



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 345 602**

51 Int. Cl.:
H01J 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **01100093 .2**
96 Fecha de presentación : **11.01.2001**
97 Número de publicación de la solicitud: **1134773**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.09.2001**

54 Título: **Procedimiento y aparato para generar plasma y procedimiento y aparato para fabricar un dispositivo semiconductor.**

30 Prioridad: **13.03.2000 JP 2000-69044**
24.03.2000 JP 2000-85281

73 Titular/es: **mitsubishi heavy industries, Ltd.**
5-1, Marunouchi 2-chome
Chiyoda-ku, Tokyo, JP

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.09.2010

72 Inventor/es: **Yamakoshi, Hideo;**
Satake, Koji;
Takeuchi, Yoshiaki;
Mashima, Hiroshi;
Aoi, Tatsufumi y
Murata, Masayoshi

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.09.2010

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 345 602 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para generar plasma y procedimiento y aparato para fabricar un dispositivo semiconductor.

La presente invención versa acerca de un procedimiento de generación de un plasma de descarga, un aparato de generación de plasma de descarga, un procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor y un aparato de fabricación de un dispositivo semiconductor usados en la deposición de películas delgadas de semiconductores, como silicio amorfo, silicio nanocristalino, silicio policristalino y nitruro de silicio para su uso en diversos dispositivos electrónicos, como una célula solar basada en Si amorfo, una célula solar basada en una película delgada de Si policristalino, un LCD (pantalla de cristal líquido), un transistor de película fina de un panel de pantalla plana, un cuerpo fotosensible de una máquina fotocopidora y un dispositivo grabador de información, o usados en el decapado de películas finas de elementos semiconductores.

Hay una demanda creciente cada año de tecnologías de tratamiento de superficies que usan un plasma de descarga de un gas reactivo para aumentar la superficie y la velocidad de tratamiento en la fabricación de diversos dispositivos electrónicos. Para satisfacer estas necesidades, se vienen realizando recientemente mucha investigación y muchos desarrollos, no solo en el mundo industrial, sino también en las sociedades doctas, particularmente para el uso de la deposición química de vapor por plasma (a la que se aludirá como PCVD en lo sucesivo) y un suministro de energía de frecuencia muy elevada (VHF) que tiene una frecuencia de 30 a 800 MHz.

Se dan a conocer aparatos y procedimientos para la generación de un plasma de descarga de un gas reactivo en la Publicación KOKAI de solicitud de patente japonesa nº 8-325759 (a la que se aludirá en lo sucesivo como referencia 1) y en L. Sansonnens *et al.*, "A voltage uniformity study in large-area reactors for RF plasma deposition", Plasma Source Sci. Technol. 6(1997), pp. 170-178 (a la que se aludirá en lo sucesivo como referencia 2).

Desgraciadamente, el decapado de PCVD convencional y de plasma tiene los siguientes problemas.

- (1) El primer problema es el aumento de tamaño de un sustrato que deba tratarse. Aumenta la necesidad de células solares de gran tamaño y de paneles LCD de pantalla plana. Cuando se forma una película de silicio amorfo (a la que se aludirá en lo sucesivo como película Si-a) sobre un sustrato de 50 cm × 50 cm mediante el procedimiento PCVD convencional, la distribución del espesor de la película es, por ejemplo, según se muestra en la Fig. 6A. Además, cuando se forma una película Si-a sobre un sustrato de 100 cm × 100 cm mediante el procedimiento convencional, la distribución del espesor de la película es, por ejemplo, según se muestra en la Fig. 6B. Tal como se muestra en las Figuras 6A y 6B, a medida que aumenta el suministro de energía de alta frecuencia, aumenta la distribución del espesor de una película de Si-a, de modo que la uniformidad del espesor de la película disminuye significativamente. En el terreno de los LCD, se permite una distribución del espesor de la película del $\pm 5\%$. En el terreno de las células solares, se permite una distribución del espesor de la película de un máximo del $\pm 20\%$, preferentemente del $\pm 10\%$. En consecuencia, cuando se usan sustratos de un tamaño tan grande en el procedimiento de PCVD convencional, la única frecuencia práctica del suministro de energía es 13,56 MHz, y no es práctica ninguna VHF en una banda de frecuencias que supere esta frecuencia.
- (2) El segundo problema es un procedimiento de aumento de la velocidad de tratamiento de superficies (mejorando la productividad) y de mejora de la calidad de la película. Para aumentar la velocidad del tratamiento de superficies, debe aumentarse la densidad del plasma de descarga. Como procedimiento de la densidad del plasma de descarga, se recomienda el uso de una VHF en una banda de frecuencias que supere una frecuencia versátil de suministro de energía de 13,56 MHz. Además, para mejorar la calidad de la película, debe reducirse el daño iónico a una película. Con este fin, es efectivo reducir el potencial del plasma relacionado con la energía iónica. Con este fin también se recomienda el uso de una VHF que reduzca el potencial del plasma.

Como ejemplos de las necesidades de una velocidad elevada de tratamiento de superficies, se demandan un bajo costo (una velocidad elevada de formación de la película y una gran superficie) y una elevada calidad (una baja densidad de defectos y una cristalinidad elevada) en la formación de películas delgadas para células solares y de transistores de película delgada para paneles de pantallas planas. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, p. 9, 1997 (al que se aludirá en lo sucesivo como referencia 3) dio a conocer un procedimiento para aumentar la velocidad de formación de la película y para la mejora de la calidad de las películas usando un suministro de energía de VHF. Se ha descubierto recientemente que una VHF es adecuada para la formación a velocidad elevada y con alta calidad, particularmente, de una película delgada de Si nanocristalino que atrae la atención como nueva película delgada que sustituye a una película de Si-a.

Sin embargo, cuando se usa una VHF, tal como se muestra en la Fig. 2A, interfieren entre sí una onda progresiva A1 de VHF que se propaga en la dirección directa en un electrodo y una onda A2 reflejada de VHF que se propaga en la dirección opuesta, generando una onda A3 estacionaria, tal como se muestra en la Fig. 2B. Esta onda A3 estacionaria promueve la falta de uniformidad espacial de la densidad del plasma de descarga, aumentando con ello la distribución del espesor de película de una película delgada formada sobre un sustrato 804. Esto es contrario a la necesidad descrita en el punto (1) anterior.

ES 2 345 602 T3

Otras causas que promueven la falta de uniformidad del espesor de la película resultante de esta onda estacionaria son como sigue.

- (a) La primera causa es un aumento y una falta de uniformidad de la impedancia de una trayectoria de propagación resultante del efecto pelicular. Cuando se suministra una VHF procedente de una fuente 807 de alimentación a un electrodo 802 por medio de un punto de suministro (centro de distribución de alimentación) 809, 809a y 809b, tal como se muestra en las Figuras 1A y 1B, el efecto pelicular hace que esta VHF se propague a lo largo de la porción superficial del electrodo 802 como onda progresiva A1 en una dirección y como la onda progresiva A2 en la otra dirección en la superficie del electrodo, tal como se muestra en la Fig. 2A. Esta interferencia genera la onda estacionaria, tal como se presenta en la Fig. 2B. Este efecto pelicular aparece de forma más notable para una VHF que para una frecuencia versátil de 13,56 MHz como alta frecuencia. Una profundidad superficial δ en la que fluye la corriente por este efecto pelicular está dada por

$$\delta = (3,14 \times f \cdot \mu \cdot \sigma)^{-0,5}$$

fórmula en la que f es la frecuencia, μ es la permeabilidad y σ es la conductividad.

Por ejemplo, cuando el electrodo 802 es cobre, su profundidad superficial es de aproximadamente $19 \mu\text{m}$ para una frecuencia de 13,56 MHz es alta frecuencia, aproximadamente $10 \mu\text{m}$ para una VHF de 50 a 60 MHz, y aproximadamente $5,8 \mu\text{m}$ para una VHF de 150 MHz. Por lo tanto, en un decapado de PCVD o de plasma que use una VHF, aumenta la impedancia de una trayectoria de propagación del suministro de energía procedente de una fuente de alimentación a una porción de descarga de un electrodo de descarga. Esto aumenta la impedancia y hace que la distribución de la tensión sea no uniforme. En consecuencia, ya no puede mantenerse la uniformidad espacial de la densidad del plasma de descarga.

- (b) La segunda causa es la interferencia mutua entre una plasma y una VHF. Cuando, como se ha descrito en lo que antecede, una VHF se vuelve no uniforme, la distribución de plasma de hace, en consecuencia, no uniforme, produciendo con ello una distribución de carga (la impedancia disminuye conforme aumenta la densidad del plasma) a un electrodo. Esto influye en la distribución de la VHF.

Tal como se ha descrito más arriba, la densidad del plasma de descarga se vuelve no uniforme debido a la generación de una onda estacionaria por parte de una onda reflejada desde el extremo del electrodo, a la influencia que la presencia de la impedancia del electrodo tiene en la distribución de la tensión, y en la interferencia mutua entre un plasma y una VHF. En consecuencia, la uniformidad del espesor de la película sufre en la PCVD de grandes superficies usando una VHF.

Por ejemplo, cuando las dimensiones de un electrodo paralelo de placa superan los $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ o la frecuencia de VHF supera los 30 MHz, la influencia de la onda estacionaria A3 se vuelve evidente. Esto dificulta el logro de la uniformidad mínima necesaria en el espesor de la película de los dispositivos semiconductores.

La Fig. 3 es un gráfico que muestra una distribución de tensión y una distribución de la corriente de saturación iónica trazando la posición (cm) sobre un electrodo de descarga en la abscisa y una tensión V_{pp} (V) y una corriente de saturación iónica en la ordenada. Este dato se obtiene mediante el procedimiento convencional, que usa una VHF de 100 MHz. Con referencia a la Fig. 3, una curva característica B1 indica la distribución de la tensión, y una curva característica B2 indica la distribución de la corriente de saturación iónica. Esta distribución (B2) de la corriente de saturación iónica es sustancialmente igual a la distribución de la densidad de los electrones y puede medirse fácilmente. Por ende, la distribución de la corriente de saturación iónica se usa por lo general como índice de la distribución de la densidad del plasma de descarga. La distribución (B1) de la tensión muestra que la onda estacionario A3 se genera en el electrodo y que la distribución de la corriente de saturación iónica, es decir, la distribución de plasma se hace no uniforme en consonancia.

Por otra parte, en la Publicación KOKAI de solicitud de patente japonesa n° 11-111622 (un procedimiento de suministro de cuatro puntos: a la que se aludirá en lo sucesivo como referencia 4), se suprime la generación de la distribución de tensión causada por la onda estacionaria A3 suministrando energía a cuatro porciones diferentes de un electrodo de escalera. Un electrodo de escalera se forma montando una pluralidad de barras 304 de electrodo longitudinales paralelas y uno o más pares de barras de electrodo laterales paralelas en forma de entramado. Se supone que este electrodo de escalera es más uniforme que un electrodo común de placas paralelas. En el procedimiento de la referencia 4, se añade a este electrodo de escalera un medio supresor de la generación de la onda estacionaria, según se describe más arriba. Sin embargo, si las dimensiones del electrodo superan los $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ o la frecuencia del suministro de energía supera los 80 MHz, se pierde sustancialmente el efecto de evitar la generación de una distribución de tensión. Esto dificulta formar una película que tenga un espesor uniforme en un sustrato de gran superficie.

La Fig. 4 es un gráfico que muestra distribuciones de tensión trazando la posición (cm) en un electrodo de escalera sobre la abscisa y la tensión V_{pp} (V) en la ordenada. Este dato muestra las distribuciones de tensión generadas en una

cierta barra de electrodo en el electrodo de escalera cuando se suministra energía por medio de cuatro puntos por el procedimiento convencional usando las VHF de 60 y 100 MHz. Con referencia a la Fig. 4, una curva característica C1 indica datos obtenidos cuando se usa una VHF de 60 MHz, y una curva característica C2 indica datos obtenidos cuando se usa una VHF de 100 MHz. Aunque se obtiene una distribución de tensión relativamente uniforme a una frecuencia de 60 MHz (la curva característica C1), se obtiene una distribución de tensión relativamente no uniforme a una frecuencia de 100 MHz (la curva característica C2). Además, en el procedimiento de esta referencia 4, las posiciones óptimas de los cuatro puntos de suministro deben encontrarse mediante prueba y error, y esto requiere mucho trabajo y mucho tiempo. Además, si varían las condiciones de formación de la película, como la presión del gas y la energía de alta frecuencia, también cambian las posiciones óptimas de los puntos de suministro.

Los anteriores problemas también se hacen notar en las sociedades doctas. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, p. 27, 1995 (al que se aludirá como referencia 5 en lo sucesivo) ha propuesto un procedimiento en el cual una reactancia (bobina) sin pérdidas está conectada a la cara alejada de la cara de suministro de un electrodo de placas paralelas. En el procedimiento de esta referencia 5, las condiciones de reflexión de una onda progresiva procedente del extremo del electrodo se cambian para generar una porción en la que la distribución es relativamente plana en la forma de onda de la onda estacionaria A3, por ejemplo una porción antinodo (una porción cercana al pico de una onda sinusoidal) en el electrodo, disminuyendo con ello la distribución de la tensión en el electrodo. Sin embargo, el procedimiento de la referencia 5 no elimina la onda estacionaria 3 por completo, sino que simplemente genera una porción plana de una onda sinusoidal en el electrodo. Por lo tanto, se obtiene una porción uniforme hasta, como máximo, aproximadamente 1/8 de la longitud de onda (0,6 m para 60 MHz, y 0,4 m para 100 MHz). En principio, es imposible la uniformización dentro de un intervalo que supere esto. La onda estacionaria A3 mostrada en la Fig. 2B tiene cuatro nodos y cuatro antinodos. Una onda estacionaria así no puede ser uniformizada. El procedimiento es efectivo únicamente en un caso como el indicado por B1 en la Fig. 3, en el cual la longitud es igual o menor que un par de un nodo y un antinodo.

La Fig. 5 es un gráfico que muestra una distribución de tensión trazando la posición (cm) en un electrodo de escalera en la abscisa y la tensión Vpp (V) en la ordenada. Con referencia a la Fig. 5, una curva característica D indica datos que muestran una distribución de tensión cuando un extremo de un electrodo de placas paralelas termina en una reactancia (bobina) sin pérdidas en una VHF de 100 MHz. Tal como se muestra en la Fig. 5, puede hacerse que la tensión en una región desde el extremo del electrodo hasta aproximadamente 30 cm sea sustancialmente uniforme. Sin embargo, la tensión se vuelve no uniforme en una región mayor que esta, de modo que esta región no puede usarse en la formación de la película.

Tal como se ha descrito más arriba, cuando se usa una VHF en el procedimiento de PCVD convencional, es imposible generar un plasma uniforme de descarga en una gran superficie y llevar a cabo un tratamiento uniforme si se trata un sustrato muy grande que supere $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ a 60 MHz o si se trata un sustrato de $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ a una frecuencia que supere los 80 MHz.

M. Noisan, J. Pelletier, ed., "Microwave Excited Plasmas", Technology, 4, segunda impresión, p. 401, Elsevier Science B.V., 1999 (a lo que en lo sucesivo se aludirá como referencia 6) dio a conocer una técnica que suministra dos ondas diferentes de alta frecuencia a dos electrodos de descarga. Esta técnica de la referencia 6 usa una onda de alta frecuencia para generar un plasma de descarga y la otra onda de alta frecuencia para controlar la tensión polarizadora superficial de un sustrato, controlando con ello la cantidad de iones activos que fluyen al sustrato y la cantidad de energía incidente sobre el sustrato. Es decir, el propósito de esta técnica no es uniformizar un plasma cuando se trata un sustrato de gran tamaño que supere $1\text{ m} \times 1\text{ m}$. En el documento US 5810963 se dan a conocer un aparato y un procedimiento similares de tratamiento con plasma.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de generación de un plasma de descarga, un aparato de generación de plasma de descarga, un procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor y un aparato de fabricación de un dispositivo semiconductor que puede generar un plasma de descarga uniforme en una gran superficie usando una frecuencia muy alta (VHF) y que puede tratar de manera uniforme un sustrato grande.

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de generación de plasma de descarga que comprende las etapas de: (a) oponer un electrodo de descarga que tiene una porción de descarga sustancialmente plana a un sustrato para ser tratado en un recipiente de reacción al vacío de tal modo que dicho electrodo de descarga y dicho sustrato estén sustancialmente paralelos entre sí; (b) vaciar dicho recipiente de reacción al vacío y suministrar un gas de tratamiento a un espacio entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato; y caracterizado por (c) aplicar energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga de tal modo que una envolvente que representa la distribución espacial de una tensión de alta frecuencia en dicho electrodo de descarga cambie y se desplace según una función que incluye el tiempo como parámetro, generando con ello un plasma de descarga del gas de tratamiento entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato, con una distribución promediada de la amplitud de tensión de la tensión de alta frecuencia generada sobre dicho electrodo de descarga en un tiempo completo de tratamiento mediante el movimiento de la envolvente.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de generación de un plasma de descarga que comprende: una cámara; una mesa de montaje de sustrato para mantener un sustrato en dicha cámara; un electrodo de descarga opuesto a dicho sustrato en dicha mesa de sustrato en dicha cámara; un medio de escape para evacuar dicha cámara; un medio de suministro de gas para suministrar un gas de tratamiento al interior de dicha cámara; un circuito de suministro de energía de alta frecuencia para suministrar energía de alta frecuencia a dicho electrodo de

descarga; y un medio de control para controlar el suministro de energía procedente de dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga, caracterizado porque el circuito de suministro de energía de alta frecuencia está dispuesto para cambiar y desplazar una envolvente que representa la distribución espacial de una tensión ϕ de alta frecuencia sobre dicho electrodo de descarga cuando se usa según una función que incluye el tiempo como parámetro, generando con ello un plasma de descarga del gas de tratamiento entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato, con una distribución promediada de la amplitud de tensión de la tensión ϕ de alta frecuencia generada sobre dicho electrodo de descarga en un tiempo completo de tratamiento mediante el movimiento de la envolvente.

El primer objeto de la presente invención es, en principio, eliminar la generación de una onda estacionaria en un electrodo y uniformizar la distribución de la tensión en el electrodo mientras se genera un plasma, mejorando con ello la uniformidad (uniformidad en el plano) de la tasa de formación de la película o la tasa de decapado en la superficie de un sustrato. Tal como se ha descrito anteriormente, es muy difícil que el procedimiento convencional haga uniforme la distribución de la tensión si el tamaño del electrodo supera 1/8 de la longitud de onda de una alta frecuencia. Por ejemplo, cuando se aplica una alta frecuencia de 60 MHz a un electrodo que tiene dimensiones que superan 1 m $\times$ 1 m, una onda estacionaria parece hacer, de manera significativa, que la distribución de la tensión sea sumamente no uniforme. Además, cuando se aplica una VHF que supera los 80 MHz a un electrodo de 30 cm $\times$ 30 cm, una onda estacionaria parece hacer, de manera significativa, que la distribución de la tensión sea muy poco uniforme.

La densidad del plasma se vuelve no uniforme a una VHF probablemente por ① la generación de una onda estacionaria en un electrodo, ② la influencia de la presencia de una impedancia flotante en la distribución de la tensión, y ③ la interferencia mutua entre un plasma y una onda de alta frecuencia. Los presentes inventores realizaron muchos estudios sobre estos problemas y han descubierto que ① la generación de una onda estacionaria en un electrodo es la causa principal. Sobre la base de este conocimiento, los presentes inventores han completado la presente invención.

En lo que sigue, la presente invención será descrita simplemente en aras de una fácil comprensión.

Supongamos que un fenómeno en un electrodo bidimensional se simplifica a un fenómeno en un electrodo unidimensional y que se suministran dos frecuencias desde los dos extremos de un electrodo de una barra (correspondiente a una barra de electrodo de un electrodo de escalera). Supongamos también que no se presta atención a la atenuación de las dos ondas de alta frecuencia y que la reflexión en el extremo del electrodo es insignificamente pequeña. Con las condiciones simplificadas, las ondas de alta frecuencia (tensiones (ϕ (V))) suministradas desde los dos extremos del electrodo de barra están dadas por

$$\phi_1 = \cos(\omega_1 t - k_1 z + \theta_1) \quad \dots (1)$$

$$\phi_2 = \cos(\omega_2 t - k_2 z + \theta_2) \quad \dots (2)$$

expresiones en las que ω , k , t , z y θ son la frecuencia angular (rad/seg), el número de onda (rad/m), el tiempo (seg), la posición (m) y el ángulo de fase (rad), respectivamente, de cada onda.

El número de onda k se representa usando una velocidad v de fase (m/seg), y la frecuencia angular ω por

$$k_1 = \omega_1 / v_1, \quad k_2 = \omega_2 / v_2 \quad \dots (3)$$

Una tensión ϕ de alta frecuencia en cada instante en cada punto (porción) en un electrodo se da como la suma de las ecuaciones (1) y (2) como sigue:

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_1 + \phi_2 \\ &= \cos(\omega_1 t - k_1 z + \theta_1) + \cos(\omega_2 t - k_2 z + \theta_2) \\ &= 2 \cos(\omega_{\text{med}} t - k_{\text{med}} z + \theta_{\text{med}}) \cdot \cos(\omega_{\text{mod}} t - k_{\text{mod}} z + \theta_{\text{mod}}) \end{aligned} \quad \dots (4)$$

Los componentes individuales en la ecuación son los siguientes:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{med}} &= (\omega_1 + \omega_2) / 2, & \omega_{\text{mod}} &= (\omega_1 - \omega_2) / 2, \\ k_{\text{med}} &= (k_1 + k_2) / 2, & k_{\text{mod}} &= (k_1 - k_2) / 2, \\ \theta_{\text{med}} &= (\theta_1 + \theta_2) / 2, & \theta_{\text{mod}} &= (\theta_1 - \theta_2) / 2 \end{aligned}$$

En la ecuación (4) anterior, el término $\cos(\omega_{\text{med}}t - k_{\text{med}}z + \theta_{\text{med}})$ corresponde a una onda portadora, y el término $\cos(\omega_{\text{mod}}t - k_{\text{med}}z + \theta_{\text{mod}})$ corresponde a una envolvente.

Una “envolvente” es una curva formada trazando y uniendo los picos de una onda modulada de alta frecuencia. Más específicamente, cuando se sintetizan una onda ϕ_1 de alta frecuencia mostrada en la Fig. 7A y una onda ϕ_2 de alta frecuencia mostrada en la Fig. 7B, resulta una onda sintética ϕ mostrada en la Fig. 7C. Esta onda sintética está representada por la ecuación (4) anterior, y su componente $\cos(\omega_{\text{mod}}t - k_{\text{med}}z + \theta_{\text{mod}})$ es la envolvente.

Supongamos, en primer lugar, que $\omega_1 = \omega_2$ y que θ_{mod} es constante en el tiempo ($\theta_{\text{mod}}(t) = \text{const.}$), es decir, supongamos que se suministran desde los dos extremos ondas de alta frecuencia que tienen la misma frecuencia y una diferencia de fase que no cambia en el tiempo. Esto es equivalente a suministrar la energía ω_1 de alta frecuencia dividiéndola en dos porciones desde una única fuente de alimentación o a operar una pluralidad de fuentes de alimentación de alta frecuencia en sincronismo mutuo mediante una alta frecuencia procedente de un único oscilador y suministrar sus salidas. Es decir, este caso corresponde al procedimiento convencional. Cuando la situación es esta, la tensión ϕ de alta frecuencia del electrodo está representada por

$$\phi = 2 \cos(\omega_1 t + \theta_{\text{med}}) \cdot \cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \theta_{\text{mod}}) \quad \dots (5)$$

Esta ecuación (5) muestra que en el electrodo existen una alta frecuencia que tiene una onda portadora $\cos(\omega_1 t + \theta_{\text{med}})$ con la frecuencia angular ω_1 y una envolvente $\cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \theta_{\text{mod}})$. La onda portadora domina un cambio temporal en la tensión en un cierto punto, y la envolvente domina la distribución espacial de la tensión. Dado que $\omega_1 = \omega_2$ y que $\theta_{\text{mod}}(t) = \text{const.}$, la envolvente $\cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \theta_{\text{mod}})$ no cambia en el tiempo, y, en consecuencia, se convierte en una onda estacionaria.

Esto puede explicarse de manera simple como sigue.

La Fig. 2A es un gráfico para explicar una onda estacionaria generada cuando se suministran dos altas frecuencias de salida desde un oscilador de alta frecuencia de fase variable de dos salidas a un electrodo mientras la diferencia de fase entre las frecuencias se mantiene a un valor constante ($\theta_{\text{mod}}(t) = \text{const.}$). Con referencia a la Fig. 2A, la forma de onda de una alta frecuencia A1 indica una onda progresiva de la primera fuente, que está representada por la ecuación (1), y una alta frecuencia A2 indica una onda progresiva de la segunda fuente, que está representada por la ecuación (2). La Fig. 2B es un gráfico que muestra la distribución de energía de una onda estacionaria trazando la posición en la superficie del electrodo sobre la abscisa y el cuadrado del término envolvente $\cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \text{const.})$ de la ecuación (5) en la ordenada. Cuando la diferencia de fase entre los dos componentes de energía de alta frecuencia de salida se fija a un valor constante ($\theta_{\text{mod}}(t) = \text{const.}$, por ejemplo 0°), estos componentes de potencia se sintetizan para formar una onda estacionaria, tal como se muestra en la Fig. 2B. Esta onda estacionaria es la causa de una distribución espacial de la tensión, es decir, una distribución de plasma, y de una distribución de la deposición de la película en el procedimiento de suministro convencional.

Por otra parte, si la envolvente no persiste como una onda estacionaria, sino que se desplaza con el tiempo, la generación de una onda estacionaria se suprime. Esto es lo esencial de la presente invención. A continuación se presentarán dos ejemplos.

(a) Cuando $\omega_1 \neq \omega_2$ (un procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia de frecuencias diferentes)

Cuando dos frecuencias son diferentes ($\omega_1 \neq \omega_2$), una tensión ϕ de alta frecuencia en cada punto en cada momento se calcula por

$$\phi = 2 \cos(\omega_{\text{med}}t - k_{\text{mod}}z + \theta_{\text{med}}) \cdot \cos(\omega_{\text{mod}}t - k_{\text{med}}z + \theta_{\text{mod}}) \quad \dots (6)$$

Por la ecuación (6) anterior, esta tensión ϕ de alta frecuencia contiene una onda portadora $\cos(\omega_{\text{med}}t - k_{\text{mod}}z + \theta_{\text{med}})$ que tiene una frecuencia angular ω_{med} y una envolvente $\cos(\omega_{\text{mod}}t - k_{\text{med}}z + \theta_{\text{mod}})$ que tiene una frecuencia angular ω_{mod} que se denomina generalmente “latido” o “zumbido”. Dado que la envolvente incluye un término $\omega_{\text{mod}}t$ que cambia con el tiempo, esta envolvente se mueve con el paso del tiempo, de modo que no se genera ninguna onda estacionaria. Este es el primer mejor modo de la presente invención.

(b) Cuando $\omega_1 = \omega_2$ y $\theta_{\text{mod}}(t) \neq \text{const.}$ (un procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia que tienen la misma frecuencia mediante el cambio temporal de la diferencia de fase)

Cuando las frecuencias son iguales ($\omega_1 = \omega_2$) y la diferencia de fase θ_{mod} cambia en una fracción de segundo (en todo momento) ($\theta_{\text{mod}}(t) \neq \text{const.}$), una tensión ϕ de alta frecuencia en cada punto en cada instante se calcula por

$$\phi = 2 \cos(\omega_1 t + \theta_{\text{med}}) \cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \theta_{\text{mod}}(t)) \quad \dots (7)$$

ES 2 345 602 T3

En la ecuación (7) anterior, la envolvente es $\cos(-\omega_1/v_1 \cdot z + \theta_{\text{mod}}(t))$, es decir, incluye un término $\theta_{\text{mod}}(t)$ que cambia con el tiempo. En consecuencia, esta envolvente se mueve con el paso del tiempo, y no se genera ninguna onda estacionaria. Este es el segundo mejor modo de la presente invención.

