

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 475 265**

51 Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2009** **E 09786305 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2014** **EP 2396804**

54 Título: **Aparato para procesamiento de plasma en áreas grandes**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.07.2014

73 Titular/es:

HELYSSEN S.À.R.L. (100.0%)
Route de la Louche 31
1092 Belmont-sur-Lausanne, CH

72 Inventor/es:

GUITTENNE, PHILIPPE

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Carlos

ES 2 475 265 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato para procesamiento de plasma en áreas grandes

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a un aparato para el procesamiento de plasma en áreas grandes, que mejora la uniformidad y la densidad del plasma.

10 Sumario de la invención

El procesamiento de plasma se utiliza, con mucha frecuencia, para diferentes aplicaciones tales como recubrimiento superficial, fabricación de paneles planos o células solares. El procesamiento de plasma comprende procesos de ataque químico, procesos de depósito, de modificación superficial y de funcionalización de superficie. A modo de ejemplo, el denominado Depósito Químico de Vapor Asistido por Plasma (PECVD) se suele utilizar para depositar películas delgadas sobre un sustrato, tal como un sustrato transparente para pantallas de panel plano o una oblea para semiconductores.

La técnica de PECVD se suele realizar introduciendo un gas precursor o una mezcla de gases en una cámara de vacío que contiene un sustrato. El gas precursor o mezcla de gases se suele dirigir hacia abajo a través de una placa de distribución situada cerca de la parte superior de la cámara. El gas precursor o la mezcla de gases en la cámara se activan formando un plasma generado por una fuente de plasma que puede ser de diferentes tipos, dependiendo de los parámetros del proceso. El principal parámetro del proceso posiblemente sea el rango de presión. El gas excitado o la mezcla de gases reaccionan formando una capa de material sobre la superficie del sustrato que se sitúa sobre un portador del sustrato, que suele tener una temperatura controlada. Los subproductos volátiles producidos durante las reacciones se bombean desde la cámara a través de un sistema de escape.

Los documentos EP 0 949 352 B1 y US 6.363.881 B2 dan a conocer una antena plana en forma de escalera para el Depósito Químico de Vapor Asistido por Plasma. La antena en forma de escalera tiene una barra conductora en el lado superior, una barra conductora en el lado inferior y varias barras conductoras paralelas que unen las barras conductoras superiores e inferiores. Un distribuidor de energía, con una pluralidad de cables eléctricos, se utiliza para distribuir uniformemente potencia en alta frecuencia a la antena en forma de escalera, haciendo posible obtener una mejor distribución del espesor de la película.

No obstante, aún cuando se tenga un distribuidor de potencia, sigue siendo muy difícil obtener un procesamiento de plasma en áreas grandes con una alta tasa de procesamiento y una distribución de procesamiento uniforme.

El documento WO 96/18208 A da a conocer un procesador de plasma para piezas a trabajar de grandes dimensiones que tiene una antena helicoidal plana con múltiples elementos de bandas lineales eléctricamente conductoras.

Existe una necesidad constante de aumentar la superficie de los paneles planos procesados por PECVD. Actualmente, elementos de aproximadamente 1 m² son objeto de procesamiento y grandes sustratos con una superficie en torno a 5 m² y superiores se prevén para el futuro inmediato. Las placas de distribución de gas, o placas difusoras, utilizadas para proporcionar un flujo de gas de proceso uniforme sobre paneles planos durante el procesamiento, son también relativamente grandes de tamaño, en particular en comparación con las placas de distribución de gas utilizadas para el procesamiento de circuitos integrados de semiconductores de 200 mm y 300 mm.

A medida que sigue aumentando el tamaño de los sustratos, se hace más problemático el control del espesor de la película y el control de las propiedades de la película que se produce por dispositivos de PECVD convencionales.

Características de la invención

Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es dar a conocer un proceso controlado, en gran escala, simultáneamente con rendimiento mejorado.

Otro objetivo de la presente invención es dar a conocer procesos uniformes preferentemente en gran escala.

60 Para conseguir los anteriores y otros objetivos, la invención propone un aparato para procesamiento de plasma en áreas grandes, que comprende:

- a. al menos una antena plana,
- b. al menos un generador de radiofrecuencia que excita dicha antena,
- 65 c. un sistema de inyección de gas y un difusor de gas,
- d. una cámara de procesamiento en proximidad a dicha antena,

- e. en el que dicha antena plana comprende una pluralidad de circuitos en forma de malla resonantes elementales interconectados, comprendiendo cada malla al menos dos ramas conductoras y al menos dos condensadores, de modo que dicha antena presente una pluralidad de frecuencias resonantes,
- f. y en el que dicho generador de radiofrecuencia excita dicha antena a por lo menos una de sus frecuencias resonantes.

Puesto que la antena plana tiene una pluralidad de mallas resonantes elementales interconectadas y puesto que la antena es excitada al menos una de sus frecuencias resonantes, la distribución y la amplitud de las corrientes en las mallas elementales de la antena son estables y pueden ser muy bien definidas sobre toda la superficie de la antena.

La distribución de amplitudes de corriente puede controlarse seleccionando qué frecuencia resonante de antena es la que se excitará por el generador de radiofrecuencia.

Como resultado de la muy bien definida distribución en amplitud de la corriente sobre la totalidad de la superficie de la antena, se puede crear, por la antena de la invención, una distribución bien definida de plasma.

Considerando que el plasma se difunde con rapidez desde áreas con altas intensidades de corriente a áreas con más bajas intensidades de corriente, se puede crear una distribución de plasma más uniforme por la antena de la invención.

Preferentemente, las ramas conductoras pueden ser paralelas entre sí, de modo que cada malla genere un campo electromagnético con una distribución más uniforme a lo largo del eje de la malla.

La antena puede comprender, ventajosamente, mallas resonantes elementales que tengan dos ramas conductoras paralelas más largas cuyos extremos estén interconectados por elementos de conexión transversales más cortos. Dicho diseño de circuito de malla resonante elemental permite interconexiones efectivas de una pluralidad de mallas para constituir una antena plana de mayores dimensiones.

Según una primera forma de realización, los elementos de conexión transversales más cortos comprenden condensadores en oposición.

Según una segunda forma de realización, las ramas conductoras paralelas más largas comprenden condensadores en oposición, con cada uno de ellos conectado en serie entre los tramos de una rama conductora respectiva.

Ambas formas de realización pueden estar combinadas, de manera que los primeros condensadores en oposición están conectados dentro de los elementos de conexión transversales más cortos y los segundos condensadores en oposición están conectados dentro de las ramas conductoras.

Dichas formas de realización de mallas resonantes elementales, con ramas conductoras paralelas, pueden interconectarse, ventajosamente, por ramas comunes para formar una antena resonante en forma de escalera. Dicho diseño permite constituir una antena de grandes dimensiones con distribución de amplitudes bien definida de corrientes sobre toda la superficie de la antena.

