas por las regiones 10b eléctricamente aislantes.

20 En la segunda forma de realización considerada, en la que la capa semiconductor dopada 10 es inicialmente de tipo n+, las regiones 10a, de tipo p+, formarán por lo tanto el emisor, mientras que las regiones 10c no afectadas por el dopaje láser formarán el campo eléctrico repulsivo en la cara trasera, +, estando dichas regiones 10a y 10c separadas por las regiones 10b eléctricamente aislantes.

25 El motivo de las diferentes regiones (n+, p+ y aislantes) es típicamente el de un peine interdigitado, es decir una alternancia repetitiva de bandas p+ / aislante / n+ / aislante).

Por ejemplo, las regiones n+ presentan una anchura del orden de 300 μm, las regiones eléctricamente aislantes presentan una anchura del orden de 100 μm, y las regiones p+ presentan una anchura comprendida entre 600 y 1000 μm.

30 Se adapta por lo tanto la anchura de irradiación en función de la naturaleza final de la región tratada.

35 Una particularidad de una célula fabricada por el dopaje láser según la invención es que el conjunto de las regiones p+, n+ y aislantes de la cara trasera del sustrato comprenden todas una concentración sustancialmente homogénea de dopantes de la primera especie.

40 En efecto, incluso si el dopaje láser ha tenido como efecto, según la fluencia de irradiación, compensar o invertir el dopaje de ciertas regiones de la capa semiconductor dopada 10, los dopantes de la primera especie presentes inicialmente en dicha capa están todavía presentes.

La concentración de la primera especie de dopantes es susceptible de evolucionar ligeramente por difusión durante la irradiación por láser; sin embargo, se observa una concentración de dopantes de la primera especie sustancialmente homogénea en las regiones p+, n+ y aislantes.

45 En una primera variante, después de la o de las irradiaciones, se retira mediante ataque químico la capa dopante 11 residual, pudiendo la irradiación haber eliminado localmente la totalidad o parte de la capa dopante a nivel de las zonas irradiadas.

50 Después, de manera conocida en sí misma, se forma una capa de pasivación 3, 6 respectivamente sobre la cara delantera y sobre la cara trasera del sustrato 1.

55 Por ejemplo, la capa de pasivación puede comprender una primera capa de SiO₂ térmica, que presenta un grosor comprendido entre 5 y 20 nm, y una segunda capa de SiNx depositada por PECVD que presenta un grosor comprendido entre 50 y 150 nm.

Por último, se depositan unas contactos metálicos 7 y 8 por serigrafía sobre las regiones emisoras p+ (pasta de Ag) y sobre las regiones de campo eléctrico repulsivo n+ (pasta de Ag/Al).

60 Un recocido en un horno de infrarrojos permite el contacto entre el silicio de estas regiones y el metal de los contactos.

65 En una segunda variante, la capa dopante puede ser una capa de SiNx depositada sobre una primera capa delgada de óxido de silicio, por ejemplo de 6 nm. Eventualmente, una segunda capa delgada de óxido de silicio puede estar prevista en la capa de SiNx, para, al final, asegurar el confinamiento óptico de la célula.

Se procede según la invención a la realización de las zonas dopadas de tipo opuesto al de la capa semiconductor

dopada, por una irradiación láser adecuada, las capas de óxido presentes son suficientemente finas para no obstaculizar el mecanismo.

5 Se procede a la realización también de las zonas aislantes, por ejemplo por irradiación láser de fluencia más baja.

No es necesario entonces retirar la capa dopante de SiN que puede ser utilizada en asociación con la capa de óxido subyacente como capa de pasivación.

10 Se puede formar entonces directamente los contactos metálicos 7 y 8, por ejemplo, por serigrafía, como anteriormente.

Como variante, es posible que, a nivel de las zonas irradiadas, la fluencia sea suficientemente importante para provocar también la ablación de multicapa de superficie SiO₂/SiN.

15 Se puede considerar entonces, a nivel de estas cavidades, realizar los contactos mediante otras técnicas, por ejemplo por depósito electrolítico.

20 Para más información, se podrá hacer referencia sobre esta técnica al artículo de Aleman *et al.* "Advances in Electroless Nickel Plating for the Metallization of Silicon Solar Cells using different Structuring Techniques for the ARC" 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 de septiembre de 2009, Hamburgo.

Eventualmente, antes de realizar este depósito, se podrá abrir unas zonas de recuperación de contacto a nivel de la zona dopada de tipo opuesto al del nivel de la zona irradiada, por ejemplo por ablación láser.

25 Se cuidará en este caso de que la ablación láser no genere ningún efecto térmico (que provocaría un dopaje).

Se puede utilizar para ello por ejemplo un láser UV de baja duración de pulso y de baja frecuencia, por ejemplo un láser de 355 nm, de duración de pulso de 15 ps, de frecuencia de 200 Khz.

30 En este caso, se podrá realizar simultáneamente las metalizaciones sobre las regiones n+ y p+ por depósito electrolítico.

