

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 181**

51 Int. Cl.:

B08B 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2009 E 09797509 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012 EP 2321070**

54 Título: **Proceso e instalación para la preparación de superficie mediante descarga de una barrera dieléctrica**

30 Prioridad:

16.07.2008 EP 08160512

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

26.03.2013

73 Titular/es:

**AGC GLASS EUROPE (100.0%)
Chaussée de La Hulpe, 166
1170 Bruxelles (Watermael-Boitsfort), BE**

72 Inventor/es:

**TIXHON, ERIC;
LECLERCQ, JOSEPH y
MICHEL, ERIC**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 399 181 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

Proceso e instalación para la preparación de superficie mediante descarga de una barrera dieléctrica

5 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere a procesos e instalaciones para la preparación de superficie de sustratos inorgánicos antes de su tratamiento.

10 PREÁMBULO

Existen varias operaciones para mejorar la calidad de las materias primas, tales como vidrio, acero o plástico, etc. Entre estas operaciones están el tratamiento de superficie y la preparación de superficie. En este caso, el tratamiento de superficie se refiere al tratamiento durante una deposición de película sobre un sustrato, mientras que la preparación de superficie consiste, como su nombre indica, en la preparación de la superficie de un sustrato, con el fin de hacer dicha superficie capaz de recibir un recubrimiento o en modificar sus propiedades de superficie creando nuevos enlaces (activación de superficie). La invención se refiere a un proceso de preparación de una superficie mediante descarga de barrera dieléctrica (DBD) para limpieza, desengrasado, abrillantado, decapado u otra activación de la superficie, para poder modificar y/o mejorar las propiedades de superficie de dicho sustrato. En particular, el objetivo de la invención es preparar la superficie para la finalidad, en particular, de la limpieza del sustrato, eliminación de las capas orgánicas de contaminantes, de abrillantar la superficie, eliminando las capas inorgánicas o contaminantes o cualquier otra activación de la superficie creando nuevos enlaces sobre la superficie del sustrato.

La invención se refiere, además, a una instalación para aplicar el proceso de DBD en cuestión, en particular de forma continua.

TÉCNICA ANTERIOR

El objetivo de las principales operaciones para preparar una superficie es eliminar, en primer lugar, los residuos orgánicos (por ejemplo, aceites) y toda la suciedad retenida en ella. Esta operación se denomina genéricamente "limpieza" o "desengrasado". En segundo lugar, la superficie se somete a un tratamiento para reducir los óxidos, cuando están presentes. Esta operación se refiere genéricamente como "decapado" o "abrillantado". Estas operaciones son importantes en un proceso industrial completo puesto que, si se controlan deficientemente, pueden surgir problemas (falta de adhesivo de los recubrimientos producidos después de la preparación de superficie; baja resistencia a la corrosión; problemas de apariencia) y no se puede garantizar la calidad del producto final.

Dos técnicas de preparación de superficie pueden distinguirse principalmente: procesamiento húmedo, en particular, procesamiento electromecánico, con el uso de soluciones básicas o ácidas y procesamiento en seco, en particular mediante el uso de una descarga de plasma.

La preparación de superficie es, actualmente, realizada esencialmente mediante procesamiento "húmedo". Para aumentar la eficiencia del proceso, la preparación de superficie se suele combinar, en el caso de un sustrato eléctricamente conductor, con una acción electrolítica.

En particular, en el caso de la metalurgia, la primera operación de preparación de superficie, mediante procesamiento húmedo, es, por supuesto, la limpieza mediante el uso de un disolvente. Esta operación ayuda a eliminar la mayor parte de los contaminantes orgánicos. La segunda operación es un desengrasado químico (en un baño). Estas operaciones desengrasantes están previstas para destruir el residuo aceitoso delgado y para eliminar del 95 al 98% de la capa orgánica. Después de esta preparación de superficie, la contaminación residual es del orden de magnitud de 1 mg/m^2 .

Un baño de desengrasado está constituido, en general, por una solución basada en NaOH (hidróxido sódico) y productos adicionales. El hidróxido sódico proporciona a la solución una acción saponificante.