El aparato según la invención puede comprender, además, de forma ventajosa, una placa conductora o un blindaje paralelo a la antena y medios para ajustar la posición relativa de la placa, de modo que las frecuencias resonantes de la antena se puedan ajustar.

Ajustando la posición relativa de la placa conductora con la antena, las frecuencias resonantes de la antena se pueden sintonizar con el fin de estar en correspondencia con las frecuencias de excitación del generador.

Además, ajustando la posición relativa de la placa conductora, se pueden ajustar las condiciones límite del plasma.

Según una forma de realización preferente, el aparato de la invención puede comprender, además, medios para generar un campo magnético en la proximidad de la antena.

Con dicho campo magnético, ondas de forma helicoidal polarizadas en un plano pueden excitarse en el plasma, de modo que mejora la tasa de procesamiento del aparato.

Según una primera forma de realización de los medios para generar un campo magnético, el aparato puede comprender un conjunto matricial de imanes permanentes.

Según una segunda forma de realización de los medios para generar un campo magnético, el aparato puede comprender, además, medios para inyectar una corriente CC (corriente continua) en dicha antena superpuesta a la corriente de radiofrecuencia, de modo que dicha corriente continua CC genere un campo magnético en las proximidades de la antena.

Para el procesamiento de áreas más grandes, el aparato según la invención puede comprender, además, al menos una antena suplementaria. Preferentemente, la antena está situada en el interior de la cámara de procesamiento.

5 Con el fin de evitar reflexiones de RF (radiofrecuencia) en la salida del generador, puede utilizarse como mínimo una red de adaptación de impedancia.

Según una forma de realización preferente, el generador de radiofrecuencia alimenta la antena con al menos dos señales de potencia de RF con desplazamiento de fase, en dos puntos de inyección diferentes, dando lugar a una traslación en el tiempo de la distribución de corriente en las ramas de la antena. Dicho de otro modo, esto da lugar a un desplazamiento en la distribución de la corriente.

En consecuencia, la distribución del plasma se traslada, con el tiempo, sobre toda la superficie de la antena.

15 Esto da lugar a una distribución de procesamiento más uniforme.

Además, la distribución de corriente en desplazamiento mejora, en gran medida, la excitación de las ondas helicoidales.

20 Breve descripción de los dibujos

Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención se deducirán de la siguiente descripción de formas de realización particulares, que hacen referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

25 - La Figura 1 muestra una primera forma de realización de circuito en forma de malla elemental para la antena plana, y su circuito eléctrico equivalente;

- La Figura 2 muestra una segunda forma de realización de malla elemental para la antena plana y su circuito eléctrico equivalente;

30 - La Figura 3 muestra una tercera forma de realización de malla elemental para la antena plana y su circuito eléctrico equivalente;

35 - La Figura 4 muestra una antena de paso alto con una serie de mallas elementales según la primera forma de realización;

- La Figura 5 muestra una antena de paso bajo con una serie de circuitos de malla elementales según la segunda forma de realización;

40 - La Figura 6 muestra una antena híbrida con circuitos de malla elementales según la tercera forma de realización;

- La Figura 7 muestra la distribución de intensidad de corriente eléctrica en la antena representada en la Figura 4 excitada a una de sus frecuencias resonantes;

45 - La Figura 8 muestra una antena asociada con una placa conductora para ajustar las frecuencias resonantes y las condiciones de los límites del plasma;

- La Figura 9 muestra una antena según la invención alimentada con dos señales desfasadas;

50 - La Figura 10 muestra el circuito eléctrico equivalente de una red de adaptación de impedancias que puede utilizarse para alimentar la antena;

- La Figura 11 es una vista lateral que muestra dos imanes para creación de un campo magnético medio paralelo;

55 - La Figura 12 es una vista en planta que muestra un conjunto matricial de imanes para crear un campo magnético plano;

- La Figura 13 muestra una primera forma de realización para inyectar corrientes en la antena;

60 - La Figura 14 muestra una segunda forma de realización para inyectar corrientes en la antena;

- La Figura 15 muestra, a modo de ejemplo, la relación entre una de las frecuencias resonantes de una antena y los valores de los condensadores;

65 - La Figura 16 muestra una configuración simple típica para un reactor de procesamiento de plasma de superficie grande según una forma de realización de la invención;

- La Figura 17 muestra un circuito eléctrico simple para inyectar dos corrientes desfasadas en la antena y
- La Figura 18 muestra un circuito eléctrico simple para inyectar corriente continua en la antena.

5 Descripción de las formas de realización preferentes

De acuerdo con la invención, una antena plana con una pluralidad de mallas resonantes elementales se dispone como fuente para generar plasmas en áreas grandes.

10 Las Figuras 1, 2 y 3 muestran tres formas de realización para dicho circuito en forma de malla elemental -M1-, y el circuito eléctrico equivalente -E1- correspondiente.

Cada malla elemental -M1- tiene dos ramas conductoras paralelas más largas -1- y -2- cuyos extremos están interconectados por elementos de conexión transversales más cortos -3- y -4-.

15 Las ramas de conexión más largas -1- y -2- actúan esencialmente como componentes inductivos. Cada circuito de malla elemental tiene al menos dos condensadores en oposición -5- y -6-.

20 En la malla de paso alto representada en la Figura 1, los condensadores en oposición -5- y -6- constituyen dichos elementos de conexión más cortos -3- y -4-.

En la malla de paso bajo representado en la Figura 2, los condensadores en oposición -5- y -6- están cada uno conectado en serie entre dos tramos -1a-, -1b- o -2a-, -2b- de una rama conductora -1- o -2- respectivamente.

25 En la malla de banda de paso de la Figura 3, dos primeros condensadores en oposición -5- y -6- constituyen dichos elementos de conexión más cortos -3- y -4-, y dos segundos condensadores -5a- y -6a- están conectados cada uno en serie entre dos tramos -1a-, -1b- o -2a-, -2b- de una rama conductora -1- o -2- respectivamente.

30 Cada malla elemental forma un bucle de L-C resonante según se muestra en los circuitos eléctricos equivalentes -E1- correspondientes.

Varias mallas elementales están interconectadas para poder formar una antena plana de las dimensiones deseadas.

35 A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra una antena -A- de paso alto constituida por una serie de mallas de paso alto elementales -M1-, -M2-, -M3- según la Figura 1, interconectadas para formar una antena resonante en forma de escalera.

40 La Figura 5 muestra una antena -A- de paso bajo constituida por una serie de mallas de paso bajo -M1-, -M2-, -M3- según la Figura 2, interconectadas para formar una antena resonante en forma de escalera.

La Figura 6 muestra una antena -A- híbrida constituida por una serie de mallas elementales -M1-, -M2-, -M3- según la Figura 3, interconectadas para formar una antena resonante en forma de escalera.

45 En las tres formas de realización, los circuitos en forma de malla, adyacentes, tales como los circuitos -M1- y -M2- tienen una rama conductora común -2-.