Ejemplo de realización de la invención

35 Un ejemplo detallado de realización de la invención se describe en referencia a las figuras 7A a 7C.

En una primera etapa (no ilustrada), se prepara un sustrato 1 de silicio dopado N, retirando la zona endurecida y puliendo las dos caras F y B del sustrato, por ejemplo por un tratamiento químico de tipo CP133, es decir una mezcla de HF, HNO₃ y de CH₃COOH en las proporciones 1:3:3.

40 Después, se deposita una capa protectora (no ilustrada) en la cara trasera B del sustrato 1.

Dicha capa tiene como función proteger la cara trasera B del sustrato durante una etapa ulterior de texturización de la cara delantera F.

45 La capa protectora puede, por ejemplo, estar formada por una capa de 200 nm de dióxido de silicio depositada por PECVD.

50 Al estar protegida la cara trasera, se realiza una texturización de la cara delantera, por ejemplo mediante un ataque químico. Típicamente, este ataque se realiza a partir de hidróxido de potasio (KOH) al 1%, durante 40 minutos a 80°C.

Este ataque tiene como efecto conferir a la cara delantera F una superficie no plana pero que presenta unos relieves, por ejemplo de tipo pirámide (no esquematizados en la presente memoria).

55 Se retira después la capa protectora en la cara trasera, mediante un ataque selectivo por ácido fluorhídrico (HF) al 2%.

60 En referencia a la figura 7A, se realiza después una difusión a alta temperatura de POCl₃ a 830°C durante 30 minutos.

Se forma así simultáneamente una capa 2 de tipo n+ sobre la superficie delantera F del sustrato 1 (formando dicha capa 2 el campo repulsivo FSF) y una capa semiconductor 10 dopada de tipo n+ sobre la cara trasera B del sustrato.

65 Un tratamiento a base de ácido fluorhídrico permite retirar el vidrio de fósforo que se ha formado durante la difusión.

Se efectúa un depósito por PECVD de una capa dopante 11 de 80 nm de siN dopado con boro.

Para ello, durante el depósito de dicha capa, se inyecta un flujo de 50 sccm de TMB.

5 Se efectúa después una primera irradiación láser (esquemmatizada por las flechas más largas) de la cara trasera B del sustrato 1 a una longitud de onda de 308 nm con unos impulsos de 150 ns y una fluencia de $4,5 \text{ J/cm}^2$, localizada en unas bandas 11a de $600 \mu\text{m}$ de anchura según un motivo de peine.

10 Como se puede observar en la figura 6(c), esta fluencia es superior al umbral de inversión de dopaje.

En consecuencia, los átomos de boro de las bandas irradiadas 11a de la capa dopante 11 se difunden en las bandas 10a subyacentes de la capa semiconductor dopada 10 de manera que exceda la concentración de los átomos de fósforo.

15 Como se ilustra en la figura 7B, se forman así en las bandas 10a de la capa dopada 10, unas regiones emisoras de tipo p++.

20 Se efectúa también una irradiación láser (esquemmatizada por las flechas más cortas) de la cara trasera B del sustrato 1 a una longitud de onda de 308 nm con unos impulsos de 150 ns y una fluencia de $3,2 \text{ J/cm}^2$, localizada en las bandas 11b de $100 \mu\text{m}$ de anchura adyacentes a las bandas 10a de tipo p++ formadas anteriormente.

25 Como se puede observar en la figura 6(b), esta fluencia está comprendida en el intervalo de compensación del dopaje.

Por lo tanto, los átomos de boro de las bandas irradiadas 11b de la capa dopante 11 se difunden en las bandas 10b subyacentes de la capa semiconductor dopada 10 de manera que se equilibren las concentraciones de los átomos de boro y de fósforo en dichas bandas 10b.

30 Como se ilustra en la figura 7B, se forman así, en las bandas 10b de la capa dopada 10, unas regiones eléctricamente aislantes que aíslan las regiones 10a emisoras p++ de las regiones 10c restantes BSF de tipo n+.

Se retiran después por vía química las partes de la capa dopante 11 que no han sido irradiadas.

35 En referencia a la figura 7C, se realiza después una oxidación térmica del sustrato, en una atmósfera de oxígeno a 950°C durante 30 minutos, de manera que se forme una capa de 10 nm de óxido.

Se deposita por PECVD una capa de SiNx de 60 nm sobre la cara delantera F y de 100 nm sobre la cara trasera B, de manera que se obtengan unas capas de pasivación respectivas 3 y 6.

40 Después, se deposita por serigrafía, según un patrón de peine centrado en las regiones BSF 10c, una pasta de plata que presenta una anchura de $100 \mu\text{m}$, de manera que se formen unos contactos 7.

45 Se deposita también por serigrafía, según un patrón de peine centrado en las regiones emisoras 10a, una pasta de plata/aluminio que presenta una anchura de $300 \mu\text{m}$, de manera que se formen unos contactos 8.

Por último, se realiza un recocido de los contactos en un horno a 890°C .