En el caso de un sustrato conductor, se suele utilizar una operación de desengrasado electrolítico, tal como electroacabado. La solución se utiliza como electrolito y el material a tratarse ocupa la posición del ánodo y/o la posición del cátodo, de forma alternada. Una solución de compromiso se basa en el uso de polarizaciones de bandas alternadas del tipo de cátodo-ánodo /ánodo-cátodo. La composición de los baños electrolíticos es similar a la solución decreciente, pero las condiciones operativas difieren en función de la naturaleza del baño. Las operaciones de desengrasado, de tipo químico y electrolítico, se utilizan para eliminar la interfase químicamente ligada al sustrato, proporcionándole la humectabilidad requerida para un tratamiento de superficie posterior. Después de esta preparación de superficie, la contaminación residual es del orden de magnitud de $0,1 \text{ mg/m}^2$.

De nuevo, en el campo de la metalurgia, después del desengrasado electrolítico, suele ser necesario realizar un ataque químico de la superficie con el fin de eliminar los óxidos posiblemente presentes. Habida cuenta del carácter básico o anfotérico de los óxidos, una solución de decapado ácido (ácido sulfúrico H_2SO_4 o ácido clorhídrico HCl) se utiliza a este respecto. En el caso de un sustrato conductor, se puede añadir también un decapado electrolítico. Como en el caso de

la operación de desengrasado, se utilizan polarizaciones alternadas para el decapado. En general, son del tipo cátodo-ánodo/ánodo-cátodo aunque son posibles otras combinaciones.

5 Sin embargo, puesto que las normas medioambientales y de seguridad se hacen cada vez más restrictivas y estrictas, estos procesos se hacen muy costosos puesto que se obliga a las industrias a limitar las cantidades utilizadas y a reciclar el agua residual antes de su descarga.

10 Una solución posible para los problemas medioambientales consiste en sustituir la preparación de superficie obtenida mediante el procesamiento "húmedo" mediante el uso de una tecnología de plasma de alta presión o de plasma en vacío. Esta técnica tiene las ventajas de ser un proceso "seco" que no impacta desfavorablemente sobre el medio ambiente. En el campo de la preparación de superficie (limpieza, abrillantado y activación de la superficie), los plasmas frecuentemente utilizados son plasmas en los que la temperatura del gas está próxima a la temperatura ambiente (plasma sin equilibrio). Permiten la preparación de superficie de materiales sin modificar sus propiedades mecánicas.

15 Las especies activas (electrones, iones, metaestables, radicales, etc.) del plasma, que son así creadas, suelen poseer energías de unos pocos eV y pueden, de este modo, causar disociación o activación de enlaces químicos de superficie.

Varios tipos de plasma son conocidos en las tecnologías de plasmas:

20 "Plasma de descarga luminiscente" o plasma homogéneo que permite la deposición de recubrimientos de película delgada muy homogéneos y requiere un nivel de energía relativamente bajo. Sin embargo, es demasiado largo y debe limitarse dentro de un campo de frecuencia restringido para permanecer estable. Además, permite una diversidad más restringida de especies de película delgada.

25 La elevación del nivel de energía del plasma puede causar la descarga de arcos eléctricos. La colocación de una placa dieléctrica entre los electrodos permite obtener un estado intermedio entre la descarga luminiscente y los arcos eléctricos, denominado estado "filamentario". Los filamentos son intrínsecamente inestables pero soportan un nivel de energía alto, que permite una reducción del tiempo de procesamiento y de este modo, acelerar la velocidad del sustrato. Por otra parte, gracias a su producción aleatoria, se obtiene una velocidad de deposición de materiales paradójicamente homogénea, un muy alto número (normalmente, 10^6 por centímetro cuadrado por segundo) de micro-descargas que se producen durante un ciclo sobre un área dada.

35 Los documentos EP-1 381 257, JP 2001 035693 y US 2007/205727 dan a conocer instalaciones para generar un plasma de descarga luminiscente. Sin embargo, estas instalaciones tienen circuitos de control del tipo RLC en el secundario de los transformadores de HT (alta tensión) utilizados y su función es esencialmente estabilizar el tipo de descarga obtenida. Estos documentos no ofrecen la ventaja de operar tanto a baja presión como a la presión atmosférica y de permitir el tratamiento continuo sobre áreas amplias, lo que implica producir una potencia eléctrica activa en el orden de magnitud de hasta un megavatio, como lo hace la presente invención.