50 Si N es el número de ramas de la antena -A-, dicha antena -A- presenta N-1 frecuencias resonantes. Los valores de estas frecuencias resonantes dependen de la geometría de las ramas -1-, -2- (longitud, diámetro, distancia entre dos ramas adyacentes, etc.) y de los valores de los condensadores -5-, -6-.

Si todos los condensadores -5-, -6- tienen la misma capacitancia y si todas las ramas -1-, -2- son idénticas (con la misma inductancia), cada frecuencia resonante corresponde a una distribución de corriente sinusoidal I(n) en las ramas de antena, tales como las ramas -1-, -2-, según se muestra, a modo de ejemplo, en la Figura 7:

$$I(n) = I_0 \sin\left(m \frac{\pi}{N} n\right)$$

55 en la que I₀ es una amplitud, n es un número de rama dado (n=[1:N]) y m es el número de modo resonante (m=[1:N-1]). Conviene señalar que se trata de una distribución en amplitud de corriente; desde el punto de vista temporal, las corrientes de las ramas oscilan en fase. La Figura 7 muestra la distribución en amplitud de la corriente a la frecuencia resonante correspondiente al modo resonante m=4.

60

En esta situación, cuando se realiza la excitación a una frecuencia resonante, esta antena -A- produce un modelo de

campo electromagnético (EM) con una estructura espacial sinusoidal muy bien definida. Esto permite un gran control sobre la excitación de modos normales de EM en el plasma (modo normal = autofunción). Se trata de una especificidad de la presente invención el hecho de que la antena -A- siempre será excitada (o alimentada) en una o varias de sus frecuencias resonantes.

5 Una gran diversidad de ondas EM pueden excitarse en plasmas. Algunas categorías de ondas solamente pueden existir si el plasma está magnetizado, tal como, por ejemplo, las ondas helicoidales en geometría cilíndrica. Revisten especial interés esta clase de ondas porque dan lugar, cuando se amortiguan, a un fuerte calentamiento del plasma y luego, a altas densidades de electrones.

10 Las ondas "helicoidales" polarizadas en un plano pueden excitarse en una placa de plasma, normalmente en el margen de las radiofrecuencias (RF) (normalmente 1-100 MHz). Por lo tanto, en una forma de realización preferente, un campo electromagnético estático se aplica en las proximidades de la antena -A- y la cámara de procesamiento. Conviene señalar que no se trata de un requisito estricto para un plasma su generación por la antena -A- de la presente invención, puesto que esta antena -A- puede funcionar también sin ningún campo electromagnético estático, esencialmente por medio de un acoplamiento inductivo con el plasma.

El campo electromagnético estático puede generarse por diferentes medios, tales como imanes permanentes según se muestra en las Figuras 11 y 12 o bobinas de corriente CC (corriente continua).

20 En la Figura 11, dos imanes en línea -10a- y -10b- generan un campo electromagnético medio lateral -10c- paralelo a los imanes.

Si el campo electromagnético ha de aplicarse en una dirección paralela con respecto al plano de la antena -A- (o sustrato) puede utilizarse satisfactoriamente un conjunto matricial -10- (vista en planta en la Figura 12) de imanes permanentes tales como los imanes -10a- y -10b-.

25 En la antena -A- de la presente invención, se puede inyectar también corriente continua CC en las ramas conductoras -1-, -2-, además de la excitación de RF, con el fin de generar el campo electromagnético estático deseado en las proximidades de la antena -A-.

La Figura 18 muestra un circuito eléctrico simple para inyectar corrientes continuas CC: la antena -A- es similar a la antena de paso alto de la Figura 4 o de la Figura 9. El generador de RF -20- alimenta la antena -A- con corrientes de RF en dos puntos de inyección -21- y -23-. El generador de corriente continua CC -60- alimenta a la antena -A- con corriente continua CC en ambos extremos de cada rama conductora a través de bobinas de inductancia respectivas: a modo de ejemplo, la rama conductora -1- es alimentada a través de las bobinas de inductancia -61- y -62- y rama conductora -2- se alimenta a través de las bobinas de inductancia -63- y -64-.

40 La presencia del plasma afecta ligeramente a los valores de las frecuencias resonantes, esencialmente debido a los acoplamientos inductivos. Con el fin de compensar los desplazamientos de frecuencia, un blindaje conductor -S- (o placa) puede colocarse en la proximidad de la antena -A- (Figura 8). Ajustando la posición relativa -P- del blindaje -S- con la antena -A-, las frecuencias resonantes se pueden sintonizar con el fin de estar en correspondencia con las frecuencias de excitación del generador. Además, el modelo de depósito de energía de la onda en el plasma puede resultar influido por la posición de dicho blindaje -S-, y este último se puede utilizar para ajustar las condiciones de límite de los modos normales EM del plasma.

50 Siempre que la frecuencia del generador de -RF- esté en correspondencia con una resonante deseada de la antena -A-, la energía de -RF- podría inyectarse en cualquier lugar en la estructura de la antena. Por supuesto, si la antena -A- es excitada a una frecuencia resonante, la distribución de corriente no resulta afectada por la localización de los puntos de inyección de -RF-. No obstante, la impedancia de la antena "vista" por el generador de -RF- dependerá de estos puntos de inyección. Desde este punto de vista, suele ser mejor, aunque no necesariamente, alimentar la antena a través de su estructura, es decir, en los puntos de inyección extremos que se muestran en las Figuras 13 ó 14. En la Figura 13, el generador -20- alimenta la antena -A- en dos puntos extremos opuestos -21- y -22-. En la Figura 14, el generador -20- alimenta la antena -A- en dos puntos de inyección extremos -21- y -23-. Conviene señalar que la configuración de la Figura 13 permitirá que se exciten valores pares de m, mientras que la configuración de la Figura 14 permitirá que se exciten valores impares de m.

60 Una cuestión muy importante para el procesamiento de plasma en áreas grandes es la uniformidad del proceso (depósito, ataque químico, etc.) sobre el sustrato. Para hacerlo así, el plasma debe ser lo más uniforme posible. En algunos casos, a modo de ejemplo, si la presión de servicio en el reactor es alta (normalmente 1 mb), el plasma generado por una distribución de corriente sinusoidal espacialmente fija podría presentar una falta de uniformidad indeseable. Para hacer el plasma más uniforme, se puede proceder a una alimentación cuadrática (o bi-fásica) de la antena -A-. Una realización, a modo de ejemplo, de dicha configuración se muestra en la Figura 9.

65 En esta Figura, se puede observar que la primera rama conductora -1- y la última rama conductora -100- de la antena -A- han sido conectadas entre sí en ambos extremos por medio de líneas de retorno -31- y -32- que contiene

cada una de ellas un condensador de compensación -33- o -34-. El valor de los condensadores de compensación -33- y -34- se ajusta para compensar la inductancia de los conductores largos -32-, -31- que es necesaria para cubrir la distancia entre las dos ramas conductoras extremas -1- y -100-.

