

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 975 536**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/0745 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2021** **PCT/EP2021/057244**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.11.2021** **WO21223932**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2021** **E 21715183 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2024** **EP 4147277**

54 Título: **Célula solar con contacto por la cara trasera**

30 Prioridad:

04.05.2020 DE 102020111997

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

08.07.2024

73 Titular/es:

ENPV GMBH (100.0%)
Durlacher Allee 93
76131 Karlsruhe, DE

72 Inventor/es:

HOFFMANN, ERIK y
WERNER, JÜRGEN

74 Agente/Representante:

URÍZAR VILLATE, Ignacio

ES 2 975 536 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 con contacto por la cara trasera

- 5 La invención se refiere a una célula solar y a un procedimiento para fabricar una célula solar.

Se sabe que las células solares sirven como elementos fotovoltaicos para convertir la luz en energía eléctrica. Los pares de portadores de carga que se generan tras la absorción de luz en un sustrato semiconductor se separan en la transición entre una región emisora, que presenta un primer tipo de dopado, por ejemplo de tipo n o tipo p (para
10 generar una primera polaridad), y una región de base, que presenta un tipo de dopado opuesto (para generar una polaridad opuesta). Los pares de portadores de carga generados y separados de esta manera se pueden alimentar a un circuito externo a través de contactos de emisor, que hacen contacto con la región de emisión, y contactos de base, que hacen contacto con la región de base.

- 15 Se conocen células solares en las que en la cara delantera están dispuestos contactos de una polaridad y en la cara trasera contactos de polaridad opuesta. La cara delantera es la que mira hacia el sol, mientras que la cara trasera es la orientado en sentido opuesto. Para minimizar las pérdidas debidas a la sombra causada por los contactos en la cara delantera se desarrollaron células solares con contacto por la cara trasera, en las que ambos tipos de contactos, es decir, los contactos de emisor y los contactos de base, están dispuestos en la cara trasera del sustrato
20 semiconductor.

- Las células solares con contacto por la cara trasera tienen un gran potencial para lograr una mayor eficiencia, porque no hay sombra en la cara delantera de las células solares y, por lo tanto, la radiación incidente genera más portadores de carga libres. Los electrodos de ambas polaridades se sitúan dispuestos uno al lado de otro en la cara
25 trasera de la célula solar. Por lo tanto, los portadores de carga generados también deben fluir lateralmente en la célula solar. Para minimizar las pérdidas por resistencia causadas por este flujo de corriente lateral y evitar que los portadores de carga libres se recombinen antes de llegar a los electrodos, los electrodos de ambas polaridades deben estar lo más cerca posible entre sí. Dado que los electrodos están conectados a silicio de tipo p o n dependiendo de la polaridad, las uniones pn también están lo más juntas posible. Las uniones pn, estructuras finas en forma de peine con una resolución inferior a 500 pm, pueden implementarse, por ejemplo, mediante irradiación
30 láser. En este proceso, un rayo láser pulsado introduce dos dopantes diferentes, por ejemplo, boro y fósforo, localmente en el silicio fundiendo la superficie por separado en el tiempo y el espacio y, dependiendo del dopante, produce un alto dopado o bien de tipo p o bien de tipo n. Estas estructuras finas permiten resistencias en serie internas bajas y eficiencias η hasta $\eta = 24\%$. Eficiencias más altas están esencialmente limitadas por mecanismos de recombinación en la base, así como en las superficies altamente dopadas, con contacto y sin contacto. La recombinación en la base depende de la calidad de la oblea y solo puede influirse ligeramente sobre ella durante el proceso de fabricación de la célula solar. La recombinación en las superficies de tipo n y p altamente dopadas está limitada en la región sin contacto con una buena pasivación de la superficie, como en el caso del silicio hidrogenado amorfo, por recombinación Auger, que aumenta con la concentración de dopante en el silicio. En la región con
40 contacto, el silicio está en contacto con un metal, lo que da como resultado una alta recombinación interfacial. En el proceso de las células solares, la recombinación Auger en las superficies sin contacto se puede reducir si allí hay la menor cantidad de dopante posible en el silicio, mientras que la recombinación interfacial en los contactos metal/silicio se puede reducir manteniendo el área de contacto lo más pequeña posible. Sin embargo, una mera reducción del dopante y de las áreas de contacto da como resultado un aumento de la resistencia en serie, que
45 luego se convierte en el factor limitativo para la eficiencia.

- Por este motivo se utilizan contactos pasivados o selectivos. A este respecto, los electrodos metálicos no están directamente conectados eléctricamente a la base cristalina, sino que están separados por un fino óxido de túnel, que pasiva la superficie del silicio pero al mismo tiempo es tan fino que los electrones del electrodo en el
50 semiconductor pueden formar un túnel a través del óxido desde el semiconductor hasta el electrodo. Para estimular a los electrones para que formen el túnel, debe haber un campo eléctrico en el óxido de túnel. El campo eléctrico puede ser generado por un silicio de tipo n o p altamente dopado sobre el óxido del túnel. Puesto que el dopado de este silicio por encima del óxido de túnel conduce a una flexión en banda en la base de silicio debajo del óxido de túnel, ya no es necesario un mayor dopado de la base de silicio. En el silicio de tipo n altamente dopado, solo los electrones pasan a través del óxido de túnel, también llamado flujo de electrones, mientras que en el silicio de tipo p altamente dopado solo se produce el llamado flujo de huecos: entran electrones a la base de silicio desde el silicio de tipo p altamente dopado. Los propios electrodos metálicos solo están en contacto eléctrico y mecánico con el silicio de tipo n o p altamente dopado que se encuentra encima del óxido de túnel. La selectividad de las regiones de silicio altamente dopado en combinación con el óxido de túnel hace que, dependiendo del dopado, se transporte casi
60 exclusivamente un tipo de portador de carga a las superficies de contacto metal/silicio y minimiza la recombinación interfacial. La estructura presentada reduce aún más la recombinación Auger en la superficie de la base de silicio con el óxido de túnel, ya que no se requiere un alto dopado en esta interfaz para la unión pn o el contacto óhmico con la base. Las células solares con contacto por la cara trasera con contactos pasivados han alcanzado hasta ahora una eficiencia récord de $\eta = 26,7\%$. Sin embargo, la fabricación de tales células ha sido hasta ahora muy compleja, ya que los dos contactos selectivos dopados de forma diferente solo pueden aplicarse mediante diversas etapas complejas de enmascaramiento y estructuración. Se debe tener cuidado a este respecto para garantizar una
65