50 Evidentemente, este ejemplo se proporciona a título puramente ilustrativo y el alcance de la invención no está limitado a este modo de realización particular.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera, caracterizado por que comprende:

- el suministro de un sustrato (1) de silicio dopado,
- la formación, en la cara trasera (B) de dicho sustrato (1), de una capa semiconductor dopada (10) con una primera especie de dopantes,
- la formación, en dicha capa semiconductor dopada (10), de una capa denominada dopante (11) que comprende una segunda especie de dopantes, de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie (10),
- la formación, en la capa semiconductor dopada (10), de por lo menos una región (10a) dopada de tipo opuesto al de la primera especie, por irradiación selectiva de por lo menos una región (11a) de la capa dopante (11) por un flujo luminoso cuya fluencia es superior a un umbral (S_2), denominado "umbral de inversión de dopaje" más allá del cual los dopantes de la región irradiada (11a) de la capa dopante (11) se difunden en la región (10a) subyacente de la capa semiconductor dopada (10) de manera que exceda la concentración de la primera especie de dopantes,
- la formación, en la capa semiconductor dopada (10), de por lo menos una región (10b) eléctricamente aislante, por irradiación selectiva de por lo menos una región (11b) de la capa dopante (11) por un flujo luminoso cuya fluencia está comprendida en un intervalo ($[S_1-S_2]$), denominado "intervalo de compensación del dopaje" inferior a dicho umbral (S_2) de inversión de dopaje, para el cual los dopantes de la región irradiada (11b) de la capa dopante (11) se difunden en la región (10b) subyacente de la capa semiconductor dopada (10) de manera que se equilibren las concentraciones de las dos especies de dopantes en dicha región (10b), estando dicha región (10b) eléctricamente aislante dispuesta de forma que separe una región (10c) de la capa (10) dopada con la primera especie de por lo menos una región (10a) dopada de tipo opuesto al de la primera especie.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicha irradiación selectiva se efectúa por la cara trasera (B) del sustrato (1).

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que la capa dopada (10) está formada por difusión a alta temperatura de un reactivo que contiene la primera especie de dopante por la cara trasera (B) del sustrato (1).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la capa dopante (11) es una capa de nitruro de silicio dopada con la segunda especie de dopantes, depositada por depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD).

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la primera especie de dopantes es del mismo tipo eléctrico que el del sustrato (1).

6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que el sustrato (1) es dopado n, y por que la primera especie de dopantes es fósforo.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que la capa semiconductor dopada (10) está formada por difusión a alta temperatura de $POCl_3$ por la cara trasera del sustrato (1).

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado por que la capa dopante (11) es una capa de nitruro de silicio dopada con boro.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la primera especie de dopantes es de tipo eléctrico opuesto al del sustrato (1).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el sustrato (1) es dopado n, y por que la primera especie de dopante es boro.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que la capa semiconductor dopada (10) está formada por difusión a alta temperatura de BBr_3 o de BCl_3 por la cara trasera del sustrato (1).

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado por que la capa dopante (11) es una capa de nitruro de silicio dopada con fósforo.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que el grosor de la capa

semiconductora dopada (10) está comprendido entre 100 nm y 1 μ m, y por que el grosor de la capa dopante (11) está comprendido entre 10 y 300 nm.

5 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que antes de la formación de la capa dopante (11), se forma en la capa semiconductora dopada (10) una capa de óxido de silicio.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado por que las irradiaciones selectivas se efectúan mediante un láser.

10 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado por que comprende la formación, en la cara delantera (F) de dicho sustrato (1), de una capa semiconductora (2) dopada del mismo tipo eléctrico que el sustrato (1), de manera que se forme un campo eléctrico repulsivo sobre dicha cara delantera (F).

15 17. Procedimiento según la reivindicación 16, caracterizado por que dicha capa (2) de campo eléctrico repulsivo está formada por difusión a alta temperatura de POCl_3 en el sustrato (1).

20 18. Estructura que comprende un sustrato (1) de silicio dopado, recubierto sucesivamente de una capa semiconductora dopada (10) con una primera especie de dopantes y de una capa denominada dopante (11) que comprende una segunda especie de dopantes, de tipo eléctrico opuesto al de la primera especie (10), caracterizada por que la capa semiconductora dopada (10) comprende por lo menos una región (10a) dopada de tipo opuesto al de la primera especie, que comprende unos dopantes de la segunda especie en concentración superior a la de los dopantes de la primera especie, y una región (10b) eléctricamente aislante, que comprende unos dopantes de la segunda especie, en concentración equilibrada con la de los dopantes de la primera especie, estando dicha región (10b) eléctricamente aislante dispuesta de modo que separe una región (10c) de la capa (10) dopada con la primera especie de por lo menos una región (10a) dopada de tipo opuesto al de la primera especie.

30 19. Célula fotovoltaica con contactos interdigitados en la cara trasera, que comprende un sustrato (1) de silicio dopado y, en la cara trasera (B) de dicho sustrato, una alternancia, en forma de un peine interdigitado, de regiones dopadas p+ y de regiones dopadas n+, estando dicha célula caracterizada por que el conjunto de dichas regiones p+ y n+ presenta una concentración sustancialmente homogénea de dopantes de una misma especie, y por que dicha célula comprende además, en la cara trasera (B) del sustrato (1), una pluralidad de regiones eléctricamente aislantes que separan las regiones dopadas p+ y las regiones dopadas n+, presentando dichas regiones eléctricamente aislantes una concentración en dopantes de dicha especie sustancialmente homogénea a la de las regiones dopadas p+ y de las regiones dopadas n+.