40 La tabla siguiente resume las principales diferencias entre el proceso químico convencional y el proceso de plasma.

Proceso químico convencional	Proceso de plasma
Proceso muy sensible al tiempo y a la concentración química	Fácil control de los parámetros (naturaleza del gas, presión, tiempo de tratamiento, energía transferida, etc.)
La fiabilidad del proceso requiere la eliminación o neutralización de los residuos, que pueden requerir múltiples etapas	Sin efluentes
Reprocesamiento costoso de grandes cantidades de residuos líquidos	Los residuos producidos suelen ser gaseosos y normalmente se pueden descargar a la atmósfera
Gran parte de los ácidos y disolventes utilizados en este proceso son peligrosos	Los gases utilizados son, en general, no tóxicos
Conocido, fiable y contrastado	Nuevo

45 Para sostener el plasma sin equilibrio (plasma frío), suele ser necesario trabajar a presión reducida. La mayor parte de las técnicas de plasma conocidas, por lo tanto, utilizan un plasma de baja presión. Numerosos estudios se han realizado, por lo tanto, en el campo del plasma de presión reducida. Sin embargo, esta técnica tiene varios inconvenientes. Un inconveniente con este tipo de proceso es que no es posible tratar materiales que tengan altas presiones de vapor. Otro importante inconveniente de los procesos de baja presión (p.e., ataque químico en vacío) es, además de su bombeo y

coste de inversión de equipos, la eficiencia relativamente baja del proceso. Esto ha justificado la investigación sobre nuevos procesos que den lugar a plasmas fríos que se obtengan a alta presión o a la presión atmosférica.

5 Varios procesos de plasma se utilizan actualmente para la preparación de las superficies de varios sustratos. Se pueden distinguir, en particular, por la forma en la que se genera la energía para producir las especies activas necesarias para la preparación de superficie. Entre estos varios procesos, el proceso DBD combina las ventajas de plasmas sin equilibrio sin los inconvenientes planteados por el problema de tener un vacío. Además, parece prometedor para la preparación de superficie de grandes áreas. Los sustratos implicados pueden ser de varios tipos: vidrio, acero, cerámica, etc. Puesto que el proceso DBD genera plasmas fríos (sin equilibrio) se pueden aplicar también a varios sustratos que sean incluso sensibles al calor, tal como los polímeros orgánicos, termoplásticos, etc.

10 En esta invención se ha elegido utilizar un DBD puesto que tiene la ventaja, en comparación con otros procesos de plasmas, de operar a alta presión y a la presión atmosférica, de generar un plasma frío y de permitir la preparación continua sobre grandes áreas.

15 Además, el proceso elegido da a lugar a una superficie "activada", que permite que se consiga un mejor enlace de materiales o revestimientos superiores.

20 Sin embargo, el proceso DBD tiene el importante inconveniente de tener una eficiencia energética mediocre: la mayor parte de la energía generada es disipada en una pérdida pura. El problema se debe, en gran medida, a la impedancia capacitiva del circuito de descarga, que es más alta cuanto mayor sea la distancia entre los electrodos (y en consecuencia, cuanto mayor sea la distancia entre los electrodos y un sustrato colocado entre ellos). La energía disipada en la descarga está, por lo tanto, limitada, por lo que reduce la eficiencia de descontaminación/activación de la superficie del proceso.

25 SUMARIO DE LA INVENCION

Un objetivo de la invención es mejorar el rendimiento y eficiencia de un proceso DBD para la preparación de superficie.

30 Otro objetivo de la invención es garantizar que esta mejora de eficiencia se mantenga cualesquiera que sean las condiciones impuestas. Estas últimas pueden, a modo de ejemplo, variar: por el tipo de superficie que se va a preparar (espesor del sustrato, naturaleza del sustrato, etc.), por la naturaleza de las diversas capas orgánicas o inorgánicas a eliminarse, etc.