alta precisión y una resolución fina del enmascaramiento / la estructuración. La distancia entre los contactos selectivos no debe ser demasiado grande y no debe exceder la longitud de difusión de los portadores de carga libres y tampoco debe conducir a un aumento de la resistencia en serie interna debido al flujo de corriente lateral en la base. Los procedimientos de fabricación con etapas de enmascaramiento se conocen, por ejemplo, por los documentos EP 2 955 760 A1, US 2014/096821 A1 y EP 2 804 219 A1.

Estas desventajas se superan mediante un procedimiento según la invención para fabricar una célula solar y mediante una célula solar según la invención fabricada mediante este procedimiento.

Según la invención, para una célula solar con contacto por la cara trasera que comprende un sustrato semiconductor, en particular una oblea de silicio, que comprende un cara delantera orientada hacia el sol y un cara trasera, en donde la célula solar comprende en la cara trasera electrodos de una primera polaridad y electrodos de una segunda polaridad, en donde bajo los electrodos de la primera polaridad se encuentran una capa de túnel y una capa de silicio altamente dopado, y los electrodos de la segunda polaridad hacen contacto directo eléctrica y mecánicamente con el sustrato semiconductor en regiones de base altamente dopadas, en donde las regiones de base altamente dopadas comprenden selectivamente regiones sobrecompensadas de la capa de silicio altamente dopado.

El alto dopado de las regiones de base altamente dopadas es necesario para una baja resistencia de contacto.

Según una forma de realización está previsto que una región poco dopada y sin contacto separe la capa de silicio altamente dopado de la región de base. En esta región pasivada y sin contacto puede ser ventajoso un menor dopado que en la región de base altamente dopada y con contacto.

Otras formas de realización se refieren a un procedimiento para fabricar una célula solar con contacto por la cara trasera según las formas de realización anteriormente descritas. La creación de una estructuración de resolución fina en la cara trasera se produce sin máscara. Esta se implementa mediante irradiación láser local. El procedimiento se describe a continuación.

El sustrato semiconductor, en particular la oblea de silicio, de la célula solar presenta una cara trasera, en particular pulida o texturizada, y una cara delantera, en particular texturizada. En una primera etapa del procedimiento, se aplica una capa de túnel, que comprende en particular óxido de silicio, sobre una superficie de la cara trasera o sobre una superficie de la cara delantera y una superficie de la cara trasera. La capa de túnel comprende un espesor preferentemente de como máximo aproximadamente cuatro nanómetros. La capa de túnel se produce, por ejemplo, mediante un proceso térmico o químico húmedo o mediante deposición.

El procedimiento comprende además una etapa para depositar una capa de silicio altamente dopado, en particular por toda la superficie, de una primera polaridad sobre la capa de túnel en la cara trasera. La deposición de la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad se puede realizar, por ejemplo, mediante deposición química en fase de vapor asistida por plasma, PECVD, deposición química en fase de vapor a presión atmosférica, APCVD, deposición química en fase de vapor a baja presión (LPCVD) o pulverización catódica. La capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad tiene un espesor de aproximadamente 100 nanómetros a 300 nanómetros.

La capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad también se puede depositar en dos etapas en lugar de en una. Según una forma de realización, depositar la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad comprende depositar silicio no dopado y luego introducir un dopante. El dopante se introduce, por ejemplo, mediante implantación de iones, difusión en horno o difusión láser. El dopante es, por ejemplo, boro, aluminio o galio.

Según una forma de realización está previsto que el procedimiento comprenda una etapa para retirar la capa de túnel, en particular dióxido de silicio, y/o la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad de la cara delantera. La capa de túnel y/o la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad se pueden eliminar por ataque químico por toda la superficie o localmente.

El procedimiento comprende una etapa para aplicar una capa precursora que comprende un dopante de una segunda polaridad a la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad en la cara trasera.

Si la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad es una capa de silicio de tipo p, el dopante para dopar el silicio según la segunda polaridad es, por ejemplo, fósforo. Para la aplicación de la capa precursora se puede utilizar, por ejemplo, un proceso de difusión en horno, en el que sobre la capa de silicio de tipo p altamente dopado crece vidrio de fosfosilicato en la cara trasera y en la cara delantera. El proceso de difusión en horno se puede llevar a cabo de tal manera que, después del proceso de difusión en horno, haya una alta proporción de fósforo en el vidrio de fosfosilicato. Durante la difusión en horno, se difunde fósforo hacia la cara delantera de la célula solar y este dopa la superficie de la cara delantera para obtener el tipo n. En la cara trasera, el fósforo también se difunde hacia la capa de silicio de tipo p altamente dopado. Los parámetros de difusión en horno se eligen a este respecto de modo que la concentración de dopante del fósforo no exceda la concentración de dopante de boro en la capa de silicio de tipo p. La capa precursora, por ejemplo, vidrio de fosfosilicato, también se puede aplicar usando otros

procedimientos tales como PECVD.