35

FIG. 1

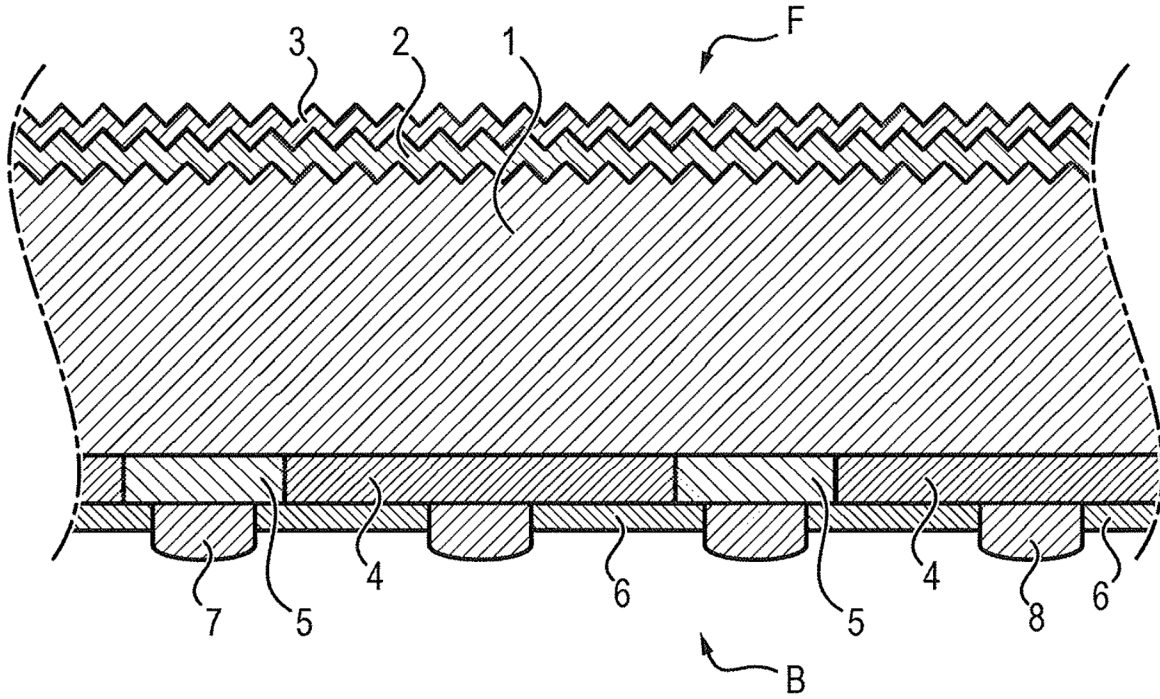


FIG. 2A

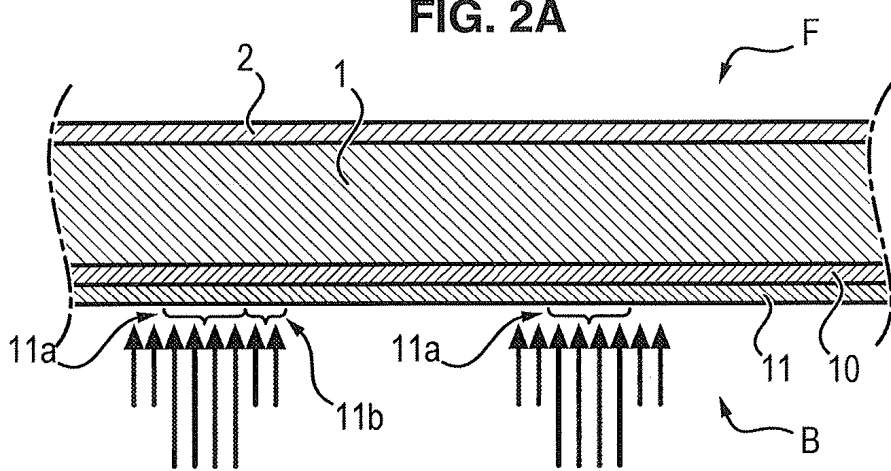


FIG. 2B

