

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 989**

51 Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)

C23C 14/04 (2006.01)

C23C 16/04 (2006.01)

H01L 21/266 (2006.01)

H01L 21/311 (2006.01)

H01L 21/3213 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2017** **E 17305586 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019** **EP 3404693**

54 Título: **Aparato y método para el procesamiento de texturizado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.07.2020

73 Titular/es:

**TOTAL SA (33.3%)
2 place Jean Millier, La Défense 6
92400 Courbevoie, FR;
ECOLE POLYTECHNIQUE (33.3%) y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%)**

72 Inventor/es:

**BRUNEAU, BASTIEN;
JOHNSON, ERIK;
BULKIN, PAVEL;
HABKA, NADA;
POULAIN, GILLES y
BENMAMMAR, NACIB**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 773 989 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

Aparato y método para el procesamiento de texturizado

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un aparato y método para el procesamiento de texturizado.

10 Más precisamente, la invención se refiere a un sistema y un método para texturizar una superficie de muestra sólida con resolución espacial milimétrica o submilimétrica.

15 En particular, la invención se refiere a un aparato y un método para formar una película delgada texturizada por depósito de plasma o, respectivamente, aberturas texturizadas por decapado con plasma, a un coste moderado en comparación con las etapas convencionales de enmascaramiento, fotolitografía o procesamiento con láser.

20 La invención también se refiere a la fabricación de cualquier arquitectura de células solares donde se requiere una etapa de texturizado. La invención se puede usar para células solares de alta eficacia a costes de fabricación reducidos. En particular, la invención se aplica a la fabricación de células solares de contacto posterior interdigitado (IBC).

Información de antecedentes y técnica anterior

25 Numerosos documentos describen aparatos y métodos para la fabricación de dispositivos que incorporan películas delgadas texturizadas, tales como los dispositivos de células solares.

Las etapas de depósito de película delgada y/o decapado se pueden realizar por diferentes técnicas y, en particular, por depósito químico en vapor potenciado por plasma (PECVD) en general a baja temperatura (menos de 300 °C).

30 En microelectrónica, la etapa de texturizado se basa, en general, en fotolitografía para generar películas delgadas texturizadas con resolución espacial submicrométrica y con proporciones de aspecto muy altas (hasta aproximadamente 1/100). Sin embargo, la fotolitografía requiere materiales adicionales para depositar y retirar una capa de enmascaramiento fotorresistente, etapas de procesamiento y herramientas costosas, tales como un paso a paso, y por tanto causa grandes costes de fabricación. Se pueden usar técnicas de resolución mucho menor, pero estas técnicas también implican múltiples etapas de enmascaramiento y decapado. Por ejemplo, cada uno del documento de patente US 2015/0325410 A1, que describe un aparato de decapado, y los documentos de patente US 2012/0248328 A1 y US2013/0287964 A1, que divulgan sistemas de implantación de iones, comprende una cámara de plasma, un soporte de sustrato y una placa de extracción con al menos una abertura a través de la que se dirige un haz de iones hacia el soporte del sustrato.

40 Se han usado máscaras con puesta a tierra colocadas en contacto con la superficie del sustrato para obtener un depósito texturizado en una sola etapa. Sin embargo, la exactitud de la característica texturizada obtenida está directamente vinculada con la delgadez de la máscara y, por lo tanto, inversamente con la estabilidad mecánica de la máscara. Además, cualquier espacio entre la máscara con puesta a tierra y la superficie da lugar a la dispersión de la característica del depósito texturizado. Además, el contacto entre una máscara y una superficie produce contaminación y/o daño a la superficie.

50 También se puede usar ablación con láser para formar orificios en un apilamiento de película delgada sin implicar enmascaramiento. Sin embargo, el procesamiento con láser también es costoso.

Las células solares de silicio cristalino (c-Si) industriales de alta eficacia usan contactos localizados para reducir el área de superficie en contacto con el metal o para obtener una ventaja geométrica al reducir el sombreado debido a las cuadrículas metálicas.

55 Las células solares de alta eficacia (>20 %) usan contactos puntuales. Las células c-Si industriales de la más alta eficacia usan una configuración de contacto posterior interdigitado (IBC). Sin embargo, dichos diseños son costosos de implementar, e implican numerosas etapas de proceso, tales como la ablación con láser para formar aberturas dieléctricas para los contactos puntuales o la litografía para formar los contactos IBC. No obstante, los diseños de IBC y los contactos puntuales se usan actualmente en la industria, como se describen por R. Swanson *et al.* (Actos del 33.º IEEE PVSC, San Diego, CA, EE.UU., 2008).

65 Otro diseño industrial de alta eficacia (tecnología HIT) usa una capa intrínseca delgada de silicio hidrogenado amorfo (a-Si:H), depositada por PECVD, como capa pasivante. La pasivación HIT se realiza de forma ventajosa a baja temperatura (menos de aproximadamente 250 °C), reduciendo por tanto el presupuesto térmico del proceso y dando como resultado muy buenas propiedades de pasivación para la superficie de la oblea.

Panasonic (Masuko *et al.*, IEEE Journal of Photovoltaics 4 (2014) 1433-1435) ha demostrado recientemente un diseño de células solares IBC que usa pasivación HIT de área grande. Sin embargo, el uso de una capa de pasivación intrínseca delgada de a-Si:H en una configuración IBC implica una etapa de texturización posterior para las capas dopadas, usando fotolitografía, lo que reduce por tanto la rentabilidad de la pasivación HIT a baja temperatura.

Uno de los desafíos en la implementación de una operación de enmascaramiento en la superficie prístina de una oblea de silicio, en particular después de la eliminación del óxido natural, es la alta sensibilidad de esta superficie al daño y la contaminación.

Sumario de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la invención es proporcionar un aparato y un método para formar dispositivos texturizados con aplicaciones a cualquier tipo de células solares o dispositivos semiconductores o dispositivos optoelectrónicos, a un coste de fabricación reducido y preferentemente a baja temperatura.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un aparato y métodos alternativos para formar contactos interdigitados en células solares IBC y/o para formar aberturas dieléctricas para contactos puntuales en células solares.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un sistema y un método para texturizar dispositivos electrónicos u optoelectrónicos, por ejemplo, para formar capas texturizadas o una superficie texturizada, sin aplicar una máscara directamente en la superficie o en contacto con la superficie del dispositivo.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un método y un aparato totalmente integrados que posibiliten diferentes etapas de depósito y/o decapado, para formar diversas características texturizadas y sin texturizar en un mismo sustrato y en un mismo flujo de proceso y/o en una misma cámara de herramienta de procesamiento, para prevenir daños en la superficie, contaminación y para evitar costes de capital adicionales relacionados con la herramienta.

Los objetivos anteriores se logran de acuerdo con la invención proporcionando un aparato para el procesamiento de texturizado, de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una fuente de gas de entrada, una fuente de energía adecuada para excitar el gas de entrada y para generar un plasma en una región de plasma y un portamuestras configurado para recibir una muestra sólida y dispuesto de modo que, en uso, esté puesto a tierra.

De acuerdo con la invención, el aparato comprende una máscara dispuesta entre la región de plasma y el portamuestras, teniendo la máscara una primera cara orientada hacia la región de plasma y una segunda cara orientada hacia una superficie de la muestra sólida que se va a procesar, en uso, comprendiendo la máscara al menos una abertura de máscara que se extiende a través de la máscara desde la primera cara hasta la segunda cara, y una fuente de alimentación eléctrica adaptada para aplicar una tensión de polarización no nula de corriente continua a la máscara, colocándose la máscara a una distancia menor que una distancia umbral desde la superficie de la muestra sólida para prevenir, en uso, la generación de plasma entre la máscara y la muestra sólida, y dimensionándose y conformándose dicha abertura de máscara para generar, en uso, un procesamiento de texturizado espacialmente selectivo al seleccionar y enfocar los iones del plasma en la superficie de la muestra sólida. La máscara comprende una parte eléctricamente conductora en la primera cara, una parte eléctricamente conductora que cubre parcial o totalmente las paredes laterales de la abertura de máscara, y la segunda cara de la máscara comprende una parte eléctricamente aislante, estando adaptada la parte eléctricamente aislante de la segunda cara de la máscara para estar en contacto con la superficie de la muestra sólida que se va a procesar, en uso.

La ventaja de usar una máscara con polarización de CC es que la dispersión de características texturizadas se puede limitar e incluso ajustar usando la tensión de polarización de CC aplicada a la máscara. Como resultado, las características texturizadas tienen dimensiones espaciales más pequeñas que las aberturas de máscara correspondientes.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, la abertura de máscara tiene un ancho de abertura que varía en el intervalo de submilimétrico a milimétrico tomado a lo largo de una primera dirección paralela a la segunda cara de la máscara, teniendo la abertura de máscara una altura de abertura en otra dirección tomada transversalmente a la segunda cara de la máscara, definiendo una proporción de aspecto de la altura de la abertura sobre el ancho de la abertura, y la proporción de aspecto es mayor que 1.