Durante la difusión en horno, una parte del segundo dopante se difunde desde la capa precursora hacia la capa de silicio altamente dopado. La difusión en horno se lleva a cabo de tal manera que la concentración de dopante difundido del segundo dopante no supere la concentración de dopante del primer dopante en la capa de silicio altamente dopado. Esto evita que se produzca una sobrecompensación del primer dopante durante la difusión en horno. Si la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad es una capa de silicio de tipo p y el dopante de la segunda polaridad es fósforo, la capa de silicio de tipo p altamente dopado sigue estando dopada en el tipo p. En cambio, la cantidad de dopante del segundo dopante, que todavía se encuentra en la capa precursora, se sitúa por encima de la cantidad de dopante del primer dopante en la capa de silicio altamente dopado. El procedimiento comprende una etapa para irradiar con láser la cara trasera para crear regiones de base altamente dopadas localmente de una segunda polaridad. Si el dopante de la segunda polaridad aplicado previamente es fósforo, el vidrio de fosfosilicato sirve como fuente de dopado durante la irradiación con láser para la creación de regiones de base de tipo n altamente dopadas localmente. La energía de la radiación láser funde localmente el vidrio de fosfosilicato, la capa de silicio de tipo p altamente dopado, la capa de túnel y la superficie de la cara trasera en determinadas regiones. Los dopantes del vidrio de fosfosilicato y la capa de silicio de tipo p altamente dopado se difunden hacia el silicio fundido en la superficie de la cara trasera. Una vez que la radiación láser ha disminuido, la masa fundida se enfría y solidifica. Ambos dopantes permanecen en el silicio, en donde uno o ambos dopantes pueden enriquecerse en la superficie. Debido a la mayor cantidad de dopante del dopante de segunda polaridad en la capa precursora, la concentración del segundo dopante en la superficie de silicio solidificada es significativamente mayor que la concentración del primer dopante de la capa de silicio de tipo p altamente dopado y conduce a un dopado de tipo n localmente alto debido a una sobrecompensación en las regiones seleccionadas. Mediante una elección adecuada de los parámetros del láser, también se pueden crear en las regiones seleccionadas localmente secciones de silicio de tipo n selectivamente con diferentes niveles de alto dopado.

Según una forma de realización, está previsto que el procedimiento comprenda una etapa para retirar selectivamente la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad y/o de la capa precursora. Al retirar la capa o pila de capas en regiones adyacentes de diferente polaridad se interrumpe el contacto entre ambas regiones dopadas de manera diferente y se puede evitar que puedan ocurrir altos niveles de recombinación o cortocircuitos en las regiones de contacto. La retirada selectiva de la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad se puede realizar, por ejemplo, mediante irradiación con láser, ataque químico húmedo o una combinación de ambos procesos. La capa precursora, en particular vidrio de fosfosilicato, puede retirarse, por ejemplo, mediante ataque químico húmedo. Si la capa de silicio altamente dopado de la primera polaridad es una capa de silicio de tipo p y el dopante de la segunda polaridad es fósforo, rebajar por ataque químico algunos nanómetros de la capa de silicio de tipo p puede eliminar parte de la capa de silicio con alto contenido en fósforo y limitar el aumento de la resistencia de capa de la capa de silicio de tipo p por difusión de fósforo.

Según una forma de realización, está previsto que el procedimiento comprenda una etapa para aplicar una capa de pasivación a la superficie de la cara delantera y/o la cara trasera. La capa de pasivación comprende, por ejemplo, dióxido de silicio, nitrato de silicio, óxido de aluminio, cultivos térmicamente, o una pila de capas de dos o más capas dieléctricas. A este respecto, el espesor, el índice de refracción y la composición de la capa de pasivación de la cara trasera pueden diferir del espesor, el índice de refracción y la composición de la capa de pasivación de la cara delantera. Ventajosamente se optimizan los espesores de las capas de pasivación de tal modo que la reflexión se reduzca en la cara delantera y aumente en la cara trasera.

Según una forma de realización, está previsto que el procedimiento comprenda una etapa para aplicar electrodos a la cara trasera de la célula solar. Los electrodos se pueden aplicar, por ejemplo, mediante serigrafía, deposición en fase de vapor, pulverización catódica o deposición galvánica de uno o más metales u otras capas conductoras. Los electrodos pueden comprender, por ejemplo, pasta de plata, pasta de plata/aluminio, pasta de aluminio o aluminio puro, cobre, estaño, paladio, plata, titanio, níquel o pilas de capas o aleaciones de los metales mencionados u otras capas conductoras, en particular polímeros u óxidos conductores, o una combinación de tales capas con metales. La composición y el proceso de deposición de los electrodos pueden diferir para ambas polaridades. Los electrodos, en particular en una etapa a alta temperatura después de la serigrafía, pueden penetrar localmente en la capa de pasivación y, dependiendo de la polaridad de los electrodos, hacer contacto con la capa de silicio de tipo p altamente dopado o con las regiones de base altamente dopadas.

Según una forma de realización, está previsto que el procedimiento comprenda una etapa para retirar selectivamente la capa de pasivación. Antes de la deposición de los electrodos, la capa de pasivación se puede retirar localmente, por ejemplo mediante irradiación con láser.

Otras características, posibilidades de aplicación y ventajas de la invención se desprenden de la siguiente descripción de ejemplos de realización de la invención, que se representan en las figuras del dibujo.

En el dibujo muestra:

la Fig. 1 una vista esquemática de un fragmento de una célula solar según la invención, y

las Figuras 2a a 2h una célula solar según la figura 1 en diferentes etapas de un procedimiento para fabricar la célula solar.