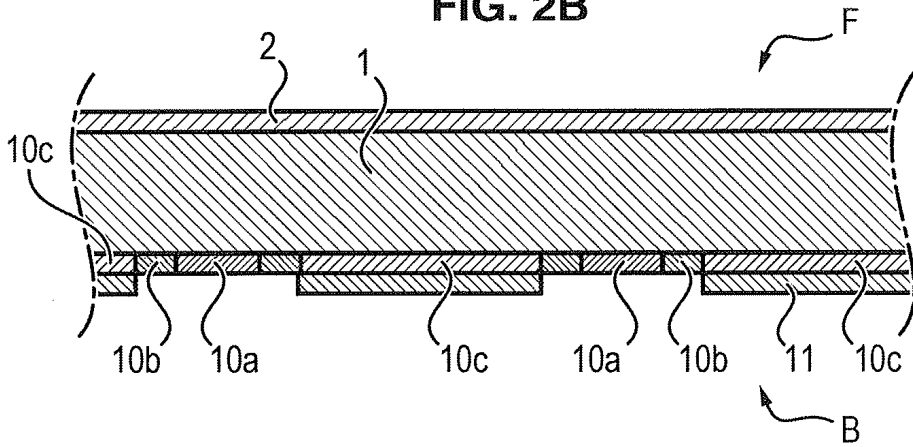


FIG. 2C

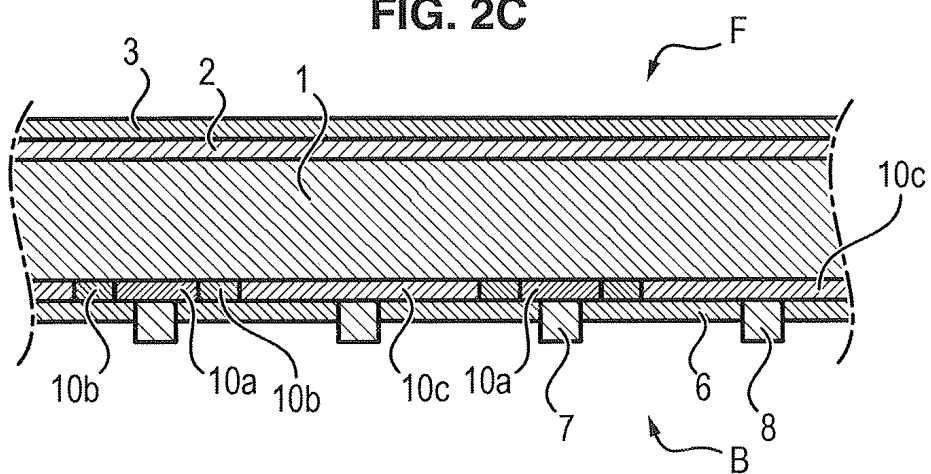
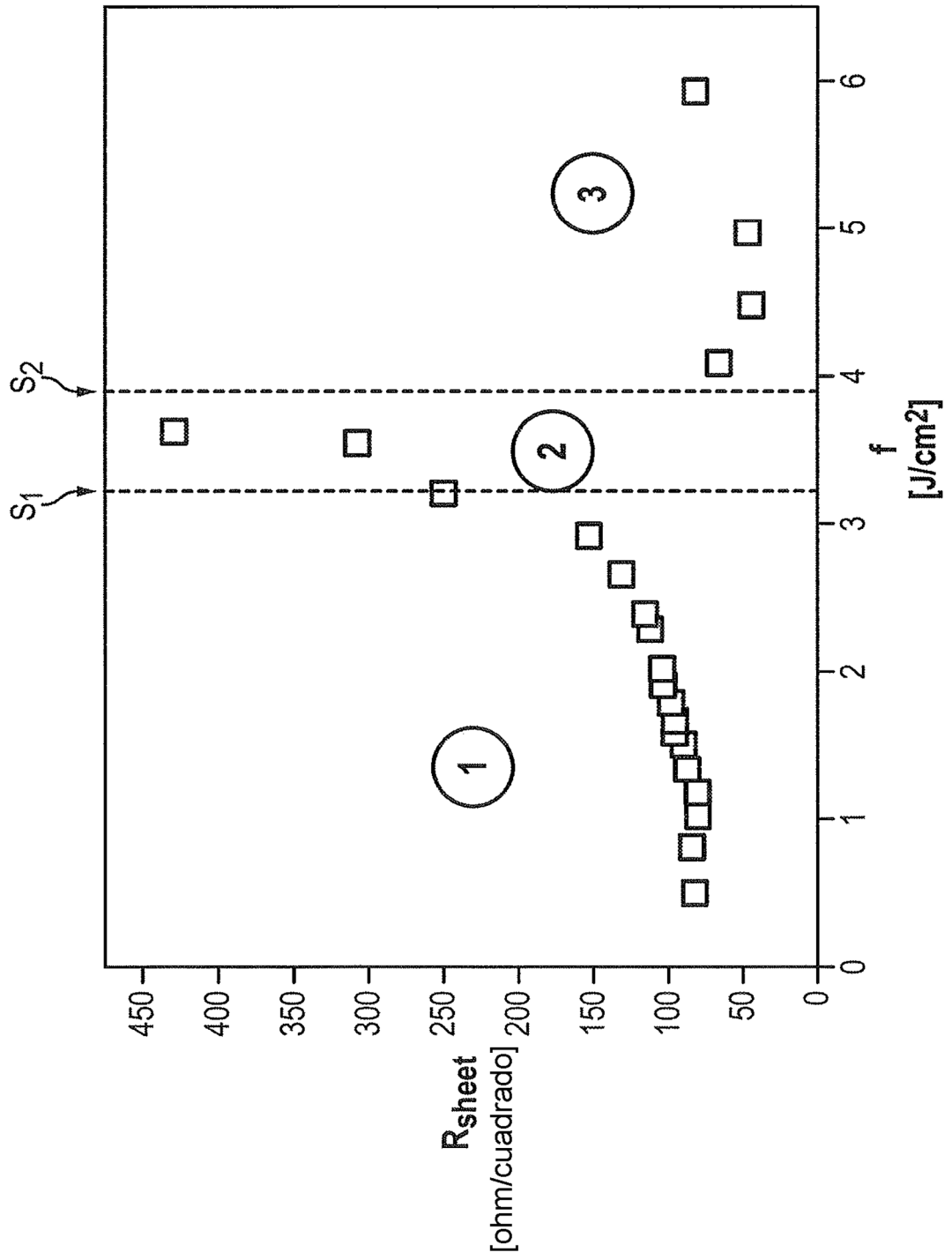