De acuerdo con un modo de realización particular y ventajoso, la abertura de máscara tiene una conformación cónica o cilíndrica o una conformación elegida para generar, en uso, una textura con un perfil espacial determinado en la superficie del sustrato.

De acuerdo con otro aspecto particular, la máscara comprende una pluralidad de aberturas de máscara

dispuestas en una formación periódica unidimensional o bidimensional.

De acuerdo con un modo de realización, la máscara se hace de un material eléctricamente conductor y la máscara se coloca, en uso, a una distancia no nula de la superficie de la muestra sólida.

5

De acuerdo con otro modo de realización particular y ventajoso, la máscara comprende una primera parte conductora, una segunda parte conductora aislada eléctricamente de la primera parte conductora, comprendiendo la primera parte conductora una abertura de máscara de primer tipo y comprendiendo la segunda parte conductora una abertura de máscara de segundo tipo, la fuente de alimentación eléctrica se adapta para aplicar una primera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora y la fuente de alimentación eléctrica se adapta para aplicar una segunda tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora.

10

Preferentemente, en este último modo de realización, la fuente de alimentación eléctrica se dispone de modo que, en uso, la primera tensión de polarización de corriente continua y la segunda tensión de polarización de corriente continua tienen polaridades opuestas en un mismo instante.

15

En un modo de realización particular, la máscara comprende además una parte eléctricamente aislante que conecta mecánicamente la primera parte conductora a la segunda parte conductora.

20

De acuerdo con un modo de realización particular, la máscara está montada en una platina de traslación o rotación.

De acuerdo con diferentes modos de realización, la fuente de energía comprende otra fuente de alimentación eléctrica conectada a un electrodo plano dispuesto en paralelo con respecto al portamuestras y configurado para generar un plasma acoplado capacitivamente, u otra fuente de alimentación eléctrica conectada a un electrodo de bobina dispuesto para generar un plasma acoplado inductivamente o una antena de microondas acoplada a la cámara de generación de plasma por medio de guías de ondas y dispuesta para generar un plasma de microondas y/o un sistema de generación de campo magnético para generar un campo magnético en la región de plasma.

25

30

En algunas aplicaciones, se aplica una tensión de polarización de CC positiva a la máscara con respecto al portamuestras con puesta a tierra que soporta la muestra que se va a procesar. Además, la tensión de polarización de CC aplicada a la máscara también se puede usar para potenciar la limpieza de la máscara después del procesamiento de texturizado obtenido por plasma, por ejemplo, usando una tensión de polarización de CC negativa con respecto al portamuestras con puesta a tierra después de usar una tensión de polarización de CC positiva para el procesamiento de texturizado obtenido por plasma.

35

En otras aplicaciones, se aplica una tensión de polarización de CC negativa a la máscara para el procesamiento de texturizado obtenido por plasma. En este caso, se puede usar una tensión de polarización de CC positiva para limpiar la máscara después del procesamiento de texturizado obtenido por plasma.

40

La invención también se refiere a un método para texturizar una muestra sólida, de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende las siguientes etapas:

45

- colocar una muestra sólida en un portamuestras con puesta a tierra de un aparato para el procesamiento con plasma,

- colocar una máscara entre el portamuestras con puesta a tierra y una región de plasma del aparato para el procesamiento con plasma, teniendo la máscara una primera cara, una segunda cara y al menos una abertura de máscara que se extiende a través de la máscara desde la primera cara hasta la segunda cara, estando orientada la primera cara hacia la región de plasma y estando orientada la segunda cara hacia una superficie de la muestra sólida que se va a procesar, comprendiendo la máscara una parte eléctricamente conductora en la primera cara, una parte eléctricamente conductora que cubre parcial o totalmente las paredes laterales de la abertura de máscara, y comprendiendo la segunda cara de la máscara una parte eléctricamente aislante, estando adaptada la parte eléctricamente aislante de la segunda cara de la máscara para estar en contacto con la superficie de la muestra sólida que se va a procesar;

50

55

- inyectar un gas de entrada en la región de plasma del aparato para el procesamiento con plasma;

60

- aplicar una energía adecuada para excitar el gas de entrada y para generar un plasma en la región de plasma;

y

- aplicar una tensión de polarización de corriente continua no nula a la máscara, colocándose la máscara a una distancia menor que una distancia umbral de la muestra sólida para prevenir la generación de plasma entre la máscara y la muestra sólida, y dimensionándose y conformándose dicha abertura de máscara para generar un

65

procesamiento de texturizado espacialmente selectivo al seleccionar y enfocar los iones del plasma en la superficie de la muestra sólida.

5 De acuerdo con diversos aspectos del método, el gas de entrada y la tensión de polarización de corriente continua se seleccionan para generar en la superficie de la muestra sólida, respectivamente, un depósito de capa texturizada, un decapado texturizado, un bombardeo iónico texturizado, un dopado texturizado, una limpieza texturizada, una densificación texturizada y/o una funcionalización de superficie texturizada.

10 En un modo de realización particular, la tensión de polarización de corriente continua es positiva durante una etapa de procesamiento y, respectivamente, negativa durante otra etapa de procesamiento.

Preferentemente, la tensión de polarización de corriente continua se ajusta en amplitud para generar características texturizadas espacialmente selectivas que tengan un tamaño y/o perfil determinados.

15 Preferentemente también, la distancia entre la máscara y la superficie de la muestra sólida se ajusta para generar características texturizadas que tengan un tamaño y/o perfil determinados.

20 De acuerdo con un modo de realización particular, la máscara comprende una primera parte conductora, una segunda parte conductora aislada eléctricamente de la primera parte conductora, comprendiendo la primera parte conductora una abertura de máscara de primer tipo, y comprendiendo la segunda parte conductora una abertura de máscara de segundo tipo, y el método comprende las siguientes etapas:

25 - inyectar un primer gas de entrada en la región de plasma, aplicar una primera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora y aplicar una segunda tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora, para generar un procesamiento de texturizado de primer tipo en la superficie de la muestra sólida al seleccionar y enfocar un primer tipo de iones del plasma a través de la abertura de máscara de primer tipo;

30 - inyectar otro gas de entrada en la región de plasma, aplicar una tercera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora y aplicar una cuarta tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora para generar un procesamiento de texturizado de segundo tipo en la superficie de la muestra sólida al seleccionar y enfocar otro tipo de iones del plasma a través de la abertura de máscara de segundo tipo.

35 El aparato y método posibilitan por tanto realizar un procesamiento de texturizado obtenido por plasma en la superficie del sustrato en áreas que definen una textura que está delimitada por la(s) abertura(s) de máscara y preferentemente con una extensión espacial más pequeña que la(s) abertura(s) de máscara, para formar una textura en la superficie del sustrato.

40 En una aplicación particular, la presente divulgación posibilita un depósito espacialmente selectivo de capa(s) texturizada(s) usando depósito químico en vapor potenciado por plasma. Preferentemente, esto se logra sin contacto entre la máscara con polarización de CC y la superficie procesada. Dependiendo de las condiciones del plasma, y en particular de la composición química del gas de entrada, la presente divulgación también posibilita el decapado espacialmente selectivo de la superficie del sustrato, formando por tanto una superficie texturizada con aberturas, usando decapado químico en vapor potenciado por plasma, preferentemente sin tocar la superficie del sustrato. En otras condiciones de tensión de polarización de CC y química adaptada combinadas, la presente divulgación posibilita la modificación de la superficie espacialmente selectiva obtenida por plasma, tal como texturizado de superficie, limpieza de superficie y/o funcionalización de superficie texturizada. La presente divulgación también posibilita un dopaje espacialmente selectivo por bombardeo iónico. En otras palabras, la invención logra una operación de enmascaramiento con resolución espacial milimétrica o submilimétrica sin aplicar una capa de enmascaramiento fotoresistente en la superficie del sustrato.

55 Además, se pueden implementar múltiples texturas cambiando la configuración de la máscara y/o la tensión de polarización de CC en tiempo real entre las diferentes etapas de procesamiento. De ese modo, se puede realizar un proceso de depósito, decapado o limpieza sin máscara uniforme en la misma cámara del reactor de plasma retirando la máscara de la región entre el área de plasma y la superficie de muestra, de modo que el procesamiento con plasma no esté limitado por la máscara sino que se extienda uniformemente a través de la superficie de la muestra sólida.

60 La invención también se refiere al uso del aparato para el procesamiento de texturizado de acuerdo con cualquier modo de realización divulgado en el presente documento y/o el método de acuerdo con cualquier modo de realización divulgado en el presente documento, de acuerdo con la reivindicación 15, para la fabricación de una célula solar, un dispositivo semiconductor o un dispositivo optoelectrónico.