5 La figura 1 muestra un fragmento de una célula solar 10 con un sustrato semiconductor 12, en particular una oblea de silicio, una cara trasera 14 y una cara delantera 16 orientado hacia el sol. La oblea de silicio 12 puede estar dopada en el tipo n o el tipo p. La célula solar 10 se explica utilizando como ejemplo un dopado de tipo n de la oblea de silicio 12, la "base".

10 En la cara trasera 14 está prevista una capa de silicio 20 policristalino de tipo p altamente dopado. Esta forma una primera polaridad en la cara trasera 14. En la región de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado, una capa de túnel 18, que comprende en particular dióxido de silicio 18, pasiva la superficie de la oblea de silicio 12.

15 La célula solar 10 comprende en la cara trasera 14 electrodos 34 de una primera polaridad y electrodos 36 de una segunda polaridad. Debajo de los electrodos 34 de la primera polaridad se encuentran la capa de túnel 18 y la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado. Los electrodos 36 de la segunda polaridad han hecho contacto directo eléctrica y mecánicamente con el sustrato semiconductor 12. Los electrodos 36 de la segunda polaridad hacen contacto con el sustrato semiconductor 12 en regiones de base altamente dopadas 26 según la forma de realización ilustrada. Una región de borde sin contacto 28 separa la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado y la región de
20 base 26 de tipo n altamente dopada.

El proceso de fabricación de la célula solar 10 se explica a continuación con referencia a las figuras 2a a 2h. Las figuras 2a a 2h ilustran el flujo de proceso para la fabricación sin máscara de una célula solar 10 con un único tipo de contactos selectivos. Como material de partida, la oblea de silicio 12 con una cara delantera 14 y una cara trasera 16
25 se puede dopar en el tipo n o el tipo p. El flujo de proceso se explica utilizando el dopado de tipo n de la oblea, la "base".

La figura 2a muestra la oblea de silicio 12 con una cara trasera 14 pulida y una cara delantera 16 texturizada. En ambas superficies, o preferiblemente solo en la cara trasera 14, se crea una capa de túnel 18, por ejemplo un dióxido de silicio, con un espesor de preferiblemente como máximo aproximadamente cuatro nanómetros, por
30 ejemplo en un proceso térmico o químico húmedo o mediante deposición.

En una siguiente etapa del procedimiento se deposita sobre la capa de túnel 18 en la cara trasera 14 una capa de silicio 20 altamente dopado de una primera polaridad, en particular por toda la superficie. Además, se parte de un dopado de tipo p como primera polaridad. La figura 2b muestra la deposición por toda la superficie de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado sobre la capa de túnel 18 en la cara trasera 14. La deposición de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante deposición química en fase de vapor asistida por plasma, PECVD, deposición química en fase de vapor a presión atmosférica, APCVD, deposición química en fase de vapor a baja presión (LPCVD) o pulverización catódica. La capa de silicio 20 de tipo p altamente
35 dopado tiene un espesor de aproximadamente 100 nanómetros a 300 nanómetros.

La capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado también se puede depositar en dos etapas en lugar de en una. En este caso, depositar la capa de silicio 20 de tipo p comprende depositar silicio no dopado y luego introducir un dopante. El dopante se introduce, por ejemplo, mediante implantación de iones, difusión en horno o difusión láser. El
45 dopante es, por ejemplo, boro, aluminio o galio.

Si en la cara delantera 16 se encuentra una capa de túnel 18 y/o una capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado, en particular depositada involuntariamente, en una siguiente etapa del procedimiento se retiran la capa de túnel 18, y/o la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado de la cara delantera 16. La capa de túnel 18 y/o la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado se pueden eliminar por ataque químico por toda la superficie o localmente. Esto se muestra en la figura 2c. En una siguiente etapa del procedimiento, que se muestra en la figura 2d, se aplica una capa precursora 22 que comprende un dopante, en particular fósforo, sobre la capa de silicio 20 altamente dopado de la primera polaridad en la cara trasera 14. Según la forma de realización ilustrada, el dopante de la segunda polaridad es fósforo. Para aplicar la capa precursora 22 se lleva a cabo, por ejemplo, un proceso de difusión en
50 horno o una deposición PECVD, en cuyo caso sobre la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado crece vidrio de fosfosilicato 22 en la cara trasera 14 y en la cara delantera 16. Durante la difusión en horno, el fósforo se difunde desde el vidrio de fosfosilicato 22 hacia la cara delantera 16 de la célula solar 10 y dopa la superficie de la cara delantera 16 para obtener el tipo n. En la cara trasera 14, el fósforo también se difunde hacia la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado. El proceso de difusión en horno se lleva a cabo ventajosamente de tal manera que, después del proceso de difusión en horno, haya una alta proporción de fósforo en el vidrio de fosfosilicato 22. Una concentración de los dopantes en la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado y en la capa precursora 22 se seleccionan de tal manera que, después de la difusión en horno en la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado, por un lado, la concentración de dopante del primer dopante es mayor que la concentración de dopante del segundo dopante, por otro lado, pero, en la capa precursora, la cantidad de dopante del segundo dopante es mayor que la cantidad de dopante del primer dopante en la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado. Se evita así que se produzca una sobrecompensación del primer dopante durante la difusión en horno. Por lo tanto, la capa de silicio de
65

tipo p altamente dopado permanece dopada en el tipo p. De esta manera, para la siguiente etapa de irradiación con láser, hay suficiente dopante en el vidrio de fosfosilicato 22 para sobrecompensar el dopante de la primera polaridad durante la irradiación con láser.