35 Un contenido de la invención es un proceso para la preparación de superficie de un sustrato inorgánico, que comprende las operaciones siguientes:

- 40 - un sustrato se introduce en o se hace desplazar a través de una cámara de reacción en donde al menos se colocan dos electrodos, al menos se coloca una barrera dieléctrica entre estos al menos dos electrodos;
- se genera una tensión de alta frecuencia estabilizada por frecuencia y amplitud, siendo dicha tensión tal que genera un plasma filamentario entre los al menos dos electrodos;
- 45 - un inductor ajustable colocado en paralelo con el inductor de la instalación que genera la tensión se utiliza con el fin de reducir el desplazamiento de fase entre la tensión y la corriente que se genera;
- moléculas de al menos un tipo se introducen en la cámara de reacción, de modo que, al entrar en contacto con el plasma, generen especies activas capaces de reaccionar con la superficie del sustrato;
- 50 - la tensión y/o la frecuencia proporcionadas por el circuito generador y/o la inductancia se adaptan al inicio o durante el proceso con el fin de obtener características de reacción óptimas y
- el sustrato se mantiene en la cámara durante un periodo de tiempo suficiente para obtener la preparación de superficie deseada.

55 Conviene señalar que el proceso de la invención se define en términos de "operaciones" y no en el de "etapas" es decir, la sucesión de operaciones no se realiza necesariamente en el orden en el que se indican anteriormente.

60 Una ventaja del proceso de la invención es que la introducción de un inductor en el circuito mejora el factor de potencia de la instalación, haciendo, de este modo, posible un aumento considerable en su eficiencia, pero también haciendo posible para el proceso generar una energía activa suficiente para obtener una alta eficiencia de preparación de superficie.

65 Según una forma de realización preferida, la tensión y/o la frecuencia proporcionadas por el circuito generador y/o el valor de la inductancia se modulan con el fin de favorecer la producción de armónicos que prolongan el tiempo durante el

que la tensión permanece por encima del valor para el sostenimiento del arco, lo que tiene como consecuencia que se extienda el tiempo de generación del plasma.

5 Una ventaja de esta forma de realización es que, para la misma potencia consumida, se mejora, en gran medida, la eficiencia del proceso.

10 Según una forma de realización preferida, el proceso incluye, además, la operación siguiente: la posición y/o la configuración del electrodo se varía de modo que se obtengan características de reacción óptimas. Más concretamente, estos criterios se utilizan para variar las características del circuito eléctrico y por lo tanto, tienen una influencia sobre la configuración de la corriente.

Según una forma de realización preferida, el proceso incluye, además, la operación siguiente: la atmósfera en la cámara se lleva a una presión predeterminada.

15 Según una forma de realización preferida, la cámara está abierta y comprende una zona de entrada y una zona de salida para el sustrato, lo que permite que el proceso de la invención sea integrado en una operación de tratamiento de superficie continua.

20 En una forma de realización preferida, el sustrato es aislante y por sí mismo, forma una barrera dieléctrica colocada entre los al menos dos electrodos.

En otra forma de realización preferida, el sustrato es conductor y por sí mismo, constituye un electrodo.

25 Las moléculas se introducen en la cámara de reacción preferentemente en la forma de un líquido pulverizado, gas o un polvo.

30 Otro aspecto de la idea inventiva es una instalación para la preparación de superficie, que comprende: una cámara; medios de transporte y medios de soporte para introducir o desplazar un sustrato en el interior de la cámara. Un suministro de energía de alta frecuencia y alta tensión está conectado a al menos dos electrodos colocados a cada lado del sustrato y al menos una barrera dieléctrica se coloca entre los al menos dos electrodos. Se proporcionan medios de control/regulación del suministro de energía, como lo son medios para introducir en la cámara moléculas adecuadas para generar, al entrar en contacto con el plasma, especies activas capaces de reaccionar con la superficie del sustrato. Medios de extracción de gases residuales se proporcionan también en este aspecto de la idea inventiva. En esta instalación, un inductor ajustable se coloca en paralelo con el circuito de suministro de energía. Las características de este inductor ajustable son tales que permite el desplazamiento de fase entre la tensión generada entre los electrodos y la corriente total suministrada por la fuente de alta tensión que se va a modular.