65 La invención se aplica en particular a la fabricación de dispositivos de células solares fotovoltaicas usando un sistema generador de plasma y/o usando un método de fabricación de dispositivos texturizados como se divulga

en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La presente descripción se ofrece solo para propósitos ilustrativos no limitantes y se entenderá mejor cuando se haga referencia a los dibujos anexos en los que:
 - la figura 1 representa esquemáticamente una sección transversal de un aparato para el procesamiento de texturizado de acuerdo con un modo de realización de la invención;
 - 10 - la figura 2 representa esquemáticamente una sección transversal de un aparato acoplado capacitivamente para el procesamiento de texturizado de acuerdo con un modo de realización particular;
 - la figura 3 muestra los resultados experimentales de un perfil de sección transversal de características texturizadas obtenidas usando un aparato para el procesamiento de texturizado con una máscara como se muestra en la figura 1 o 2, teniendo la máscara una polarización de CC positiva (curva que une los puntos circulares) y, respectivamente, estando la misma máscara con puesta a tierra (curva que une los puntos cuadrados);
 - 15 - la figura 4 representa esquemáticamente una vista superior de una máscara que comprende dos partes metálicas de acuerdo con un modo de realización particular.

Descripción detallada de ejemplo(s)

25 La presente divulgación se refiere a una técnica para el procesamiento de texturizado obtenido por plasma, en particular para depositar y/o decapar características texturizadas en una superficie de un sustrato, película delgada o apilamiento de películas delgadas a un coste de fabricación reducido, y preferentemente sin tocar dicha superficie.

30 Dispositivo y proceso

Aparato de procesamiento con plasma general

35 La figura 1 representa esquemáticamente un aparato para el procesamiento de texturizado de acuerdo con la invención.

El aparato comprende un ensamblaje de alimentación de gas (no representado) para inyectar un gas de entrada 2 y una fuente de energía (no representada) adaptada para generar un plasma 20 excitando el gas de entrada 2 en una región de plasma.

40 El ensamblaje de alimentación de gas comprende, por ejemplo, una línea de inyección de gas conectada a una o varias fuentes de gas para inyectar el gas de entrada o la mezcla de gases en la región de plasma.

45 La región de plasma se ubica preferentemente en una cámara de procesamiento. La cámara de procesamiento puede funcionar a baja presión o, en otras palabras, a una presión menor a la presión atmosférica. De forma alternativa, la cámara de procesamiento puede funcionar a alta presión o, en otras palabras, a una presión mayor o igual a la presión atmosférica.

50 Dentro de la presente divulgación, la fuente de energía se puede seleccionar entre una fuente de energía eléctrica y/o una fuente de energía magnética. La fuente de energía eléctrica puede ser de radiofrecuencia o de microondas. Cualquiera que sea el tipo de medio de generación de plasma, se considera que el plasma 20 se genera en una región de plasma.

55 Por ejemplo, la fuente de energía comprende una fuente de alimentación eléctrica conectada entre dos electrodos planos y paralelos y configurada para generar un plasma acoplado capacitivamente (o CCP) en una región de plasma ubicada entre los electrodos. En un modo de realización alternativo, la fuente de energía comprende una fuente de alimentación eléctrica conectada a un electrodo de bobina dispuesto para generar un plasma acoplado inductivamente (o ICP). El aparato de generación de plasma acoplado capacitiva o inductivamente puede comprender además un sistema de generación de campo magnético para generar un campo magnético adicional en la región de plasma.

60 En otro modo de realización alternativo, la fuente de energía comprende una antena de microondas acoplada a la región de generación de plasma por medio de guías de ondas y adaptada para generar plasma de microondas.

65 El aparato ilustrado en la figura 1 comprende un portamuestras con puesta a tierra 22. El portamuestras 22 tiene,

por ejemplo, una superficie plana dispuesta para recibir una muestra 5. El portamuestras 22 puede formar un electrodo de puesta a tierra del aparato generador de plasma.

5 Se coloca una muestra sólida 5 en el portamuestras con puesta a tierra 22. La muestra sólida 5 tiene una primera superficie 51 y una segunda superficie 52. Más precisamente, la segunda superficie 52 de la muestra sólida 5 está en contacto con el portamuestras con puesta a tierra 22. La primera superficie 51 del sustrato 5 está orientada hacia la región de plasma. La muestra sólida 5 es, por ejemplo, un semiconductor, tal como silicio monocristalino o policristalino o un sustrato de vidrio. Por ejemplo, la muestra sólida 5 es un sustrato plano y paralelo, tal como una oblea de silicio. La superficie 51 del sustrato 5 puede ser plana o puede ser una superficie
10 texturizada. La muestra sólida 5 puede incluir un apilamiento de películas delgadas en la primera superficie 51 y/o en la segunda superficie 52. La primera superficie 51 es en el presente documento la superficie que se va a procesar. La primera superficie 51 se coloca preferentemente en un plano XY de acuerdo con un sistema de coordenadas ortonormal (XYZ).

15 El aparato ilustrado en la figura 1 comprende además una máscara polarizada de corriente continua (CC) 4 colocada entre la región de plasma y el portamuestras 22. Preferentemente, la máscara 4 tiene una geometría en general plana y se coloca en un plano XY. Más precisamente, la máscara 4 tiene una primera cara 45 orientada hacia la región de plasma y una segunda cara 46 orientada hacia el portamuestras 22. La primera cara 45 y la segunda cara 46 se colocan preferentemente en planos XY. La máscara 4 comprende al menos una abertura de
20 máscara 40 que se extiende desde la primera cara 45 hasta la segunda cara 46. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, la máscara 4 comprende una pluralidad de aberturas de máscara 40 u orificios pasantes. La máscara 4 comprende partes lisas entre las aberturas de máscara 40. En una variante, la máscara 4 puede comprender una única abertura de máscara 40.

25 La abertura de máscara 40 puede tener un perfil de sección transversal a lo largo del eje X y extenderse a lo largo del eje Y con un perfil similar, para generar texturas unidimensionales que se extienden longitudinalmente en la superficie de la muestra a lo largo del eje Y.

30 De forma alternativa, la abertura de máscara puede tener un perfil de sección transversal bidimensional a lo largo del eje X y el eje Y. Por ejemplo, la abertura de máscara puede tener un perfil similar al ilustrado en la figura 1 a lo largo del eje Y, para generar texturas limitadas tanto en las direcciones X como Y en la superficie 51 de la muestra sólida 5.

35 Por ejemplo, una abertura de máscara 40 tiene un ancho W a lo largo del eje X y una altura H a lo largo del eje Z. La altura H de la abertura de máscara es, en general, igual al grosor de la máscara. En general, el ancho W a lo largo del eje X está entre 0,1 mm y 5 mm, y preferentemente entre 0,5 mm y 2 mm. La abertura de máscara tiene una proporción de aspecto (altura sobre ancho, H/W). Esta proporción de aspecto es mayor que uno y preferentemente mayor que 2. Por ejemplo, las aberturas 40 tienen una conformación rectangular, con un ancho W de 0,5 mm y una altura H de 2 mm, y por tanto, una proporción de aspecto de 4. Las dimensiones de la
40 abertura en el eje Y son mayores o iguales que las del eje X.

Preferentemente, la máscara se hace de un material eléctricamente conductor. Una fuente de alimentación de CC 16 aplica una tensión de polarización de CC V[4] a la máscara 4.

45 La fuente de energía y el gas de entrada se usan para generar un plasma 20 en una región de plasma ubicada en el lado de la primera cara 45 de la máscara 4.

50 La máscara 4 se coloca a una distancia D2 de la superficie 15 de la muestra 5 que se va a procesar. La distancia D2 es menor que una distancia umbral para prevenir la generación de plasma entre la segunda cara 46 de la máscara 4 y la superficie de muestra 51. Por ejemplo, la distancia D2 se establece entre 0,1 mm y 2,0 mm y la tensión de polarización de CC es menor que 100 V o 200 V, para evitar la ignición de plasma entre la máscara 4 y la superficie 51 de la muestra 5 para una presión P elegida de aproximadamente 1 Torr (133 Pa), en general entre 0,1 Torr (13,3 Pa) y 10 Torr (1333 Pa). Por tanto, se genera una única área de plasma 20 en un lado de la máscara.

55 Usando una tensión de polarización de CC apropiada, las aberturas de máscara 40 permiten el procesamiento de texturizado en la primera superficie 51 de la muestra sólida 5.

60 Más precisamente, la máscara 4 realiza una operación de selección en las especies excitadas o ionizadas del plasma, dependiendo de la tensión de polarización de CC y la polaridad. El plasma comprende radicales, iones positivos e iones negativos. Una parte de los iones que tienen la misma polaridad que la polarización de CC (iones cargados positivamente para el caso de una máscara polarizada a una tensión de polarización de CC positiva) pasa a través de las aberturas de máscara 40 y se enfoca por la polarización de CC en la superficie 51 de la muestra 5. Los iones de la otra polaridad serán recogidos casi totalmente por la máscara polarizada. En
65 otras palabras, la abertura máscara con una polarización de CC forma una lente electrostática que enfoca selectivamente los iones de la misma polaridad que la tensión de polarización de CC. Por el contrario, los iones

que tienen la polaridad opuesta a la tensión de polarización de CC se atraen por la máscara y no pasan a través de la abertura de máscara. Además, los radicales neutros se pierden en las paredes de las aberturas de máscara. La proporción de aspecto bastante alta de la(s) abertura(s) de máscara es importante para asegurar que los radicales se recojan eficazmente por las paredes de la máscara debido a su movimiento aleatorio y posterior reacción con las paredes laterales de la máscara. Por tanto, la máscara con polarización de CC

5

posibilita el procesamiento de texturizado de la superficie de muestra usando iones enfocados a través de las aberturas de máscara. Como resultado, las características texturizadas formadas en la superficie de muestra 51 tienen un ancho menor que el ancho W de las aberturas de máscara.