- 5 Cuando la envolvente cambia en una fracción de segundo (en todo momento), tal como se indica en los puntos (a) y (b) anteriores, no se genera en un electrodo onda estacionaria alguna, de modo que puede generarse un plasma uniforme.

10 Obsérvese que no es preciso que se produzcan intencionalmente las condiciones de $\omega_1 \neq \omega_2$ (el procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia de frecuencias diferentes) y de $\omega_1 = \omega_2$ y $\theta_{\text{mod}}(t) \neq \text{const.}$ (el procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia que tienen la misma frecuencia mediante el cambio de la diferencia de fase). Simplemente, estas condiciones pueden realizarse mediante el uso de dos osciladores de alta frecuencia independien-
15 tes. Es decir, incluso dos osciladores de alta frecuencia configurados para oscilar a la misma VHF, por ejemplo 100 MHz, tienen características exclusivas del oscilador individual. Por ende, las frecuencias reales de oscilación se des-
vían ligeramente de la frecuencia establecida (100 MHz). Por ejemplo, la primera frecuencia de oscilación es 100,001 MHz y la segunda frecuencia de oscilación es 100,003 MHz, es decir, se aplica $\omega_1 \neq \omega_2$ en un sentido estricto. Además, las frecuencias cambian con la variación en la temperatura y similares, de modo que las relaciones entre las frecuencias y las fases cambian aleatoriamente. Por lo tanto, cuando se usa una pluralidad de osciladores independientes de alta frecuencia, la envolvente se mueve con el tiempo, y no se genera ninguna onda estacionaria.

20 Otro procedimiento de cambio de la envolvente es cambiar la frecuencia con el tiempo (modulación FM: modula-
ción de la frecuencia), generar un chirrido (chirrido de frecuencias) o cambiar una amplitud con el tiempo (modulación
AM: modulación en amplitud).

25 En la formación de una película uniforme en una superficie grande llevada a cabo por un plasma mediante el uso de una onda de alta frecuencia sobre la base de este principio, aun cuando el tamaño del electrodo supera 1/8 de la longitud de onda de alta frecuencia, caso en el que la uniformización convencionalmente es muy difícil, es decir, incluso para un aparato para tratar un sustrato muy grande que supere 1 m $\times$ 1 m a una alta frecuencia de, por ejemplo, 60 MHz, la presente invención proporciona un procedimiento de suministrar energía a un electrodo de descarga, mediante lo cual
30 se suministra al electrodo una alta frecuencia, de tal modo que cambie temporalmente la función envolvente de una tensión ϕ de alta frecuencia en el electrodo, llevando a cabo con ello la formación a velocidad elevada de una película de alta calidad como característica de una onda de alta frecuencia y, a la vez, se genera un plasma uniforme y se forma una película uniforme suprimiendo la generación de una onda estacionaria en el electrodo.

35 Este cambio temporal de la función envolvente se lleva a cabo mediante el uso de una pluralidad de fuentes de alimentación de alta frecuencia.

En primer lugar se explicará el caso (a), en el que $\omega_1 \neq \omega_2$ (el procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia que tienen frecuencias diferentes).

40 Como medio práctico de suministro de dos frecuencias ($\omega_1 \neq \omega_2$) a un electrodo, se usan dos fuentes de alimen-
tación de alta frecuencia independientes. Por ejemplo, en dos fuentes de alimentación (que contienen osciladores de alta frecuencia) que tienen una frecuencia nominal de 60 MHz, cada oscilador tiene una frecuencia de oscilación ex-
clusiva al oscilador. Por lo tanto, en la práctica, existe una diferencia de frecuencia de algunos cientos de kHz entre
45 los dos osciladores. Esta diferencia entre las frecuencias inherentes de oscilación permite que, en la práctica, se dé que $\omega_1 \neq \omega_2$.

De manera alternativa, para evitar la contingencia descrita más arriba, se usa una pluralidad de fuentes de alimen-
tación que tengan dos frecuencias de oscilación diferenciadas entre sí de forma positiva.

50 Si la diferencia entre las frecuencias de esas fuentes de alimentación de alta frecuencia llega a ser demasiado grande y una frecuencia se desvía en gran medida de una frecuencia óptima, las propiedades de la formación y el decapado de la película descienden de forma significativa con respecto a las propiedades de la frecuencia óptima. Para evitar esto, se fija que la diferencia de frecuencias sea del 20% o menos.

55 A continuación se explicará el caso (b) descrito más arriba, en el que $\omega_1 = \omega_2$ y $\theta_{\text{mod}}(t) \neq \text{const.}$ (el procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia que tienen la misma frecuencia cambiando temporalmente la diferencia de fase).

60 En este procedimiento, se suministra corriente a un electrodo de descarga por medio de una pluralidad de puntos de suministro, y se cambia temporalmente la diferencia entre una fase a un centro de distribución de alimentación y al menos una fase a otro. Es más preferible usar un desviador de fase como medio para cambiar temporalmente la diferencia de fase. Preferentemente, este desviador de fase se inserta entre un oscilador para determinar la frecuencia de oscilación de una corriente de alta frecuencia y un amplificador para amplificar la señal a la potencia necesaria.

65 Para suprimir una onda estacionaria usando una pluralidad de fuentes de alimentación debe aplicarse el modelado unidimensional mencionado anteriormente. Como condición práctica, es deseable que una pluralidad de puntos de suministro de un electrodo de descarga esté dispuesta en posiciones simétricas.

Además, cuando se usan fuentes de alimentación independientes, la diferencia entre las VHF no se estabiliza para suscitar el problema de la reproducibilidad en algunos casos. Por lo tanto, es deseable garantizar la reproducibilidad controlando la diferencia de la VHF a un valor constante.

Además, preferentemente se inserta un aislador entre un circuito de igualación de la impedancia y una fuente de alimentación. Este aislador reduce la corriente de entrada a la fuente de alimentación procedente de otra fuente de alimentación y, con ello, protege a esta fuente de alimentación. El circuito de igualación de la impedancia iguala las impedancias de un electrodo de descarga y de la fuente de alimentación.

La anchura de la banda de frecuencias de un aislador práctico es de aproximadamente el 4% para una potencia de alta frecuencia de 1 kW o menos y de aproximadamente el 1% para una potencia de alta frecuencia de aproximadamente 2 kW. Por lo tanto, para construir un sistema dentro de este intervalo, la diferencia entre las frecuencias de una pluralidad de fuentes de alimentación de alta frecuencia es, preferentemente, del 4% o menos, y, más preferentemente, del 1% de la frecuencia media o menos.

Además, según la magnitud de la potencia de alta frecuencia de entrada a cada fuente de alimentación desde la cara del electrodo de descarga, la salida de otra fuente de alimentación está limitada a reducir la energía de entrada procedente de esta fuente de alimentación. Esto evita que una VHF que tenga una frecuencia y/o fase diferentes entre el la primera fuente de alimentación y, por ello, evita la avería de la fuente de alimentación.

Para suprimir una onda estacionaria usando una pluralidad de fuentes de alimentación, se suministran ondas de alta frecuencia que tienen una pluralidad de frecuencias desde un centro de distribución de alimentación. Este permite construir un sistema de forma más económica que cuando se suministran ondas de alta frecuencia desde diferentes puntos de suministro. Con este fin, se mezclan componentes de energía de alta frecuencia de una pluralidad de fuentes de alimentación de alta frecuencia mediante un mezclador de alta frecuencia y se suministran a un electrodo de descarga.

Como medio para el cambio temporal de la función envolvente, a diferencia del procedimiento que usa dos frecuencias o de un cambio temporal en la diferencia de fase, es posible cambiar temporalmente la amplitud de la tensión de una corriente de alta frecuencia (modulación AM), cambiar temporal la frecuencia de una corriente de alta frecuencia (modulación FM) o generar un chirrido de frecuencias.

Es favorable medir previamente al menos una de una distribución de tensión, una distribución de la densidad de generación de plasma, una distribución de la densidad de generación de radicales, una distribución de la deposición de película, una distribución del decapado y una distribución de las características de la película semiconductor con respecto a la diferencia entre una pluralidad de frecuencias, el valor de cada frecuencia, la diferencia entre fases, o el intervalo de la modulación AM, la modulación FM o el chirrido de frecuencias, y obtener una necesaria distribución uniforme sobre la base del resultado de la medición usando una media de los tiempos o una integral de los tiempos ajustando al menos uno del tiempo, el periodo y la frecuencia de la fuente de alimentación con respecto a la diferencia entre frecuencias específicas, el valor de cada frecuencia, la diferencia entre fases, o el intervalo de la modulación AM, la modulación FM o el chirrido de frecuencias.

Dado que la distribución de la envolvente de este sistema cambia con el tiempo, los nodos y los antinodos se mueven para activar/desactivar un plasma. Esto no debería tener influencia alguna en la velocidad y la calidad del tratamiento por el plasma como objeto. Por ende, el plasma debe mantenerse ACTIVADO de manera artificial. Con este fin, se hace que el ciclo de ACTIVADO/DESACTIVADO del plasma resultante del cambio temporal en la distribución de la envolvente, es decir, un ciclo equivalente a la recíproca de la diferencia entre las frecuencias de una pluralidad de componentes de la potencia de alta frecuencia, un ciclo para cambiar la fase, o el ciclo de modulación AM, modulación FM o el chirrido de frecuencias sean más cortos, preferentemente, que 1/2 o menos de la vida de extinción de un átomo activo, una molécula activa o de un ion en un plasma de descarga. Esto evita que el plasma de descarga reitere inútilmente el ciclo ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN, de modo que la velocidad y la calidad del tratamiento no se vean influidas.

Para mantener el estado ACTIVADO del plasma de manera artificial, el ciclo anterior se determina como sigue cuando ha de formarse una película delgada de silicio usando silano.

Denote τ la vida de una molécula activa de SiH_3 calculada por

$$\tau \doteq (\Delta x)^2 / (2D) \quad \dots (8)$$

expresión en la que D es un coeficiente de difusión

($D = 2,5 \times 10^3 \text{ (cm}^2\text{s}^{-1}\text{)}$), y Δx es la distancia (cm) desde un electrodo a un sustrato.

Se hace que el ciclo descrito en lo que antecede sea más corto que una o ambas de la vida τ y de la vida de $1,1 \times 10^{-4}$ seg de un radical de un átomo de hidrógeno. Más específicamente, preferentemente, el ciclo es 1/2 o menor que la vida τ o que la vida de $1,1 \times 10^{-4}$ seg de un radical de un átomo de hidrógeno.

ES 2 345 602 T3

Por otra parte, para una aplicación en la que los átomos activos, las moléculas activas o los iones en un plasma comienzan a generarse en un tiempo de DESACTIVACIÓN después de que se genera el plasma, por ejemplo para una aplicación de decapado, es posible demorar el ciclo para formar intencionalmente un tiempo de DESACTIVACIÓN de plasma para mantener un tiempo de DESACTIVACIÓN suficiente para generar átomos activos, moléculas activas o iones en el plasma, activar el plasma siguiente antes de que se reduzcan los átomos activos, las moléculas activas o los iones del plasma anterior, y desactivar el plasma posterior, generando con ello de manera eficiente los átomos activos, las moléculas activas o los iones. Con este fin, se hace que el ciclo ACTIVADO/DESACTIVADO del plasma causado por un cambio temporal en la distribución de la envolvente sea mayor que 10 veces o menos, preferentemente de 2 a 4 veces, que la vida de generación de átomos activos, moléculas activas o iones en un plasma que deba ser generado por el electrodo de descarga.

Además, la cantidad de generación de partículas se reduce fijando el ciclo a 1 seg o menos, preferentemente 1 mseg o menos.

De manera alternativa, la cantidad de generación de partículas se reduce haciendo que el ciclo sea, preferentemente, mayor que dos veces o más que el tiempo t de parada de una región de descarga de un gas de origen calculado por

$$t = (S \cdot \Delta x) / Q \quad \dots (9)$$

expresión en la que S es la superficie del sustrato (cm²)

Δx es la distancia (cm) desde el electrodo de descarga al sustrato

Q es el caudal de volumen (cm³/seg).

Una condición práctica deseable por la cual el modelado unidimensional descrito anteriormente se aplica sin más es que el electrodo de descarga es un electrodo de escalera o un electrodo de malla.

Además, para suministrar a un electrodo de sustrato energía de alta frecuencia que es de una de dos frecuencias para mantener la uniformidad y que ajusta la energía de los iones incidentes en el sustrato, se suministran componentes de energía de alta frecuencia desde dos o más fuentes de alimentación de alta frecuencia a cada uno de un electrodo de descarga que tiene un sustrato y de un electrodo de descarga que no tiene sustrato alguno.

Preferentemente, el electrodo de descarga tiene dimensiones de 500 × 500 mm o más, más preferentemente en el intervalo de 500 × 500 mm a 2.200 × 2.200 mm, y lo más preferible es que esté en el intervalo de 500 × 500 mm a 1.600 × 1.600 mm.

Un sustrato que deba ser tratado puede estar fabricado de un vidrio, un metal o de un material resinoso. Cuando el sustrato está fabricado de vidrio, el sustrato se calienta, preferentemente, hasta una temperatura en el intervalo entre 80°C y 350°C en el tratamiento con plasma. Ejemplos del vidrio incluyen el vidrio de sosa y cal y el vidrio de sílice. Cuando el sustrato está fabricado de un metal, el sustrato se calienta, preferentemente, hasta una temperatura en el intervalo entre 80°C y 500°C en el tratamiento con plasma. Ejemplos del metal incluyen diversos tipos de acero inoxidable, aluminio y una aleación de aluminio. Cuando el sustrato está fabricado de una resina, el sustrato se calienta, preferentemente, hasta una temperatura en el intervalo entre 80°C y 200°C en el tratamiento con plasma. Ejemplos de la resina incluyen poliimida y tereftalato de polietileno (PET).

Este resumen de la invención no describe necesariamente todas las características necesarias, de modo que la invención puede ser también una subcombinación de estas características descritas.

La invención puede comprenderse más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada cuando se toma conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Fig. 1A es una vista esquemática para explicar el flujo de una corriente de alta frecuencia cuando se suministra energía a un electrodo mediante un procedimiento convencional, y la Fig. 1B es una vista esquemática para explicar el flujo de una corriente de alta frecuencia cuando se suministra energía a un electrodo mediante otro procedimiento convencional;

las Figuras 2A y 2B son gráficos para explicar una onda estacionaria generada cuando se suministran dos altas frecuencias de salida procedentes de un oscilador de alta frecuencia de fase variable con dos salidas con una diferencia de fase de 0° a un electrodo mediante un procedimiento convencional;

la Fig. 3 es un gráfico que muestra una distribución de tensión y una distribución de la corriente de saturación de iones resultante de una onda estacionaria generada cuando se suministra una alta frecuencia de 100 MHz a un punto de un electrodo;

ES 2 345 602 T3

la Fig. 4 es un gráfico que muestra las distribuciones de tensión formadas en un electrodo de escalera cuando se suministran altas frecuencias de 60 y 100 MHz al electrodo usando un procedimiento de suministro convencional de cuatro puntos;

5 la Fig. 5 es un gráfico que muestra una distribución de tensión formada en un electrodo de placas paralelas cuando se suministra una corriente de alta frecuencia de 100 MHz al electrodo mediante un procedimiento convencional de suministro, con un extremo del electrodo terminado por una reactancia (bobina) sin pérdidas;

10 la Fig. 6A es un gráfico que muestra la correlación entre una distribución del espesor de la película y una frecuencia de suministro eléctrico cuando se forma una película sobre un sustrato (500 mm × 500 mm) usando un procedimiento convencional, y la Fig. 6B es un gráfico que muestra la correlación entre una distribución del espesor de la película y una frecuencia de suministro eléctrico cuando se forma una película sobre un sustrato (1.000 mm × 1.000 mm) usando un procedimiento convencional;

15 la Fig. 7A es una vista que muestra la forma de onda de una onda ϕ_1 de alta frecuencia, la Fig. 7B es una vista que muestra la forma de onda de una onda ϕ_2 de alta frecuencia, y la Fig. 7C es una vista que muestra la forma de onda y la envolvente de la onda sintética ϕ ;

20 la Fig. 8 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la primera realización de la presente invención;

la Fig. 9 es un gráfico que muestra el resultado de la medición de la distribución de la intensidad de emisión de un plasma generado por un procedimiento de la primera realización;

25 las Figuras 10A a 10C son gráficos tridimensionales, cada uno de los cuales muestra la distribución de la amplitud de un electrodo de descarga en las direcciones lateral y longitudinal del electrodo;

30 la Fig. 11A es un gráfico que muestra la correlación entre la distancia desde un centro de distribución de alimentación y un índice de la amplitud de la tensión de la onda progresiva y la correlación entre la posición desde un punto de reflexión y un índice de la amplitud de la tensión de la onda reflejada, la Fig. 11B es un gráfico que muestra la correlación entre la distancia desde un centro de distribución de alimentación y un índice de la amplitud de la tensión de la onda estacionaria, y la Fig. 11C es un gráfico que muestra la correlación entre la distancia desde un centro de distribución de alimentación, cuando se suministra energía desde los dos extremos de un electrodo, y un índice de la amplitud de la tensión de la onda sintética;

35 la Fig. 12 es un gráfico que muestra la correlación entre una alta frecuencia y la distancia desde un centro de distribución de alimentación antes de que la alta frecuencia se atenúe hasta un cierto valor;

40 la Fig. 13 es un gráfico que muestra la correlación entre la diferencia entre dos altas frecuencias y una distribución del espesor de la película (una variación del espesor);

la Fig. 14 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la segunda realización (o realización 13ª) de la presente invención;

45 la Fig. 15 es un diagrama de bloques que muestra un circuito de suministro de un aparato usado en un procedimiento de suministro de energía a un electrodo de descarga según la tercera realización de la presente invención;

la Fig. 16 es una vista ampliada de una porción en la que el terminal de suministro está acoplado a un electrodo;

50 la Fig. 17 es un diagrama de bloques en corte que muestra, con una escala ampliada, la porción en la que el terminal de suministro está acoplado al electrodo;

la Fig. 18 es una vista tridimensional que muestra una distribución de la tasa de formación de la película con una diferencia de fase de 0°;

55 la Fig. 19 es una vista tridimensional que muestra una distribución de la tasa de formación de la película con una diferencia de fase de 90°;

60 la Fig. 20 es una tabla de tiempos que muestra el patrón de control de una diferencia de fase de un desviador de fase para obtener una distribución uniforme;

la Fig. 21 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la cuarta realización de la presente invención;

65 la Fig. 22 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la quinta realización de la presente invención;

ES 2 345 602 T3

la Fig. 23 es un diagrama de bloques que muestra un circuito alimentador de un aparato de generación de plasma de descarga según la sexta realización de la presente invención;

la Fig. 24 es un diagrama de bloques que muestra un circuito alimentador de un aparato de generación de plasma de descarga según la séptima realización de la presente invención;

la Fig. 25 es un diagrama de bloques que muestra un circuito alimentador de un aparato de generación de plasma de descarga según la octava realización de la presente invención;

la Fig. 26A es un gráfico que muestra un ejemplo de la distribución espectral de frecuencias usada para generar una forma de onda arbitraria en la implementación de un procedimiento (un procedimiento de dos frecuencias) de aplicación de dos o más altas frecuencias al mismo electrodo usando un generador de formas de onda arbitrarias, y la Fig. 26B es un gráfico que muestra la envolvente de un cambio temporal en la tensión generada por el generador de formas de onda arbitrarias, que se genera sobre la base de la distribución espectral de frecuencias;

la Fig. 27 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la novena realización de la presente invención;

la Fig. 28 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la 10ª realización de la presente invención;

la Fig. 29 es un diagrama de bloques en corte que muestra el aparato de la 10ª realización;

la Fig. 30 es un diagrama de bloques en perspectiva que muestra el aparato de la 10ª realización;

la Fig. 31 es un diagrama de bloques que muestra un circuito alimentador de un aparato de generación de plasma de descarga según la 11ª realización de la presente invención;

la Fig. 32 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la 12ª realización de la presente invención;

la Fig. 33 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de generación de plasma de descarga según la 14ª realización de la presente invención;

la Fig. 34 es un diagrama de bloques en perspectiva que muestra un circuito alimentador de un aparato de generación de plasma de descarga según la 15ª realización de la presente invención;

la Fig. 35 es un diagrama de bloques en corte que muestra un esbozo de un aparato usado en un procedimiento del Ejemplo Comparativo 1;

la Fig. 36 es un diagrama de bloques en corte que muestra un esbozo de un aparato usado en un procedimiento del Ejemplo Comparativo 2;

la Fig. 37 es una vista en perspectiva que muestra un distribuidor de corriente del aparato mostrado en la Fig. 36;

la Fig. 38 es un diagrama de bloques en corte que muestra un esbozo de un aparato usado en un procedimiento del Ejemplo Comparativo 3; y

la Fig. 39 es una vista en planta que muestra un esbozo del aparato mostrado en la Fig. 38 y un procedimiento de alimentación.

En lo que sigue se describirán diversas realizaciones preferidas de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos.

Primera realización

En la primera realización, se usa un aparato 1A de CVD de plasma de alta frecuencia mostrado en la Fig. 8. Este aparato 1A incluye un recipiente 2 de reacción, un electrodo 303 de escalera (un electrodo de descarga), un electrodo 3 de conexión a tierra, dos fuentes de alimentación 5a y 5b de alta frecuencia, una unidad 71 de suministro de gas, una unidad 72 de escape y un controlador 73. El recipiente 2 de reacción se fabrica hermético, y se abren una tubería 17 de suministro de gas y una tubería 18 de escape en porciones adecuadas de este recipiente 2.

La tubería 17 de suministro de gas se comunica con la unidad 71 de suministro de gas. La unidad 71 de suministro de gas incorpora una fuente de suministro de gas y un controlador del flujo de masas. La fuente de suministro de gas contiene gases de tratamiento que contienen componentes para la formación de la película. Los gases de tratamiento son, por ejemplo, un gas que contiene Si, como el monosilano o el disilano y un gas componente aditivo, como el gas hidrógeno. El interruptor de encendido del controlador del flujo de masas está conectado a una porción de salida del controlador 73.

ES 2 345 602 T3

La tubería 18 de escape se comuna con la unidad 72 de escape. La unidad 72 de escape aloja una bomba de vacío y un dispositivo para hacer que las sustancias tóxicas resulten inocuas. El interruptor de encendido de la bomba de vacío está conectado a la porción de salida del controlador 73. Esta bomba de vacío puede reducir la presión interna del recipiente 2 de reacción a menos de aproximadamente 0,13 mPa.

El electrodo 3 de conexión a tierra y el electrodo 303 de escalera están enfrentados con una separación de, por ejemplo, 20 mm entre ellos. El electrodo 3 de conexión a tierra incluye un mecanismo (no mostrado) para mantener un sustrato G de vidrio para su tratamiento y contiene un calentador (no mostrado) para calentar este sustrato G. cuando las dimensiones del sustrato G son 2,0 m × 1,4 m, las dimensiones del electrodo 3 de conexión a tierra son 2,2 m × 1,6 m. Preferentemente, la tubería 17 de suministro de gas tiene una pluralidad de vías de acceso para la entrada de gas. Estas vías de acceso para la entrada de gas están formadas, de manera deseable, detrás del electrodo 303 de escalera para formar flujos laminares de los gases de tratamiento.

El electrodo 303 de escalera se forma ensamblando una pluralidad de (por ejemplo, 17) barras longitudinales paralelas 304 y uno o más pares de barras laterales paralelas 305 en forma de entramado. Este electrodo 303 de escalera se encuentra paralelo frente al sustrato G, que está aguantado por el electrodo 3 de conexión a tierra. Las barras longitudinales 304 están dispuestas a intervalos iguales en la dirección del eje X. La longitud del electrodo 303 de escalera en la dirección del eje X es de aproximadamente 2,2 m, y su longitud en la dirección del eje Y es de aproximadamente 1,6 m.

El electrodo 303 de escalera tiene ocho primeros puntos 9a de suministro y ocho segundos puntos 9b₁ de suministro. Los primeros puntos 9a de suministro se forman en los nodos entre las barras laterales 305 y las barras longitudinales 304 por una cara. Los segundos puntos 9b₁ de suministro se forman en los nodos entre las barras laterales 305 y las barras longitudinales 304 por la otra cara. Estos puntos primero y segundo 9a y 9b₁ de suministro se forman a intervalos sustancialmente iguales.

Los primeros puntos 9a de suministro están conectados a un primer distribuidor 26a mediante cables coaxiales 8b. A este primer distribuidor 26a, hay conectados, en este orden, un circuito de igualación de impedancia 7a, un medidor 6a de potencia y la primera fuente 5a de alimentación por medio de un cable coaxial 8a. La primera fuente 5a de alimentación contiene un oscilador de alta frecuencia cuya frecuencia está fijada a 60 MHz, y suministra energía de VHF al electrodo 303 de escalera por medio de los ocho primeros puntos 9a de suministro.

Los segundos puntos 9b₁ de suministro están conectados a un segundo distribuidor 26b mediante cables coaxiales 8b. A este segundo distribuidor 26b, hay conectados, en este orden, un circuito de igualación de impedancia 7b, un medidor 6b de potencia y la segunda fuente 5b de alimentación. La segunda fuente 5b de alimentación es independiente de la primera fuente 5a de alimentación y aloja un oscilador de alta frecuencia cuya frecuencia también está fijada a 60 MHz. Esta segunda fuente 5b de alimentación suministra energía de VHF al electrodo 303 de escalera por medio de los ocho segundos puntos 9b₁ de suministro.

Cuando se midieron las frecuencias reales de estas dos fuentes de alimentación con un analizador de espectro de alta precisión, las fuentes 5a y 5b de alimentación producían altas frecuencias de 59,8 MHz y 60,3 MHz, respectivamente. Así, la frecuencia de oscilación real suele desviarse de la frecuencia establecida, y esto es debido a que los diferentes osciladores tienen características diferentes.

En consecuencia, se suministran VHF diferentes, de 59,8 MHz y 60,3 MHz, al electrodo 303 de escalera desde las dos fuentes 5a y 5b de alimentación por medio de los puntos primero y segundo 9a y 9b₁ de suministro, enfrentados mutuamente. En la presente invención, la diferencia (0,5 MHz) entre las dos VHF es importante.

En esta realización, los puntos primero y segundo 9a y 9b₁ de suministro se dispusieron simétricamente con respecto a la línea central de la escalera 303, generando con ello una distribución unidimensional de la tensión en cada una de las barras longitudinales 304. Esto causó un fenómeno (que será descrito más adelante) que movía una envoltura a alta velocidad. En consecuencia, fue posible uniformizar la distribución longitudinal de la generación del plasma en las barras longitudinales 304 y la distribución de la generación del plasma (una distribución del plasma en la dirección del eje X) entre las barras longitudinales 304.

En esta realización, el número de cada conjunto de puntos de suministro es ocho (dieciséis en total). Sin embargo, la distribución de la generación de plasma en la dirección del eje X (la dirección longitudinal del electrodo) puede ser uniformizada adicionalmente aumentando el número de puntos de suministro a doce (veinticuatro en total) o a dieciséis (treinta y dos en total). Los efectos de la presente invención se encuentran, por supuesto, incluso cuando el número de puntos de suministro disminuye a seis (doce en total), cinco (diez en total), cuatro (ocho en total), tres (seis en total), dos (cuatro en total) y uno (dos en total).

Además, en esta realización los componentes de energía son suministrados a los diferentes puntos de suministro desde las dos fuentes de alimentación. Sin embargo, la densidad del plasma de descarga puede hacerse más uniforme aumentando el número de fuentes de alimentación. Por ejemplo, la uniformidad de la densidad del plasma de descarga puede mejorar suministrando componentes de potencia de alta frecuencia que tienen frecuencias diferentes procedentes de cuatro fuentes de alimentación a diferentes puntos de suministro.