5 El principio de la alimentación bifásica consiste en excitar la antena -A- con dos señales desfasadas inyectadas en dos puntos de inyección distantes tales como los puntos de inyección -38- y -39- de la Figura 9. Estas señales desfasadas pueden obtenerse combinando varios generadores de -RF- o dividiendo la señal emitida desde un generador único -20- con un divisor de potencia -36- y un desplazador de fase -37- en el conductor largo -35-.

10 La Figura 17 muestra una configuración muy simple que permite que la potencia de -RF- de un generador único -20- sea dividida y lo que, al mismo tiempo, produce un desplazamiento de fase temporal entre dos señales $V_{out 1}$ y $V_{out 2}$ emitidas desde el circuito divisor de potencia.

15 Debe prestarse especial atención al hecho de que la simplicidad de este sistema es solamente aparente, puesto que las impedancias de entrada de la antena -A- $Z_1=R_1+iX_1$ y $Z_2=R_2+iX_2$ son funciones, por sí mismas, de los componentes del divisor/desplazador (ψ y η). La relación $R_{1,2}$ de las dos amplitudes de las corrientes de entrada I_1 e I_2 se proporciona por la relación siguiente:

$$R_{1,2} = \frac{\|I_2\|}{\|I_1\|} = \sqrt{\frac{R_1^2 + (\psi + X_1)^2}{R_2^2 + (\eta + X_2)^2}}$$

20 mientras que el desplazamiento de fase temporal $\phi_{1,2}$ entre I_1 y I_2 viene dado por:

$$\phi_{1,2} = \arctan\left(\frac{R_2(\psi + X_1) - R_1(\eta + X_2)}{R_1R_2 + (\psi + X_1)(\eta + X_2)}\right)$$

25 los valores de ψ y η se determinan para obtener los valores de $R_{1,2}$ y de $\phi_{1,2}$ deseados.

El desplazamiento de fase $\phi_{1,2}$ entre las dos señales puede elegirse arbitrariamente, pero suele ser de $\pm 90^\circ$. La relación de amplitud $R_{1,2}$ se fijará, en general, a 1. Con estas condiciones, ψ y η adoptan expresiones muy simples:

$$\begin{cases} \psi = -R_2 - X_1 \\ \eta = R_1 - X_2 \end{cases} \quad (\text{para desplazamiento de fase } +90^\circ)$$

y

$$\begin{cases} \psi = R_2 - X_1 \\ \eta = -R_1 - X_2 \end{cases} \quad (\text{para desplazamiento de fase } -90^\circ)$$

40 Los puntos de inyección de potencia de RF -38- y -39-, para ambas señales, dependen del modo resonante m que debe excitarse. Cuando se conecta adecuadamente, esta configuración de alimentación da lugar a una traslación -30- en el tiempo de la distribución de corriente sinusoidal en las ramas conductoras 1-100, según se muestra en la Figura 9. Esta distribución de corriente, en desplazamiento, dará lugar a un calentamiento muy uniforme del plasma.

45 Al ser resonante la antena -A-, su impedancia presenta una parte real R importante, que puede ser de varios centenares de ohmios, y una parte imaginaria muy pequeña iX , próxima a cero. Con el fin de evitar las reflexiones de -RF- en las salidas del generador, han de utilizarse redes de adaptación de impedancia. Podrían utilizarse redes de adaptación de impedancia convencionales, pero gracias a las propiedades de impedancia de antena (parte real grande y parte imaginaria pequeña), se puede conseguir un sistema especial -40- de adaptación de impedancia, mostrado en la Figura 10. En esa adaptación de impedancia, el sistema -40- comprende impedancias imaginarias ajustables $i b$ e $i a$, y línea de transmisión que tiene una longitud d . En este sistema, la impedancia real R_g "vista" por el generador de RF -20- viene dada por:

$$R_g = \frac{2RZ_0^2}{R^2 + (a + X)^2 + Z_0^2 - (R^2 + (a + X)^2 - Z_0^2)\cos(2\beta d) - 2(a + X)Z_0 \sin(2\beta d)}$$

5 en la que Z_0 es la impedancia característica de la línea de transmisión -41- y β es el número de onda ($\beta = 2\pi/\lambda$ en la que λ es la longitud de onda) de la señal a la frecuencia ω en la línea de transmisión -41-. A continuación, con una longitud de línea de transmisión adecuada d , R_g se puede llevar a la impedancia real de la salida del generador sintoniando el valor de a solamente. La parte imaginaria de la impedancia "vista" por el generador de RF -20- puede llevarse luego a cero ajustando el valor de b , y se realiza la adaptación de impedancia.

10 En el siguiente párrafo, se proporcionarán órdenes típicas de magnitud para los parámetros principales con respecto a las antenas planas en funcionamiento. A modo de ejemplo, se considera una antena de paso alto de veintidós ramas conductoras con una inyección de potencia única. Asimismo, se tomaron en consideración, a modo de ejemplo, todas las ramas conductoras siendo idénticas (0,5m de longitud, 6mm de diámetro), así como los condensadores. Considerando sus dimensiones, una rama conductora individual representa una inductancia aproximada de $0,5\mu\text{H}$. Se supone que se desea excitar el modo resonante $m=6$ de la antena. La frecuencia a la que se producirá esta resonancia $m=6$ depende naturalmente de la capacitancia C de los condensadores de antena, según se muestra en la Figura 15. A modo de ejemplo, si se considera un generador de RF de 13,56 MHz 20, se necesitará aproximadamente condensadores de 800pF para observar la resonancia $m=6$ a esta frecuencia.

15 La Figura 16 muestra una configuración simple típica de un reactor de procesamiento de plasma en superficies grandes -50-. Una cámara de procesamiento -51- con una pared periférica -52- y una placa superior del reactor -53- está conectada a un sistema de bombeo -54- y a un sistema -55- de inyección de precursores (gas) del proceso y gas de descarga. Una antena -A- está situada en la proximidad de la placa superior del reactor -53- y se alimenta por el generador de RF -20- con una posible red de adaptación de impedancia. Un sustrato -56- a procesar se coloca sobre un soporte de sustrato -57- dentro de la cámara del reactor -51-, prácticamente paralelo a la antena -A-. Un plasma -58- se genera entre el sustrato -56- y la placa superior del reactor -53-. El generador de campo electromagnético estático -10- (Figura 12) no se muestra en esta Figura 16. Si se utilizaran conjuntos matriciales de imanes permanentes -10-, podrían colocarse, a modo de ejemplo, directamente bajo el sustrato -56-, incorporado en el soporte de sustrato -57-. El campo conductor -S- que permite el ajuste fino de las frecuencias resonantes tampoco se muestra.