10

15

De forma ventajosa, la tensión de polarización de CC aplicada en la máscara 4 se controla y ajusta para influir en el perfil del procesamiento de texturizado en la muestra sólida 5. Más precisamente, cuanto mayor sea la tensión de polarización de CC, más estrecho será el procesamiento de texturizado. Por lo tanto, si se aplica una tensión mayor desde el comienzo del proceso, el ancho de las características texturizadas será más estrecho que el ancho de las aberturas de máscara.

En una aplicación particular, se usa un gas precursor de depósito para generar un plasma de depósito en una región de plasma y se aplica una tensión de polarización de CC positiva V[4] a la máscara para obtener un depósito estrecho de características texturizadas 25 en la superficie 51 de la muestra. En un ejemplo, se usa un plasma para obtener un depósito texturizado de características texturizadas 25 de silicio amorfo en un sustrato 5 que consiste en una oblea monocristalina.

20

De forma alternativa, se aplica una tensión de polarización de CC negativa a la máscara para seleccionar otro tipo de iones.

25

En otra aplicación, se usa otro gas precursor para generar un plasma de decapado.

Aún en otra aplicación, se usa otro gas precursor para generar un bombardeo iónico a través de la máscara con polarización de CC.

30 Modo de realización de un reactor de plasma CCP

Ahora se describirá con más detalle un modo de realización particular de un aparato de procesamiento por plasma en base a un sistema de generación de plasma de tipo CCP.

35

La figura 2 representa esquemáticamente un aparato para el procesamiento de texturizado que comprende una cámara de reactor de plasma o cámara de vacío 10.

40

Más específicamente, se considera el caso representativo de un reactor de plasma acoplado capacitivamente por radiofrecuencia (RF). El sistema RF-CCP comprende un ensamblaje de electrodo que consiste en un primer electrodo 11 y un segundo electrodo 12 dispuestos en la cámara de vacío 10. El primer electrodo 11 y el segundo electrodo 12 son planos y se colocan en planos paralelos que se extienden a lo largo de las direcciones X e Y de acuerdo con un sistema de coordenadas ortonormales (XYZ). En este modo de realización, el segundo electrodo 12 forma un portamuestras.

45

La cámara de vacío 10 está conectada de forma fluidica a una línea de inyección de gas, para inyectar un gas de entrada 2 o una mezcla de gases en la cámara de vacío. Un sistema de bombeo (no representado) está conectado a la cámara de vacío para mantener el vacío o una baja presión dentro de la cámara de vacío y para eliminar el gas residual. El sensor de presión, los caudalímetros y los dispositivos de control, en general, se proporcionan en la línea de inyección de gas, en la cámara de vacío y/o en el sistema de bombeo para controlar la presión y el caudal dentro de la cámara de vacío durante el procesamiento por plasma. El sistema de inyección de gas (no representado en la figura 2) se configura para que el gas de entrada llene el volumen entre electrodos entre el primer electrodo y el segundo electrodo.

50

Como ejemplo de condiciones de funcionamiento, el gas de entrada es una mezcla de un gas precursor de depósito (tal como SiH_4) o un gas precursor de decapado (tal como SF_6) y posiblemente un segundo gas tampón (tal como H_2) a una presión entre 0,1 y 10 Torr (13,3 y 1333 Pa). La temperatura de la muestra sólida es menor a 400 °C, y preferentemente menor a 300 °C.

55

En el ejemplo mostrado, el segundo electrodo 12 está puesto a tierra. Una fuente de alimentación de corriente alterna (CA) 13 aplica una tensión de CA V[1] al primer electrodo 11 con respecto al electrodo de puesta a tierra 12. La tensión de CA V[1] aplicada está preferentemente en el intervalo de radiofrecuencia (RF) (de 500 kHz a 100 MHz). De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, la fuente de alimentación eléctrica de radiofrecuencia se configura para generar una tensión de RF aplicada al primer electrodo 11, en la que la tensión de RF es constante en el tiempo, o comprende una única frecuencia base en el intervalo entre 500 kHz y 100 MHz o comprende una pluralidad de armónicos de una frecuencia base en el intervalo entre 500 kHz y 100 MHz, en la que las amplitudes y fases respectivas de la pluralidad de armónicos se seleccionan para generar una

60

65

diferencia de tensión que tenga una forma de onda con una asimetría de amplitud (por ejemplo, que se asemeja a una serie de picos o valles) o con una asimetría de pendiente (por ejemplo, que se asemeja a una forma de onda de tensión de diente de sierra). Por ejemplo, la amplitud de la tensión de RF aplicada al primer electrodo 11 está entre 200 V y 800 V.

5

El segundo electrodo 12 forma un portamuestras con puesta a tierra. Se coloca una muestra sólida 5 en el segundo electrodo de puesta a tierra 12. La muestra sólida 5 tiene una primera superficie 51 y una segunda superficie 52. Más precisamente, la segunda superficie 52 de la muestra sólida 5 está en contacto con el segundo electrodo de puesta a tierra 12. La primera superficie 51 del sustrato 5 está orientada hacia el primer electrodo 11. La muestra sólida 5 es, por ejemplo, un semiconductor, tal como una oblea de silicio monocristalino o policristalino o un sustrato de vidrio. Por ejemplo, la muestra sólida 5 es un sustrato plano y paralelo, tal como una oblea de silicio. La superficie 51 del sustrato 5 puede ser plana o puede ser una superficie texturizada. La muestra sólida 5 puede incluir un apilamiento de películas delgadas en la primera superficie 51 y/o en la segunda superficie 52. La primera superficie 51 es en el presente documento la superficie que se va a procesar.

10

15

El sistema y método de la presente divulgación realiza el enmascaramiento de un procesamiento por plasma, tal como un depósito PECVD y/o decapado u otra modificación de superficie texturizada. El enmascaramiento es preferentemente sin contacto.

20

Esto se logra usando una máscara con polarización de corriente continua (CC) 4 colocada delante de la primera superficie 51, sobre la que se desea una modificación texturizada, tal como un depósito texturizado, un decapado texturizado o una modificación de superficie texturizada.

25

En el modo de realización de la figura 2, la máscara 4 se dispone para que esté espacialmente separada tanto de la muestra sólida 5 como del primer electrodo 11. Preferentemente, la máscara 4 tiene una geometría, en general, plana y se coloca en un plano XY, paralelo al primer electrodo 11 y al segundo electrodo 12. Más precisamente, la máscara 4 tiene una primera cara 45 orientada hacia la región de plasma y una segunda cara 46 orientada hacia el portamuestras 22. La primera cara 45 de la máscara 4 se coloca a una primera distancia D1 del primer electrodo 11, y, respectivamente, la segunda cara 46 se coloca a una segunda distancia D2 del segundo electrodo 12. Por ejemplo, D1 está comprendida entre 5 mm y 50 mm y D2 está comprendida entre 0,1 mm y 2 mm. El grosor de máscara varía de 0,5 mm a aproximadamente 10 mm.

30

35

En el ejemplo mostrado en la vista de corte de la figura 2, la máscara 4 comprende partes lisas y una pluralidad de aberturas de máscara 40. En una variante, la máscara 4 puede comprender una única abertura de máscara.

La abertura de máscara 40 puede tener un perfil de sección transversal a lo largo del eje X y extenderse a lo largo del eje Y con un perfil similar, para generar texturas unidimensionales que se extienden longitudinalmente en la superficie de la muestra a lo largo del eje Y.

40

De forma alternativa, la abertura de máscara puede tener un perfil de sección transversal bidimensional a lo largo del eje X y el eje Y. Por ejemplo, la abertura de máscara puede tener un perfil similar al ilustrado en la figura 2 a lo largo del eje Y, para generar texturas limitadas en las direcciones X como Y en la superficie 51 de la muestra sólida 5.

45

Por supuesto, también se contemplan geometrías más complejas de abertura de máscara sin apartarse del marco de la presente divulgación.

50

La abertura de máscara puede tener una conformación 3D seleccionada entre una conformación cilíndrica, una conformación cónica, una conformación parcialmente esférica o una conformación elegida para generar un patrón con un perfil espacial determinado en la superficie del sustrato. La abertura de máscara puede tener una conformación de sección transversal 2D en un plano XY seleccionada entre una conformación poligonal tal como una conformación cuadrada, rectangular, trapezoidal, circular o elíptica o una conformación no geométrica, dependiendo de la textura que se va a formar en la primera superficie 51. Las diferentes aberturas de máscara 40 de una misma máscara 4 pueden tener la misma conformación y tamaño. Como alternativa, las diferentes aberturas de máscara 40 de una misma máscara 4 pueden variar en conformación y/o dimensiones. De acuerdo con un aspecto particular y ventajoso, la máscara 4 comprende una pluralidad de aberturas de máscara 40 dispuestas en una formación periódica unidimensional o bidimensional.