- 5 El procedimiento comprende una etapa para irradiar con láser la cara trasera 14 para crear regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente. La figura 2e muestra la célula solar 10 después de que la cara trasera 14 haya sido irradiada localmente con láser. El vidrio de fosfosilicato 22 sirve como fuente de dopado durante la irradiación con láser para crear una superficie de base de tipo n altamente dopada localmente en las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente. La energía de la radiación láser funde localmente el vidrio de fosfosilicato 22, la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado, la capa de túnel, es decir, el dióxido de silicio 18 y la superficie de la cara trasera 14, de modo que se crean las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente. Los dopantes del vidrio de fosfosilicato 22 y la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado se difunden hacia el silicio fundido en la superficie de la cara trasera 14. Una vez que la radiación láser ha disminuido, la masa fundida se enfría y solidifica. Ambos dopantes permanecen en el silicio, en donde uno o ambos dopantes pueden enriquecerse en la superficie. Debido a la mayor cantidad de dopante del dopante de segunda polaridad en el vidrio de fosfosilicato 22, la concentración del segundo dopante en la superficie de silicio solidificada es significativamente mayor que la concentración del primer dopante de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado y conduce a un dopado de tipo n local alto debido a una sobrecompensación en regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente. Mediante una selección adecuada de los parámetros del láser también se pueden crear localmente secciones de silicio de tipo n con niveles de dopado selectivamente diferentes en las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente.

- En células solares con contacto por la cara trasera con contactos selectivos de ambas polaridades pueden producirse altos grados de recombinación cuando las dos capas de silicio dopadas de manera diferente entran en contacto entre sí. Por lo tanto, el procedimiento comprende una etapa para retirar selectivamente la capa de silicio 20 altamente dopado de la primera polaridad y/o la capa precursora 22.

- La figura 2f muestra la célula solar 10 después de que se haya retirado la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado en las regiones de borde 28 de las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente. La capa de silicio 20 de tipo p en las regiones de borde 28 se puede retirar, por ejemplo, mediante irradiación con láser, ataque químico húmedo o una combinación de ambos procesos. Además, se puede utilizar un proceso químico húmedo para retirar el vidrio de fosfosilicato 22 de la capa de silicio de tipo p altamente dopado y de la cara delantera 16 de la célula solar. Rebajar por ataque químico unos pocos nanómetros de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado puede eliminar una capa de silicio con un alto contenido en fósforo y limitar un aumento en la resistencia de capa de la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado por difusión de fósforo.

- La figura 2g muestra la célula solar 10 después de que se haya aplicado una capa de pasivación 30, 32 sobre la superficie de la cara delantera 16 y/o la cara trasera 14. La capa de pasivación 30, 32 comprende, por ejemplo, dióxido de silicio, nitruro de silicio, óxido de aluminio, cultivados térmicamente, o una pila de capas de dos o más capas dieléctricas. A este respecto, el espesor, el índice de refracción y la composición de la capa de pasivación 30 de la cara trasera 14 pueden diferir del espesor, el índice de refracción y la composición de la capa de pasivación 32 de la cara delantera 16. Ventajosamente se optimizan los espesores, la composición y el índice de refracción de las capas de pasivación 30, 32 de tal modo que la reflexión se reduzca en la cara delantera 16 y aumente en la cara trasera 14.

- La figura 2h muestra la célula solar 10 después de que se hayan aplicado los electrodos 34, 36 sobre la cara trasera 14 de la célula solar 10. Los electrodos 34, 36 se pueden aplicar, por ejemplo, mediante serigrafía, deposición en fase de vapor, pulverización catódica o deposición galvánica de uno o más metales u otras capas conductoras. Los electrodos 34, 36 pueden comprender, por ejemplo, pasta de plata, pasta de plata/aluminio, pasta de aluminio o aluminio puro, cobre, estaño, paladio, plata, titanio, níquel o pilas de capas o aleaciones de los metales mencionados u otras capas conductoras, en particular polímeros u óxidos conductores, o una combinación de tales capas con metales. La composición y el proceso de deposición de los electrodos 34, 36 pueden diferir para ambas polaridades. Los electrodos 34, 36, en particular en una etapa a alta temperatura después de la serigrafía, pueden penetrar localmente en la capa de pasivación y, dependiendo de la polaridad de los electrodos, hacer contacto con la capa de silicio 20 de tipo p altamente dopado o con las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente.