La Fig. 9 es un gráfico que muestra una curva característica E obtenida midiendo, con una cámara CCD, la intensidad de emisión de un plasma generado usando el aparato 1A de esta realización. En la Fig. 9, se traza en la abscisa un índice de posición (un valor arbitrario) en el electrodo de escalera, y en la ordenada se traza un índice de la intensidad de la emisión (un valor arbitrario). Con referencia a la Fig. 9, tres porciones de valores bajos dentro del tamaño del sustrato están detrás de las estructuras del aparato, de modo que no puede verse el plasma en estas porciones. Por lo tanto, estas porciones no tienen conexión alguna con la distribución real de la intensidad de emisión. Esta curva característica E muestra que en la generación de un plasma de descarga usando el aparato 1A, puede lograrse una uniformidad del $\pm 7\%$ (un valor máximo de 127/un valor mínimo de 111) en una distribución de emisión, es decir, una distribución de plasma en una región muy grande, de $2\text{ m} \times 1,4\text{ m}$.

El plasma de descarga es así uniformizado a causa del “zumbido (latido)” resultando de los 0,5 MHz, ya que la diferencia entre la primera VHF (59,8 MHz) y la segunda VHF (60,3 MHz) suprime la generación de una onda estacionaria A3 en el electrodo. Es decir, como se explica en el punto (a) en “Breve resumen de la invención”, una envolvente cambia 0,5 millones de veces en 1 seg, es decir, se mueve a alta velocidad la distancia de 500.000 longitudes de onda. Por lo tanto, aunque la envolvente tiene una forma de onda similar a la de la onda estacionaria A3 durante un periodo de tiempo muy breve, puede considerarse que la amplitud de la tensión tiene una distribución uniforme en una media en el tiempo. Así, un plasma generado por esta tensión tiene una distribución sustancialmente uniforme. La amplitud de una tensión es el valor máximo de la tensión en un cierto punto.

Esto también puede considerarse como sigue. Se suministran dos ondas de alta frecuencia al electrodo, es decir, una onda de alta frecuencia (a la que en lo sucesivo se aludirá como onda A de alta frecuencia) suministrada desde la fuente 5a de alimentación por medio de los ocho primeros puntos 9a de suministro y una onda de alta frecuencia (a la que en lo sucesivo se aludirá como onda B de alta frecuencia) suministrada desde la fuente 5b de alimentación por medio de los ocho segundos puntos 9b, de suministro no interfieren entre sí porque tienen frecuencias diferentes. Por lo tanto, la distribución de la amplitud de la tensión de la onda A de alta frecuencia y la distribución de la amplitud de la tensión de la onda B de alta frecuencia son independientes entre sí. La distribución real de la tensión es la superposición de las dos.

Suponiendo que pueda ignorarse la atenuación de una onda de alta frecuencia y que la reflexión en el extremo del electrodo sea insignificamente pequeña, las ondas A y B de alta frecuencia progresan de manera uniforme sin atenuación alguna desde los dos extremos de las barras longitudinales 304, de modo que la superposición de las dos ondas de alta frecuencia forma una distribución uniforme. Esto es lo esencial de esta realización.

Sin embargo, en la práctica, el fenómeno es ligeramente complicado, porque sí se dan la atenuación y la reflexión, de modo que a continuación se describirán esta atenuación y esta reflexión. En primer lugar, se explicará la atenuación. Cuando se da la atenuación, la distribución de la amplitud de la tensión de la onda A de alta frecuencia está indicada por R1, mostrada en la Fig. 10A. Con referencia a la Fig. 10A, la dirección de las barras laterales 305 es el eje Y, la dirección de las barras longitudinales 304 es el eje X y la amplitud de la tensión es el eje Z. En la dirección (el eje Y) de las barras laterales 305, la amplitud de la tensión es sustancialmente constante, debido a que los ocho puntos 9a de suministro están dispuestos muy cerca el uno del otro. Por otra parte, en la dirección (el eje X) de las barras longitudinales 304, la amplitud de la tensión se atenúa desde la cara de suministro, y esto produce una distribución. Tal como se indica con R2, mostrada en la Fig. 10B, la amplitud de la tensión de la onda B de alta frecuencia también se atenúa desde la cara opuesta de suministro. Tal como se indica con R3, mostrada en la Fig. 10C, la distribución de la amplitud de la tensión formada al sintetizar las ondas A y B de alta frecuencia tiene una gran uniformidad. En consecuencia, se genera un plasma que tiene una densidad de distribución sustancialmente uniforme.

Dado que, en la práctica, la reflexión en el extremo del electrodo no puede ser ignorada, también se explicará esta reflexión en el extremo del electrodo, además de la atenuación anterior. Con referencia a la Fig. 11A, se traza en la abscisa la distancia (cm) desde los puntos de suministro en la dirección de las barras longitudinales 304, y en la ordenada se traza la distribución de la amplitud de la tensión de la onda A de alta frecuencia. La Fig. 11A no muestra la distribución en la dirección de las barras laterales 305, debido a que esta distribución es sustancialmente uniforme, según se indica con R1 en la Fig. 10A, y muestra únicamente una distribución unidimensional en la dirección del eje Y de las barras longitudinales 304. Una onda progresiva G1 de alta frecuencia avanza hacia el extremo del electrodo mientras se atenúa desde los puntos de suministro. Dado que la reflexión ocurre en el extremo del electrodo, la onda A de alta frecuencia se refleja en el extremo del electrodo para formar una onda reflejada H, y esta onda reflejada H avanza hacia los puntos de suministro. La Fig. 11B muestra la distribución de la amplitud de una tensión generada por la síntesis de la onda progresiva G1 y de la onda reflejada H. Dado que la onda progresiva G1 y la onda reflejada H tienen la misma frecuencia y se interfieren entre sí, es necesaria la adición teniendo en cuenta la fase. Una onda sintética G2 no se atenúa de forma monótona y tiene una distribución del tipo de una onda estacionaria. La Fig. 11B muestra que cerca de los 120 cm se genera un punto mínimo. La onda B de alta frecuencia también forma una distribución similar. Dado que las ondas A y B de alta frecuencia tienen frecuencias diferentes y, por ende, no se interfieren entre sí, pueden ser sintetizadas de forma simple por adición, y se obtiene una distribución sustancialmente uniforme, tal como se muestra en la Fig. 11C. En esta realización, era pequeña una onda reflejada H de una onda sintética G3, lo que dio como resultado una distribución ligera del tipo de una onda estacionaria. Por lo tanto, se obtuvo finalmente una distribución de la tensión sustancialmente uniforme, de modo que se generó un plasma uniforme.

Tal como se ha descrito en lo que antecede, en esta realización se obtuvo una distribución sustancialmente uniforme, porque la onda reflejada H era pequeña y tenía poca influencia. Sin embargo, si una onda de alta frecuencia (por

ejemplo, la onda A de alta frecuencia) suministrada desde un extremo no se atenúa antes de alcanzar el otro extremo, una onda reflejada generada por la reflexión de esta onda de alta frecuencia interfiere la onda progresiva. Dado que esto hace que la onda estacionaria sea apreciablemente grande, ya no puede obtenerse uniformidad alguna. Por ende, preferentemente, una onda de alta frecuencia se atenúa lo suficiente antes de llegar al otro extremo. Más específicamente, cuando en el otro extremo del electrodo la tensión de una onda progresiva se atenúa hasta aproximadamente el 50% de la de los puntos de suministro, la onda reflejada H allí generada llega a ser, tal como se muestra en la Fig. 11A, aproximadamente el 25% ($= 50\% \times 1/2$), de modo que se obtiene una distribución de tensión sustancialmente uniforme. Si la tensión de una onda progresiva se atenúa hasta aproximadamente el 75%, la distribución del espesor de la película no se ve sustancialmente afectada aunque se forme una ligera distribución de la tensión.

Con referencia a la Fig. 12, la abscisa indica la frecuencia VHF (MHz), y la ordenada indica la distancia (cm) desde los puntos de suministro. Una curva característica J muestra la distancia en que la tensión de la onda progresiva se atenúa hasta aproximadamente el 50%, a lo que se aproxima la ecuación $L = 4 \times 10^3/f$. Una curva característica K muestra la distancia en que la tensión de la onda progresiva se atenúa hasta aproximadamente el 75%, a lo que se aproxima la ecuación $L = 2 \times 10^3/f$. En consecuencia, la longitud L del electrodo desde un extremo como centro de distribución de alimentación (punto incidente) hasta el otro extremo como punto de reflexión satisface preferentemente la desigualdad $L \geq 2 \times 10^3/f$, y, más preferentemente, $L \geq 4 \times 10^3/f$. Dentro del intervalo de la ecuación $L > 20 \times 10^3/f$, la atenuación es demasiado grande y no es posible uniformización alguna. Por lo tanto, preferentemente, se satisface $L \leq 20 \times 10^3/f$.

El símbolo f representa una VHF (MHz).

A continuación se describirá la diferencia de frecuencias entre las ondas A y B de alta frecuencia volviendo al concepto del movimiento de alta velocidad de una envolvente. Cuando mayor sea esta diferencia de frecuencias, más elevada será la velocidad con la que se mueve una envolvente. Sin embargo, para obtener una tasa de formación de película y una calidad de formación de película deseadas, es poco deseable usar una onda B de alta frecuencia con una frecuencia que tenga una diferencia del 20% o superior con respecto a la de la onda A de alta frecuencia. Además, para permitir que funcione un circuito de igualación de impedancia que se use para evitar la incidencia de una energía de VHF a una fuente de alimentación, la diferencia entre las dos VHF es, más preferentemente, del 1% o menos.

En esta realización, la diferencia entre las dos VHF fue de aproximadamente el 0,8%. Por lo tanto, la tasa de formación y la calidad de la película fueron elevadas, y la incidencia de una onda de alta frecuencia a la fuente de alimentación pudo suprimirse a un valor bajo, de aproximadamente 100 W.

Se usó el anterior aparato 1A para formar una película semiconductor delgada de Si (una película de Si-a o una película de Si nanocristalino) para una célula solar en un sustrato de vidrio siguiendo los procedimientos descritos más abajo.

En primer lugar, se fijó la temperatura del electrodo 3 de conexión a tierra a 200°C calentando con el calentador. Se colocó el sustrato G, de 2 m x 1,4 m, sobre este electrodo 3 de conexión a tierra. Se suministró gas SiH_4 con una medida de caudal de 2.000 sccm procedente de la unidad 71 de suministro de gas, al recipiente 2 de reacción. En el caso de la formación de una película de Si nanocristalino, se suministró gas hidrógeno a, por ejemplo, 50.000 sccm además del gas SiH_4 . El funcionamiento de la unidad 72 de escape se controló con el controlador 3 para ajustar la presión interna del recipiente 2 de reacción a 26,66 Pa.

Mientras se ajustaban así los circuitos primero y segundo 7a y 7b de igualación de la impedancia para permitir un suministro eficiente de potencia VHF a un plasma, se suministró potencia VHF a una frecuencia de 59,8 MHz desde la primera fuente 5a de alimentación, y se suministró potencia VHF a una frecuencia de 60,3 MHz desde la segunda fuente 5b de alimentación. Se suministraron estos componentes de potencia VHF al electrodo 303 de escalera de tal modo que la potencia total procedente de las dos fuentes 5a y 5b de alimentación fue, por ejemplo, de 3.000 W, generando con ello un plasma de descarga entre el sustrato G y el electrodo 303 de escalera. En este plasma de descarga, el SiH_4 se descompuso para formar una película de Si-a o una película de Si nanocristalino en la superficie del sustrato G. Es decir, se formó una película delgada que tenía un espesor de película deseado realizando la formación de la película en este estado durante, por ejemplo, aproximadamente 10 min. Se midió la distribución del espesor de la película de la muestra de la película formada y se ajustaron meticulosamente las posiciones del centro de distribución de alimentación para que se obtuviera una distribución óptima. La tasa de formación de película llegó a ser de 1,0 nm/seg en la formación de una película nanocristalina, y la uniformidad fue ligeramente superior al $\pm 10\%$. Es decir, se logró la uniformidad necesaria para un semiconductor en película delgada de Si de una célula solar.

En esta disposición, se suministran de forma no intencional VHF diferentes usando fuentes de alimentación diferentes. Sin embargo, fijar de forma intencional frecuencias diferentes es, por supuesto, similarmente efectivo.

La Fig. 13 es un gráfico que muestra la correlación entre la diferencia de frecuencias (MHz) entre dos ondas de alta frecuencia y la distribución (%) del espesor de película de una película formada sobre un sustrato trazando la diferencia de frecuencias en la abscisa y la distribución del espesor de la película en la ordenada. Aunque la frecuencia de la onda A de alta frecuencia se fijó a 60,0 MHz (una frecuencia fundamental), la frecuencia de la onda B de alta frecuencia se cambió para formar películas de Si-a sobre sustratos rectangulares de vidrio de 2,0 m x 1,4 m. Como es evidente por una curva característica F, la distribución del espesor de la película fue del 10% o menor cuando

la diferencia de frecuencias entre las dos ondas A y B de alta frecuencia estuvo entre 1,5 y 6,0 MHz. Además, la distribución del espesor de la película fue inferior al 15% cuando la diferencia de las frecuencias estuvo entre 1,0 y 10,0 MHz, e inferior al 20% cuando la diferencia de las frecuencias estuvo entre 0,5 y 10,0 MHz. Además, incluso cuando la diferencia de las frecuencias fue de solo 0,1 MHz, la distribución del espesor de la película superó el 20% solo ligeramente.

Además, cuando se midió el espesor de película de una película delgada de silicio formada sobre un sustrato G de gran superficie (2 m × 1,4 m) mediante espectroscopia Raman, la proporción de pico de un espectro de Raman superó 9:1. Esto demuestra que la película tenía una calidad elevada como película delgada para una célula solar. Además, se midieron el índice refractivo, las características espectrales y la densidad de defectos de la película delgada. En consecuencia, los valores medidos fueron sustancialmente iguales a los valores medidos cuando se formó una película en un sustrato de muestra de superficie pequeña (5 cm × 5 cm) usando la misma VHF (60 MHz).

Tal como se ha descrito en lo que antecede, se forma una película delgada de calidad elevada en el sustrato G de gran superficie porque la ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN del plasma causada por el movimiento de alta velocidad de una envolvente es mucho más corta que la vida de las especies activas (radicales). Es decir, en esta realización la diferencia entre las dos VHF es de 0,5 MHz. Por lo tanto, la ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN se repite $500,000 \times 2$ veces por segundo, y un tiempo de DESACTIVACIÓN es de 1×10^{-6} seg. Este tiempo de DESACTIVACIÓN es mucho más corto que la vida de extinción ($\tau = (2 \text{ (cm)})^2 / (2 \times 2,5 \times 10^3 \text{ (cm}^2/\text{seg)}) = 8 \times 10^{-4} \text{ seg}$) de una molécula activa de SiH_3 , es mucho más corto que la vida de extinción ($1,1 \times 10^{-4} \text{ seg}$) de un radical de un átomo de hidrógeno. En consecuencia, la ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN del plasma es sustancialmente insignificante en la formación de la película propiamente dicha.

Obsérvese que otro efecto obtenido por esta realización es la cantidad muy pequeña de partículas producidas durante la formación de la película. Presumiblemente, esto es debido a que, tal como se describe en "Silane Gas Decomposition by High-Frequency Modulation Discharge", Discharge Research nº 138, pp. 27 a 36, 1992 (a la que, en lo sucesivo, se aludirá como referencia 7), no se produce sustancialmente partícula alguna cuando la frecuencia de ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN está en el intervalo de 0,5 Hz (inclusive) a 100 kHz (inclusive), es decir, cuando el tiempo de ACTIVACIÓN está en el intervalo de 0,01 mseg (inclusive) a 1 seg (inclusive), y preferentemente cuando la frecuencia de ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN es de 10 kHz o menos, es decir, cuando el tiempo de ACTIVACIÓN es de 0,1 mseg o más. Es decir, dado que el tiempo de desarrollo de las partículas es de aproximadamente 1 seg, no se desarrolla ninguna partícula para un tiempo de ACTIVACIÓN de 1 seg o menos. Sin embargo, cuando la frecuencia de ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN es de 100 kHz o más, es decir, cuando el tiempo de DESACTIVACIÓN es de 0,01 mseg o menos, se establece un estado en el que no se considera que el plasma esté desactivado. Es decir, en esta realización casi no se produjeron partículas cuando la frecuencia de ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN se fijaba a 10 kHz, es decir, cuando el tiempo de ACTIVACIÓN se fijaba a 0,1 mseg.

Además, también es posible evitar un aumento de partículas al descargar las partículas a lo largo de un tiempo suficiente prolongando el tiempo de DESACTIVACIÓN. Es decir, cuando una superficie S de un sustrato es de $200 \times 200 \text{ cm}^2$, una distancia Δx desde el electrodo de descarga hasta el sustrato es de 2 cm, y un caudal Q de volumen es de $4 \times 10^5 \text{ cm}^3/\text{seg}$, se calcula que un tiempo t de parada en la región de descarga de un gas de origen es de 0,2 seg substituyendo estos valores en la ecuación (10) siguiente. Por lo tanto, fijando el tiempo de DESACTIVACIÓN para que sea mayor que el tiempo t, es decir, 0,2 seg o más, preferentemente el doble del tiempo t, es decir, 0,4 seg o más, fue posible descargar partículas de la región de generación del plasma y suprimir un aumento en partículas en el recipiente de reacción.

$$t = (S \cdot \Delta x) / Q \quad \dots (10)$$

En esta realización, se usó un electrodo de escalera como electrodo. Cuando se usó un electrodo de malla, documentado en la referencia 4 citada previamente en vez del electrodo de escalera, pudo obtenerse una uniformidad del espesor de película del 10% o menor. Este electrodo es un tipo de electrodo de escalera y tiene un gran número de barras 305 de electrodo laterales según esta realización.

Además, esta realización ha sido explicada tomando como ejemplo el uso de unas VHF alrededor de 60 MHz. Sin embargo, se obtuvieron efectos análogos incluso cuando se usaron VHF de aproximadamente 20, 200 y 700 MHz.

Segunda realización

A continuación se describirá la segunda realización de la presente invención con referencia a la Fig. 14. Se obtiene un aparato 1B de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro de VHF del aparato 1A de la primera realización descrita en lo que antecede. Este cambio en el circuito de suministro permite que el aparato 1B tenga una gama de condiciones de funcionamiento más amplia que la del aparato 1A. Además, en esta realización, el aparato se usa para formar una película uniforme en un sustrato de 2 m × 1,4 m usando varias VHF, y las disposiciones de un recipiente de reacción y similares, salvo un sistema de fuente de alimentación, son iguales que en la primera realización. Por ello, puede omitirse una explicación de los puntos en común a las dos realizaciones.

ES 2 345 602 T3

El aparato 1B de la segunda realización difiere del aparato 1A de la primera realización en los cuatro puntos ① a ④ presentados a continuación.

① Las frecuencias de oscilación de las fuentes de alimentación de alta frecuencia. En el aparato 1A, se generan dos frecuencias diferentes usando la incertidumbre de los osciladores de cuarzo incorporados de las fuentes 5a y 5b de alimentación de alta frecuencia. En el aparato 1B, un generador 20B se señale de dos ondas controla la diferencia de frecuencias para que tenga un valor constante. En el aparato anterior (el aparato 1A), no puede seleccionarse ninguna diferencia arbitraria de frecuencias. En consecuencia, si los dos osciladores tienen una diferencia de frecuencias de solo 10 Hz, la distribución de la envolvente se mueve solamente 10 Hz, de modo que se activa/desactiva un plasma con este ciclo, afectando adversamente la formación de la película. Además, la diferencia de las frecuencias de oscilación no se estabiliza con el tiempo. Esto puede dar como resultado una baja reproducibilidad. En cambio, el segundo aparato (el aparato 1B) puede hacerse funcionar con una diferencia óptima fija de frecuencias.

② En el aparato 1A, los circuitos de protección (no mostrados) de las dos fuentes 5a y 5b de alimentación de alta frecuencia son también independientes entre sí. Sin embargo, el aparato 1B tiene solamente un circuito 22 de protección. Los componentes de entrada de potencia a las fuentes 5a y 5b de alimentación se miden con los medidores 6a₁ y 6b₂ de potencia y, si una de las dos magnitudes supera un valor limitador, se limitan las salidas de ambas fuentes de alimentación. En el primer aparato (el aparato 1A), si la potencia suministrada (la suma de la potencia reflejada y de la potencia suministrada procedente de la segunda fuente 5b de alimentación) a la primera fuente 5a de alimentación supera la tolerancia de la primera fuente 5a de alimentación por alguna razón, el circuito de protección de esta primera fuente de alimentación suprime la salida de la primera fuente 5a de alimentación. Sin embargo, el exceso de suministro procedente de la segunda fuente 5b de alimentación no se suprime en absoluto y se mantiene su suministro. Por ende, en el peor caso, se avería la primera fuente 5a de alimentación.

En cambio, si se produce la misma circunstancia en el segundo aparato (el aparato 1B), el exceso de suministro a la primera fuente 5a de alimentación activa el circuito 22 de protección para suprimir las salidas de ambas fuentes primera y segunda 5a y 5b de alimentación. Dado que se suprime la potencia suministrada a la primera fuente 5a de alimentación, esta primera fuente 5a de alimentación no se avería. Mientras se suprime de esta manera la potencia suministrada, se ajusta un circuito 7b de igualación de la impedancia para eliminar la causa del exceso de suministro procedente de la segunda fuente 5b de alimentación. Esto hace que resulte posible volver a aumentar las salidas de las dos fuentes 5a y 5b de alimentación y suministrar la potencia deseada.

En el aparato 1B, se insertan los aisladores 24a y 24b en los circuitos de suministro primero y segundo para evitar un exceso de componentes de potencia de suministro, respectivamente, a las fuentes 5a y 5b de alimentación. Por ende, ningún circuito de protección es necesario en particular. Sin embargo, si la potencia reflejada supera la potencia permisible de los aisladores 24a y 24b para hacer que estos aisladores 24a y 24b no resulten funcionales, se requiere la operación de protección de este circuito 22 de protección.

③ En el aparato 1A, el circuito 7a de igualación de la impedancia es el único medio para suprimir la potencia suministrada (la suma de la potencia reflejada y de la potencia suministrada procedente de la segunda fuente 5b de alimentación) a la primera fuente 5a de alimentación. Sin embargo, en el aparato 1B, se insertan los aisladores 24a y 24b, cada uno de los cuales comprende un circulador y una carga, para eliminar la potencia suministrada a las fuentes de alimentación 5a y 5b procedente del electrodo 303.

En el primer aparato (el aparato 1A), incluso cuando la potencia generada al reflejar la potencia procedente de la primera fuente 5a de alimentación por parte del electrodo 303 puede reducirse por completo a cero por el circuito 7a de igualación de la impedancia, la potencia suministrada procedente de la otra fuente de alimentación, es decir, la segunda fuente 5b de alimentación por medio del electrodo 303 y del circuito 7a de igualación de la impedancia, no puede reducirse a cero simultáneamente, porque las fases y las frecuencias son diferentes. Por lo tanto, si esta potencia es grande (la potencia transmitida por el electrodo 303 varía, es decir, aumenta o disminuye, según el estado generado de un plasma), se introduce mucha potencia en la primera fuente 5a de alimentación para hacer inestable el estado de esta primera fuente 5a de alimentación. En el peor caso, un exceso de entrada puede destruir la primera fuente 5a de alimentación. Esta situación ocurre fácilmente, en especial cuando no hay carga de plasma antes de la generación de plasma.

En cambio, en el segundo aparato (el aparato 1B), los aisladores 24a y 24b están insertados en los circuitos de suministro. En consecuencia, las entradas a las fuentes 5a y 5b de alimentación pueden ser completamente absorbidas por las cargas, y esto evita la destrucción de las fuentes 5a y 5b de alimentación por un exceso de suministro.

El ancho de banda de las frecuencias de un aislador, especialmente los aisladores 24a y 24b una potencia de alta frecuencia en la gama de los kW como valor nominal tal como se usan en esta realización, es muy estrecho. Es decir, el ancho de banda de las frecuencias con una potencia de alta frecuencia de 1 kW o menos es aproximadamente el 4% de la frecuencia usada, y el de una potencia de alta frecuencia de aproximadamente 2 kW es aproximadamente el 1% de la frecuencia usada. Por ende, la diferencia de frecuencias entre las fuentes primera y segunda 5a y 5b de alimentación debe disminuir hasta estos valores. En esta realización, la frecuencia de oscilación de la primera fuente 5a de alimentación se fija a 60,2 MHz, y la frecuencia de oscilación de la segunda fuente 5b de alimentación se fija a 59,8 MHz. En consecuencia, la diferencia en las frecuencias de oscilación entre las dos fuentes 5a y 5b de alimentación se fija a 0,6 MHz o menos, lo que corresponde a un ancho de banda de frecuencias del 1% a la potencia nominal de 2 kW.

ES 2 345 602 T3

④ En el aparato 1A, cada sistema incluye uno de los dos medidores 6a y 6b de potencia (dos medidores de potencia en total). En el aparato 1B, un sistema incluye los dos medidores 6a₁ y 6a₂ de potencia, y otro sistema también incluye dos medidores 6b₁ y 6b₂ de potencia (cuatro medidores de potencia en total). Dado que los aisladores 24a y 24b están insertados en los circuitos de suministro, los componentes de potencia de entrada a las fuentes 5a y 5b de alimentación, es decir, los componentes de la potencia reflejada en los medidores 6a₁ y 6a₂ de potencia son normalmente cero, con independencia del estado de la igualación de la impedancia. Por lo tanto, para optimizar el estado de la igualación de la impedancia es necesario disponer los medidores 6a₂ y 6b₂ de potencia más cerca de los circuitos de igualación de la impedancia que los aisladores 24a y 24b y medir los componentes de la potencia de retorno procedente de los circuitos 7a y 7b de igualación de la impedancia.

Aunque las anteriores mejoras complicaron el aparato, se obtuvo una potencia total de entrada de 4 kW. Por ende, se obtuvo una tasa de forma elevada de película de 1,5 nm/seg en, por ejemplo, la formación de una película nanocristalina. La uniformidad del espesor de la película fue de $\pm 10\%$. Esto satisface el requisito de uniformidad en el espesor de la película necesario para un semiconductor en película delgada de Si de una célula solar.

Tercera realización

A continuación se describirá la tercera realización de la presente invención con referencia a las Figuras 15 a 20.

Tal como se muestra en la Fig. 15, un aparato 1C de CVD de plasma comprende una cámara 2C de vacío para rodear un sustrato G, un electrodo 303 de escalera puesto en frente del sustrato G en esta cámara 2C de vacío, y un circuito 8A de suministro para suministrar potencia a este electrodo 303 de escalera. La cámara 2C de vacío comunica con una bomba de vacío por medio de un pasadizo de escape (no mostrado) y es evacuada hasta alcanzar una presión interna de aproximadamente 133,32 a 0,013332 mPa. Además, se coloca una tubería de suministro (no mostrada) detrás del electrodo 303 en la cámara 2C de vacío. Cuando se suministran silano o disilano como gas de tratamiento para la formación de película desde una fuente de suministro de gas a la tubería de suministro de gas, este gas de tratamiento es suministrado desde un gran número de vías de acceso de entrada a un espacio entre el electrodo 303 y el sustrato G.

El sustrato G está sujeto por un electrodo 3 de conexión a tierra y es calentado hasta una región de temperatura predeterminada por un calentador incorporado (no mostrado). Como este sustrato G se usó un sustrato de vidrio transparente de 1 mm de espesor, 460 mm de anchura y 460 mm de longitud.