35 Una ventaja de esta instalación es que puede obtenerse aplicando una serie de modificaciones relativamente pequeñas a las instalaciones ya existentes.

40 En esta instalación, los medios de regulación del suministro de energía y los medios de control de la inductancia están ventajosamente acoplados con el fin de permitir la generación de armónicos que prolonguen el tiempo durante el que la tensión, entre los electrodos se mantiene a un valor superior para el sostenimiento de la descarga eléctrica.

45 Según una forma de realización preferida, la cámara está abierta en sus dos extremos, lo que permite que el proceso de preparación de superficie se incorpore en una instalación de producción continua. Dentro de este contexto, la cámara puede incorporarse, en una forma de realización preferida, en una línea de producción de acero.

50 Según una forma de realización preferida, la instalación se incorpora en una línea de producción que incluye una instalación de deposición, estando la cámara colocada corriente arriba y/o corriente abajo de la instalación de deposición, comprendiendo el soporte del sustrato y/o medios de transporte al menos un rodillo.

55 El plasma puede, en una forma de realización preferida, generarse en dos zonas separadas, una a cada lado del sustrato, de tal modo que la preparación de superficie se coloque a cada lado del sustrato simultáneamente.

La potencia de la instalación es preferentemente de al menos 100 kW o mejor de al menos 200 kW. En una forma de realización preferida, la potencia de instalación es de al menos 500 kW. En la práctica, la potencia de la instalación puede llegar hasta más de 1 MW.

60 Según una forma de realización preferida, la instalación comprende un inductor de desplazamiento de fase. Este inductor comprende una bobina que consiste en un haz de elementos conductores, aislados entre sí, que se devanan alrededor de un mandril; un núcleo de émbolo magnético colocado en el interior de este mandril y aislado de dicho mandril, dividido en varias secciones mediante elementos de inserción; un dispositivo de posicionamiento conectado al núcleo del émbolo; una conexión aislante que conecta el núcleo del émbolo al dispositivo de posicionamiento y un sistema de control capaz de actuar sobre el dispositivo de posicionamiento, con el fin de ajustar la posición del núcleo de émbolo magnético en relación con el mandril.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de formas de realización particulares de la invención, haciendo referencia a las Figuras en donde:

- 5 - la Figura 1 es una vista lateral esquemática de una instalación para preparación de superficie;
- la Figura 2 es un diagrama del circuito equivalente para la instalación de la Figura 1 antes de la formación del plasma;
- 10 - la Figura 3 es un diagrama de circuito equivalente para la instalación de la Figura 1 después de la generación del plasma;
- la Figura 4 es un diagrama de circuito equivalente para la instalación según la invención;
- 15 - la Figura 5 es un oscilograma de tensión/corriente en una instalación convencional;
- la Figura 6 es un oscilograma de tensión/corriente obtenido gracias al proceso de la invención;
- 20 - la Figura 7 es un diagrama de circuito equivalente más detallado del sistema de suministro de energía para la instalación de la invención;
- la Figura 8 es una vista lateral esquemática de una forma de realización de una instalación abierta en sus dos extremos para la preparación de superficie de sustrato de dos caras, según la invención;
- 25 - la Figura 9 es una vista lateral esquemática de una forma de realización de una instalación, cerrada en sus extremos, para la preparación de superficie de sustrato de dos caras, según la invención;
- la Figura 10 es una vista lateral esquemática de una forma de realización de una instalación en el caso de un sustrato aislante;
- 30 - la Figura 11 es una vista lateral esquemática de una bobina de inducción para una instalación según la invención y
- la Figura 12 es una vista en sección transversal de un torón del hilo de devanado utilizado en la bobina de inducción representada en la Figura 11.
- 35

Las Figuras no están necesariamente dibujadas a escala.