- Opcionalmente, antes de aplicar los electrodos 34, 36, la capa de pasivación se puede retirar selectivamente, por ejemplo mediante irradiación con láser, de modo que los electrodos hagan contacto directo con la capa de silicio 20 de tipo p o con las regiones de base 26 de tipo n altamente dopadas localmente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una célula solar (10) con contacto por la cara trasera, en donde un sustrato semiconductor (12) de la célula solar (10) comprende una cara trasera (14), en particular pulida o texturizada, y una cara delantera (16), en particular texturizada, en donde el procedimiento comprende las siguientes etapas: aplicar una capa de túnel (18), que comprende en particular dióxido de silicio, sobre una superficie de la cara trasera (14) o sobre una superficie de la cara delantera (16) y una superficie de la cara trasera (14), y depositar una capa de silicio (20) altamente dopado, en particular por toda la superficie, de una primera polaridad sobre la capa de túnel (18) en la cara trasera (14), **caracterizado por que** el procedimiento comprende además una etapa para aplicar una capa precursora (22) que comprende un dopante, en particular fósforo, sobre la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad en la cara trasera (14), en donde una concentración de los dopantes en la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad y la capa precursora (22) se selecciona de modo que una cantidad de dopante del dopante de una segunda polaridad en la capa precursora (22) sea mayor que la cantidad de dopante del dopante de la primera polaridad en la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad y por que el procedimiento comprende una etapa para irradiar con láser la cara trasera (14) para crear regiones de base (26) altamente dopadas localmente, en donde el dopante de la segunda polaridad sobrecompensa el dopante de la primera polaridad durante la irradiación con láser y se crean así mediante sobrecompensación las regiones de base (26) altamente dopadas localmente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la deposición de la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad comprende la deposición de silicio no dopado y la posterior introducción de un dopante.
3. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para retirar la capa de túnel (18), en particular óxido de silicio, y/o la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad de la cara delantera (16).
4. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para aplicar una capa precursora (22) que comprende un dopante, en particular fósforo, sobre la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad en la cara delantera (16).
5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para retirar selectivamente la capa de silicio (20) altamente dopado de la primera polaridad y/o la capa precursora (22).
6. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para aplicar una capa de pasivación (30, 32) sobre la superficie de la cara delantera (16) y/o la cara trasera (14).
7. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para aplicar electrodos (34, 36) sobre la cara trasera (14) de la célula solar (10).
8. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 6 a 7, **caracterizado por que** el procedimiento comprende una etapa para retirar selectivamente la capa de pasivación (30, 32).
9. Célula solar (10) con contacto por la cara trasera, fabricada de acuerdo con un procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo la célula solar (10) un sustrato semiconductor (12), en particular una oblea de silicio, que comprende una cara delantera (16) y una cara trasera (14), en donde la célula solar (10) comprende en la cara trasera electrodos (30) de una primera polaridad y electrodos (32) de una segunda polaridad, en donde debajo de los electrodos (34) de una primera polaridad se encuentran una capa de túnel (18) y una capa de silicio (20) altamente dopado, y los electrodos (36) de la segunda polaridad hacen contacto directo eléctrica y mecánicamente con el sustrato semiconductor (12) en regiones de base (26) altamente dopadas, **caracterizada por que** las regiones de base (26) altamente dopadas comprenden regiones selectivamente sobrecompensadas de la capa de silicio (20) altamente dopado.
10. Célula solar según la reivindicación 9, **caracterizada por que** una región (28) poco dopada y sin contacto separa la capa de silicio (20) altamente dopado de la región de base (26).

Figura 1

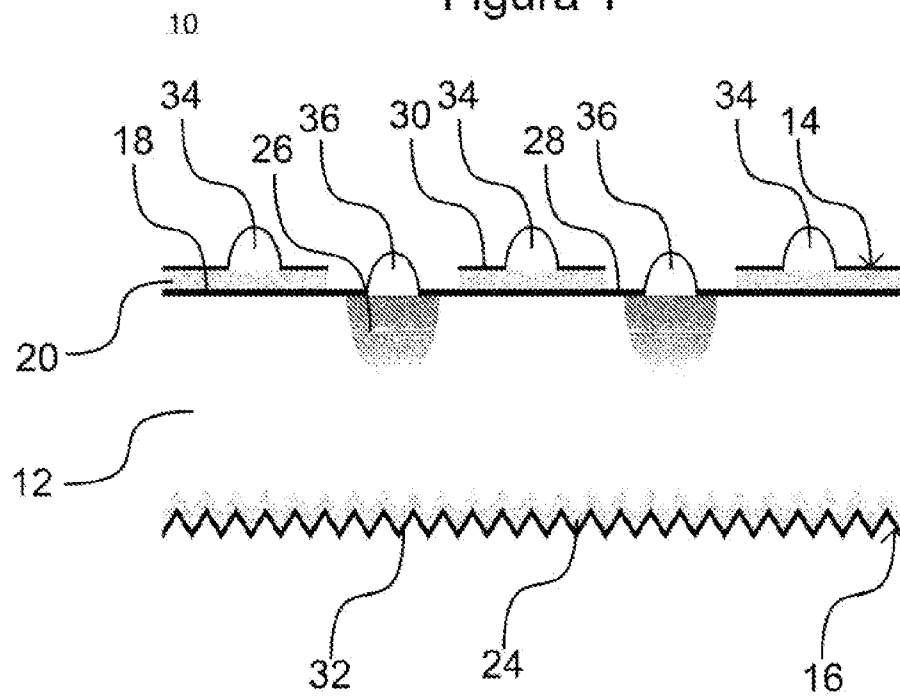
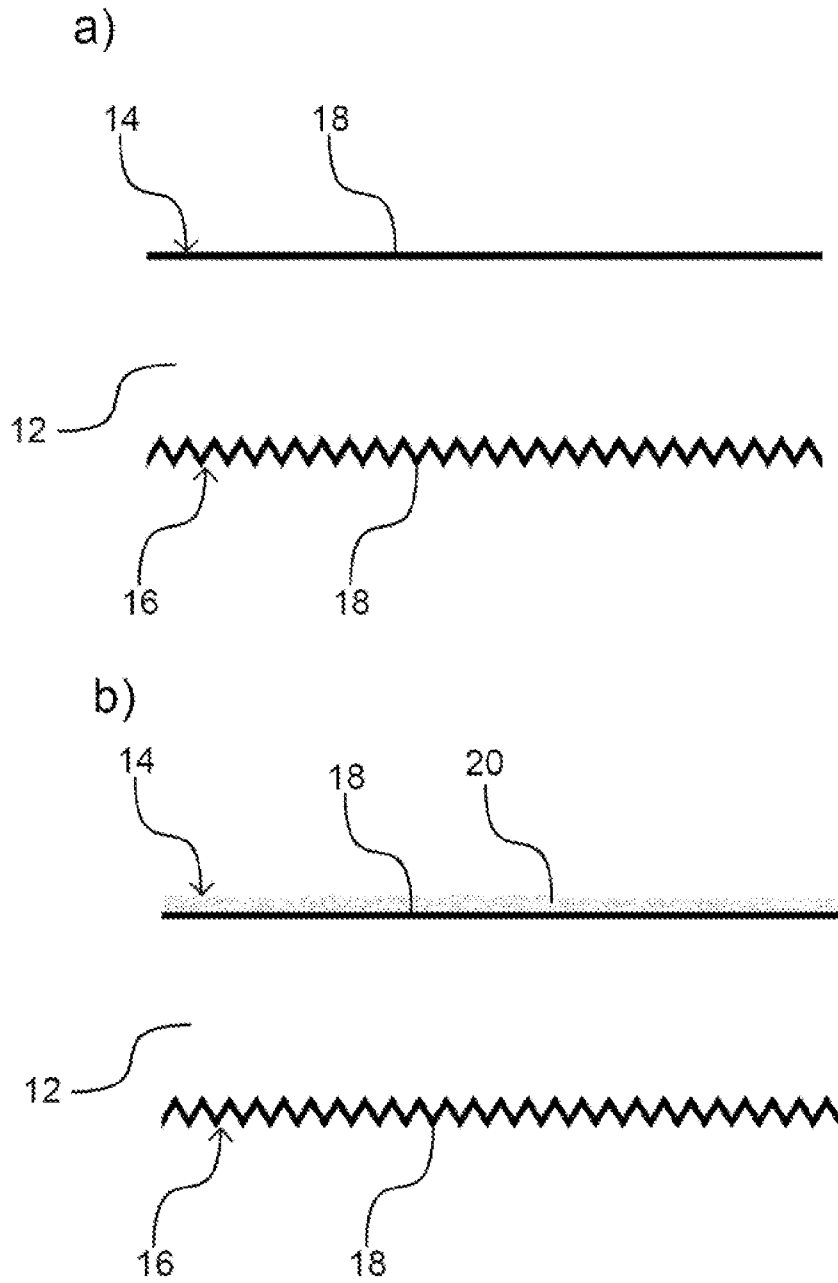
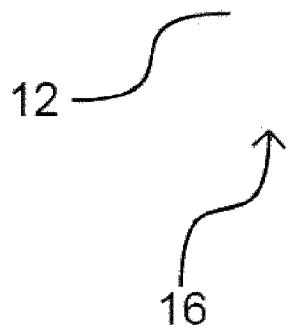
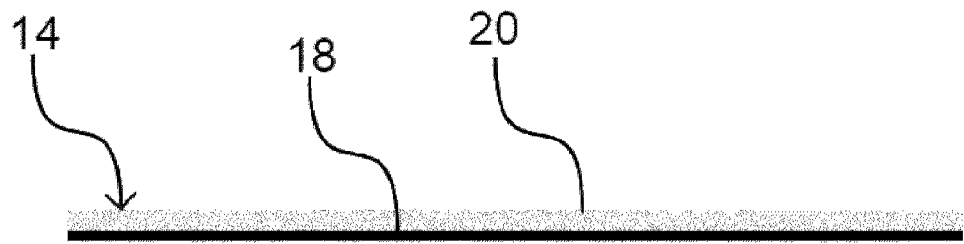