El electrodo 303 de escalera como electrodo de descarga se forma ensamblando miembros de electrodo en barra redonda a intervalos iguales en forma de entramado. Este electrodo 303 de escalera se conecta a un alimentador (conductor central) 6 del circuito 8A mediante cuatro puntos 9a y 9b de suministro. Los dos puntos 9a de suministro están formados en posiciones que dividen el miembro de electrodo en barra redonda colocado en un extremo en tres partes sustancialmente iguales. Los otros dos puntos 9b de suministro están formados en posiciones que dividen el miembro de electrodo en barra redonda colocado en el otro extremo en tres partes sustancialmente iguales. El electrodo 303 de escalera tiene las dimensiones, por ejemplo, de 520 mm $\times$ 520 mm, y el miembro de electrodo en barra redonda tiene un diámetro, por ejemplo, de 6 mm.

El circuito 8A de suministro tiene un oscilador 20 de alta frecuencia, un distribuidor 26, un desviador 42 de fase, un par de amplificadores 41a y 41b, y un par de circuitos 7a y 7b de igualación de la impedancia. El oscilador 20 de alta frecuencia está conectado a los amplificadores 41a y 41b por medio del distribuidor 26. Los amplificadores 41a y 41b están conectados a los circuitos 7a y 7b de igualación de la impedancia, que están conectados, respectivamente, a los puntos 9a y 9b de suministro.

Un circuito de salida del distribuidor 26 se ramifica en dos partes, y uno de estos circuitos ramificados 8A incluye el desviador 42 de fase, accionado y controlado por un ordenador 43. Cada circuito ramificado 8A se ramifica adicionalmente en dos circuitos 8a y 8b. Estos circuitos ramificados 8a y 8b están conectados al electrodo 303 por medio de los puntos 9a y 9b de suministro, respectivamente.

Se usó un oscilador de cuarzo que tenía una frecuencia nominal de 60 MHz como oscilador 20 de alta frecuencia. Como desviador 42 de fase se usó un desviador analógico de fase controlado por tensión de tipo elemento de estado sólido en su totalidad. El oscilador 20 de alta frecuencia oscila con una frecuencia muy alta (VHF), y esta VHF es distribuida por el distribuidor 26 y es suministrada al electrodo 303 por medio de los amplificadores 41a y 41b, de los circuitos 7a y 7b de igualación de la impedancia y de los puntos 9a y 9b de suministro. Sobre la base de una señal predeterminada de datos de tratamiento transmitida desde el ordenador 43, el desviador 42 de fase lleva a cabo una modulación de fase de alta velocidad para una VHF distribuida con una tasa de repetición de un máximo de 100 kHz.

Tal como se muestra en las Figuras 16 y 17, el alimentador (conductor central) 6 pasa por un cable coaxial 61 y está conectado al electrodo 303 por medio de los puntos 9a y 9b de suministro. En la porción extrema del cable coaxial 61 está montado un aislador 63 por medio de un acoplamiento 62, aislando con ello al electrodo 303 de la funda del cable 61. En las porciones laterales del aislador 63 hay formada una pluralidad de orificios 64. Un pasadizo 66 del gas en el cable coaxial 61 comunica con una fuente 68 de suministro de gas y con los orificios 64 del aislador. La fuente 68 de suministro de gas contiene gas hidrógeno H₂ industrialmente puro. Este gas hidrógeno es suministrado desde la fuente 68 de suministro de gas, pasa por el pasadizo 66 del gas en el cable 61 y sale despedido de los orificios laterales 64

y de un orificio 65 del extremo superior, expulsando de esa forma una plasma de silano que existe en los puntos 9a y 9b de suministro y en su proximidad. Simultáneamente, un plasma que tiene una elevada concentración de hidrógeno decapa los componentes innecesarios de la formación de película depositados sobre el aislador 63 y similares cerca del centro de distribución de alimentación. La incidencia de este gas hidrógeno evita de manera efectiva la deposición de componentes innecesarios de la formación de película y la generación de partículas cerca de los puntos 9a y 9b de suministro como una porción concentrada del campo eléctrico.

En la realización anterior, se impiden la deposición de componentes de la formación de película y la generación de partículas impeliendo gas hidrógeno puro contra cada centro de distribución de suministro. Sin embargo, la presente invención no está limitada a esta realización. Es decir, puede obtenerse un efecto similar proyectando otro gas como el gas argón contra cada centro de distribución de suministro.

Además, el procedimiento de la presente invención es aplicable no solamente a los puntos de suministro, sino también a partes en las que son poco deseables la deposición de componentes innecesarios de la formación de la película y la generación de partículas. Por ejemplo, si se deposita una película de silicio sobre una columna aislante que soporta un electrodo, disminuye la intensidad del aislamiento al contorno de la columna. En el peor caso, se da una derivación a tierra de la línea. Cuando se llevó a cabo para esta columna un procedimiento de suministro local de hidrógeno análogo al que se ha descrito en lo que antecede, se suprimió la deposición no ocurrió ninguna derivación a tierra de la línea.

A continuación se describirá la formación de una película de Si nanocristalino sobre un sustrato de vidrio usando el aparato de formación de película de CVD de plasma.

Las condiciones de formación de la película fueron: dimensiones del sustrato de 46 cm × 46 cm, una temperatura del sustrato de 200°C, una presión interna del recipiente de reacción de 20,0 kPa, una cantidad de suministro de gas silano de 50 sccm y una cantidad de suministro de gas hidrógeno de 1.500 sccm.

Cuando la frecuencia de la energía de alta frecuencia se fijó a 60 MHz y la distancia entre el electrodo y el sustrato se fijó a 10 mm en este aparato, se generó una onda estacionaria mediante el procedimiento convencional de suministro, y no fue posible la formación de ninguna película uniforme.

Las Figuras 18 y 19 son gráficos tridimensionales que muestran distribuciones de tasas de formación de película cuando la diferencia de fases está fijada a valores constantes de 0° y 90°, respectivamente, por un modulador de fase. Con referencia a las Figuras 18 y 19, se trazan sobre los ejes X e Y las posiciones sobre un sustrato con respecto al electrodo de descarga, y la tasa de deposición (nm/seg) se traza en la ordenada. Tal como se muestra en las Figuras 18 y 19, con la diferencia de fase constante fija, una envolvente permanece inmóvil como una onda estacionaria para producir una distribución de la tasa de deposición. Las Figuras 18 y 19 también revelan que la distribución de la tasa de deposición puede cambiar cambiando la diferencia de fase. Esto es debido, principalmente, a que el cambio en la diferencia de fase cambia la distribución de la envolvente (varía los nodos y los antinodos de la distribución de la onda estacionaria).

Por lo tanto, en esta realización, se suministran componentes de potencia de alta frecuencia desde dos sistemas de suministro, y la diferencia de fase entre ellos cambia con el tiempo, moviendo con ello la envolvente y obteniendo una distribución uniforme del espesor de la película mediante cuadratura de tiempo. Esto es equivalente al caso (b) (el procedimiento de suministro de ondas de alta frecuencia que tienen la misma frecuencia mientras se cambia la diferencia de fase con el tiempo) en "Breve resumen de la invención".

Si se cambia lentamente la anterior diferencia de fase, aumentan o disminuyen en consonancia las moléculas o los átomos activos en el plasma. Por lo tanto, el flujo de llegada de estas moléculas o de estos átomos con respecto al sustrato varía con el tiempo, y esto eleva o disminuye la tasa de deposición. En el peor caso, aparece un estado equivalente a la DESACTIVACIÓN del plasma, en el que no se forma película alguna. Además, la calidad de las películas depositadas cambia temporalmente, y este cambio influye a veces en la calidad de la película que por fin se forma. Esto es un problema en una célula solar de película delgada de silicio de tipo nanocristalino, en la que es importante la calidad de la delicada película. Esto hace que resulte difícil la formación de una película uniforme de elevada calidad en un sustrato de gran de gran superficie.

Además, si se usa un modulador mecánico de fase en vez de un desviador de fase, es necesario un mantenimiento frecuente, porque las porciones deslizantes se desgastan. Además, la modulación de fase de velocidad elevada es imposible.

Sin embargo, en el procedimiento de la presente invención, el ordenador 43 controla de manera rápida y precisa el desviador 42 de fase, y la modulación de fase de velocidad elevada por parte de este desviador 42 de fase desvía la fase de la energía de alta frecuencia suministrada desde un extremo del electrodo 303 de la fase de la energía de alta frecuencia suministrada desde el otro extremo. Por ende, en un cierto instante se genera una distribución de la envolvente en el electrodo 303 para producir variaciones locales en la distribución de la amplitud de la tensión. Sin embargo, en todo el tiempo de tratamiento, se promedia la distribución de la amplitud de la tensión y se uniformiza la densidad de un plasma generado entre el electrodo 303 y el sustrato G.

ES 2 345 602 T3

Cuando se usa este circuito 8A de modulación de fase para modular rápidamente una alta frecuencia a un máximo de 100 kHz, la envolvente generada en el electrodo se mueve a la misma frecuencia. Este movimiento es mucho más corto que la vida de las moléculas activas de SiH_3 o de los átomos activos de H que dominan la deposición de la película. Por lo tanto, el flujo de estas moléculas o de estos átomos activos que llega al sustrato apenas cambia con el tiempo. Esto permite la deposición de una película que tiene un espesor uniforme de película y una calidad uniforme de película.

Además, tal como se muestra en las Figuras 18 y 19, se midieron previamente las distribuciones de la tasa de deposición con varias diferencias de fase y se introdujeron en el ordenador 43. Sobre la base de estos datos, se calcularon las relaciones temporales de deposición correspondientes a las diferencias individuales de fase necesarias para lograr una distribución uniforme con el fin de formar, tal como se muestra en la Fig. 20, patrones M1, M2 y M3 del cambio en la diferencia de fase. Cuando se controló el desviador 42 de fase usando estos patrones M1, M2 y M3 del cambio en la diferencia de fase, fue posible una formación de película mediante la cual tanto la distribución del espesor de la película como la calidad de la película caían dentro de los intervalos de $\pm 5\%$ de sus valores diana respectivos.

Cuando se operó el aparato fijando el valor máximo de la potencia de alta frecuencia a aproximadamente 800 W, que está limitado por el valor de la potencia máxima del amplificador de alta frecuencia, se obtuvo una tasa de deposición media de aproximadamente 2 nm/seg. Además, tal como se ha descrito en lo que antecede, la distribución del espesor de película de las películas depositadas satisfizo los $\pm 5\%$ o menos necesarios para las células solares y los TFT de película delgada.

Las dimensiones de sustrato usadas en esta realización fueron de 46 cm $\times$ 46 cm. Sin embargo, incluso cuando se usaron sustratos que tenían las mismas dimensiones de 2,0 $\times$ 1,4 m que en la primera realización, pudo obtenerse una uniformidad del 10% o menor mediante un procedimiento similar.

Cuarta realización

A continuación se describirá la cuarta realización de la presente invención con referencia a la Fig. 21. Se obtiene un aparato 1D de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro VHF del aparato 1B de la segunda realización descrito anteriormente.

Un circuito de suministro de este aparato 1D incluye dos fuentes independientes 5a y 5b de alimentación de alta frecuencia, un oscilador 20D, detectores 30a y 30b de fase, un dispositivo 33 de desvío de fase y un generador 34 de función. Las dos fuentes 5a y 5b de alimentación incorporan amplificadores y suministran de manera independiente componentes de potencia de frecuencia muy elevada (VHF) que tienen la misma frecuencia de 60 MHz. El dispositivo 33 de desvío de fase se inserta entre el oscilador 20D y la segunda fuente 5b de alimentación y desvía la fase de la alta frecuencia suministrada desde la segunda fuente 5b de alimentación. En consecuencia, la alta frecuencia suministrada desde la segunda fuente 5b de alimentación a un electrodo 303 está controlada de tal modo como para que tenga una cierta diferencia de fase con respecto a la alta frecuencia suministrada desde la primera fuente 5a de alimentación al electrodo 303. El generador 34 de función transmite una señal con una forma de onda arbitraria al dispositivo 33 de desvío de fase y controla un cambio temporal en la diferencia de fase.

Cuando el oscilador 20D oscila una onda de VHF que tiene una frecuencia de 60 MHz, un sistema (una señal S1) de la señal de oscilación es amplificado directamente por la primera fuente 5a de alimentación y es introducido en el primer detector 30a de fase por medio de un medidor 6a₁ de potencia, de un aislador 24a, de un medidor 6a₂ de potencia y de un circuito 7a de igualación de la impedancia. El detector 30a de fase detecta la fase de la señal S1, y se suministra esta señal S1 al electrodo 303 por medio de un distribuidor 26a.

La fase del otro sistema (una señal S2) de la señal de oscilación es desviada por el dispositivo 33 de desvío de fase. Después de eso, la señal S2 es amplificada directamente por la segunda fuente 5b de alimentación y es introducida en el segundo detector 30b de fase por medio de un medidor 6b₁ de potencia, de un aislador 24b, de un medidor 6b₂ de potencia y de un circuito 7b de igualación de la impedancia. El detector 30b de fase detecta la fase de la señal S2, y se suministra esta señal S2 al electrodo 303 por medio de un distribuidor 26b.

El dispositivo 33 de desvío de fase lleva a cabo un control de retroalimentación, de tal modo que la diferencia entre la fase de la señal S1 detectada por el primer detector de fase y la fase de la señal S2 detectado por el segundo detector de fase cambie según la señal de control de la diferencia de fase generada por el generador 34 de función. Es decir, un cambio temporal en la diferencia de fase se controla con el dispositivo 33 de desvío de fase según la señal arbitraria de forma de onda generada por el generador 34 de función. Los detectores 30a y 30b de fase detectan la diferencia de fase entre las señales S1 y S2 inmediatamente antes que los distribuidores 26a y 26b, respectivamente. Esta señal de detección de fase es suministrada al dispositivo 33 de desvío de fase para controlar la operación de desvío de fase mediante retroalimentación.

En esta realización, si el aparato se opera con una diferencia de fase constante fija, una envolvente se detiene espacialmente para generar una onda estacionaria, y esto hace un plasma que no es uniforme. En cambio, al mover la envolvente cambiando la diferencia de fase con el tiempo, es posible suprimir una onda estacionaria y obtener un plasma uniforme y una distribución uniforme en el espesor de la película por una media de los tiempos dentro del

ES 2 345 602 T3

tiempo de formación de la película. Obsérvese que los aisladores 24a y 24b y un circuito 22 de protección contribuyen a la estabilización de las fuentes 5a y 5b de alimentación cuando funcionan, como en el aparato 1B descrito previamente.

Si la diferencia de fase se modula demasiado rápidamente, la banda de frecuencias de una VHF se amplía para que exceda el ancho de banda de las frecuencias de los aisladores 24a y 24b. Esto puede averiar estos aisladores 24a y 24b. Por lo tanto, se conectó un analizador de espectro (no mostrado) a los detectores 30a y 30b de fase para determinar la tasa de modulación, de tal modo que el ancho de banda fue el 1% o menor de la frecuencia nominal.

En esta realización el ancho de banda no superó el 1% cuando se llevó a cabo modulación fijando la frecuencia de la señal de control de fase procedente del generador 34 de función a 10 kHz.

En la presente realización, la uniformidad de la tasa de deposición estuvo dentro del $\pm 8\%$ cuando la anchura de la modulación, ajustada por el generador de función, se calibró a $\pm 110\%$, mientras que la frecuencia de modulación del dispositivo de desviación de fase se ajustó a 10 kHz.

Quinta realización

A continuación se describirá la quinta realización de la presente invención con referencia a la Fig. 22. En esta realización se omitirá una descripción de las mismas porciones que en la realización anterior para evitar la duplicación.

Se conecta una fuente 5 de alimentación de alta frecuencia de un aparato 1E de formación de película por CVD de plasma a un circuito 8B de suministro por medio de un circuito 44 de igualación de la impedancia. El circuito 8B de suministro se ramifica en dos circuitos. Un circuito ramificado 8B se ramifica adicionalmente en dos circuitos ramificados 8a que se conectan a un electrodo 303 de escalera por medio de dos puntos 9a de suministro. El otro circuito ramificado 8B tiene un dispositivo 45 de modulación de fase. Este circuito ramificado 8B también se ramifica adicionalmente en dos circuitos ramificados 8b que se conectan a un electrodo 303 de escalera por medio de dos puntos 9b de suministro. Se usó un dispositivo accionado mecánicamente que tenía un condensador de vacío como dispositivo 45 de modulación de fase. Se usó el mismo dispositivo que en la tercera realización como fuente 5 de alimentación de alta frecuencia.

En esta realización, los puntos de suministro de un sistema de suministro de puntos múltiples se dividen en dos grupos. Se produce una diferencia entre las fases de los componentes de potencia de alta frecuencia suministrados a los puntos de suministro de cada grupo, y los componentes de potencia de alta frecuencia se aplican al electrodo 303 de escalera por medio de estos puntos de suministro. De esta manera, puede controlarse la posición de una distribución de la envoltura.

Se usó el aparato 1E de esta realización para formar películas de Si-a sobre sustratos G de vidrio. Las condiciones de formación de la película de esta realización fueron como sigue.

Dimensiones del sustrato:	460 mm $\times$ 460 mm $\times$ 1 mm
Temperatura del sustrato:	200°C
Presión:	20,0 kPa
Gas de tratamiento:	monosilano (SiH ₄) + hidrógeno (H ₂)
Caudal del gas:	50 sccm SiH ₄ + 1.500 sccm H ₂
Distancia entre electrodo y sustrato:	10 mm
Dimensiones del electrodo:	520 mm $\times$ 520 mm $\times$ 6 mm
Material del electrodo:	acero inoxidable (JIS SUS304)
Frecuencia de la fuente de alimentación:	60 MHz
Espesor diana de la película:	1.000 nm

Incluso bajo las condiciones anteriores, se obtuvieron distribuciones de la tasa de formación de película análogas a las mostradas en las Figuras 18 y 19 con diferencias de fase de 0° y 90°. Sin embargo, el valor absoluto de la tasa de formación de película fue de aproximadamente 1/5.

Se formaron películas fijando el tiempo total de formación de película a 6 min y controlando manualmente la diferencia de fase a 0° durante los tres primeros minutos y a 90° durante los tres últimos minutos. En esta realización,

se obtuvo una tasa media de deposición de aproximadamente 0,4 nm/seg cuando se hizo funcionar el aparato fijando la potencia de alta frecuencia a aproximadamente 200 W, que estaba limitada por el valor nominal del dispositivo de modulación de fase. Además, la distribución del espesor de la película obtenida fue de $\pm 15\%$. Estos resultados demuestran que el procedimiento de esta realización puede usarse en la fabricación de células solares versátiles de

Sexta realización

A continuación se describirá la sexta realización de la presente invención con referencia a la Fig. 23. Se obtiene un aparato 1F de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro VHF del aparato 1A de la primera realización.

Un circuito de suministro de este aparato 1F comprende dos fuentes independientes 5a y 5b de alimentación, dos medidores independientes 6a y 6b de potencia, un mezclador 40, un circuito 7 de igualación de la impedancia y un distribuidor 26. Las fuentes independientes 5a y 5b de alimentación producen componentes de potencia de VHF que tienen frecuencias diferentes. El mezclador 40 mezcla estos componentes de potencia de VHF, y la potencia de VHF mezclada es suministrada a un electrodo 303 de escalera por medio del circuito 7 de igualación de la impedancia y del distribuidor.

En esta realización, pudo obtenerse una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 10\%$ o menos, con independencia de la sencillez del circuito de suministro. Obsérvese que en esta realización el valor máximo de la potencia está limitado a 2 kW por el valor nominal del mezclador 40.

Séptima realización

A continuación se describirá la séptima realización de la presente invención con referencia a la Fig. 24. Se obtiene un aparato 1G de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro VHF del aparato 1F de la sexta realización anterior.

Un circuito de suministro de este aparato 1G comprende dos generadores independientes $20G_1$ y $20G_2$ de alta frecuencia, un mezclador 40, un amplificador 41 de alta frecuencia, un medidor 6 de potencia, un circuito 7 de igualación de la impedancia y un distribuidor 26. Los osciladores independientes $20G_1$ y $20G_2$ de alta frecuencia oscilan VHF diferentes. Estas VHF son mezcladas por el mezclador 40, amplificadas por el amplificador 41 y suministradas a un electrodo 303 de escalera por medio del medidor 6 de potencia, del circuito 7 de igualación de la impedancia y del distribuidor 26.

También en esta realización, pudo obtenerse una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 10\%$ o menos, con independencia de la sencillez del circuito de suministro. La disposición de los puntos de suministro en esta realización pudo ser la misma que en la sexta realización. Por otra parte, en esta realización el valor máximo de la potencia no estuvo limitado por el valor nominal del mezclador 40, y fue posible una deposición de película a 4 kW.

Octava realización

A continuación se describirá la octava realización de la presente invención con referencia a la Fig. 25. Se obtiene un aparato 1H de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro VHF del aparato 1G de la séptima realización anterior. En la séptima realización, el mezclador 40 mezcla dos señales que tienen frecuencias diferentes osciladas por los dos osciladores de alta frecuencia, generando con ello una alta frecuencia múltiple que es una mezcla de una pluralidad de frecuencias. En esta realización, puede obtenerse el mismo efecto usando un generador 20H de formas de onda arbitrarias.

La Fig. 26A es un gráfico de una forma de onda espectral de frecuencias que muestra una alta frecuencia múltiple en una banda de frecuencias de 59 a 61 MHz. En la Fig. 26A, la frecuencia (MHz) se traza en la abscisa, y la amplitud se traza en la ordenada. En primer lugar, este espectro de frecuencias se convirtió en una forma de onda cambiante temporalmente llevando a cabo una transformada inversa de Fourier usando un ordenador (no mostrado). El resultado se muestra en la Fig. 26B. Es decir, la Fig. 26B es un gráfico que muestra la forma de onda obtenida llevando a cabo la transformada inversa de Fourier para la alta frecuencia múltiple mostrada en la Fig. 26A. En la Fig. 26B, el tiempo transcurrido ($\times 10^{-6}$ seg) desde el comienzo de la oscilación VHF se traza en la abscisa, y la tensión (V) del electrodo se traza en la ordenada. La Fig. 26B muestra una envolvente que contiene una onda de aproximadamente 60 MHz, aunque no se muestran los detalles de la forma de onda. Es decir, esta forma de onda contiene ondas de diferentes frecuencias entre 59 y 61 MHz. Esta forma de onda se almacena en el generador 20H de formas de onda arbitrarias y se genera de forma repetitiva desde él. En consecuencia, se suministra continuamente a un amplificador 41 de alta frecuencia una onda múltiple de alta frecuencia que contiene frecuencias entre 59 y 61 MHz. Acto seguido, esta onda de alta frecuencia es suministrada a un electrodo 303 de escalera por medio de un medidor 6 de potencia, de un circuito 7 de igualación de la impedancia y de un distribuidor 26. También en esta realización, pudo obtenerse una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 10\%$ o menos, como en la séptima realización, descrita más arriba.

ES 2 345 602 T3

Novena realización

A continuación se describirá la novena realización de la presente invención con referencia a la Fig. 27. Un aparato 1J de esta realización incluye un electrodo circular 313 de placas paralelas en una cámara de vacío 2J. Hay conectados seis circuitos de suministro de VHF a este electrodo 313 de placas paralelas por medio de seis puntos 9a de suministro. Los seis puntos 9a de suministro están conectados al electrodo circular 313 de placas paralelas por simetría de puntos. Los seis circuitos de suministro de VHF son independientes entre sí. El primer circuito de suministro de VHF incluye una fuente 5a de alimentación de alta frecuencia, un medidor 6a de potencia y un circuito 7a de igualación de la impedancia. De manera análoga, los circuitos de suministro de VHF segundo al sexto incluyen, respectivamente, fuentes 5b a 5f de alimentación de alta frecuencia, medidores 6b a 6f de potencia y circuitos 7b a 7f de igualación de la impedancia.

En esta realización, pudo uniformizarse un plasma en el electrodo 313 de placas paralelas suministrando ondas de alta frecuencia que tenían frecuencias diferentes procedentes de los seis circuitos independientes de suministro. Pudo obtenerse una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 10\%$ o menos ajustando la potencia VHF y la separación del electrodo. Sin embargo, el intervalo de las condiciones de uniformización del electrodo circular 313 de placas paralelas es más estrecho que el del electrodo 303 de escalera. En esta realización, la uniformidad anteriormente mencionada pudo obtenerse únicamente con una potencia de 2,0 a 2,2 kW y una separación del electrodo entre 25 y 30 mm.

10ª realización

A continuación se describirá la 10ª realización de la presente invención con referencia a las Figuras 28, 29 y 30. La Fig. 28 es un diagrama de bloques en planta que muestra un aparato de esta realización. La Fig. 32 es un diagrama de bloques en corte que muestra un aparato de esta realización. La Fig. 33 es un diagrama de bloques en perspectiva que muestra el aspecto externo del aparato de esta realización. Un aparato 1K de esta realización incluye un electrodo 323 de placas paralelas de tipo ducha, en lugar del electrodo 303 de escalera del aparato 1A de la primera realización. Una tubería 17 de suministro de gas está conectada a la superficie superior de este electrodo 323. Esta tubería 17 de suministro de gas comunica con una porción hueca 324 en el electrodo por medio de una vía 321 de acceso. La porción hueca 324 comunica con un espacio 330 de generación de un plasma de descarga por medio de una pluralidad de poros 325.

El electrodo 323 se mantiene en las paredes laterales de una cámara 2K mediante miembros aislantes 336 y 338. Se introducen cables coaxiales 8b de dos circuitos 341 y 342 de suministro de la cámara 2K y se conectan al electrodo 323 por medio de una pluralidad de puntos 9a de suministro y una pluralidad de puntos 9b₁ de suministro, respectivamente. Los miembros aislantes 340 aíslan porciones en las que los cables 8b se extienden a través de las paredes de la cámara 2K.

El circuito 341 de suministro incluye una fuente 5a de alimentación de alta frecuencia, un medidor 6a de potencia, un circuito 7a de igualación de la impedancia y un distribuidor 26a. El distribuidor 26a suministra energía a los puntos 9a de suministro por medio de los ocho cables ramificados 8b. El circuito 342 de suministro incluye una fuente 5b de alimentación de alta frecuencia, un medidor 6b de potencia, un circuito 7b de igualación de la impedancia y un distribuidor 26b. El distribuidor 26b suministra potencia a los puntos 9b₁ de suministro por medio de los ocho cables ramificados 8b.

Un electrodo 3 de conexión a tierra está aguantado por una pluralidad de columnas 331 para que esté paralelo frente al electrodo 323 de ducha. En las superficies laterales de la cámara 2K hay formado un par de válvulas 334 de compuerta para permitir cargar/descargar un sustrato G en/de la cámara 2K. Cuando se abren las válvulas 334 de compuerta, un cargador (no mostrado) carga el sustrato G al interior de la cámara 2K y coloca el sustrato G sobre el electrodo 3 de conexión a tierra. Un calentador 3a conectado a una fuente 332 de alimentación está incluido en el electrodo 3 de conexión a tierra y calienta el sustrato G.

Una tubería 18 de escape comunica con una porción apropiada de la cámara 2K. Un dispositivo 72 de evacuación evacua la cámara 2K hasta un grado elevado de vacío.

Se usó el aparato 1K de esta realización para formar películas sobre los sustratos G bajo las mismas condiciones que en la primera realización. En consecuencia, en esta realización pudo obtenerse una uniformidad en el espesor de la película de $\pm 12\%$ o menos. En el aparato 1K de esta realización, cuando se cambió la disposición de los puntos de suministro, la uniformidad del espesor de la película cambió en consecuencia en gran medida. Por lo tanto, fue necesario optimizar la disposición del centro de distribución de suministro.

11ª realización

A continuación se describirá la 11ª realización de la presente invención con referencia a la Fig. 31. Se obtiene un aparato 1L de esta realización cambiando parcialmente el circuito de suministro de frecuencia muy elevada (VHF) del aparato 1A de la primera realización mostrado en la Fig. 8.