20 La presente invención no está limitada a las formas de realización que han sido descritas explícitamente y abarca variantes y generalizaciones de las mismas dentro del alcance de protección de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Aparato (50) para procesamiento de plasma que comprende:
 - 5 a. al menos una antena plana (A),
 - b. al menos un generador de radiofrecuencia (20) para excitar dicha antena (A),
 - c. un sistema de inyección de gas (55) y difusor,
 - 10 d. una cámara de procesamiento (51) en las proximidades de dicha antena (A),
 - e. en el que dicha antena plana (A) comprende una pluralidad de circuitos en forma de malla resonantes elementales interconectados (M1, M2, M3), comprendiendo cada malla (M1, M2, M3) al menos dos ramas conductoras (1, 2) y al menos dos condensadores (5, 6), de modo que dicha antena (A) presente una pluralidad de frecuencias resonantes,
 - 15 f. y caracterizado porque dicho generador de radiofrecuencia (20) está adaptado para excitar dicha antena (A) por lo menos una de sus frecuencias sea resonante.
- 20 2. Aparato según la reivindicación 1, en el que las ramas conductoras (1, 2) son paralelas entre sí.
3. Aparato según la reivindicación 2, en el que circuitos en forma de malla resonantes elementales (M1, M2, M3) tienen dos ramas conductoras paralelas más largas (1, 2) cuyos extremos están interconectados mediante elementos de conexión transversales más cortos (3, 4).
- 25 4. Aparato según la reivindicación 3, en el que los elementos de conexión transversales más cortos (3, 4) comprenden condensadores en oposición (5, 6).
- 30 5. Aparato según las reivindicaciones 3 ó 4, en el que las ramas conductoras paralelas más largas (1, 2) comprenden condensadores en oposición (5, 6) estando cada condensador conectado en serie entre los tramos (1a, 1b; 2a, 2b) de una rama conductora (1, 2) respectiva.
- 35 6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que los circuitos de malla resonantes elementales (M1, M2, M3) están interconectados por ramas conductoras comunes (2) para formar una antena resonante (A) en forma de escalera.
- 40 7. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, una placa conductora (S) paralela a la antena (A) y medios para ajustar la posición relativa (P) de la placa (S), de modo que se puedan ajustar las frecuencias resonantes de la antena (A).
- 45 8. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, medios (10) para generar un campo magnético en las proximidades de la antena.
- 50 9. Aparato según la reivindicación 8, en el que el medio (10) para generar un campo magnético comprende un conjunto matricial de imanes permanentes (10a, 10b).
10. Aparato (50) según la reivindicación 8 que comprende, además, medios (60, 61, 62, 63, 64) para inyectar una corriente continua CC en dicha antena (A) superpuesta a la corriente de radiofrecuencia, de modo que dicha corriente continua CC genere un campo magnético en la proximidad de la antena (A).
11. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, al menos una antena suplementaria.
- 55 12. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha antena (A) está situada en el interior de la cámara de procesamiento (51).
- 60 13. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, al menos una red de adaptación de impedancia (40).
- 65 14. Aparato (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de radiofrecuencia (20) está adaptado para alimentar la antena (A) con al menos dos señales de potencia de RF desfasadas en dos puntos de inyección diferentes (38, 39), que dan lugar a una traslación (30) en el tiempo de la distribución de la corriente en las ramas conductoras (1, 100) de la antena (A).