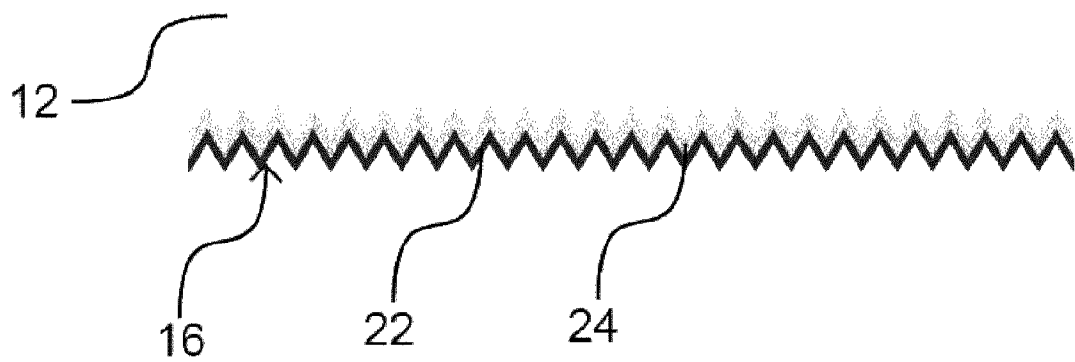
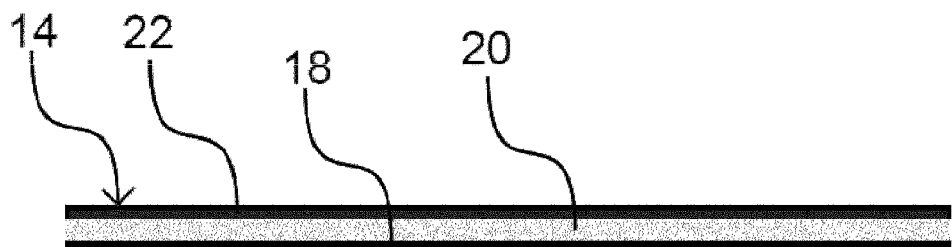
Figura 2