ES 2 345 602 T3

Este aparato 1L comprende un oscilador 50 de modulación AM, un amplificador 41, un medidor 6 de potencia, un circuito 7 de igualación de la impedancia y un distribuidor 26. Se amplificó con el amplificador 41 una onda de alta frecuencia procedente del oscilador 50 de modulación AM para generar una onda de alta frecuencia con modulación AM que tenía una frecuencia de portadora de 60 MHz, una frecuencia de modulación de 30 MHz y un intervalo de amplitud de modulación entre el 100% y el 20%. Esta onda de alta frecuencia con modulación AM fue suministrada a un electrodo 303 de escalera por medio del medidor 6 de potencia, del circuito 7 de igualación de la impedancia y del distribuidor 26.

En esta realización, pudo obtenerse una distribución del espesor de la película del $\pm 15\%$ con independencia de la sencillez del circuito.

12ª realización

A continuación se describirá la 12ª realización de la presente invención con referencia a la Fig. 32. En esta realización, se omitirá una descripción de las mismas porciones en que las realizaciones anteriores para evitar la duplicación.

Un aparato 1M de CVD de plasma tiene un oscilador 20M de alta frecuencia con una función de modulación FM como fuente de alimentación. Se usó un generador de formas de onda arbitrarias como este oscilador 20M de alta frecuencia. Un amplificador 41 y un circuito 7 de igualación de la impedancia están conectados en serie al oscilador 20M de alta frecuencia. Un circuito de salida del circuito 7 de igualación de la impedancia se ramifica en dos circuitos, y cada circuito 8M ramificado se ramifica adicionalmente en dos circuitos. Estos circuitos ramificados 8a y 8b están conectados a un electrodo 303 por medio de un par de puntos 9a de suministro y de un par de puntos 9b de suministro, respectivamente.

En esta realización, el uso de la modulación de FM permitió simplificar el circuito de suministro y uniformizar el espesor de la película, como en las realizaciones anteriores. Es decir, se obtuvo una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 10\%$ o menos en un sustrato cuadrado de 10 cm $\times$ 10 cm fijando la frecuencia de oscilación a 200 MHz, la frecuencia de modulación a 1 MHz, y la cantidad de desviación máxima al 20%. Esta uniformidad en el espesor de la película fue muy superior a una uniformidad en el espesor de la película del $\pm 50\%$ obtenida por el procedimiento convencional.

También se obtuvieron efectos similares por medio de un chirrido de frecuencias. Es decir, la uniformidad en el espesor de la película fue del $\pm 12\%$ cuando la frecuencia del chirrido fue de 10 MHz y la cantidad de desviación máxima fue del 20%.

13ª realización

Una película delgada de semiconductores, una película delgada de metal o una película aislante de un elemento semiconductor pueden ser decapadas generando un plasma usando un gas basado en halógenos, por ejemplo un gas basado en cloro, generando con ello iones de cloro negativos (Cl^-). En este caso, tal como se describe en S. Samukawa, "Role of Negative Ions in High-Performance Etching Using Pulse-Time-Modulated Plasma", Extended Abstract of 4th International Conference on Reactive Plasma, SR 1.04, p. 415, 1998 (al que se aludirá en lo sucesivo como referencia 8), se genera un plasma de forma convencional y se extingue conectando/desconectando la energía eléctrica generada en una fuente de alimentación de alta frecuencia, generando con ello una gran cantidad de iones negativos de cloro por el efecto de adhesión de los electrones cuando desaparece el plasma. Además de este efecto, se incrementan la tasa y la calidad del decapado usando el efecto de desaparición de la carga eléctrica de la pared generada en la superficie del sustrato. En esta realización, un plasma se activa/desactiva moviendo los nodos y los antinodos de una envolvente.

Se usó el aparato 1B de de la segunda realización mostrada en la Fig. 14. Se usaron dos frecuencias diferentes, de 750,000 y 750,004 MHz, para fijar la diferencia de frecuencias en 4 kHz, y las dimensiones del electrodo se establecieron en 33 cm $\times$ 33 cm. Además, se usó un gas basado en halógeno, por ejemplo un gas basado en cloro, para generar un plasma para generar iones negativos de cloro (Cl^-), decapando con ello una película delgada de Au en la superficie del sustrato. En este estado el plasma estaba ACTIVADO en los antinodos de una distribución de la envolvente y DESACTIVADO en sus nodos. Por lo tanto, pudo llevarse a cabo el decapado con una tasa elevada generando de manera eficiente y simple una gran cantidad de iones negativos de cloro moviendo rápidamente la envolvente.

Dado que la diferencia de frecuencias fue de 4 kHz, el ciclo de cambio de la envolvente se fijó a aproximadamente 250 μseg , de modo que el ciclo era más largo, por ejemplo, de dos a cuatro veces, que un tiempo de generación de iones negativos de cloro de aproximadamente 100 μseg descrito en la referencia 10. Es decir, el plasma se activa/desactiva en un ciclo equivalente a la inversa de la diferencia de frecuencias entre una pluralidad de altas frecuencias. En consecuencia, el tiempo de DESACTIVACIÓN del plasma fue de aproximadamente 125 μseg , de modo que se generaron suficientes iones negativos.

ES 2 345 602 T3

Las condiciones de decapado de esta realización fueron como sigue.

Dimensiones del sustrato: 300 mm × 300 mm × 0,5 mm

Temperatura del sustrato: 80°C

Presión: 266,64 Pa

Gas de decapado: Cl₂

Caudal del gas: 50 sccm

Distancia entre electrodo y sustrato: 20 mm

Dimensiones del electrodo: 330 mm × 330 mm × 5 mm

Material del electrodo: acero inoxidable (JIS SUS304)

Frecuencias de las fuentes de alimentación: 750,000 MHz, 750,004 MHz

Tasa diana de decapado: 3 nm/seg

Dado que se usaron 750 MHz como frecuencia de la onda de alta frecuencia, la densidad del plasma se hizo mayor que cuando se usaron los 13,56 MHz del procedimiento convencional, y, simultáneamente, disminuyó el espesor de la vaina de plasma. En consecuencia, fluyó eficientemente a la superficie del sustrato una gran cantidad de iones negativos de cloro generados en el plasma, y esto incrementó adicionalmente la tasa de decapado.

En esta realización, fue posible obtener una tasa de decapado aproximadamente 40 veces la obtenida cuando se usó la frecuencia convencional única de 13,56 MHz.

El procedimiento de esta realización también es aplicable a lo que se denomina autolimpiado, que elimina los materiales extraños (películas delgadas basadas en silicio) que se pegan a las paredes internas de la cámara de un aparato de PCVD usando un plasma de descarga.

El efecto de esta realización se obtiene moviendo una envolvente usando la diferencia de frecuencias entre dos frecuencias. Sin embargo, puede obtenerse el mismo efecto de manera natural mediante otro procedimiento de movimiento de la envolvente, por ejemplo un cambio en la diferencia de fase, modulación AM o modulación FM.

14ª realización

A continuación se describirá la 14ª realización de la presente invención con referencia a la Fig. 33.

Se obtiene un aparato 1N de esta realización cambiando los puntos de suministro y las altas frecuencias del aparato 1A de la primera realización.

Este aparato 1N incluye fuentes primera y segunda 5a y 5b de alimentación de alta frecuencia, dos puntos 9a de suministro unidos a un electrodo 303 de escalera, y dos puntos 9b₂ de suministro unidos a un electrodo 3 de conexión a tierra. La primera fuente 5a de alimentación suministra energía de alta frecuencia con una frecuencia de 60,00 MHz al electrodo 303 de escalera por medio de los puntos 9a de suministro. La segunda fuente 5b de alimentación suministra energía de alta frecuencia con una frecuencia de 13,56 MHz al electrodo 3 de conexión a tierra por medio de los puntos 9b₂ de suministro.

Se aplicó esta realización al decapado de una película de silicio usando gas basado en halógeno NF₃. En consecuencia, se obtuvo de manera uniforme una elevada tasa de decapado (aproximadamente 10 nm/seg) en una gran superficie de 1 m × 1 m por la gran densidad resultante de una frecuencia muy elevada de 60 MHz, por el efecto de polarización del sustrato obtenido por los 13,56 MHz, y por el efecto de la supresión de una onda estacionaria obtenido por la diferencia entre las dos frecuencias.

Esta realización también puede ser aplicada a un procedimiento de tratamiento de superficies, tal como una limpieza por plasma de un recipiente de reacción usado en la formación de una película delgada de silicio, es decir, lo que se denomina autolimpiado.

15ª realización

A continuación se describirá la 15ª realización de la presente invención con referencia a la Fig. 34. Un aparato 1Q de esta realización incluye electrodos superior e inferior 323a y 323b de descarga en lugar del electrodo 3 de conexión a tierra del aparato 1K de la 10ª realización descrita anteriormente. Estos electrodos superior e inferior 323a y 323b son placas planas que tienen sustancialmente el mismo tamaño y que están dispuestas paralelas entre sí. En una porción lateral del electrodo superior 323a hay formados cuatro primeros puntos 9a de suministro. Un circuito 7a de igualación

ES 2 345 602 T3

de la impedancia, un medidor 6a de potencia y una fuente 5a de alimentación de alta frecuencia están conectados a estos cuatro primeros puntos 9a de suministro por medio de un cable coaxial 8a y de un conector ramificado 27a en forma de T. En una porción lateral del electrodo inferior 323b hay formados cuatro segundos puntos 9b de suministro. Un circuito 7b de igualación de la impedancia, un medidor 6b de potencia y una fuente 5b de alimentación de alta frecuencia están conectados a estos cuatro segundos puntos 9b de suministro por medio de un cable coaxial 8b y de un conector ramificado 27b en forma de T. Los cuatro primeros puntos 9a de suministro están unidos a intervalos sustancialmente iguales a un borde corto en una cara del electrodo superior 323a. Los cuatro segundos puntos 9b de suministro están unidos a intervalos sustancialmente iguales a un borde corto en la otra cara del electrodo inferior 323b. En consecuencia, los cuatro segundos puntos 9b de suministro están colocados de manera simétrica en la cara alejada de los cuatro primeros puntos 9a de suministro.

En el aparato 1Q de esta realización, cuando se suministra una VHF desde la fuente 5b de alimentación al electrodo inferior 323b por medio de los cuatro segundos puntos 9b de suministro, el electrodo inferior 323b genera una tensión similar a la distribución R1 de la tensión mostrada en la Fig. 10A en la primera realización. Cuando se suministra una VHF desde la fuente 5a de alimentación al electrodo superior 323a por medio de los cuatro primeros puntos 9a de suministro, el electrodo superior 323a genera una tensión similar a la distribución R2 de la tensión mostrada en la Fig. 10B. Por lo tanto, se genera en un sustrato G una distribución de la tensión análoga a la distribución sintética R3 de la tensión de las dos distribuciones R1 y R2 de la tensión. Esta distribución sintética R3 de la tensión es sumamente uniforme y genera un plasma que tiene una densidad de distribución sustancialmente uniforme, de modo que mejora la uniformidad del espesor de la película. Se obtuvo una tasa de formación elevada de película de 0,9 nm/seg en la formación de una película nanocristalina, y la uniformidad fue de aproximadamente $\pm 10\%$. Es decir, se logró la uniformidad necesaria para semiconductores de película delgada de Si para células solares.

A continuación se describirán ejemplos comparativos en los que se formaron películas de silicio amorfo (películas de Si-a) sobre sustratos usando procedimientos de suministro convencionales.

Ejemplo Comparativo 1

En el Ejemplo Comparativo 1, se usó un aparato 400 de CVD de plasma de placas paralelas mostrado en la Fig. 35. Este aparato 400 es conocido por la referencia 1, citada previamente. Los electrodos superior e inferior 402 y 404 están situados frente a frente en un recipiente 401 de vacío. El electrodo superior 402 está montado en la porción superior del recipiente 401 de vacío por medio de un aislador 405. Este electrodo superior 402 está conectado a un circuito 406 de igualación de la impedancia y a una fuente 407 de alimentación de alta frecuencia por medio de un cable coaxial 408. La frecuencia de la fuente de alimentación es de 13,56 MHz. El cable 408 está conectado al electrodo superior 402 por medio de un centro 409 de distribución de suministro. Este centro 409 de distribución de suministro está formado en la superficie (superficie exterior) expuesta a la atmósfera del electrodo superior 402 para no estar expuesto en un espacio 410 de generación de plasma.

El electrodo inferior 404 aloja un calentador 403 para calentar un sustrato G. Una fuente de alimentación del calentador está controlada por un controlador (no mostrado). El sustrato G se sitúa sobre el electrodo inferior 404 y es calentado por el calentador 403 hasta una temperatura predeterminada. Obsérvese que el electrodo inferior 404 está conectado a tierra.

En la porción superior del recipiente 401 de vacío se abre una tubería 411 de suministro de gas. Esta tubería 411 de suministro de gas comunica con una fuente de suministro de gas (no mostrada) por medio de una válvula 416 de control del caudal. La fuente de suministro de gas contiene monosilano (SiH_4). En la porción inferior del recipiente 401 de vacío se abre una tubería 412 de escape. Esta tubería 412 de escape comunica con una bomba 413 de vacío.

Se usó el anterior aparato 400 para formar películas de Si-a sobre sustratos de vidrio. Las condiciones de formación de películas del Ejemplo Comparativo 1 fueron las siguientes.

Dimensiones del sustrato:	1.200 mm $\times$ 1.000 mm $\times$ 1 mm
Temperatura del sustrato:	200°C
Presión:	6,67 a 66,66 Pa
Gas de tratamiento:	monosilano (SiH_4)
Caudal del gas:	100 sccm
Distancia entre electrodo y sustrato:	30 mm
Dimensiones del electrodo:	1.300 mm $\times$ 1.100 mm $\times$ 50 mm
Material del electrodo:	acero inoxidable (JIS SUS304)
Frecuencia de la fuente de alimentación:	13,56 MHz
Espesor diana de la película:	1.000 nm

ES 2 345 602 T3

En consecuencia, se obtuvieron películas de Si-a que tenían una variación del $\pm 18\%$ con respecto al espesor diana de la película. La tasa media de formación de película fue de 0,13 nm/seg.

5 Ejemplo Comparativo 2

En el Ejemplo Comparativo 2, se usó un aparato 500 de CVD de plasma de placas paralelas mostrado en las Figuras 36 y 37. Este aparato 500 es conocido por la referencia 1, citada previamente.

10 Como Ejemplo Comparativo 2, se explicará con referencia a las Figuras 36 y 37 el segundo aparato descrito en la referencia 1. En este Ejemplo Comparativo 2, se omitirá una descripción de las mismas porciones que en el Ejemplo Comparativo 1 para evitar la duplicación.

15 El número de referencia 521 denota una válvula de compuerta formada en una pared lateral de un recipiente 501 de vacío. Un sustrato G se carga/descarga a través de esta válvula 521 de compuerta. Un electrodo hueco 502 no conectado a tierra se coloca dentro de un aislador 505 que se sitúa en la porción superior del recipiente 501 de vacío. Hay formados muchos orificios 502b de suministro de gas de aproximadamente 0,5 mm de diámetro en una superficie inferior (superficie frontal) 502a de este electrodo 502 no conectado a tierra a intervalos de 10 a 15 mm orientados a un espacio 510 de generación de plasma. En la superficie superior del electrodo 502 no conectado a tierra hay
20 formada una abertura 502c para un gas de descarga. Una tubería 511b de suministro de gas de descarga está conectada a esta abertura 502c del electrodo 502 no conectado a tierra por medio de un miembro 523 de conexión. Esta tubería 511b de suministro de gas de descarga suministra, por ejemplo, gas monosilano (SiH_4) al interior del electrodo 502 no conectado a tierra. Sobre el electrodo 502 no conectado a tierra se coloca un distribuidor 525 de potencia para ramificar la salida de una fuente de alimentación de alta frecuencia en una pluralidad de porciones.

25 Se genera un plasma de descarga luminosa en el recipiente 501 de vacío gracias al electrodo 502 no conectado a tierra y a un electrodo 504 conectado a tierra. El electrodo 502 no conectado a tierra es un miembro laminar rectangular o cuadrado (de aproximadamente 500 mm $\times$ 500 mm a aproximadamente 1.000 mm $\times$ 1.000 mm y 60 mm de espesor) y está fabricado de acero inoxidable. Un sistema compuesto de una fuente 507 de alimentación de alta frecuencia,
30 un circuito 506 de igualación de la impedancia y un distribuidor 525 de potencia, descrito más arriba, suministra la necesaria energía a este electrodo 502 no conectado a tierra.

Tal como se muestra en la Fig. 37, el distribuidor 525 de potencia está compuesto de una vía 526 de acceso de
35 conexión en columna situada en el centro, cuatro vías 527 de acceso ramificadas en forma de bandas que se extienden radialmente desde la vía 526 de acceso de conexión, y cuatro miembros 528a, 528b, 528c y 528d en forma de columna. En la Fig. 37, los números de referencia 509a, 509b, 509c y 509d denotan las porciones de las fuentes de alimentación. La bomba 513 de vacío provoca que un gas del recipiente 501 de vacío escape a través de la tubería 512 de escape. Se coloca un sustrato 514 sobre el electrodo 504 conectado a tierra abriendo la válvula 521 de compuerta y se calienta por un calentador 503 de sustrato y una fuente 515 de alimentación del calentador de sustrato hasta una temperatura
40 predeterminada.

Se usó el anterior aparato 500 para formar películas de Si-a sobre sustratos de vidrio. Las condiciones de formación de películas del Ejemplo Comparativo 2 fueron las siguientes.

45	Dimensiones del sustrato:	350 mm $\times$ 450 mm $\times$ 1 mm
	Temperatura del sustrato:	200°C
	Presión:	26,66 Pa
50	Gas de tratamiento:	monosilano (SiH_4)
	Caudal del gas:	100 sccm
55	Distancia entre electrodo y sustrato:	20 mm
	Dimensiones del electrodo:	500 mm $\times$ 500 mm $\times$ 50 mm
	Material del electrodo:	acero inoxidable (JIS SUS304)
60	Frecuencia de la fuente de alimentación:	70 MHz
	Espesor diana de la película:	1.000 nm

65 En consecuencia, se obtuvieron películas de Si-a que tenían una variación del $\pm 50\%$ con respecto al espesor diana de la película.

ES 2 345 602 T3

En primer lugar, se abrió la válvula 521 de compuerta para colocar el sustrato G sobre el electrodo 504 conectado a tierra, y se cerró la válvula 521 de compuerta. Se accionó la bomba 513 de vacío para evacuar el recipiente 501 de vacío a una presión interna de aproximadamente 0,0133 mPa. Mientras se controlaba la cantidad de suministro de corriente procedente de la fuente 515 de alimentación, se calentó el sustrato G mediante el calentador 503 hasta una temperatura diana predeterminada. Se suministró una cantidad predeterminada de gas monosilano por medio de las tuberías 511a y 511b de suministro de gas de descarga, y la presión interna del recipiente de vacío se mantuvo entre 6,67 y 66,66 Pa. Con la fuente 502 de alimentación se aplicó una tensión de alta frecuencia al electrodo 502 no conectado a tierra, generando con ello un plasma de descarga luminosa entre el electrodo 502 no conectado a tierra y el electrodo 504 conectado a tierra.

Cuando el gas monosilano se transformó en un plasma, se difundieron, por un fenómeno de difusión, radicales como SiH_3 , SiH_2 y SiH existentes en el plasma. Estos radicales fueron absorbidos en la superficie del sustrato G, y depositados sobre la misma, para formar una película de Si-a.

Ejemplo Comparativo 3

En el Ejemplo Comparativo 3, se usó un aparato 600 de CVD de plasma de placas paralelas mostrado en las Figuras 38 y 39. Este aparato 600 es conocido por la referencia 2, citada previamente.

Como Ejemplo Comparativo 3, se explicará con referencia a las Figuras 38 y 39 el aparato descrito en la referencia 2.

Un oscilador 631 de alta frecuencia está conectado a un circuito 606 de igualación de la impedancia por medio de un amplificador 632 de potencia de alta frecuencia. El oscilador 631 de alta frecuencia y el amplificador 632 de potencia de alta frecuencia constituyen una fuente de alimentación de alta frecuencia. En una superficie 634 de la pared de un recipiente 601 de vacío está formado un terminal 633 de suministro de una corriente de vacío. Un cable coaxial 608 que se extiende a través de este terminal 633 de suministro conecta un electrodo 602 no conectado a tierra y el circuito 606 de igualación de la impedancia. La superficie 634 de la pared del recipiente 601 de vacío está conectada a tierra. Se coloca un sustrato G sobre la superficie 634 de la pared. Cuando se suministra un gas al recipiente 601 de vacío y se aplica una alta frecuencia entre el electrodo 502 y la superficie 634 de la pared, se genera entre ellos un plasma de descarga luminosa. La fuente 631 de alimentación suministra energía de alta frecuencia al electrodo no conectado a tierra por medio del terminal 633 de suministro de una corriente de vacío, del cable coaxial 608 y del circuito 606 de igualación de la impedancia. La frecuencia de la onda de alta frecuencia oscilada por la fuente 631 de alimentación es de 70 MHz.

Tal como se muestra en la Fig. 39, en la superficie posterior (la superficie que no está en contacto con el espacio de generación del plasma) del electrodo 602 se forma un alimentador 635 con forma de H. en las cuatro esquinas de este alimentador 635 se forman puntos 609a, 609b, 609c y 609d de suministro.

Se usó el anterior aparato 600 para formar películas de Si-a sobre sustratos de vidrio. Las condiciones de formación de películas del Ejemplo Comparativo 3 fueron las siguientes.

Dimensiones del sustrato:	350 mm × 450 mm × 1 mm
Temperatura del sustrato:	200°C
Presión:	26,66 Pa
Gas de tratamiento:	monosilano (SiH_4)
Caudal del gas:	100 sccm
Dimensiones del electrodo:	470 mm × 570 mm
Material del electrodo:	acero inoxidable (JIS SUS304)
Frecuencia de la fuente de alimentación:	70 MHz
Espesor diana de la película:	1.000 nm

En consecuencia, se obtuvieron películas de Si-a que tenían una variación del $\pm 18\%$ con respecto al espesor diana de la película.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de generación de un plasma de descarga que comprende las etapas de:

- (a) oponer un electrodo (303, 313, 323, 323a) de descarga que tiene una porción de descarga sustancialmente plana a un sustrato para ser tratado en un recipiente (2, 2C, 2J, 2K) de reacción al vacío de tal modo que dicho electrodo de descarga y dicho sustrato estén sustancialmente paralelos entre sí;
- (b) evacuar dicho recipiente de reacción al vacío y suministrar un gas de tratamiento a un espacio entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato; y **caracterizado** por
- (c) aplicar energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga de tal modo que una envolvente que representa la distribución espacial de una tensión ϕ de alta frecuencia en dicho electrodo de descarga cambie y se desplace según una función que incluye el tiempo como parámetro, generando con ello un plasma de descarga del gas de tratamiento entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato, con una distribución promediada de la amplitud de tensión de la tensión ϕ de alta frecuencia generada sobre dicho electrodo de descarga en un tiempo completo de tratamiento mediante el movimiento de la envolvente.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende el uso de una pluralidad de fuentes (5a a 5f, 20G₁, 20G₂, 41a, 41b) de alimentación de alta frecuencia para hacer que la envolvente cambie según la función que incluye el tiempo como parámetro.

3. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende:

conectar una pluralidad de fuentes (5a a 5f, 20G₁, 20G₂) de alimentación para altas frecuencias que oscilan de manera independiente a dicho electrodo de descarga; y

suministrar energía de alta frecuencia procedente de cada una de dichas fuentes de alimentación a dicho electrodo de descarga.

4. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende:

conectar una pluralidad de fuentes (5a a 5f, 20G₁, 20G₂) de alimentación a dicho electrodo de descarga; y

suministrar componentes de energía de alta frecuencia que tienen frecuencias diferentes procedentes de dicha pluralidad de fuentes de alimentación a dicho electrodo de descarga.

5. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la diferencia entre las diferentes frecuencias de oscilación no es más del 20% de la frecuencia de oscilación de cada fuente de alimentación.

6. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende conectar una pluralidad de fuentes de alimentación a dicho electrodo de descarga y cambiar la diferencia entre la fase de una alta frecuencia suministrada desde una (5a, 20G₁, 41a) de dicha pluralidad de fuentes de alimentación y la fase de una alta frecuencia suministrada desde al menos una (5b a 5f, 20G₂, 41b) de las otras fuentes de alimentación.

7. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque se usa una pluralidad de puntos (9, 9a, 9b, 9b₁, 9b₂) de suministro para suministrar energía a dicho electrodo de descarga, estando unida dicha pluralidad de puntos de suministro a dicho electrodo de descarga para que sean simétricos con respecto a una línea central o a un punto central de dicho electrodo de descarga.

8. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende el uso de un circuito (7a, 7b) de igualación de la impedancia para igualar la impedancia de dicho electrodo de descarga con la impedancia de cada fuente de alimentación, y la inserción de un aislador (24a, 24b) entre dicho circuito de igualación de la impedancia y dicha fuente de alimentación para reducir la energía de entrada de alta frecuencia a dicha fuente de alimentación desde otra fuente de alimentación, protegiendo con ello a dicha fuente de alimentación.

9. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende el uso de una primera y una segunda fuente de alimentación, el suministro de energía de alta frecuencia que tiene una primera frecuencia procedente de dicha primera fuente de alimentación a dicho electrodo de descarga, y el suministro de energía de alta frecuencia que tiene una segunda frecuencia procedente de dicha segunda fuente de alimentación a dicho electrodo de descarga, de tal modo que la diferencia entre las frecuencias primera y segunda no sea más del 4% del valor medio de las frecuencias primera y segunda.

10. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende el cambio cada hora de una envolvente generada en dicho electrodo de descarga realizando modulación AM, modulación FM o un chirrido de frecuencias para la energía de alta frecuencia oscilada por dicha fuente de alimentación.

11. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende medir previamente una pluralidad de valores de al menos una de una distribución de tensión, una distribución de la densidad de generación de plasma, una distribución de la densidad de generación de radicales, una distribución de la deposición de película, una distribución del decapado y una distribución de las características de la película semiconductor con respecto a la diferencia entre frecuencias, el valor de cada frecuencia, la diferencia entre fases, o el intervalo de la modulación AM, la modulación FM o el chirrido de frecuencias, y obtener una distribución uniforme mediante una media de los tiempos o una integral de los tiempos sobre la base de los resultados de las mediciones ajustando al menos uno del tiempo, el periodo y la frecuencia de la fuente de alimentación a dicho electrodo de descarga con respecto a la diferencia entre frecuencias específicas, el valor de cada frecuencia, la diferencia entre fases, o el intervalo de la modulación AM, la modulación FM o el chirrido de frecuencias.

12. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la etapa (c) comprende fijar una frecuencia de ACTIVADO/DESACTIVADO de plasma resultante de un cambio en la distribución de la envolvente para que esté en un intervalo de 0,5 Hz (inclusive) a 100 kHz (inclusive), es decir, un tiempo de plasma ACTIVADO resultante de la misma para que esté en un intervalo de 0,01 mseg (inclusive) a 1 seg (inclusive).

13. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque dicho electrodo de descarga es un electrodo (303) de escalera o un electrodo (303) de malla.

14. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque dicho electrodo de descarga es un electrodo laminar (313, 323, 323a), y porque un contraelectrodo laminar (3, 323b) para soportar dicho sustrato y dicho electrodo de descarga están dispuestos de forma sustancialmente paralela entre sí.

15. Un procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado** por comprender una primera fuente (5a, 323a) de alimentación para suministrar energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga y una segunda fuente de alimentación para suministrar energía de alta frecuencia a dicho contraelectrodo (5b, 323b).

16. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la frecuencia de la energía de alta frecuencia está entre 10 y 800 MHz.

17. Un procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque una longitud L (cm) de dicho electrodo de descarga desde un punto incidente a un punto de reflexión de una alta frecuencia satisface

$$2 \times 10^3 / f \leq L \leq 20 \times 10^3 / f,$$

en la que f representa una VHF (MHz).