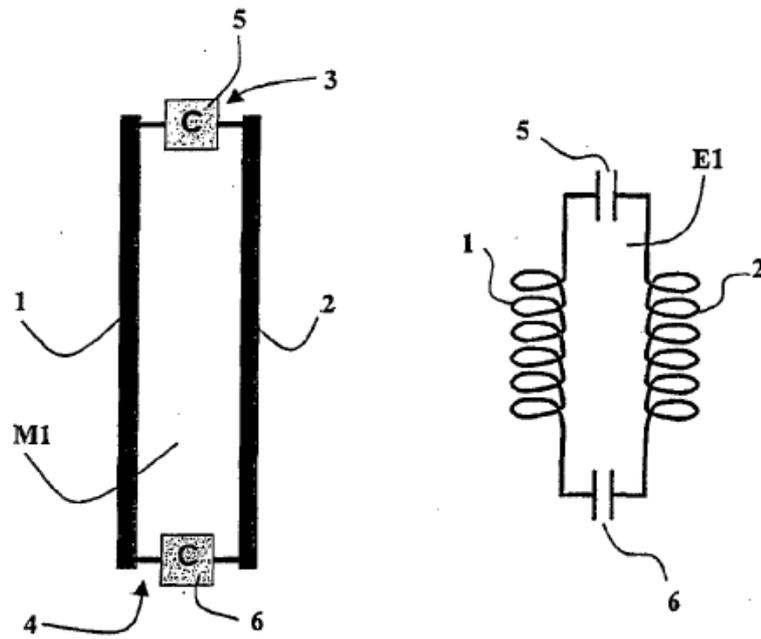


FIG. 1

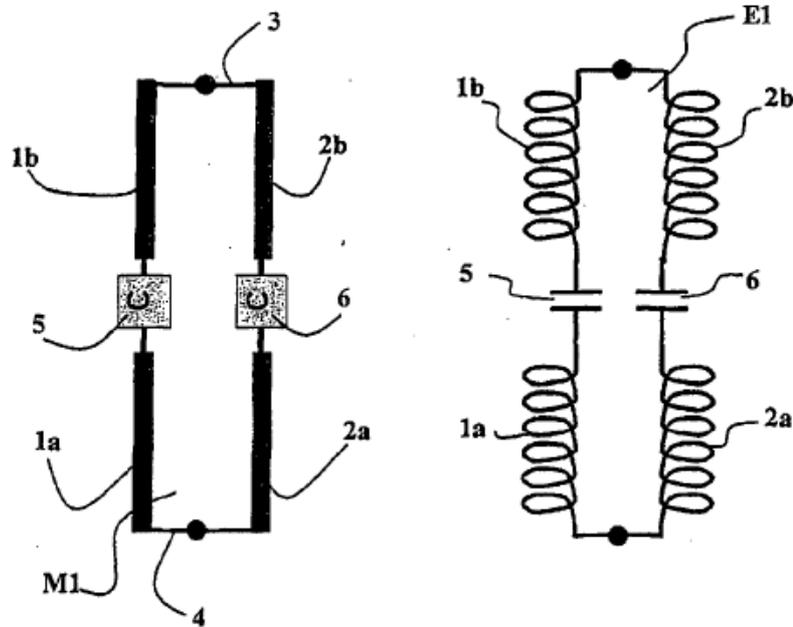


FIG. 2

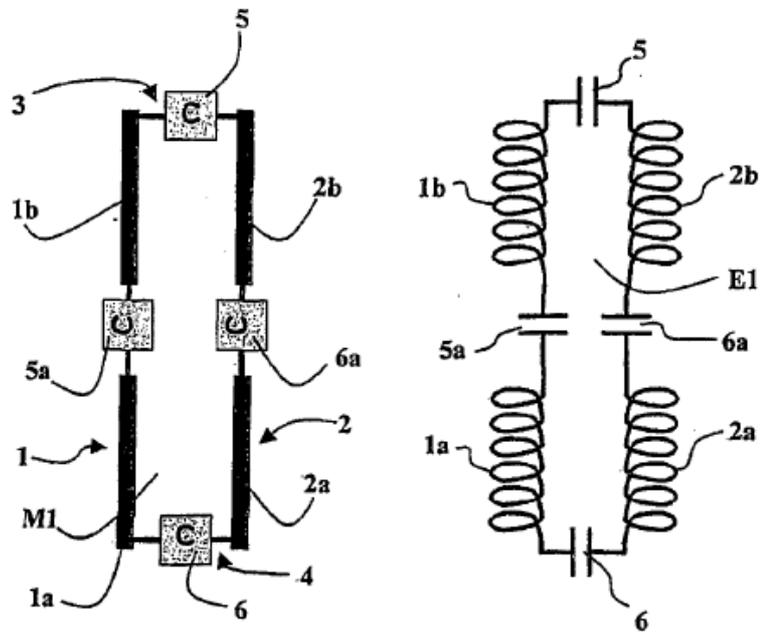


FIG. 3

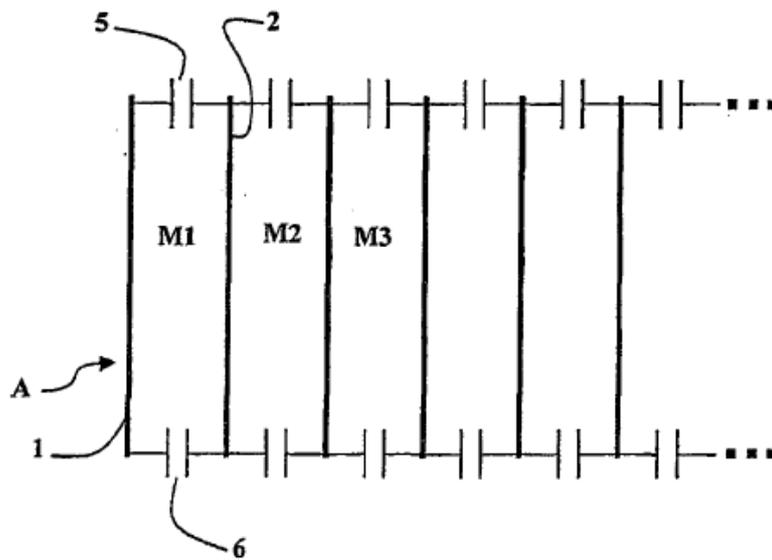


FIG. 4

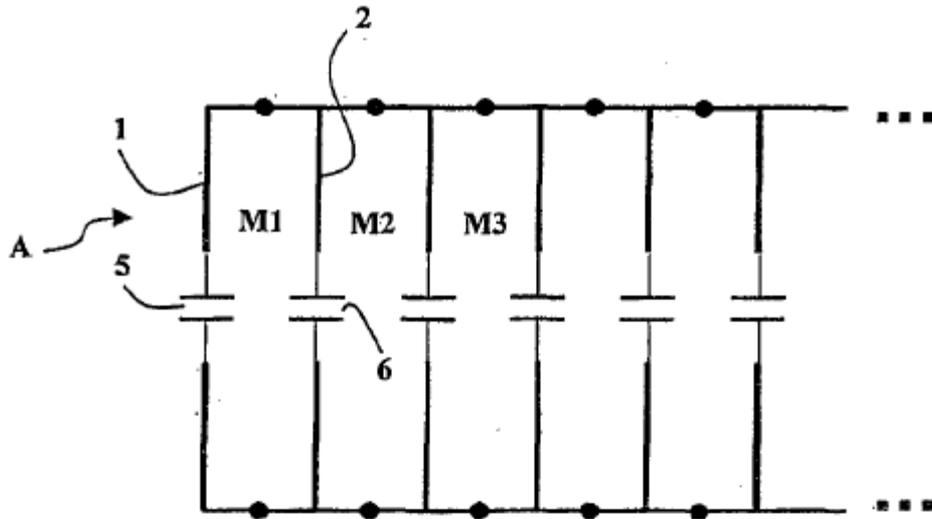


FIG. 5