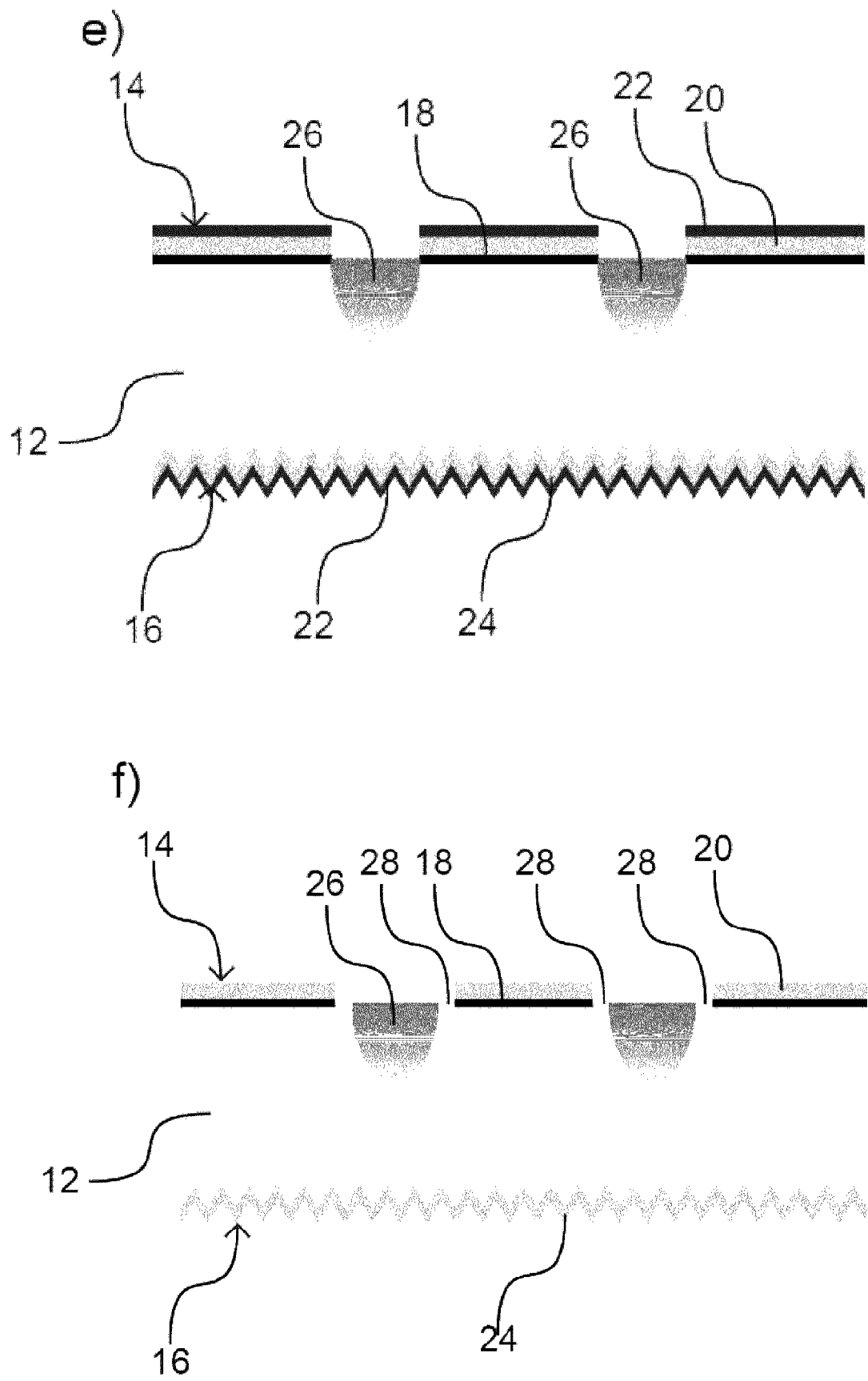


c)

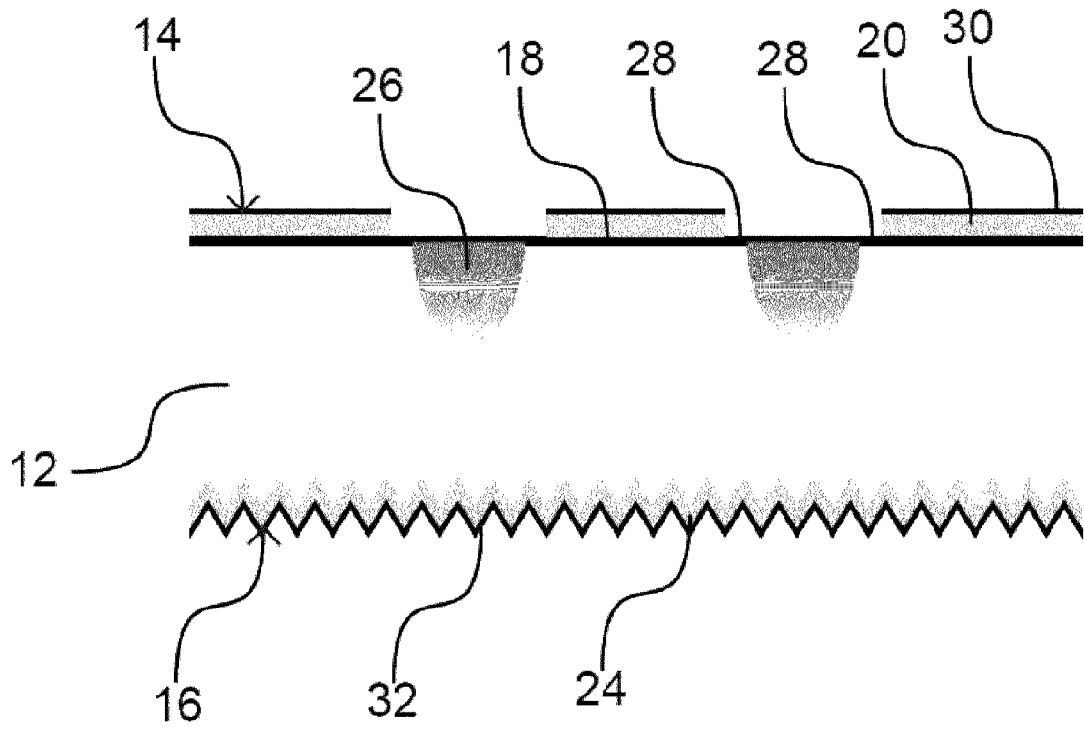


d)





g)



h)