FIG. 3



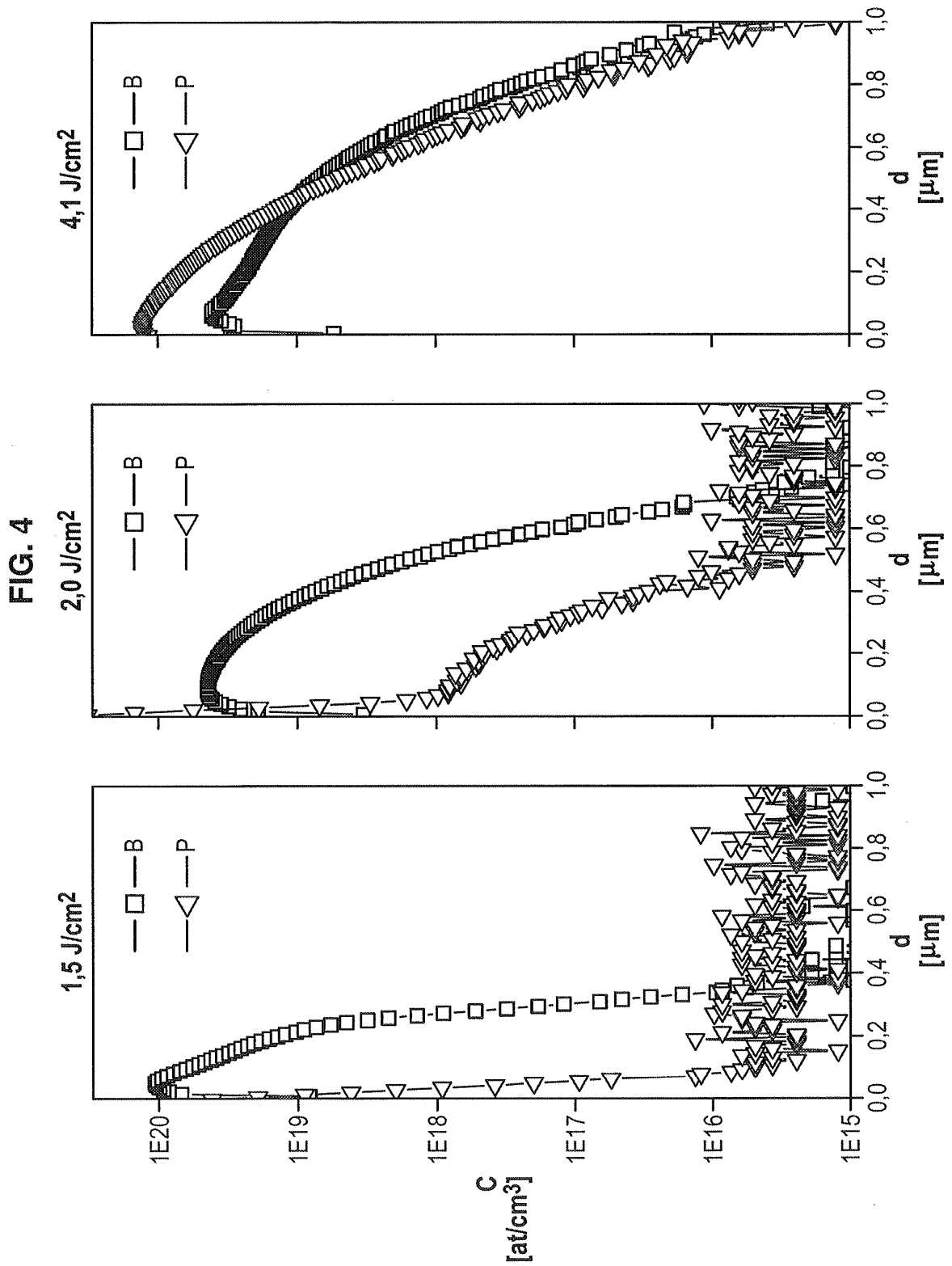


FIG. 5

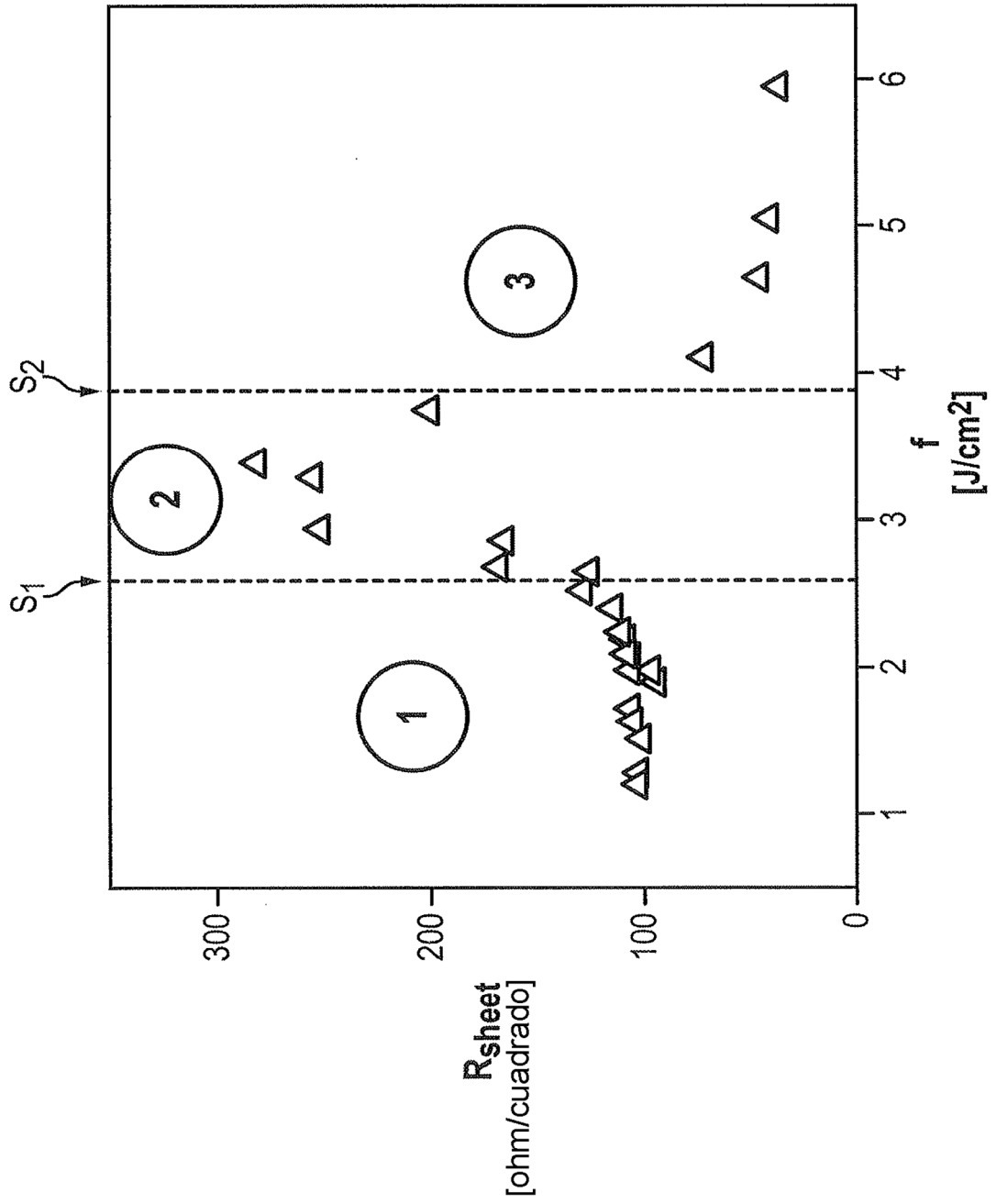