55

60

Como ejemplo, la abertura de máscara 40 tiene una conformación cilíndrica con una sección transversal rectangular en un plano XY y un eje paralelo al eje Z. La abertura de máscara 40 tiene un ancho W a lo largo del eje X y una altura H a lo largo del eje Z, determinando una proporción de aspecto de altura sobre ancho, o H/W, mayor que uno, y preferentemente mayor que 2. En general, el ancho W está entre 0,1 mm y 5 mm, preferentemente entre 0,5 mm y 2 mm, por ejemplo un ancho W de 0,5 mm y una altura H de 2 mm, definiendo una proporción de aspecto de 4.

65

La fuente de alimentación de CA 13 aplica una tensión de CA V[1] al primer electrodo 11 con respecto al

segundo electrodo de puesta a tierra 12, para generar un plasma acoplado capacitivamente 20 en una región de plasma entre el primer electrodo 11 y el segundo electrodo 12. Una fuente de alimentación de CC 16 aplica una tensión de polarización de CC $V[4]$ a la máscara 4. La máscara con polarización de CC se dispone entre el plasma 20 y el segundo electrodo 12. La tensión de polarización de CC se mantiene lo suficientemente baja, en el orden de magnitud de menos de 200 V o menos de 100 V, de modo que no se genera plasma entre la máscara 4 y la muestra sólida 5 debido a un efecto de extinción. Por ejemplo, la distancia $D2$ se establece entre 0,1 y 2,0 mm y la tensión de polarización de CC está entre 10 V y 100 V, para evitar la generación de plasma entre la máscara 4 y la superficie 51 de la muestra 5. La presión P se selecciona, en general, entre 0,1 Torr (13,3 Pa) y 10 Torr (1333 Pa), y preferentemente de aproximadamente 1 Torr (133,3 Pa). Por tanto, se genera una única área de plasma en la cámara de vacío 10, extendiéndose el plasma 20 entre la primera cara 45 de la máscara 4 y el primer electrodo 11.

Usando una tensión de polarización de CC no nula apropiada, las aberturas de máscara 40 permiten el procesamiento de texturizado en la primera superficie 51 de la muestra sólida 5. Más precisamente, las aberturas de máscara 40 se dimensionan y se ponen a una distancia $D2$ de la primera superficie 51 de la muestra sólida para posibilitar un texturizado más controlado y estrechado del procesamiento con plasma en la primera superficie 51 en comparación con el obtenido con una máscara de sombra. Las aberturas de máscara 40 y la tensión de CC aplicada a la máscara determinan la o las áreas en la superficie 51 de la muestra sobre las que se produce el procesamiento de texturizado. Por el contrario, la parte lisa de la máscara previene que se produzca el procesamiento de la superficie en áreas lateralmente desplazadas de una abertura de máscara. Se describe que el plasma 20 por sí mismo no pasa a través de las aberturas de máscara. Además, solo algunas especies del plasma pasan a través de las aberturas de máscara. Más precisamente, solo algunos de los iones atraviesan la máscara y se enfocan por la polarización de CC cuando pasan a través de la abertura de máscara, mientras que los radicales se pierden en las paredes de la máscara. De hecho, los iones de la polaridad opuesta en comparación con la tensión de polarización de CC se atraen y criban por la máscara. Solo los iones de la misma polaridad que la tensión de polarización de CC pasan a través de la abertura de máscara y se enfocan debido a un efecto de lente electrostática. Para obtener estos efectos combinados, la proporción de aspecto de la abertura de máscara es un parámetro importante para asegurar que los radicales se "aspiren" eficazmente por las paredes de la abertura de máscara. Como resultado, el aparato posibilita el procesamiento de las características texturizadas 25 espacialmente selectivas en la superficie 51 de la muestra sólida 5. La superficie 51 que se va a procesar está preferentemente a una distancia $D2$ relativamente pequeña de la abertura de máscara para evitar la dispersión de los iones.

En un ejemplo de aplicación, el aparato proporciona el depósito directo de las características texturizadas 25 en la superficie 51 de la muestra sólida, sin usar una capa de enmascaramiento fotorresistente.

De forma ventajosa, la tensión de polarización de CC aplicada en la máscara 4 se controla y ajusta para influir en el perfil del depósito texturizado 25 en la muestra sólida 5. En particular, se aplica una tensión de polarización de CC positiva $V[4]$ a la máscara para obtener un depósito estrecho. Como se menciona anteriormente, cuanto mayor sea la tensión de polarización de CC, más estrecho será el depósito de las características texturizadas 25. Por lo tanto, si se aplica una tensión mayor desde el comienzo del depósito, el ancho de la línea depositada 25 será más estrecho. Por ejemplo, la tensión de polarización de CC se establece entre 10 V y 100 V, y se usa una presión de 1 Torr (133 Pa) para depositar silicio amorfo en una oblea monocristalina.

Opcionalmente, la mezcla de gases de entrada comprende un gas de depósito y un gas dopante, para depositar características texturizadas dopadas.

El sistema de la figura 2 se puede usar para el depósito químico en vapor potenciado por plasma (PECVD) sobre una o una pluralidad de áreas texturizadas usando un gas precursor de depósito apropiado. En el ejemplo de la figura 2, la proporción relativa de las características de depósito texturizadas 25 frente a las áreas sin depósito se adapta para una aplicación al depósito de contactos puntuales. El depósito texturizado se realiza, por tanto, directamente en una única etapa.

Al cambiar la química del gas, el aparato de la figura 1 o 2 también se puede usar para el decapado asistido por plasma de un área texturizada en una superficie o una película delgada, usando un gas de entrada apropiado y una tensión de polarización de CC apropiada aplicada a la máscara. Por tanto, se puede obtener un dispositivo texturizado aplicando decapado con plasma espacialmente resuelto para formar aberturas en una capa dieléctrica en la superficie 51 de la muestra 5. Esta estructura texturizada se puede realizar en dos etapas: etapa 1: depósito uniforme de una capa dieléctrica, y etapa 2: decapado de máscara con polarización de CC para generar decapado con plasma espacialmente resuelto. Opcionalmente, estas dos etapas se realizan en un mismo flujo de proceso y/o en una única cámara de reactor.

El decapado texturizado obtenido por plasma se puede usar para limpiar la superficie selectivamente en algunas áreas antes de otro depósito y/o etapa de decapado.

La máscara con polarización de CC permite depositar o decapar películas delgadas en áreas predeterminadas,

logrando, por tanto, la operación de enmascaramiento sin usar una capa de enmascaramiento fotorresistente. Las dimensiones cruciales y los tamaños de las características de las capas texturizadas obtenidas por esta técnica están en el intervalo submilimétrico (de uno a varios cientos de micrómetros) y son consistentes con los requeridos para la fabricación de células solares de contactos posteriores interdigitados (IBC) o aberturas de contacto puntual para células solares.

Usando un gas de entrada apropiado combinado con una tensión de polarización de CC apropiada aplicada a la máscara, el aparato también se puede usar para el depósito físico en vapor (PVD) o para la implantación de iones. En estos sistemas, también se usa un plasma. Por ejemplo, en PVD, se genera un plasma entre un objetivo sólido y el electrodo de puesta a tierra que forma el soporte del sustrato. De forma similar a como se divulga anteriormente, se inserta una máscara con polarización de CC entre la región de plasma y el electrodo de puesta a tierra, para posibilitar el procesamiento de texturizado con los mismos efectos divulgados para PECVD.

En otra aplicación, se genera un plasma a partir de un gas de entrada y se aplica una tensión de polarización de CC no nula a la máscara para generar un bombardeo iónico texturizado de la superficie 51 del sustrato. Este proceso particular se puede usar para dopaje por implantación de iones.

Preferentemente, la máscara con polarización de CC evita tocar la superficie bajo el procesamiento por plasma de texturizado. En un modo de realización, la máscara se hace de un material eléctricamente conductor y la distancia D2 no es nula y es menor que un umbral determinado, para prevenir la generación de plasma entre la máscara con polarización de CC 4 y el electrodo de puesta a tierra 12. De acuerdo con una variante de este modo de realización, la distancia D2 entre la máscara 4 y la muestra sólida 5 se puede ajustar para obtener un control adicional sobre el perfil del depósito texturizado en la muestra sólida. En este modo de realización, la máscara se hace, por ejemplo, de acero inoxidable, o de aluminio o cualquier otro metal o aleación metálica.

En un modo de realización alternativo, la máscara 4 comprende un revestimiento aislante en su segunda cara 46 orientado hacia el electrodo de puesta a tierra 12 y las partes conductoras en su primera cara 45 y/o en las paredes laterales de la(s) abertura(s) de máscara 40. En este caso, el revestimiento aislante de la máscara puede estar en contacto con la primera superficie 51 de la muestra sólida 5 mientras que la máscara 4 está en una tensión de polarización de CC no nula relativamente al electrodo de puesta a tierra 12 y la muestra sólida 5.