18. Un procedimiento según la reivindicación 1 para la fabricación de un dispositivo semiconductor en el que el sustrato se coloca sobre un electrodo calentador (3, 323b) de tal modo que el electrodo (303, 313, 323, 323a) de descarga y dicho sustrato estén sustancialmente paralelos entre sí; y que incluye la etapa de calentar dicho sustrato por medio de dicho electrodo calentador tras el suministro del gas de tratamiento.

19. Un aparato de generación de un plasma de descarga que comprende:

una cámara (2, 2C, 2J, 2K);

una mesa (3, 323b) de montaje de sustrato para mantener un sustrato en dicha cámara;

un electrodo (303, 313, 323, 323a) de descarga opuesto a dicho sustrato en dicha mesa de sustrato en dicha cámara;

un medio de escape (72) para evacuar dicha cámara;

un medio (71) de suministro de gas para suministrar un gas de tratamiento al interior de dicha cámara;

un circuito de suministro de energía de alta frecuencia para suministrar energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga; y

un medio de control (73) para controlar el suministro de energía procedente de dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga, **caracterizado** porque

el circuito de suministro de energía de alta frecuencia está dispuesto para cambiar y desplazar una envolvente que representa la distribución espacial de una tensión ϕ de alta frecuencia sobre dicho electrodo de descarga cuando se usa según una función que incluye el tiempo como parámetro, generando con ello un plasma de descarga del gas de tratamiento entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato, con una distribución prome-

ES 2 345 602 T3

diada de la amplitud de tensión de la tensión ϕ de alta frecuencia generada sobre dicho electrodo de descarga en un tiempo completo de tratamiento mediante el movimiento de la envolvente.

20. Un aparato según la reivindicación 19 **caracterizado** porque dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia comprende:

un único oscilador (5, 20, 20H) de alta frecuencia que se conecta con dicho electrodo de descarga por medio de una pluralidad de puntos (9, 9a, 9b, 9b₁, 9b₂) de suministro;

un distribuidor (26) insertado entre dicho oscilador de alta frecuencia y dicho electrodo de descarga para distribuir la energía de alta frecuencia oscilada por dicho oscilador de alta frecuencia a dicha pluralidad de puntos de suministro; y

una pluralidad de amplificadores (5a, 5b, 41a, 41b) insertados entre dicho distribuidor y dicho electrodo de descarga para amplificar los componentes de energía de alta frecuencia distribuidos por dicho distribuidor.

21. Un aparato según la reivindicación 19 **caracterizado** porque dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia comprende:

una pluralidad de osciladores (5a, 5b, 20G₁, 20G₂) de alta frecuencia conectados a dicho electrodo de descarga por medio de una pluralidad de puntos (9, 9a, 9b, 9b₁, 9b₂) de suministro para oscilar altas frecuencias de manera independiente; y

un amplificador (41, 41a, 41b) insertado entre cada uno de dicha pluralidad de osciladores de alta frecuencia y dicho electrodo de descarga para amplificar la frecuencia oscilada.

22. Un aparato según la reivindicación 19 **caracterizado** porque dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia comprende un generador (20H) de formas de onda arbitrarias para oscilar una alta frecuencia múltiple que tiene una pluralidad de componentes de frecuencia, de tal modo que la distribución de la envolvente en dicho electrodo cambie cada hora.

23. Un aparato según la reivindicación 19 **caracterizado** porque

dicho electrodo de descarga tiene la forma de una escalera, una malla, una barra o una placa rectangular, y

dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia comprende una pluralidad de puntos (9a, 9b, 9b₁, 9b₂) de suministro dispuestos para que sean simétricos con respecto a una línea central de dicho electrodo de descarga.

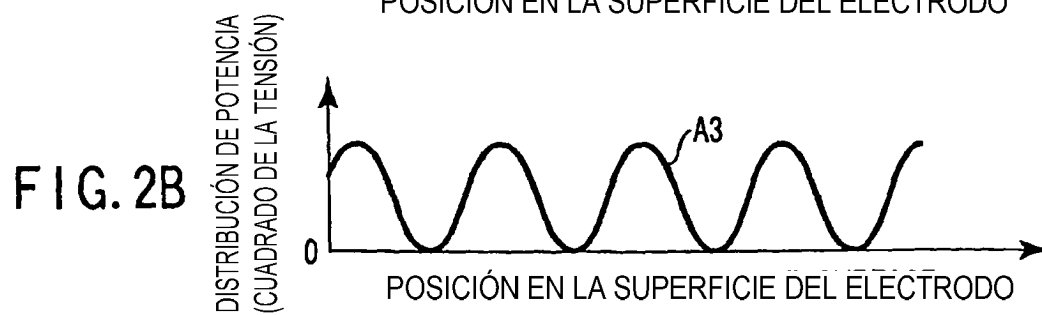
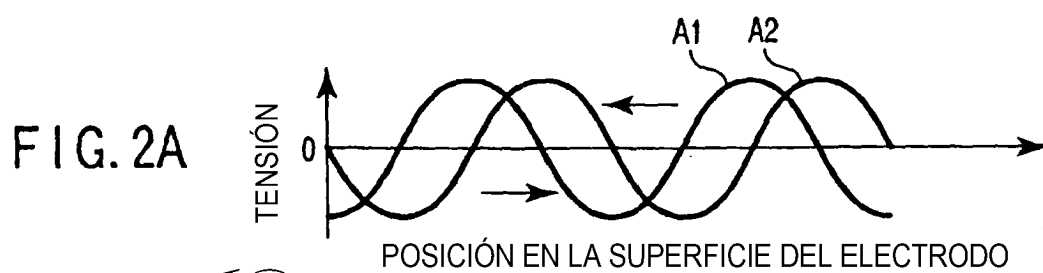
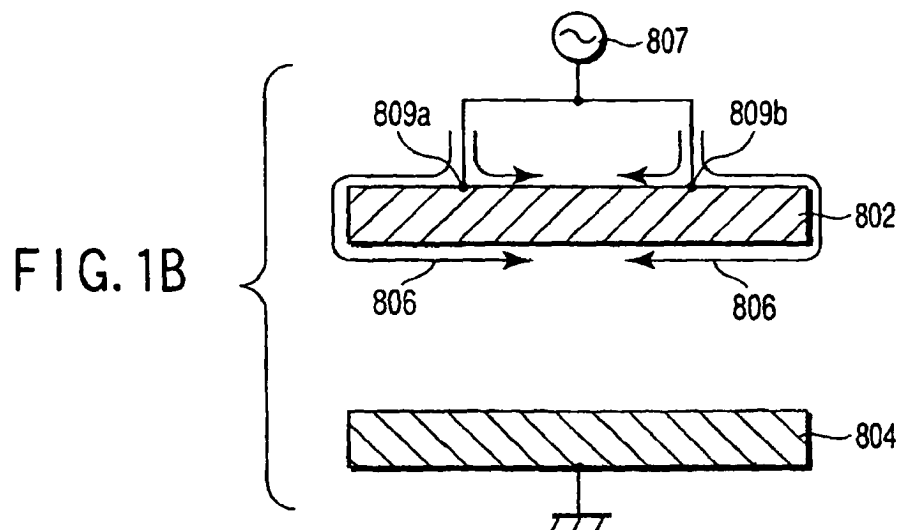
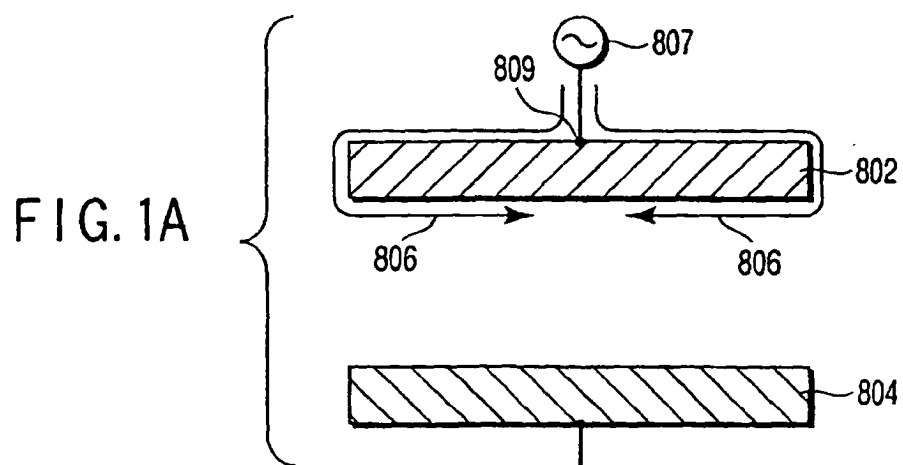
24. Un aparato según la reivindicación 19 **caracterizado** porque

dicho electrodo (313) de descarga tiene la forma de una placa circular, y

dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia comprende una pluralidad de puntos (9a) de suministro dispuestos para que sean simétricos con respecto a un punto central de dicho electrodo de descarga.

25. Un aparato según la reivindicación 19 en el que dicho medio de suministro de gas suministra un gas que deposita una película en el interior de dicha cámara, y en el que dicho medio de control controla el suministro de energía de alta frecuencia procedente de dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga, generando con ello un plasma de descarga del gas de deposición de la película entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato.

26. Un aparato según la reivindicación 19 en el que dicho medio de suministro de gas suministra un gas de decapado al interior de dicha cámara, y en el que dicho medio de control controla el suministro de energía de alta frecuencia procedente de dicho circuito de suministro de energía de alta frecuencia a dicho electrodo de descarga, generando con ello un plasma de descarga del gas de decapado entre dicho electrodo de descarga y dicho sustrato.



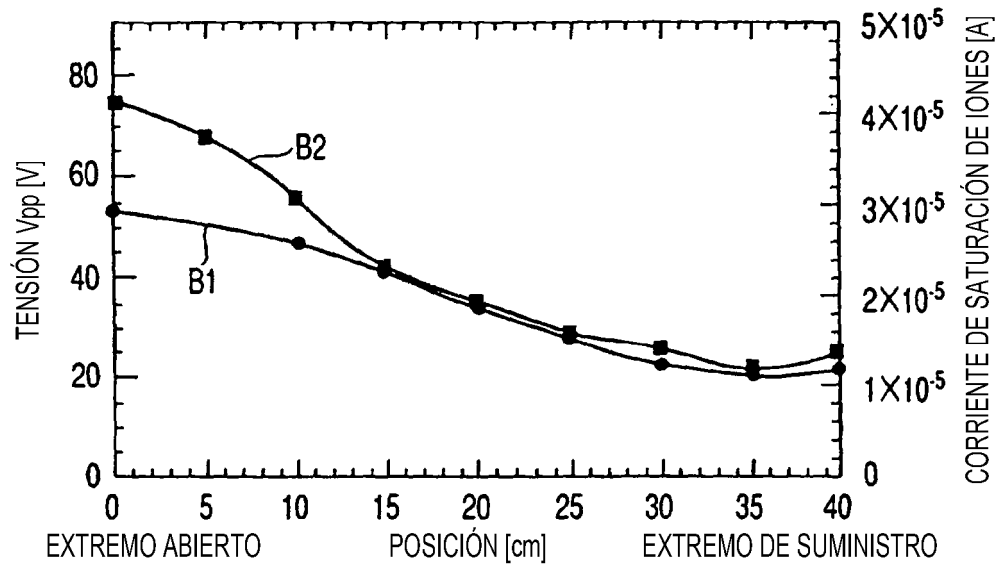


FIG. 3

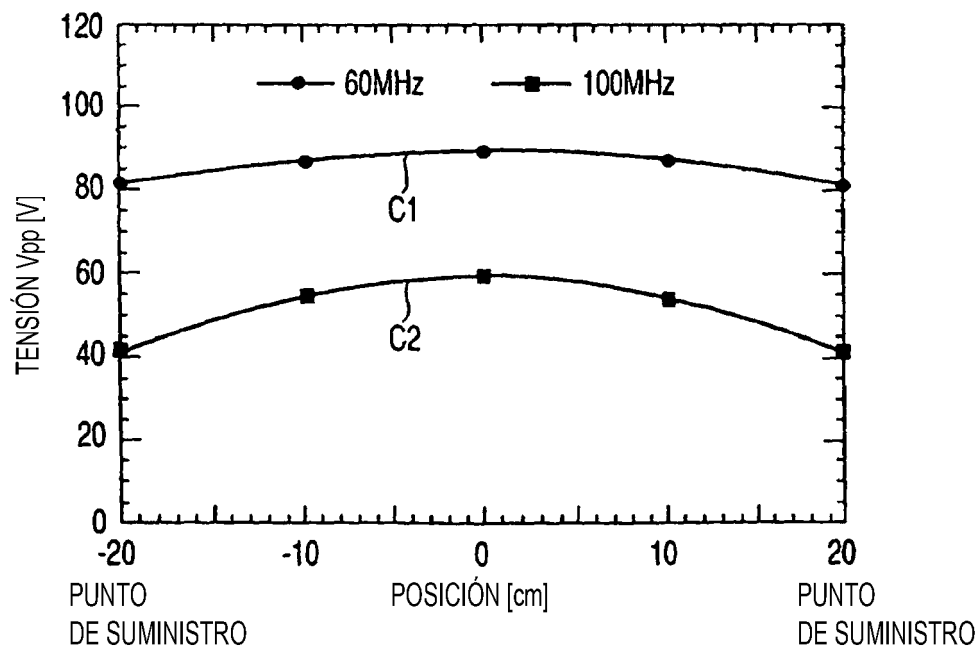


FIG. 4

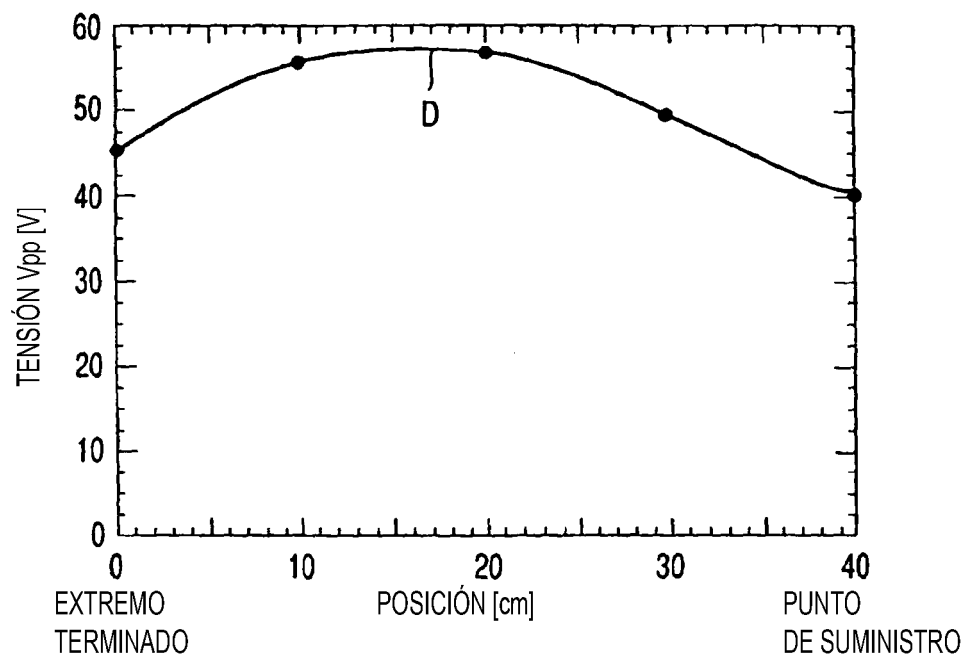


FIG. 5

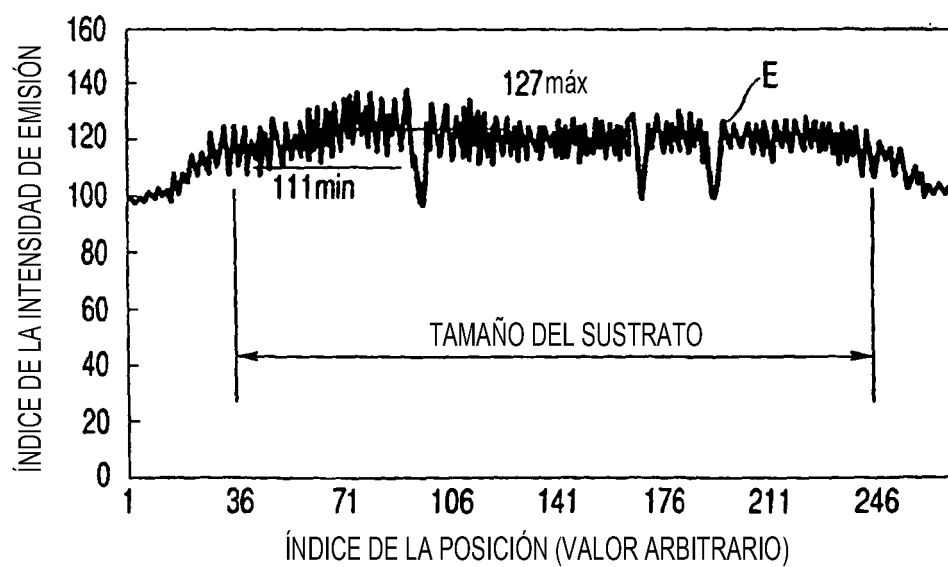


FIG. 9

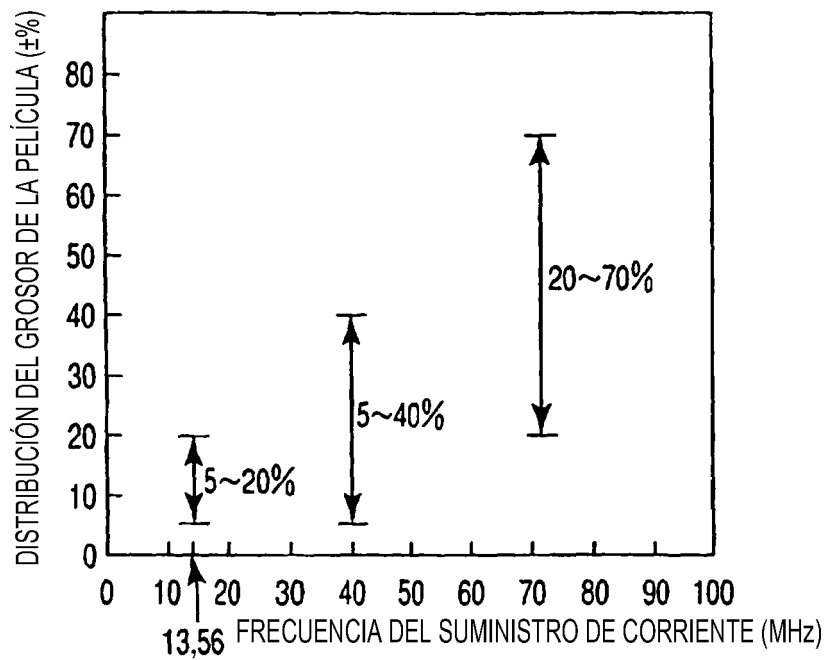


FIG. 6A

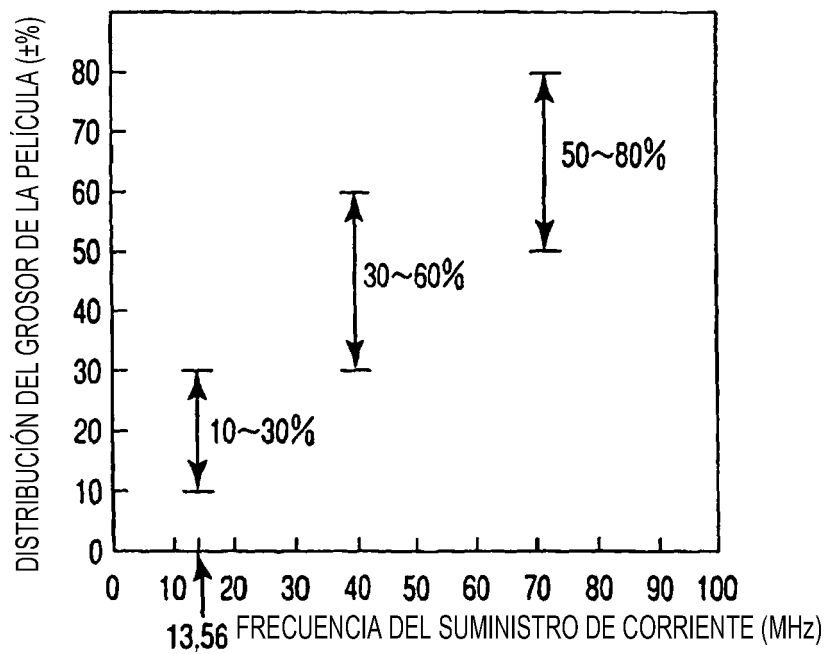
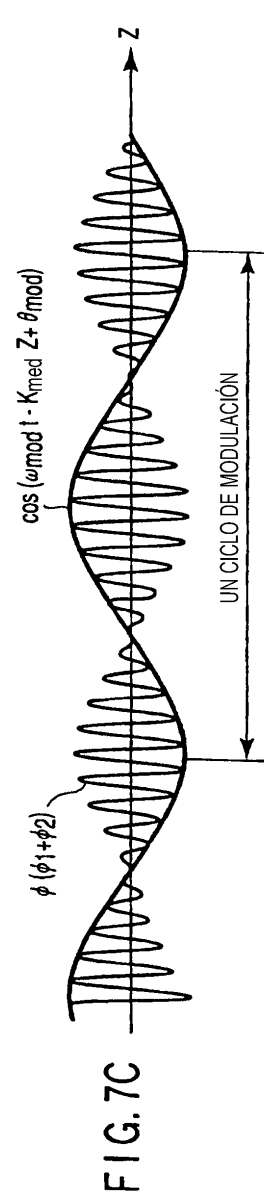
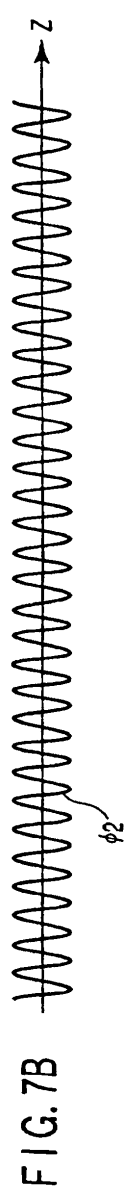
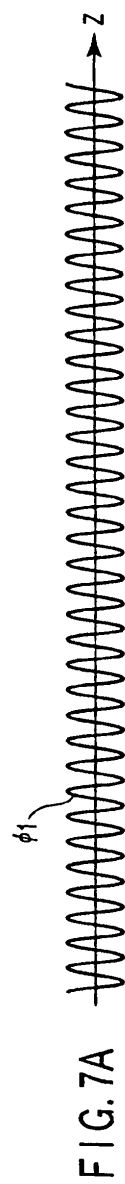
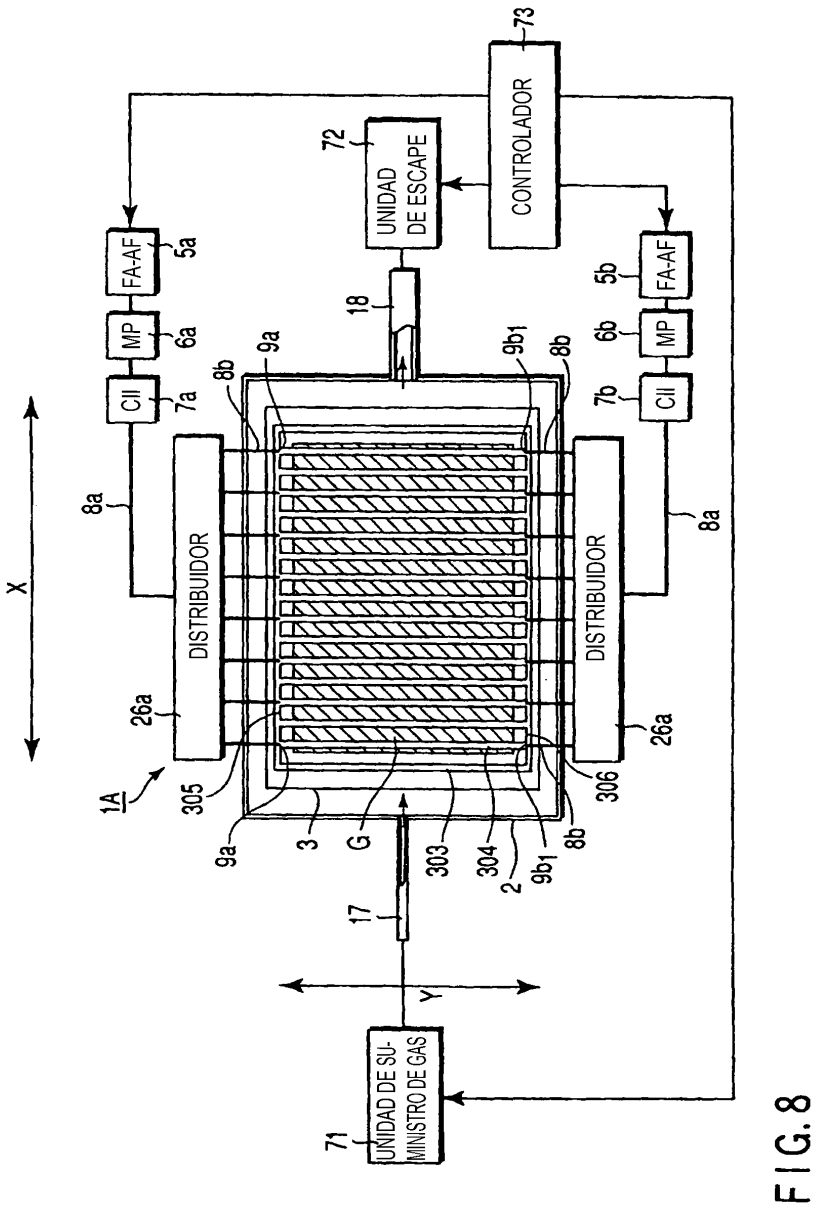
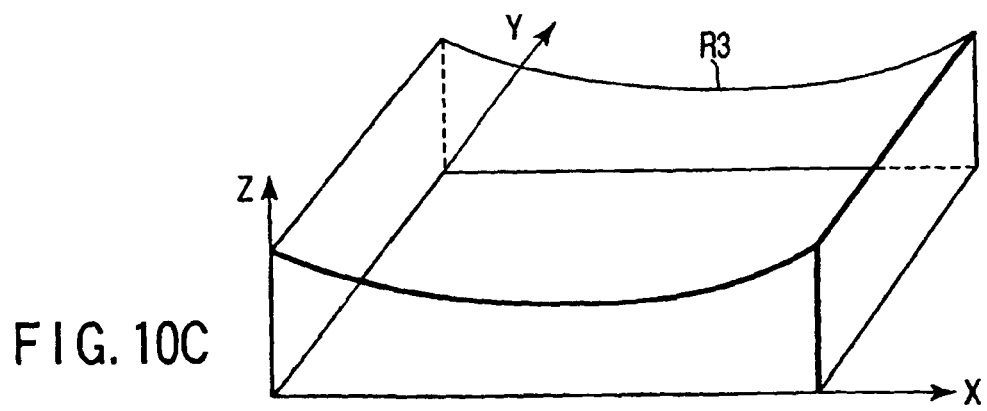
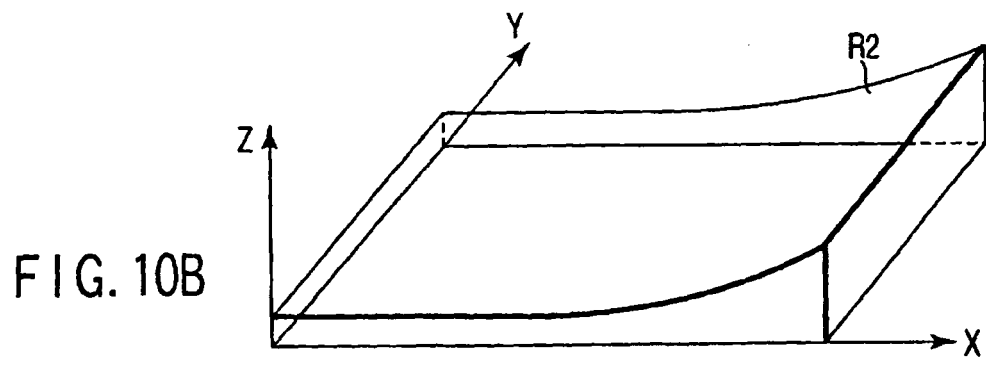
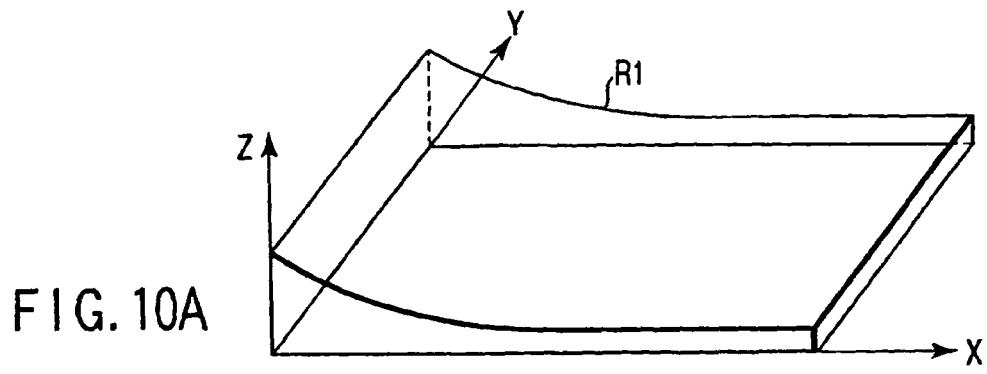