FIG. 6

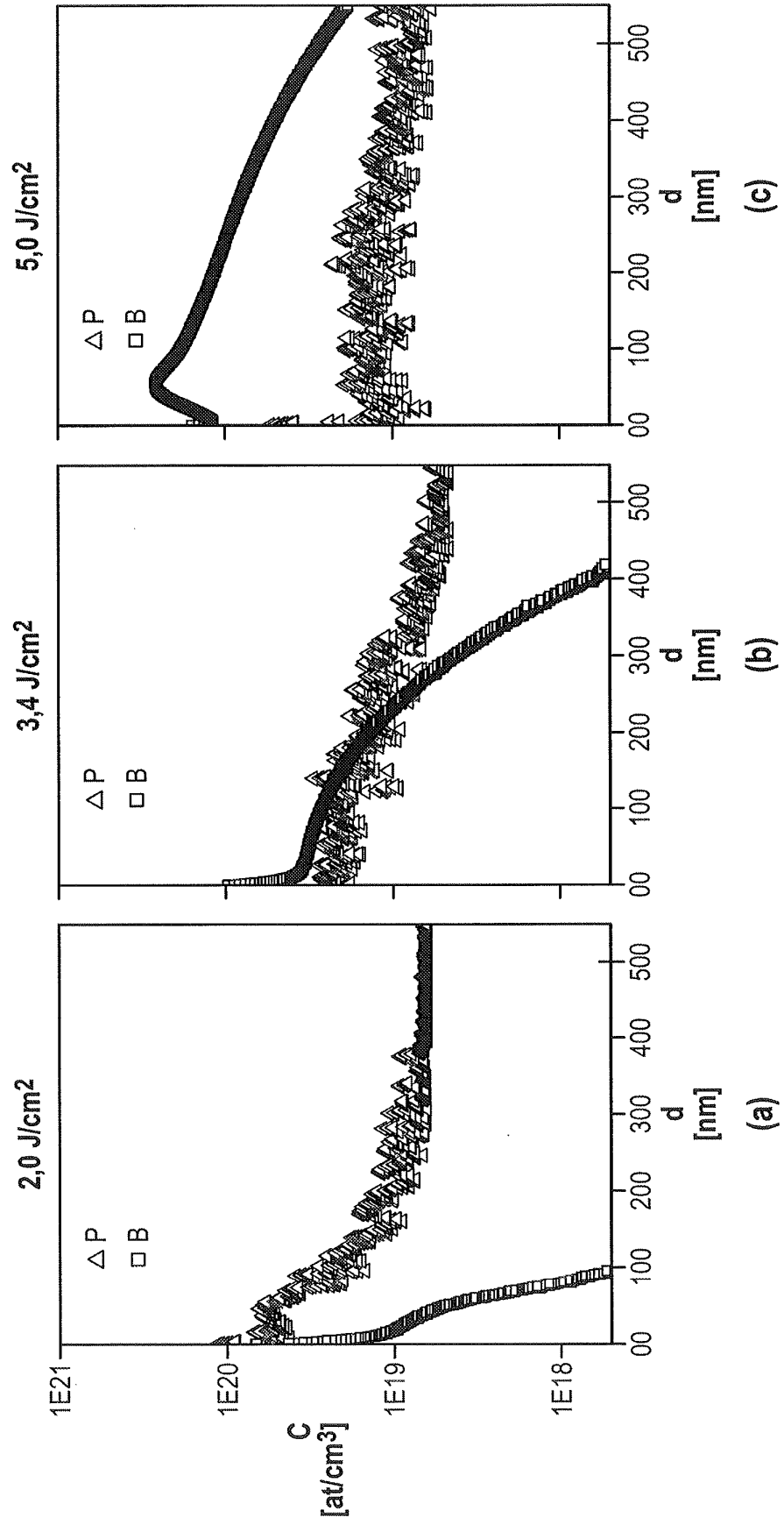


FIG. 7A