La figura 3 muestra los resultados experimentales obtenidos usando un sistema como se detalla en referencia con la figura 2 relativamente a una abertura de máscara 40. Más precisamente, la figura 2 muestra mediciones del grosor TH normalizado de un material depositado a lo largo del eje X, para una máscara con puesta a tierra, y respectivamente, para una máscara con polarización de CC positiva. El material depositado puede ser silicio amorfo, de forma alternativa puede ser silicio nanocristalino. El ancho W de la abertura de máscara 40 se representa en línea discontinua. En el presente ejemplo, el ancho W es de aproximadamente 1 mm. La proporción de aspecto H/W es de 4. La curva que une los puntos cuadrados representa el grosor del material depositado, en el silicio amorfo de ejemplo, cuando la máscara está puesta a tierra ($V[4] = 0$ voltios). Respectivamente, la curva que une los puntos circulares representa el grosor del material depositado usando una máscara con polarización de CC positiva ($V[4] > 0$ voltios) relativamente al electrodo de puesta a tierra 12. El ancho total a media altura (FWHM) del grosor TH normalizado para el material depositado con una máscara puesta a tierra es mayor que el ancho W de la abertura de máscara, debido a la dispersión. Por el contrario, el ancho total a media altura (FWHM) del grosor TH normalizado para el material depositado con una máscara con polarización de CC positiva es de aproximadamente 400 micrómetros, y por tanto mucho más estrecho que el ancho W de la abertura de máscara. Se observa que el material depositado usando la máscara con polarización de CC positiva muestra un perfil más estrecho que el material depositado, depositado usando la máscara puesta a tierra ($V[4] = 0$ voltios) e incluso más estrecho que el ancho W de abertura de máscara. De hecho, en el caso de una máscara con polarización de CC positiva, la abertura de máscara 40 actúa como una lente electrostática que enfoca los iones positivos en la parte central de la abertura de máscara 40. Como resultado, el ancho de la capa depositada texturizada 25 es más estrecho que el ancho W de la abertura de máscara 40 cuando se usa la máscara con polarización de CC positiva.

Se puede usar una polarización de CC positiva para el depósito o bien para el decapado. La química del gas determina el efecto de depósito o decapado.

En otra aplicación, se aplica una tensión de polarización de CC negativa a la máscara que da como resultado desenfocar los iones positivos que salen de la(s) abertura(s) de máscara. Esto puede proporcionar aplicaciones cuando se considera un proceso de múltiples etapas, y el ancho del área de proceso se debe modificar para que sea menor o bien mayor que el ancho de la abertura 40.

Esta configuración del aparato generador de plasma posibilita, por ejemplo, el depósito local de una capa texturizada 25. La dimensión lateral de la característica texturizada a lo largo del eje X está determinada principalmente por la combinación del ancho W de la abertura de máscara 40, de la proporción de aspecto HW y de la tensión de polarización de CC.

La conformación y dimensión de la abertura de máscara 40 determina la conformación y dimensión de las características texturizadas a lo largo de la otra dirección transversal Y. Si la abertura de máscara presenta una simetría de revolución a lo largo del eje Z, entonces las aberturas de máscara actúan como una lente electrostática esférica, y generan una característica texturizada que tiene una simetría de revolución. Por el contrario, si la abertura de máscara tiene una conformación de hendidura alargada con un ancho W pequeño de menos de 1 mm a lo largo del eje X y una longitud L de más de unos pocos milímetros a lo largo del eje Y, entonces las aberturas de máscara actúan como una lente electrostática cilíndrica y generan una característica texturizada que tiene una conformación alargada, que es más pequeña a lo largo del eje X que el ancho W de la abertura de máscara 40.

Por lo tanto, el uso de una máscara con polarización de CC limita la necesidad de mecanizar aberturas de máscara estrechas. Las aberturas de máscara de dimensiones milimétricas o submilimétricas son, por tanto, más fáciles de mecanizar que las aberturas de máscara de tamaño micrométrico. Además, el grosor de máscara es preferentemente mayor a 1 milímetro, asegurando, por tanto, una mayor resistencia mecánica para la máscara 4.

Durante el depósito de un material en una superficie 51 de una muestra sólida 5, la máscara también se puede recubrir con el material depositado. Como resultado, la abertura de máscara se puede obstruir. Al retirar la muestra procesada del portamuestras, se puede usar un producto químico de plasma limpiador, por ejemplo usando plasma de NF_3 , para limpiar la máscara. De forma ventajosa, se puede aplicar una tensión de polarización de CC negativa a la máscara para hacer la limpieza de la máscara más eficaz. De hecho, en este caso, los iones positivos se atraen por la máscara, por lo tanto, se incrementa la tasa de limpieza.

La presente divulgación encuentra la aplicación más adecuada en el depósito de contactos interdigitados para células fotovoltaicas de contacto posterior interdigitado (IBC), y para la abertura dieléctrica en células solares para contactos puntuales.

Como se menciona anteriormente, la máscara 4 se puede formar a partir de una única parte eléctricamente conductora. Por ejemplo, las aberturas de máscara 40 se mecanizan como orificios pasantes o hendiduras en una placa metálica masiva. De forma alternativa, la máscara 4 comprende un ensamblaje de partes unidas entre sí (véase, por ejemplo, la figura 4). En una alternativa variante, la máscara 4 comprende varias partes, siendo al menos una de las partes móvil relativamente a la(s) otra(s).

La figura 4 muestra una vista superior de otro ejemplo de máscara. La máscara 4 aquí comprende una primera parte metálica 41 y una segunda parte metálica 42. La primera parte metálica 41 está separada eléctricamente de la segunda parte metálica 42, por ejemplo por un aislante 48. La primera parte metálica 41, el aislante 48 y la segunda metálica están unidos entre sí. En el ejemplo mostrado, la primera parte metálica 41 y la segunda parte metálica 42 tienen conformaciones complementarias, tales como dos peines interdigitados. La primera parte metálica 41 rodea una pluralidad de primeras aberturas de máscara 43. De forma similar, la segunda parte metálica 42 rodea una pluralidad de segundas aberturas de máscara 44. Se aplica una primera tensión de polarización de CC a la primera parte metálica 41. Se aplica una segunda tensión de polarización de CC a la segunda parte metálica 42. Por tanto, la primera parte metálica 41 y la segunda parte metálica 42 se pueden poner a diferentes tensiones. Preferentemente, se aplican una primera tensión de polarización de CC no nula y una segunda tensión de polarización de CC no nula una a la vez. De forma ventajosa, el signo de la primera tensión de polarización de CC es opuesto al signo de la segunda tensión de polarización de CC. Los signos respectivos de las primera y segunda tensiones de polarización de CC se pueden invertir como una función de etapas de procesamiento sucesivas.

Por ejemplo, se aplica una primera tensión de polarización de CC positiva ($V[41] > 0$ voltios) a la primera parte eléctricamente conductora 41, mientras que se aplica una segunda tensión de polarización de CC negativa ($V[42] < 0$ voltios) a la segunda parte eléctricamente conductora 42. De ese modo, se forman perfiles estrechos, respectivamente, del material depositado, el material decapado o el material bombardeado con iones, delante de las primeras aberturas de máscara 43, en tanto que la tasa de procesamiento disminuye o incluso se anula delante de las segundas aberturas de máscara 44. Por ejemplo, el material semiconductor dopado de tipo n se deposita a través de las primeras aberturas de máscara 43 usando una mezcla de gases de entrada apropiada, tal como una mezcla de dihidrógeno (H_2), silano (SiH_4) y fosfina (PH_3) en las condiciones de tensión de polarización de CC anteriores.

A continuación, se invierte la polaridad de las tensiones de polarización, se aplica una tensión de polarización de CC negativa ($V[41] < 0$ voltios) a la primera parte eléctricamente conductora 41, mientras que se aplica una tensión de polarización de CC positiva ($V[42] > 0$ voltios) a la segunda parte eléctricamente conductora 42. El gas de entrada se cambia para depositar otra capa texturizada, idealmente en este ejemplo una capa dopada p, a partir de una mezcla de gases compuesta, por ejemplo, por dihidrógeno (H_2), silano (SiH_4) y diborano (B_2H_6). De esta manera, al adaptar conjuntamente la polaridad de la tensión de polarización de CC y la química del plasma, el material semiconductor dopado de tipo p se deposita a través de las segundas aberturas de máscara 44 mientras que se anula la tasa de depósito delante de las primeras aberturas de máscara 43.

La máscara en el ejemplo de la figura 4 se adapta para una aplicación de formar una capa texturizada de tipo n correspondiente a las primeras aberturas de máscara y, respectivamente, una capa texturizada de tipo p correspondiente a las segundas aberturas de máscara 44, por ejemplo para generar contactos interdigitados en un único flujo de proceso y en el mismo reactor de plasma.

5 Usando la estructura de máscara como se muestra en la figura 4 y el proceso de 2 etapas anterior, los dedos interdigitados de tipo n y tipo p de una estructura IBC se depositan y se autoalinean debido al diseño de la máscara por sí mismo.