En general, los elementos similares se indican por referencias similares en las Figuras, sirviendo la numeración de algunas de ellas para distinguir variantes del mismo elemento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE FORMAS DE REALIZACIÓN PARTICULARES

45 La Figura 1 es una vista esquemática de la instalación según la invención, que aquí se aplica a la producción continua de vidrio mediante el proceso de "vidrio flotante". En particular, la cámara de tratamiento está situada en el denominado *lehr* de recocido. El sentido de desplazamiento corresponde al plano de la lámina en el dibujo. Durante su movimiento operativo, la lámina de vidrio 2 entra en una "cámara" 6 abierta en sus extremos (entrada y salida). Las moléculas 8 previstas para producir especies reactivas se introducen en la cámara 6. Conviene señalar que la forma de introducir estas moléculas (a contracorriente en la Figura 1) se proporciona, a modo de ejemplo, lo que no excluye cualquier otra forma de introducción (perpendicular al sustrato, etc.).

50 Dos electrodos 1, 10 que se extienden a lo largo de un eje perpendicular a la dirección de desplazamiento de la lámina de vidrio 2 se colocan en la cámara 6. La forma del electrodo ilustrado en la Figura 1 se proporciona a modo de ejemplo. Cualquier otra geometría no queda excluida.

55 Puesto que se aplica una alta tensión a alta frecuencia entre estos electrodos 1, 10, se genera un plasma 12 (representado esquemáticamente por una serie de líneas paralelas), con lo que se generan especies activas derivadas de las moléculas 8 introducidas en la cámara 6, lo que hace posible la preparación de superficie. La tensión está preferentemente comprendida entre 1 kV y 200 kV pico a pico, más preferentemente entre 5 kV y 100 kV pico a pico e incluso más preferentemente, entre 10 kV y 40 kV pico a pico. La frecuencia está preferentemente comprendida entre 10 kHz y 1000 kHz, más preferentemente entre 20 kHz y 400 kHz e incluso más preferentemente entre 50 kHz y 200 kHz.

60 Para reducir el posible riesgo de formar arcos eléctricos directamente entre los dos electrodos, se puede colocar una barrera dieléctrica 14 en la cámara entre las posiciones de los dos electrodos 1, 10. Puesto que la cámara 6 es del tipo abierto, es necesario utilizar también medios de extracción potentes que eliminen los productos de reacción generados por el proceso. Por supuesto, que lo que se ha descrito anteriormente en el horno *lehr* de recocido de una producción de

vidrio continua se aplica *mutatis mutandis* en particular a una producción de acero continua. En el caso de producción de vidrio y de producción de acero, el electrodo 1 puede servir también ventajosamente como medio de soporte/transporte de sustrato. Además, en el caso particular en el que el sustrato sea conductor, como es el caso en la metalurgia, dicho sustrato puede por sí mismo actuar como un electrodo.

5 El problema que generalmente surge en este tipo de proceso, cuando se desea llevarlo desde la etapa experimental a la producción industrial, es la baja eficiencia obtenida con respecto a la energía consumida para generar el plasma. En consecuencia, esta eficiencia debe mejorarse para hacer el proceso no solamente energéticamente rentable, sino también para permitir que el proceso genere energía activa suficiente para ser eficiente. Un estudio a fondo de todos los factores que se relacionan con la energía fue, por lo tanto, realizado y de este modo se hizo posible reducir, muy esquemáticamente, la instalación en cuestión a dos diagramas de circuitos equivalentes, según se representan en las Figuras 2 y 3.

15 La Figura 2 es un diagrama de circuito equivalente muy simplificado para la instalación antes de la ignición, aplicándose una alta tensión entre los electrodos 1, 10. La instalación de la descarga en la cámara 6 consiste esencialmente en añadir capacitancias en paralelo y en serie, esto es, C_p (capacitancia parásita en paralelo con una resistencia parásita R_p), C_d (capacitancia del dieléctrico y/o del sustrato) y C_g (capacitancia del gas).

20 La Figura 3 representa el mismo diagrama de circuito cuando se genera el plasma. En este momento, la capacitancia C_g se pone en paralelo con una resistencia R_g , que representa la resistencia del plasma.