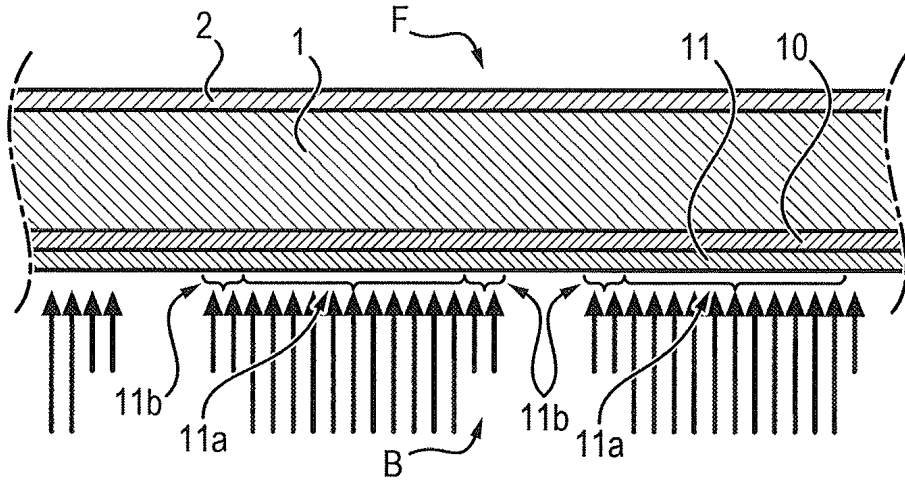


FIG. 7B

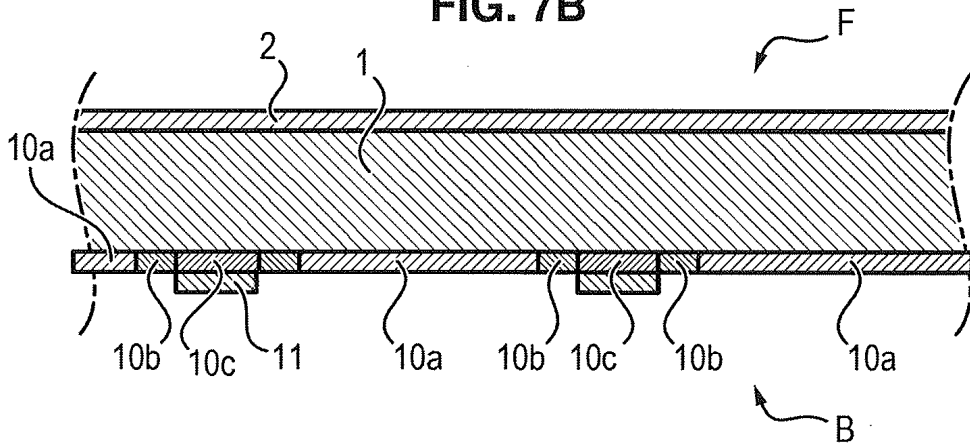


FIG. 7C