10 Al retirar la máscara 4, también es posible generar un procesamiento por plasma uniforme, entre las etapas de procesamiento de texturizado y en la misma cámara de procesamiento. Por tanto, la máscara con polarización de CC y las condiciones de procesamiento posibilitan el depósito de múltiples capas con y/o sin texturizado en etapas de proceso secuenciales.

15 En términos de rendimiento, el uso de una máscara con polarización de CC posibilita formar texturas con dimensiones cruciales submilimétricas, hasta de aproximadamente cien micrómetros a lo largo de un eje X y/o Y. Dichas dimensiones cruciales son muy adecuadas para los requisitos actuales en la fabricación industrial de células solares.

20 Por lo tanto, el uso de una máscara con polarización de CC como se divulga en el presente documento posibilita una reducción drástica en los costes de procesamiento para la fabricación de capas o dispositivos texturizados.

25 El proceso de máscara con polarización posibilita una reducción drástica de etapas, ya que evita etapas múltiples y costosas que normalmente se requieren para formar contactos puntuales y/o contactos IBC. La máscara con polarización y su funcionamiento se pueden implementar fácilmente en cámaras de plasma actualmente disponibles. Se espera que la adición de una máscara con polarización de CC a un reactor de plasma perturbe el plasma de una manera muy limitada. Por lo tanto, la presente divulgación se puede usar para cualquier fórmula ya optimizada con cambios muy pequeños y no requiere el desarrollo de nuevas fórmulas.

30 La aplicación principal del proceso y aparato generador de plasma divulgados en el presente documento es la formación de contactos posteriores interdigitados o aberturas dieléctricas para la fabricación de células solares de silicio cristalino de alta eficacia.

35 La presente divulgación posibilita reducir drásticamente la complejidad de fabricación de las células IBC al reducir las etapas de formación del emisor en hasta dos, incluso reduciéndolas a una única etapa. Además, las etapas de fabricación de IBC se realizan a baja temperatura, ya que la temperatura de procesamiento por plasma normalmente se limita a menos de 400 °C. Estas ventajas pueden reducir drásticamente los costes de fabricación de las células IBC.

40 Además, la presente divulgación posibilita el uso tanto de una configuración IBC como de una etapa de pasivación HIT, sin añadir ninguna etapa de proceso adicional al flujo de proceso de fabricación de célula.

45 Finalmente, se evitan daños y/o contaminación en la superficie, en particular cuando la máscara 4 está lejos de la superficie texturizada.

50 La presente divulgación permite la implementación de elementos de alto rendimiento, ya usados en la industria, con un proceso mucho más simple y económico. No se debe esperar ninguna pérdida de rendimiento usando el proceso y aparato de máscara con polarización de CC. La máscara con polarización de CC se puede implementar fácilmente en herramientas existentes solo a expensas de insertar una máscara adicional entre los electrodos de un aparato de procesamiento por plasma y conectar una fuente de alimentación de polarización de CC a la máscara.

55 La presente divulgación posibilita la formación de los contactos IBC en una única etapa de proceso, a baja temperatura, y con la posibilidad de usar una capa de pasivación intrínseca delgada de a-Si:H en la misma cámara de reacción de plasma. El método y aparato posibilitan el uso de ambos la configuración IBC combinada con una etapa de pasivación HIT, sin añadir ninguna etapa de procesamiento adicional en el flujo de proceso de fabricación de célula. El método ofrece la ventaja de ser sin contacto, lo que resuelve un problema importante, dado que la superficie de la oblea limpia (con el óxido retirado) es muy sensible al daño y la contaminación.

60 Cualquier etapa de procesamiento por plasma que requiera la activación o ionización de especies por plasma se puede utilizar con este método. La técnica de enmascaramiento con polarización de CC, por lo tanto, es igualmente útil para procesos tales como pero sin limitarse a depósito, decapado, limpieza, densificación y funcionalización.

65 La técnica de enmascaramiento con polarización de CC como se divulga en el presente documento también se aplica a la fabricación de otros dispositivos fotovoltaicos, fotodetectores y sensores. La invención está definida

por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para el procesamiento de texturizado que comprende:

5 - una fuente de gas de entrada (2);

- una fuente de energía adecuada para excitar el gas de entrada (2) y para generar un plasma (20) en una región de plasma; y

10 - un portamuestras (12) configurado para recibir una muestra sólida (5), y dispuesto de tal modo que, en uso, esté puesto a tierra;

en el que el aparato comprende:

15 - una máscara (4) dispuesta entre la región de plasma y el portamuestras (12), teniendo la máscara (4) una primera cara (45) orientada hacia la región de plasma y una segunda cara (46) orientada hacia una superficie (51) de la muestra sólida (5) que se va a procesar, comprendiendo, en uso, la máscara (4) al menos una abertura de máscara (40, 43, 44) que se extiende a través de la máscara desde la primera cara hasta la segunda cara, en el que la máscara (4) comprende una parte eléctricamente conductora en la primera cara (45), una parte eléctricamente conductora que cubre parcial o totalmente las paredes laterales de la abertura de máscara (40, 43, 44) y en el que la segunda cara (46) de la máscara comprende una parte eléctricamente aislante, estando adaptada la parte eléctricamente aislante de la segunda cara (46) de la máscara (4) para estar en contacto con la superficie (51) de la muestra sólida (5) que se va a procesar, en uso, y

25 - una fuente de alimentación eléctrica (16) adaptada para aplicar una tensión de polarización no nula de corriente continua a la máscara, estando colocada la máscara (4) a una distancia (D2) menor que una distancia umbral desde la superficie (51) de la muestra sólida (5) para prevenir, en uso, la generación de plasma entre la máscara (4) y la muestra sólida (5), y estando dimensionada y conformada dicha abertura de máscara (40, 43, 44) para generar, en uso, un procesamiento de texturizado espacialmente selectivo al seleccionar y enfocar los iones del plasma (20) en la superficie (51) de la muestra sólida (5).

35 **2.** Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la abertura de máscara (40, 43, 44) tiene un ancho de abertura (W) que varía en el intervalo de submilimétrico a milimétrico tomado a lo largo de una primera dirección (X) paralela a la segunda cara (42) de la máscara (4), teniendo la abertura de máscara (40, 43, 44) una altura de abertura (H) en otra dirección (Z) tomada transversalmente a la segunda cara (42) de la máscara (4), definiendo una proporción de aspecto (H/W) de la altura de abertura (H) sobre el ancho de abertura (W) y en que la proporción de aspecto (H/W) es mayor que 1.

40 **3.** Aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la abertura de máscara (40, 43, 44) tiene una conformación cónica o cilíndrica o una conformación elegida para generar, en uso, una textura con un perfil espacial determinado en la superficie (51) del sustrato (5).

45 **4.** Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la máscara (4) comprende una pluralidad de aberturas de máscara (40, 43, 44) dispuestas en una formación periódica unidimensional o bidimensional.

50 **5.** Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la máscara (4) está hecha de un material eléctricamente conductor y la máscara (4) está colocada, en uso, a una distancia (D2) no nula de la superficie (51) de la muestra sólida (5).

55 **6.** Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la máscara (4) comprende una primera parte conductora (41), una segunda parte conductora (42) aislada eléctricamente de la primera parte conductora (41), comprendiendo la primera parte conductora (41) una abertura de máscara de primer tipo (43), y comprendiendo la segunda parte conductora (42) una abertura de máscara de segundo tipo (44), en el que la fuente de alimentación eléctrica (16) está adaptada para aplicar una primera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora (41) y en la que la fuente de alimentación eléctrica (16) está adaptada para aplicar una segunda tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora (42).

60 **7.** Aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la fuente de alimentación eléctrica (16) está dispuesta de modo que, en uso, la primera tensión de polarización de corriente continua y la segunda tensión de polarización de corriente continua tienen polaridades opuestas en un mismo instante.

65 **8.** Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la fuente de energía comprende otra fuente de alimentación eléctrica (13) conectada a un electrodo plano (11) dispuesto en paralelo al portamuestras y configurado para generar un plasma acoplado capacitivamente, u otra fuente de alimentación eléctrica conectada a un electrodo de bobina dispuesto para generar un plasma acoplado inductivamente o una

antena de microondas acoplada a la cámara de generación de plasma (10) por medio de guías de ondas y dispuesta para generar un plasma de microondas y/o un sistema de generación de campo magnético para generar un campo magnético en la región de plasma.