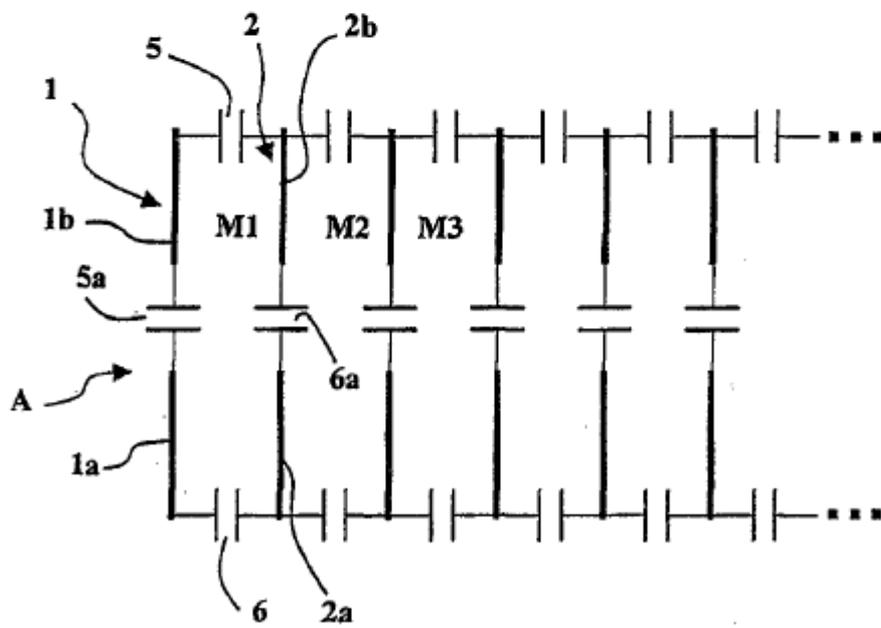


FIG. 6

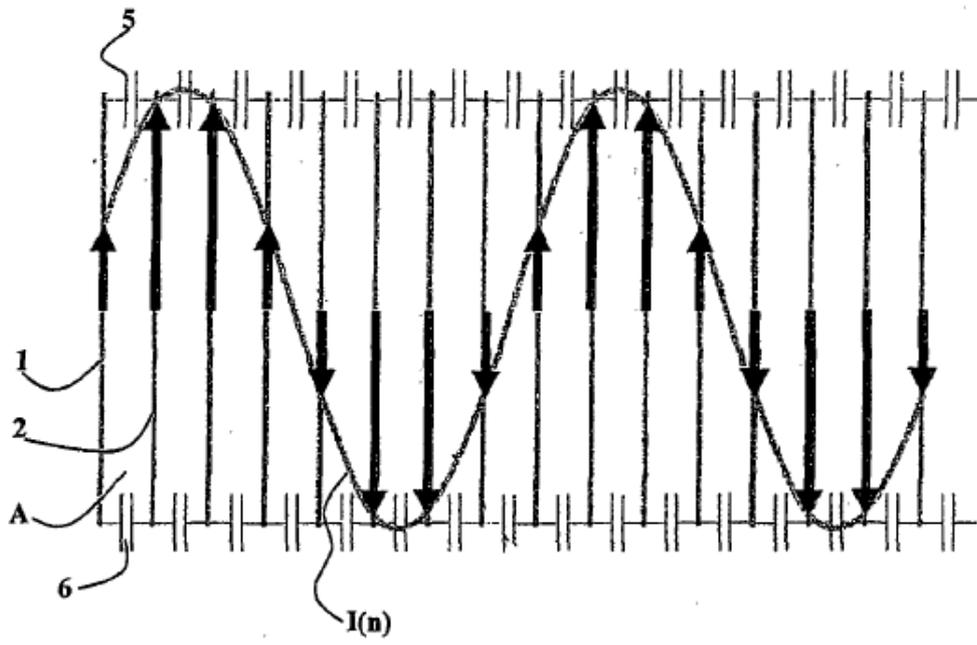


FIG. 7

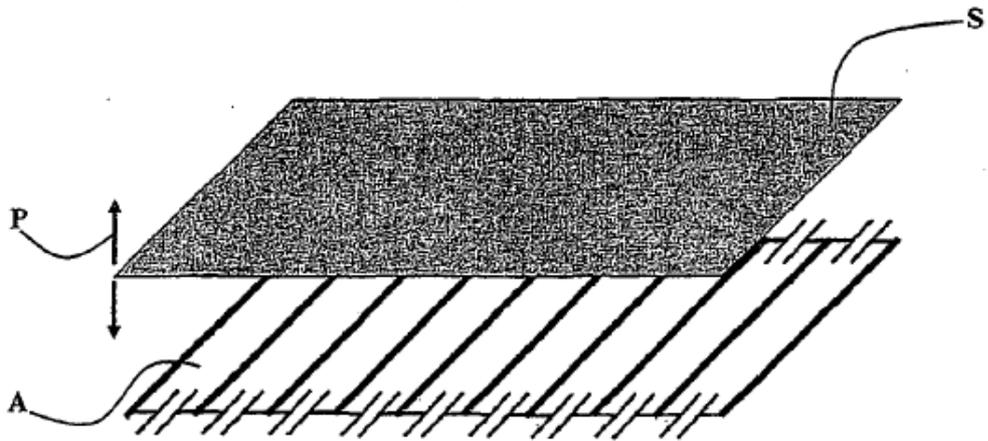


FIG. 8

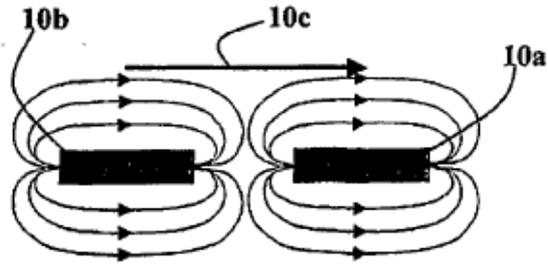


FIG. 11

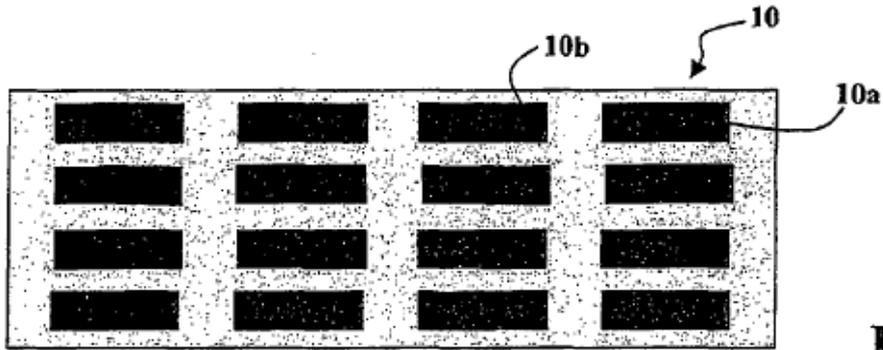


FIG. 12

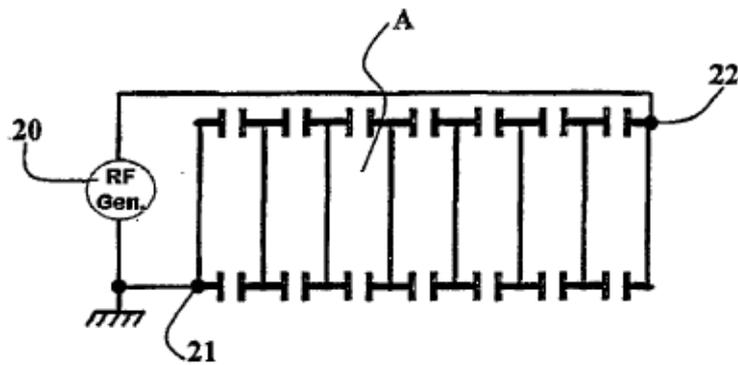