FIG. 6B







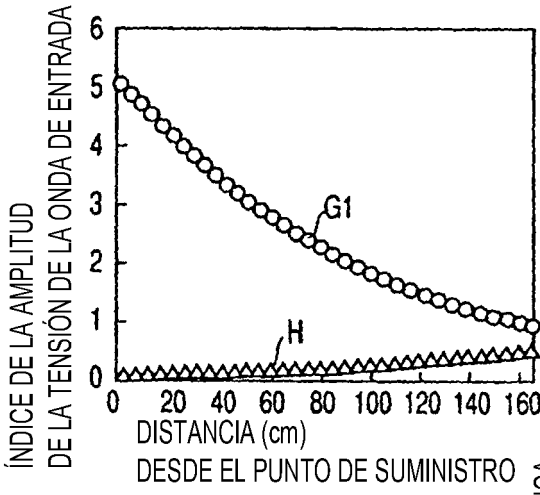


FIG. 11A

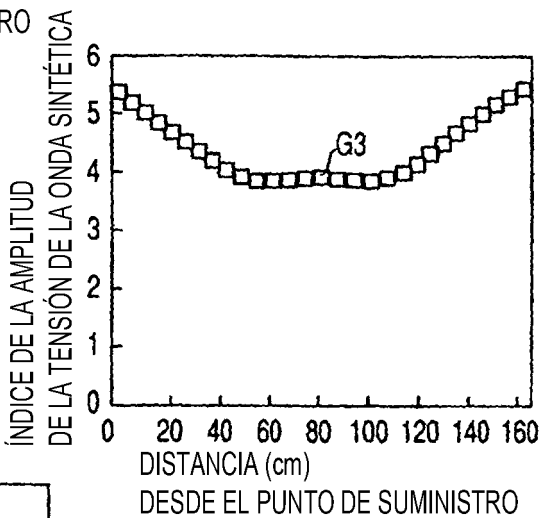


FIG. 11C

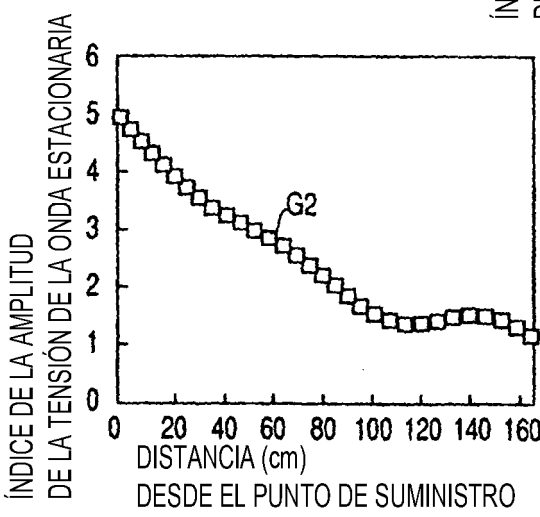


FIG. 11B

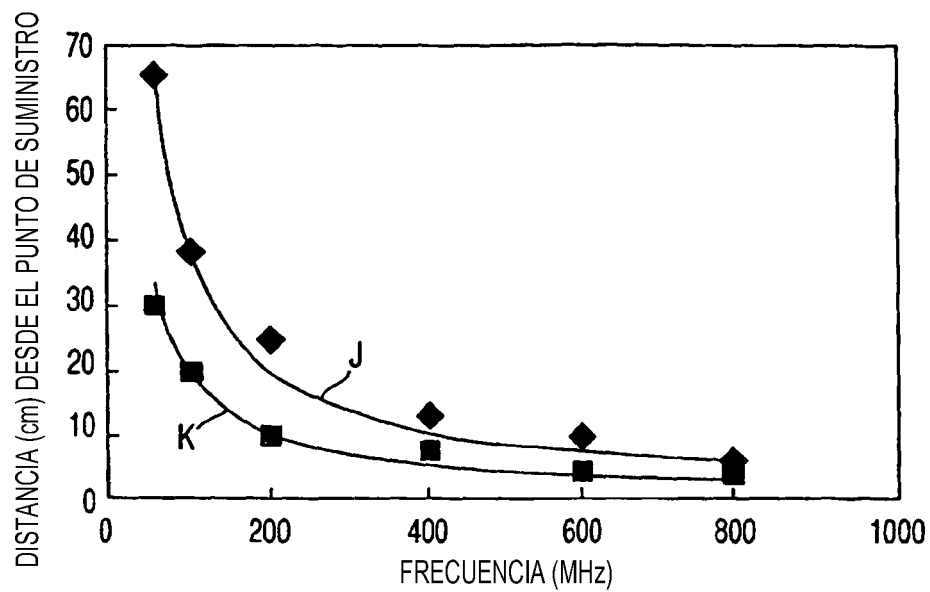


FIG. 12

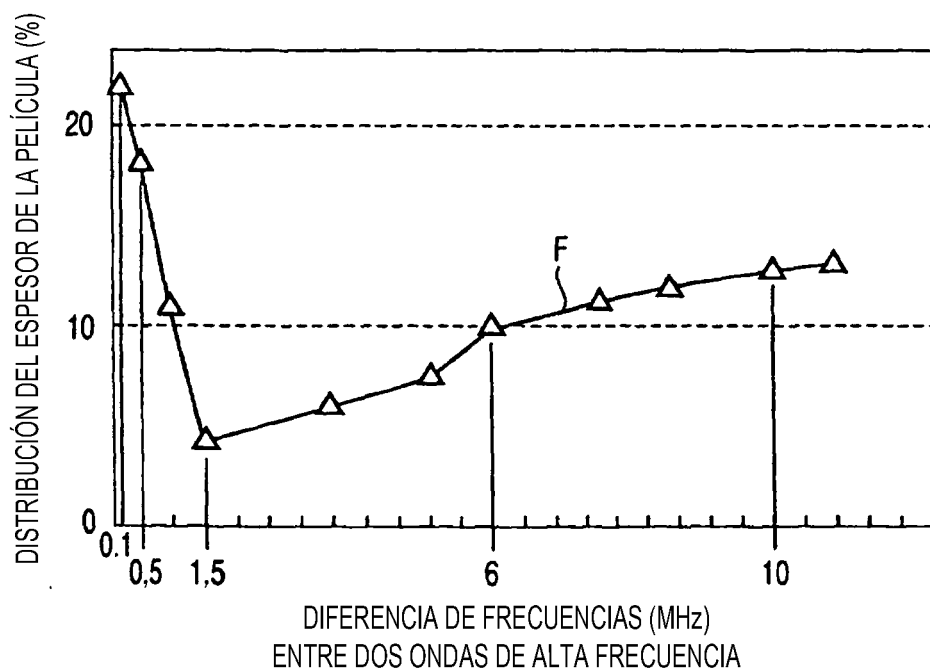


FIG. 13

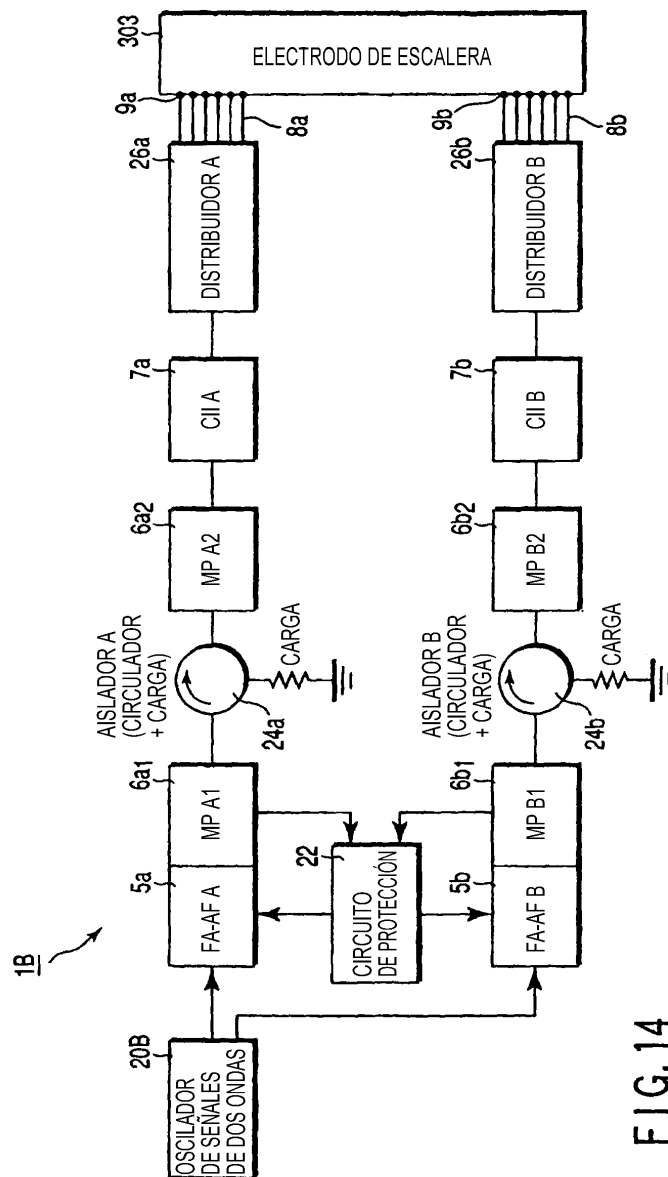


FIG. 14

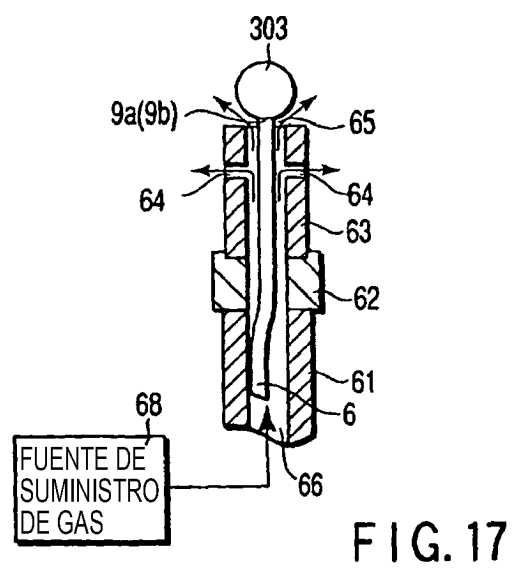
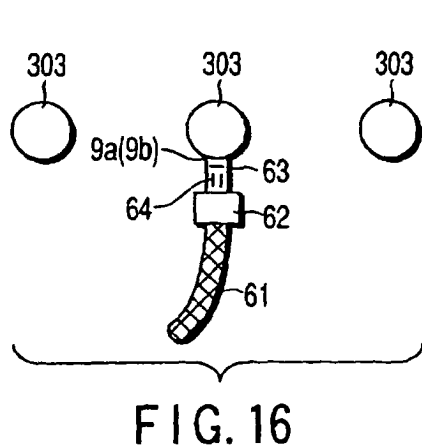
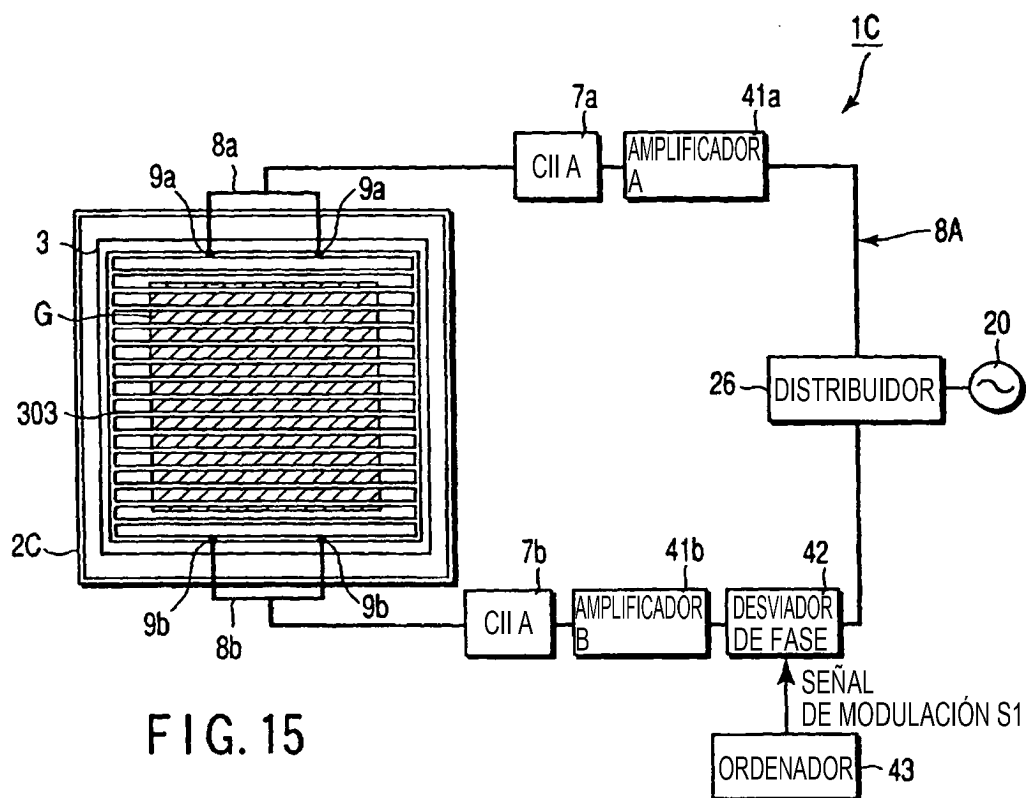


FIG. 18

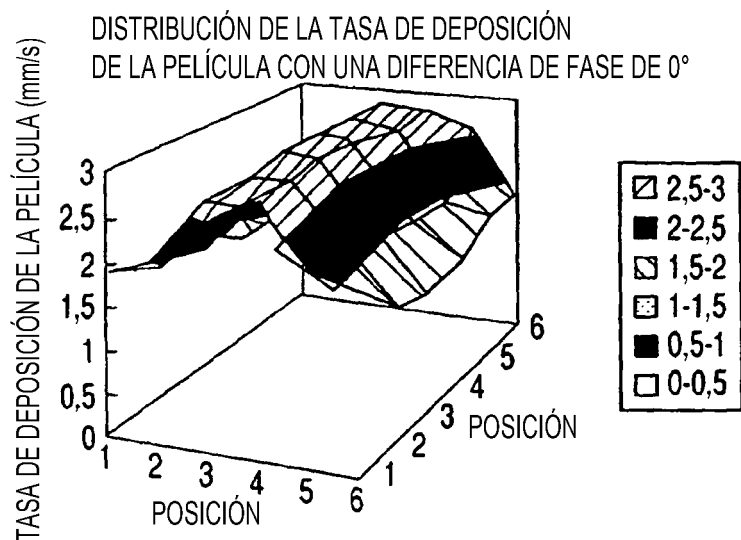


FIG. 19

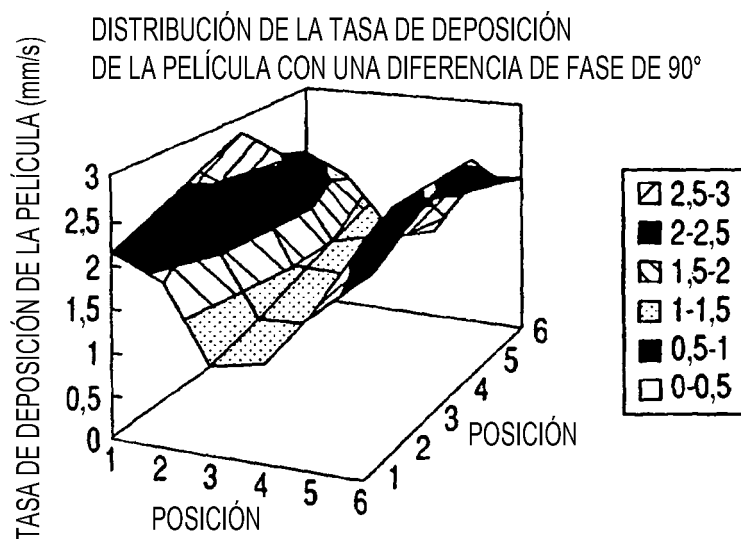
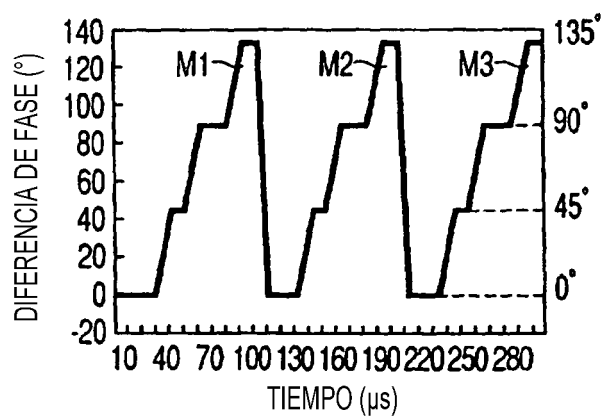
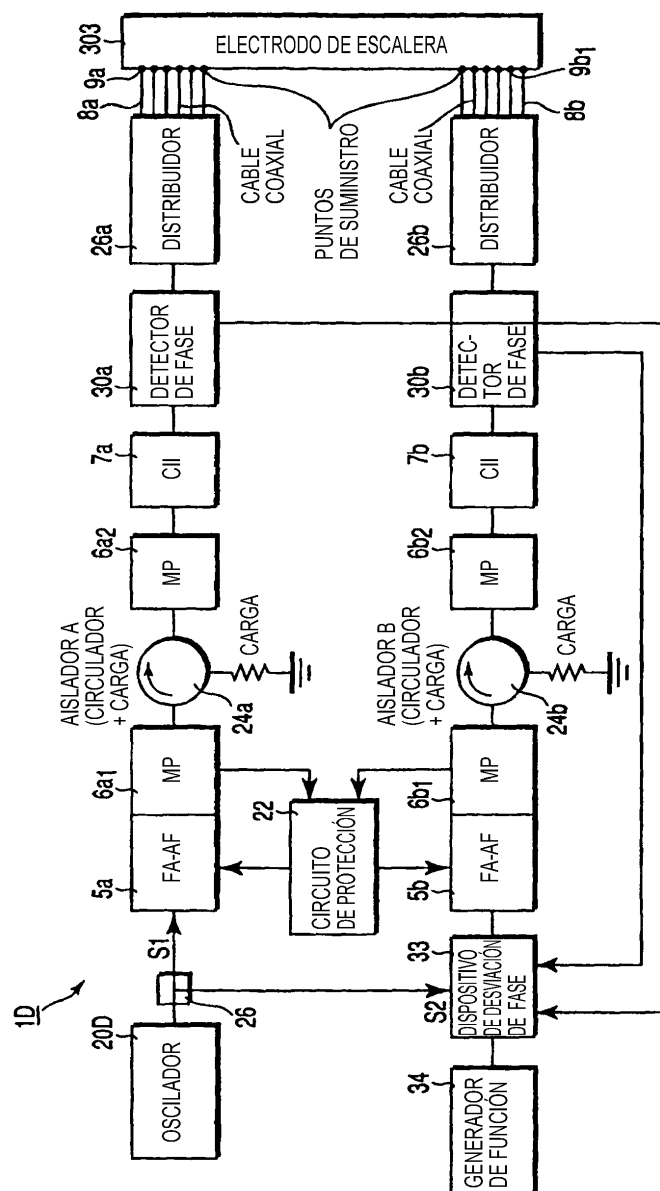
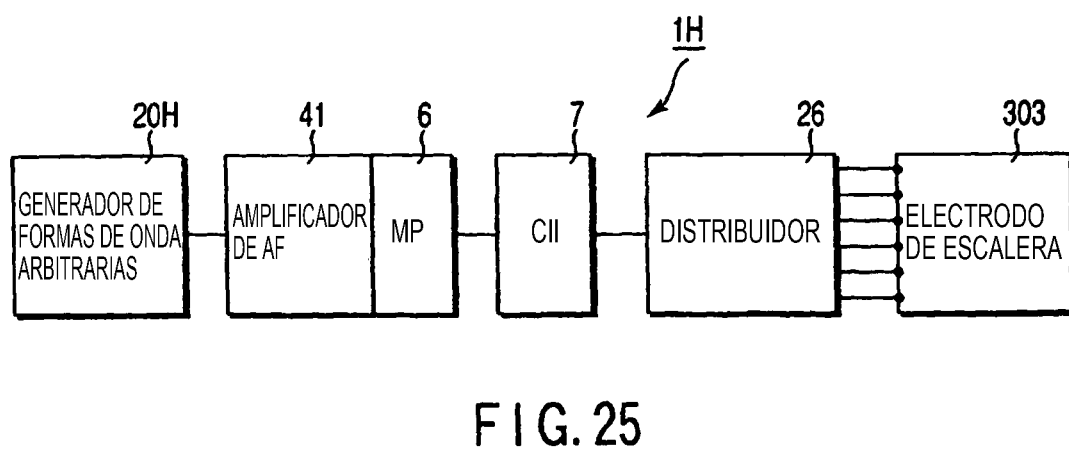
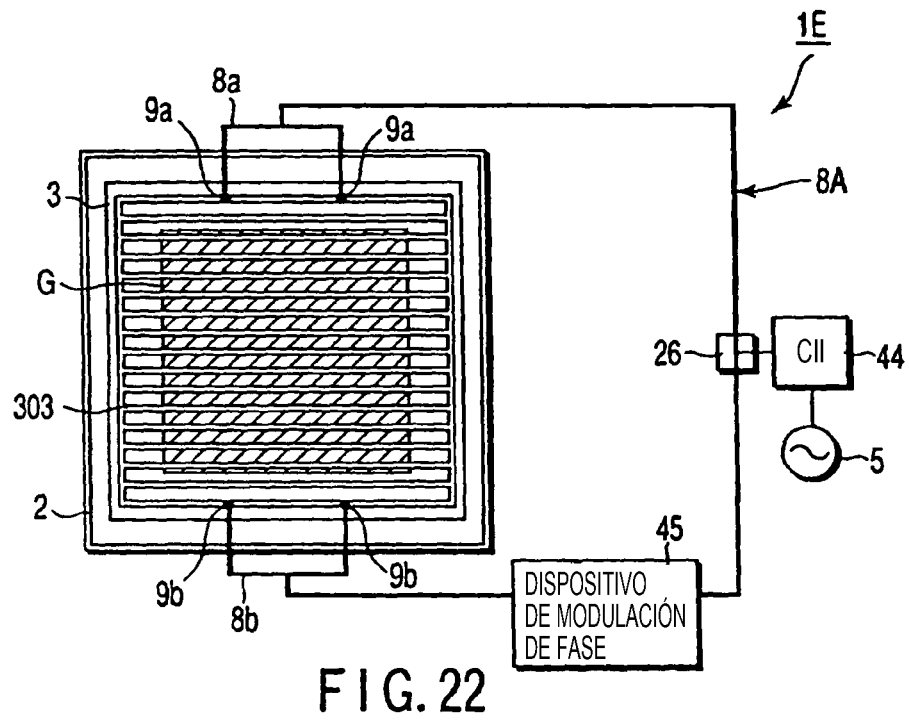


FIG. 20







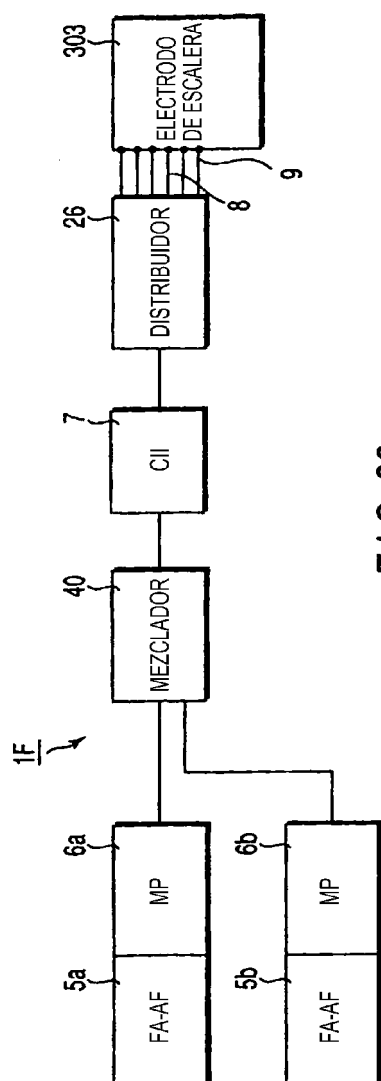


FIG. 23

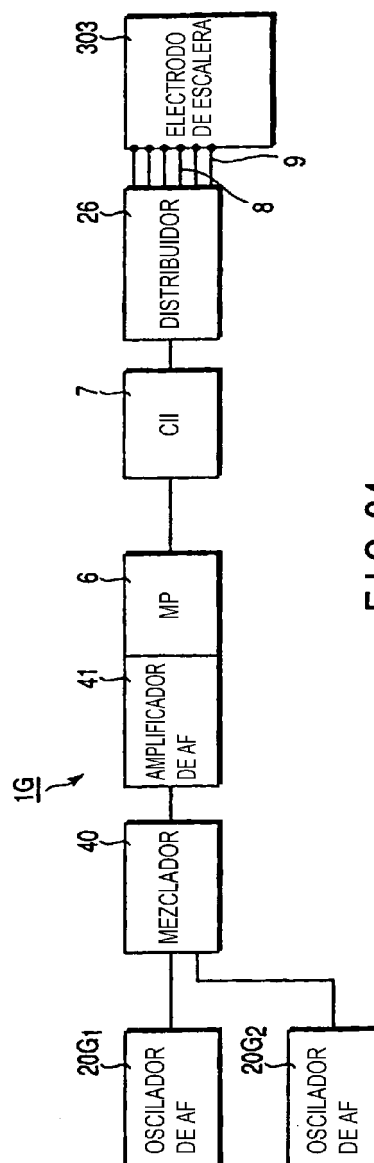


FIG. 24

FIG. 26A

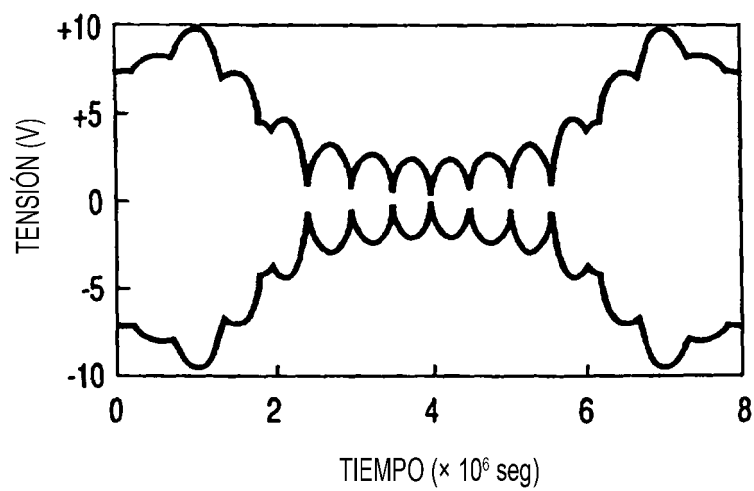
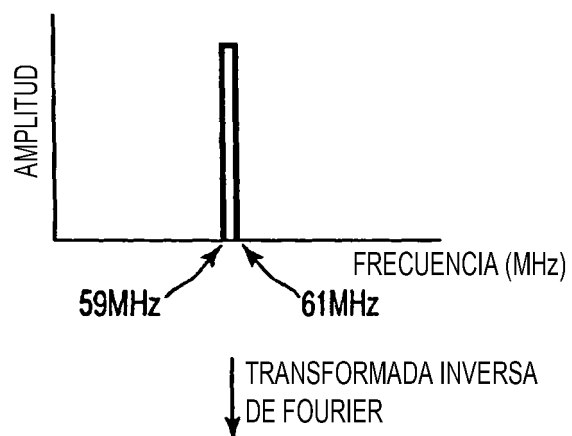