5 **9.** Método para texturizar una muestra sólida (5) que comprende las siguientes etapas:

- colocar una muestra sólida (5) en un portamuestras con puesta a tierra (12) de un aparato para el procesamiento por plasma,

10 - colocar una máscara (4) entre el portamuestras con puesta a tierra (12) y una región de plasma del aparato para el procesamiento con plasma, teniendo la máscara (4) una primera cara (45), una segunda cara (46) y al menos una abertura de máscara (40, 43, 44) que se extiende a través de la máscara desde la primera cara hasta la segunda cara, estando orientada la primera cara (45) hacia la región de plasma y estando orientada la segunda cara (46) hacia una superficie (51) de la muestra sólida (5) que se va a procesar, comprendiendo la
15 máscara (4) una parte eléctricamente conductora en la primera cara (45), una parte eléctricamente conductora que cubre parcial o totalmente las paredes laterales de la abertura de máscara (40, 43, 44), y comprendiendo la segunda cara (46) de la máscara una parte eléctricamente aislante, estando adaptada la parte eléctricamente aislante de la segunda cara (46) de la máscara (4) para estar en contacto con la superficie (51) de la muestra sólida (5) que se va a procesar;

20 - inyectar un gas de entrada (2) en la región de plasma del aparato para el procesamiento con plasma;

- aplicar una energía adecuada para excitar el gas de entrada (2) y para generar un plasma (20) en la región de plasma; y

25 - aplicar una tensión de polarización de corriente continua no nula a la máscara (4), colocándose la máscara (4) a una distancia (D2) menor que una distancia umbral de la muestra sólida (5) para prevenir la generación de plasma entre la máscara (4) y la muestra sólida (5), y dimensionándose y conformándose dicha abertura de máscara (40, 43, 44) para generar un procesamiento de texturizado espacialmente selectivo al seleccionar y
30 enfocar los iones del plasma (20) en la superficie (51) de la muestra sólida (5).

10. Método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el gas de entrada y la tensión de polarización de corriente continua se seleccionan para generar en la superficie (51) de la muestra sólida (5), respectivamente, un depósito de capa texturizada, un decapado texturizado, un bombardeo iónico texturizado, un dopado texturizado,
35 una limpieza texturizada, una densificación texturizada y/o una funcionalización de superficie texturizada.

11. Método de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en el que la tensión de polarización de corriente continua es positiva durante una etapa de procesamiento y, respectivamente, negativa durante otra etapa de procesamiento.

40 **12.** Método de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 9 a 11, en el que la tensión de polarización de corriente continua se ajusta en amplitud para generar características texturizadas espacialmente selectivas que tengan un tamaño y/o perfil determinados.

45 **13.** Método de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 9 a 12, en el que la distancia (D2) entre la máscara (4) y la superficie (51) de la muestra sólida (5) se ajusta para generar características texturizadas que tengan un tamaño y/o perfil determinados.

14. Método de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 9 a 13, en el que la máscara (4) comprende una primera parte conductora (41), una segunda parte conductora (42) aislada eléctricamente de la primera parte conductora (41), comprendiendo la primera parte conductora (41) una abertura de máscara de primer tipo (43), y comprendiendo la segunda parte conductora (42) una abertura de máscara de segundo tipo (44), y comprendiendo el método las siguientes etapas:

55 - inyectar un primer gas de entrada en la región de plasma, aplicar una primera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora (41) y aplicar una segunda tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora (42), para generar un procesamiento de texturizado de primer tipo en la superficie (51) de la muestra sólida (5) al seleccionar y enfocar un primer tipo de iones del plasma a través de la abertura de máscara de primer tipo (43);

60 - inyectar otro gas de entrada en la región de plasma, aplicar una tercera tensión de polarización de corriente continua a la primera parte conductora (41) y aplicar una cuarta tensión de polarización de corriente continua a la segunda parte conductora (42) para generar un procesamiento de texturizado de segundo tipo en la superficie (51) de la muestra sólida (5) al seleccionar y enfocar otro tipo de iones del plasma a través de la abertura de máscara de segundo tipo (44).

65 **15.** Uso del aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 y/o el método de acuerdo con

una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14 para la fabricación de una célula solar, un dispositivo semiconductor o un dispositivo optoelectrónico.

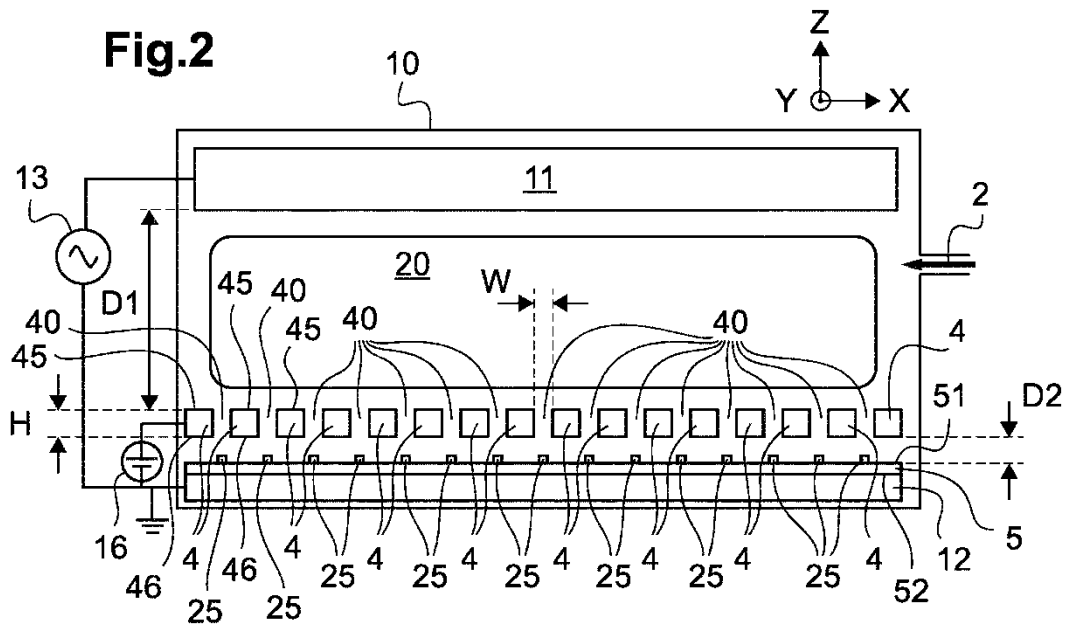
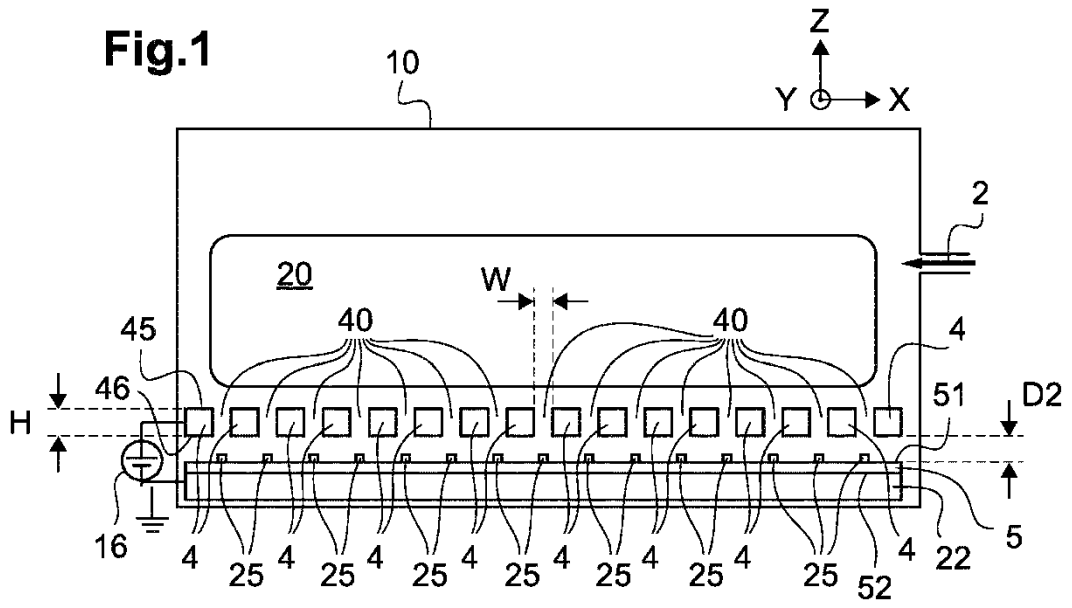


Fig.3

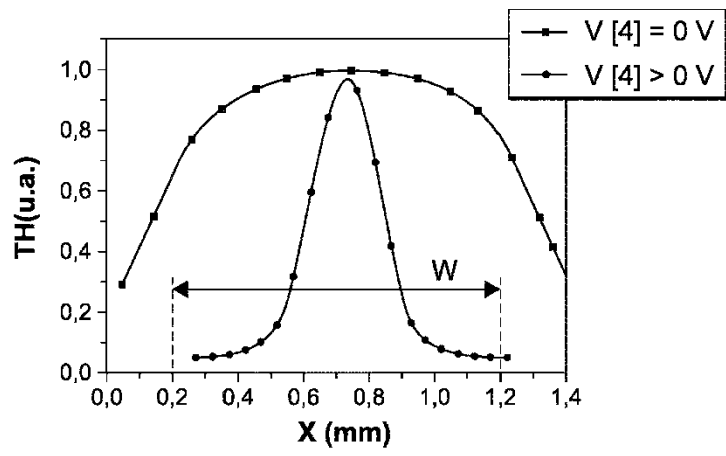


Fig.4