FIG. 13

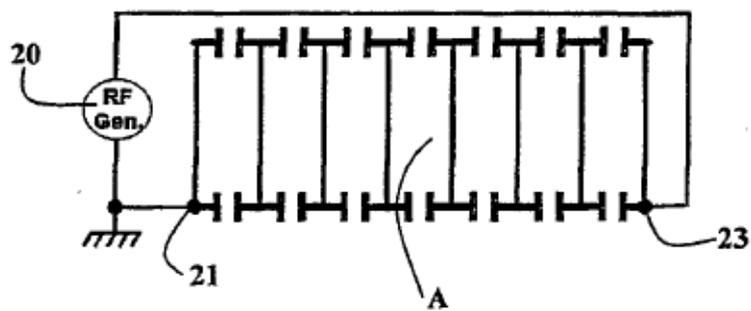


FIG. 14

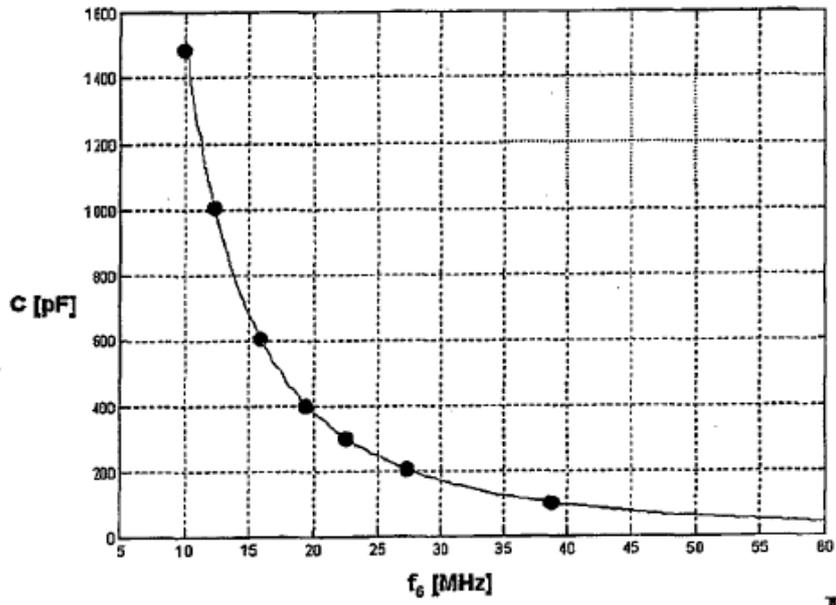


FIG. 15

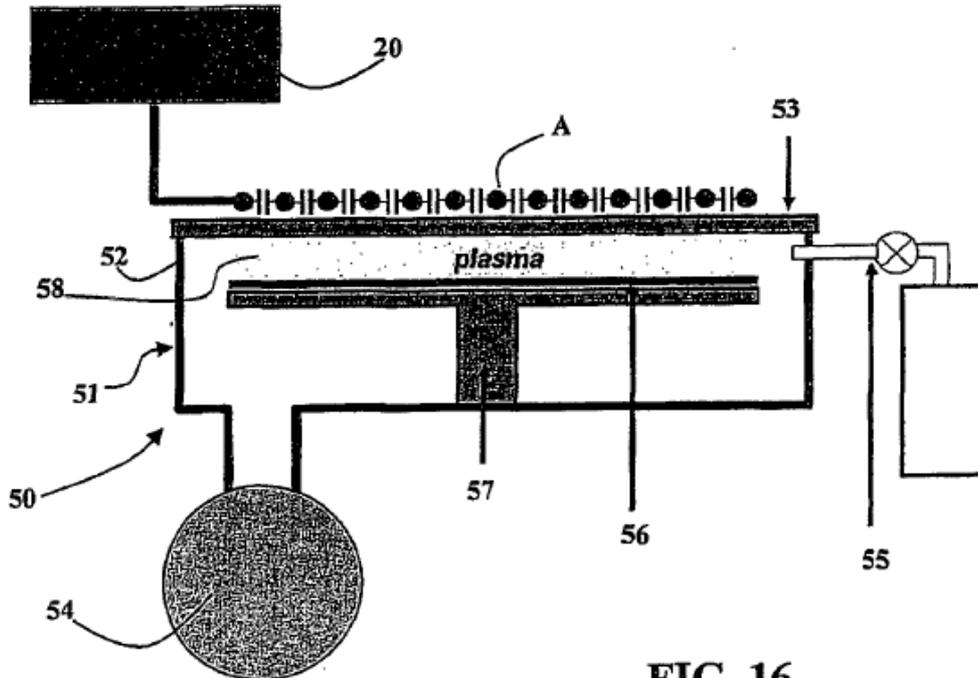


FIG. 16

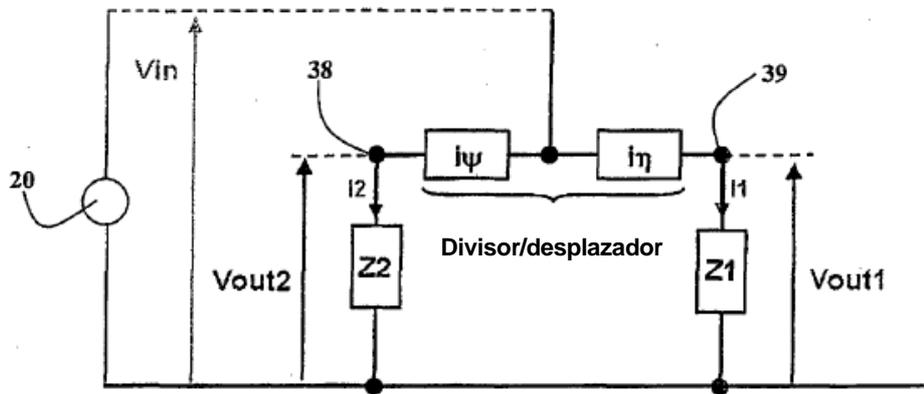


FIG. 17

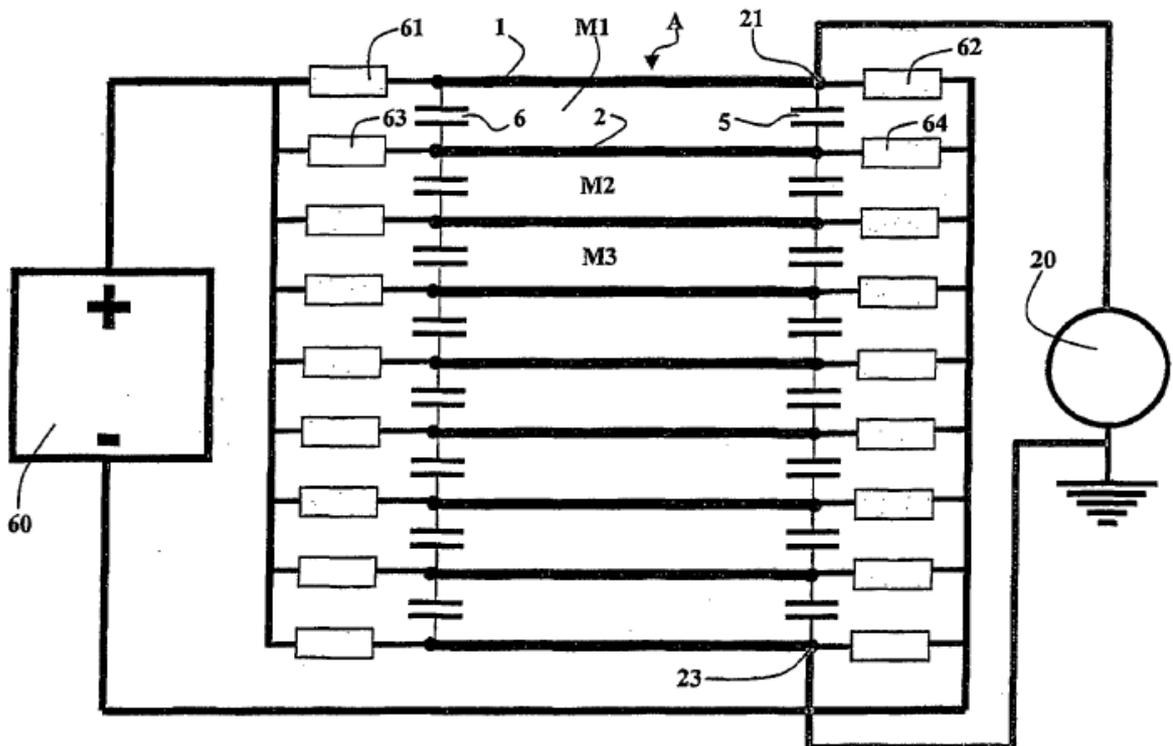


FIG. 18