FIG. 26B

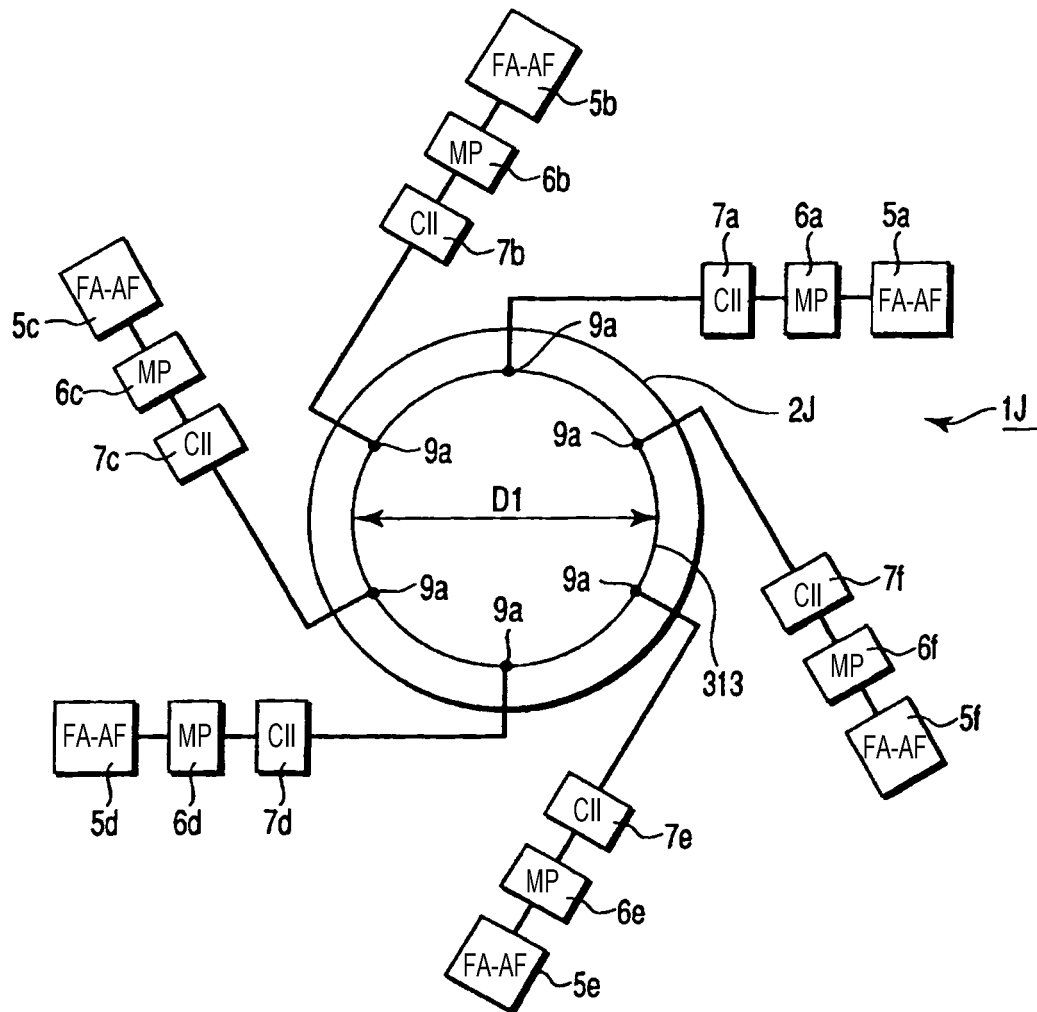


FIG. 27

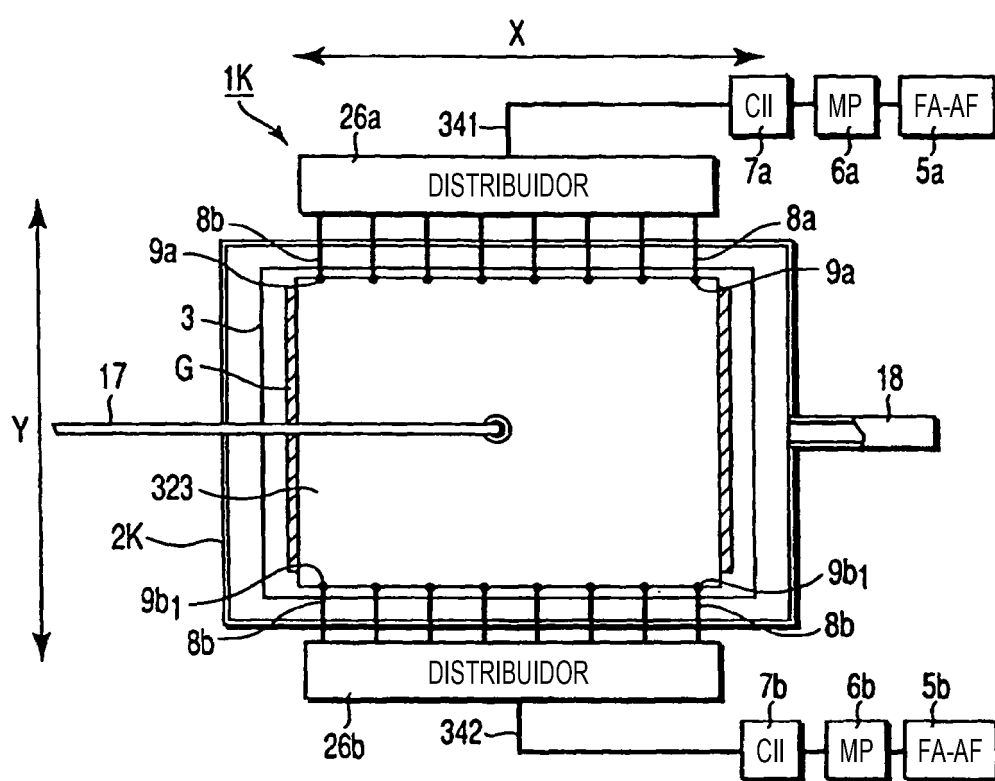


FIG. 28

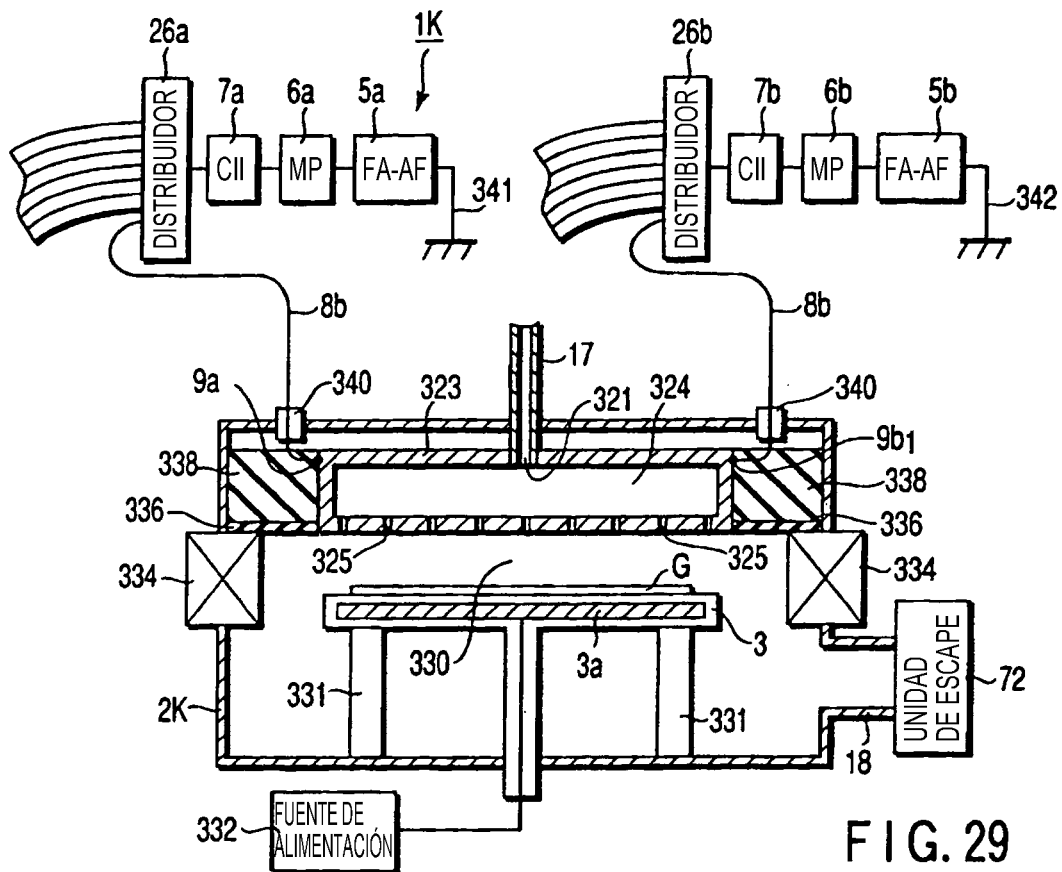


FIG. 29

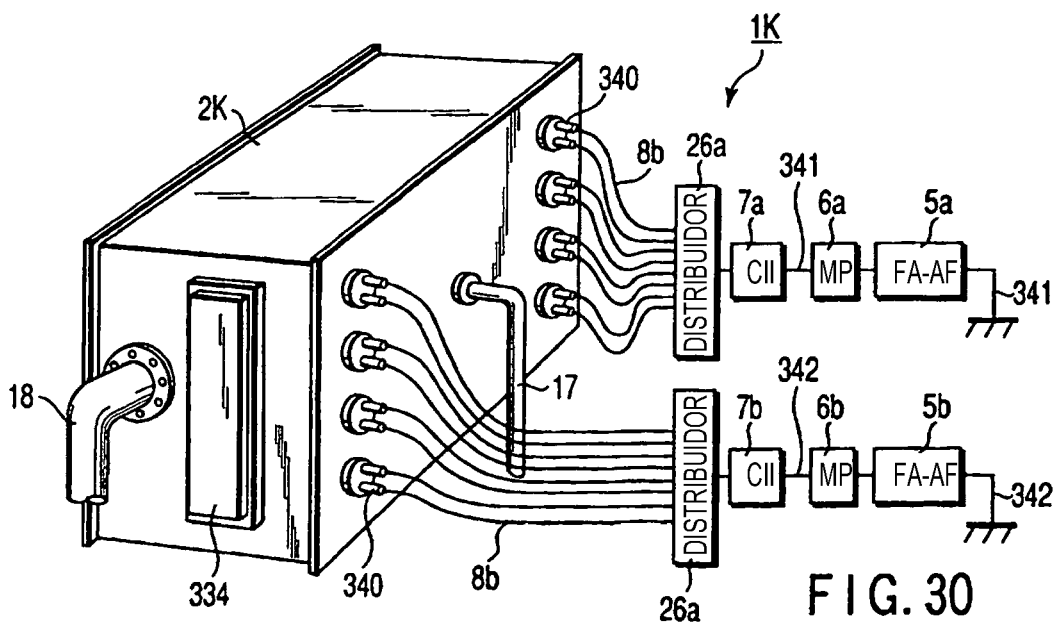


FIG. 30

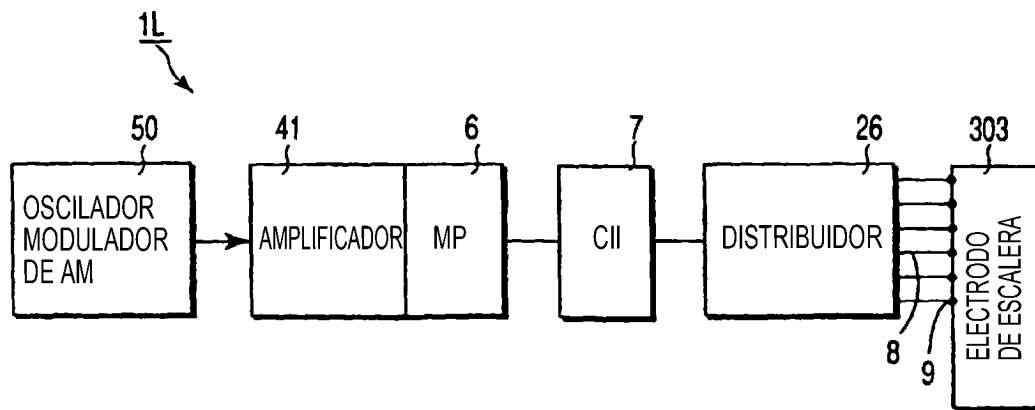


FIG. 31

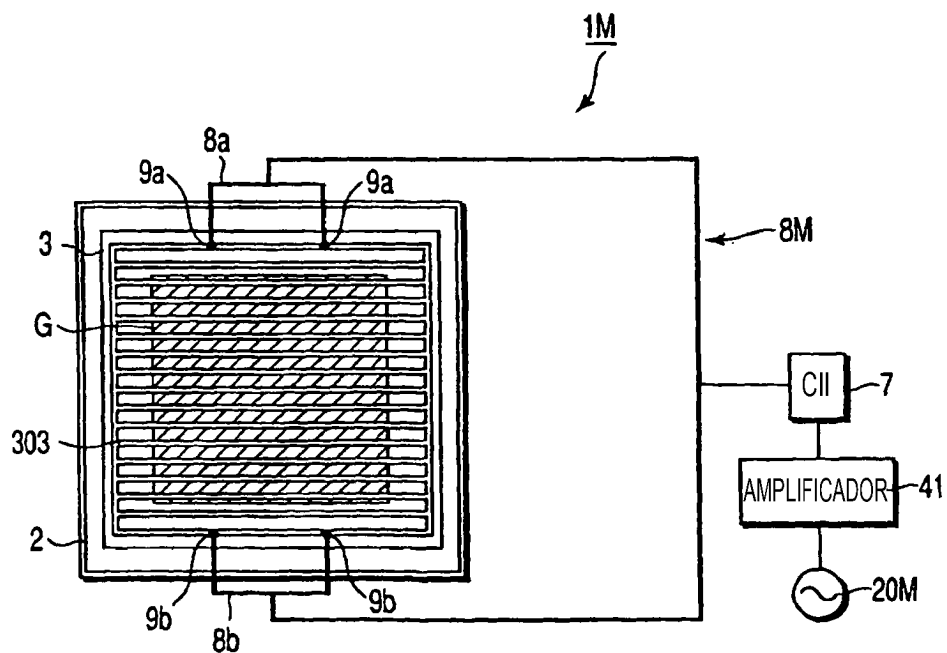


FIG. 32

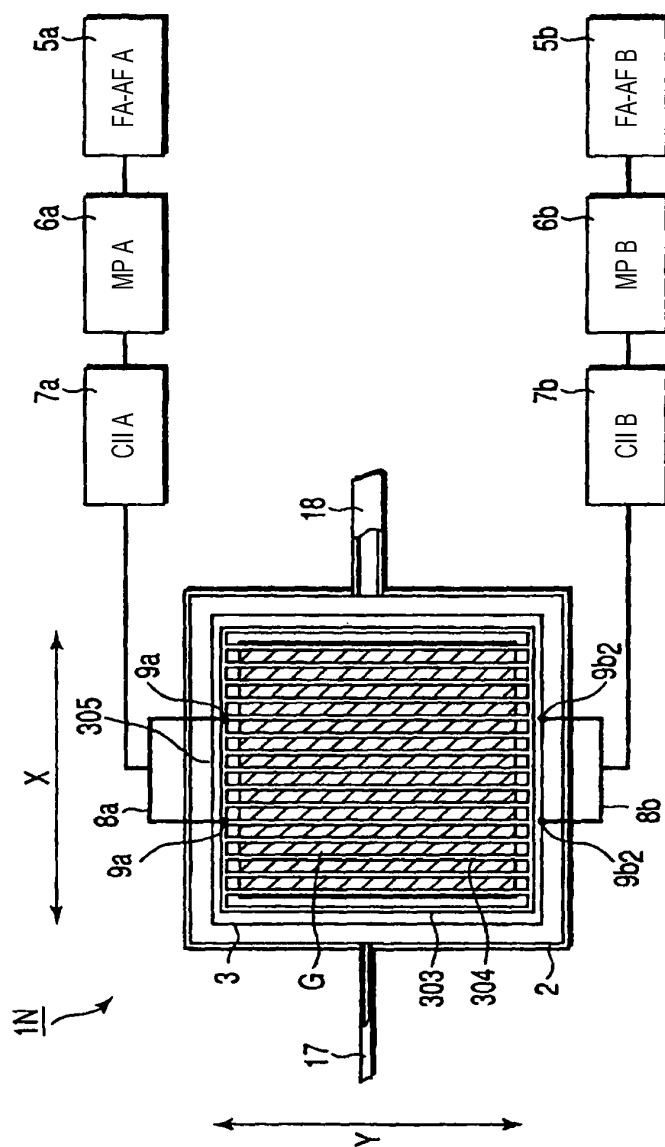


FIG. 33

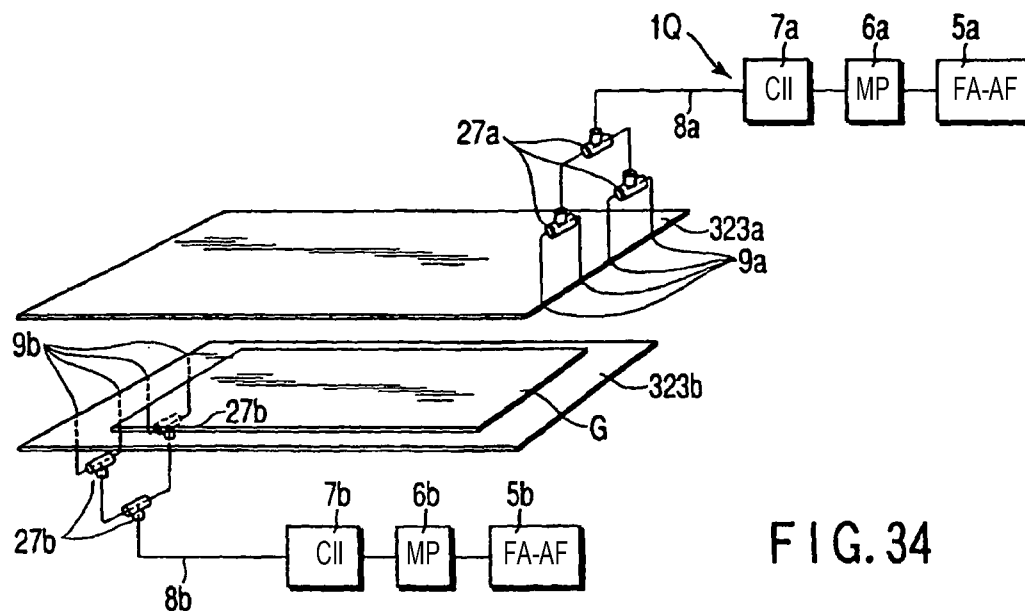


FIG. 34

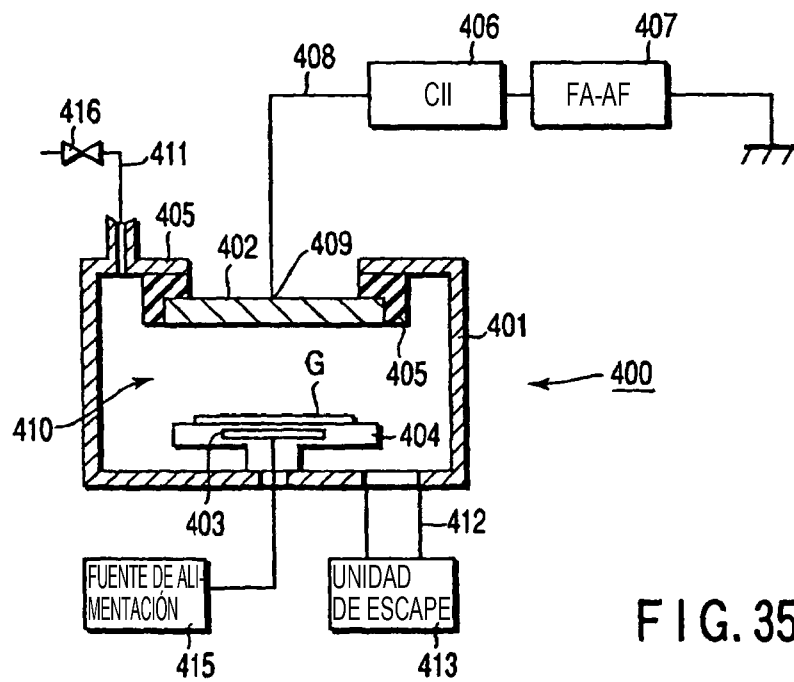


FIG. 35

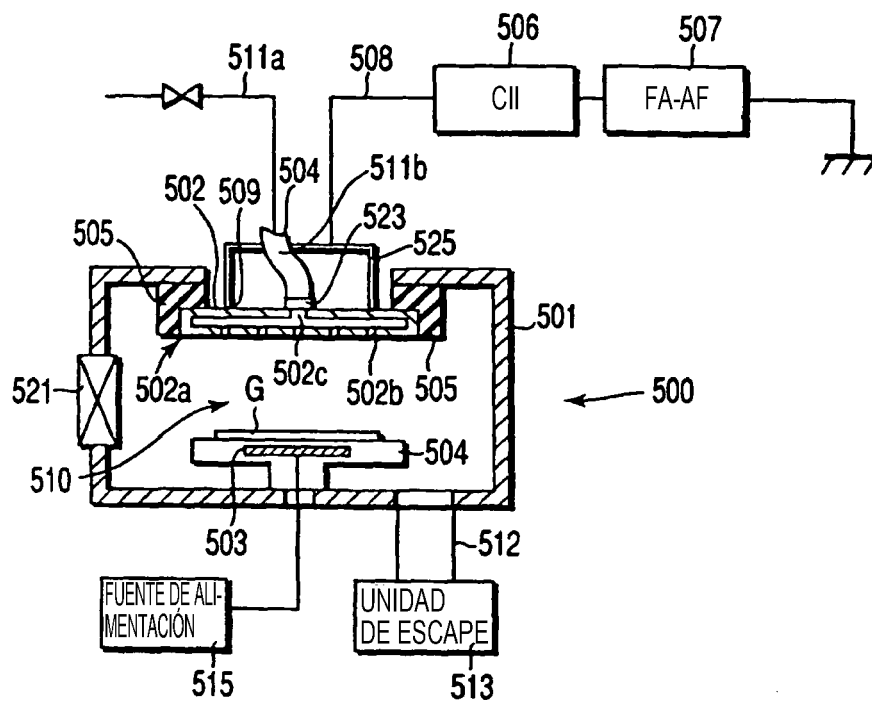


FIG. 36

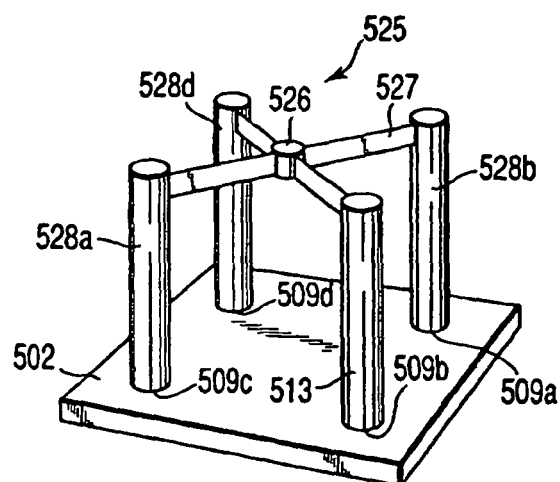


FIG. 37

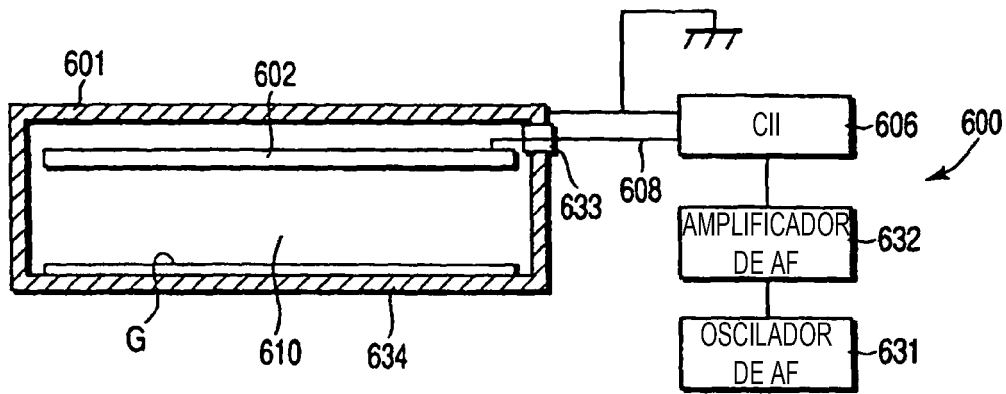


FIG. 38

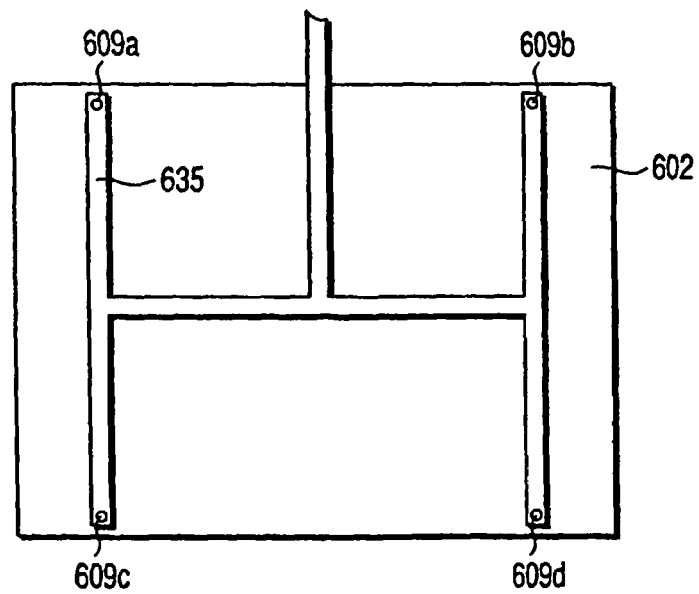


FIG. 39