25 En ausencia de una descarga (esto es, en tanto que la tensión aplicada entre los electrodos es inferior a la tensión de encendido), el valor de R_g es muy alto y la corriente total proporcionada por la fuente es, en la práctica, puramente capacitiva, siendo la parte reactiva esencialmente dependiente de la pérdida dieléctrica en el aislador del electrodo superior y/o el electrodo inferior y en el sustrato. Durante la descarga, la corriente "útil" I_g circula a través del plasma siempre manteniéndose baja en comparación con su componente capacitiva. El uso de la fuente de tensión es por lo tanto, limitado, disipándose la potencia entregada al generar una corriente reactiva muy alta, mientras que solamente la componente activa, que proporciona la potencia "vatiada" esto es, en fase, a la descarga ($P_w = R_g I_g^2$) es de utilidad.

30 Para compensar la falta de potencia vatiada, se tomó en consideración la colocación de una bobina de inducción L actuando como "depósito de energía" en paralelo con la instalación, posibilitando así la generación de una corriente en oposición de fase con la energía absorbida por la carga capacitiva. Esto permite una recuperación casi completa de la energía implicada. Por lo tanto, se obtiene un diagrama de circuito equivalente según se ilustra en la Figura 4.

35 Sin embargo, conviene señalar que este tipo de compensación no es similar a la compensación obtenida, a modo de ejemplo, colocando una bobina de inducción en paralelo con una línea de distribución de corriente. Esto es así porque lo que está aquí implicado no es una componente capacitiva fija, como es el caso en una red de distribución, sino una carga eminentemente variable en función de la frecuencia (en este caso, frecuencia del nivel de kilohertzios), el espesor del sustrato y los reactivos introducidos en la cámara (que inducen variaciones en las propiedades eléctricas y dieléctricas del gas y del plasma, etc.). En consecuencia, es necesario utilizar un tipo muy particular de bobinas de inducción, capaces no solamente de soportar las condiciones de carga generadas en una instalación de alta potencia, a alta tensión, por supuesto, sino también a alta frecuencia y teniendo, además, la posibilidad de ajustarse de forma relativamente fina en función de las condiciones impuestas durante cada tipo de preparación de superficie. Esto es así porque la carga resultante variará, en particular, en función de los diversos parámetros del proceso tales como, a modo de ejemplo, la naturaleza de las especies activas generadas, el espesor del vidrio, la separación entre el sustrato y cada uno de los electrodos. Esta separación está preferentemente comprendida entre 0,5 mm y 100 mm, más preferentemente entre 1 mm y 20 mm e incluso más preferentemente, entre 3 mm y 6 mm.

50 Varias pruebas mostrando la posibilidad de utilizar el proceso de la invención en una manera práctica concreta llegaron a obtener una consecuencia ventajosa imprevista de este proceso.

La Figura 5 ilustra que otro fenómeno es responsable, en parte, por la eficiencia mediocre de una instalación de preparación de superficie de plasma DBD: cuando se aplica una alta tensión de HF, para cada semiperiodo, se puede sostener una descarga solamente durante el periodo de tiempo t_1 cuando la tensión aplicada es superior a una tensión de encendido V_1 . Este intervalo de tiempo depende, en última instancia, de los parámetros anteriormente descritos. Por supuesto, este fenómeno se repite cada semiperiodo. La eficiencia del proceso está limitada, por lo tanto, por la relación de t_1 a la longitud de un semiperiodo.

60 Según la Ley de Fourier, si una fuente suministra un dipolo no lineal, la corriente resultante no será lineal y tendrá una forma compleja que se puede descomponer en una superposición de varias curvas, esto es, las que tienen una frecuencia "fundamental" y una suma de armónicos.

65 En el presente caso, se ha encontrado que interponiendo una bobina de inducción en el circuito se da lugar a una distorsión de la curva correspondiente a la circulación de corriente a través del plasma, según se ilustra en la Figura 6. Esta curva se puede descomponer utilizando el principio de las series de Fourier en una frecuencia fundamental y una serie de armónicos, de los que son más significativos, debido a su amplitud, los 3º y 5º armónicos impares. Según puede

observarse en la Figura 6, la curva correspondiente a la circulación de corriente tiene una especie de “meseta” durante un intervalo de tiempo t_2 mucho mayor que el intervalo t_1 observado en la curva representada en la Figura 5. La longitud de este intervalo se puede optimizar variando las características del circuito y, en particular, la frecuencia y la inductancia del inductor L. En consecuencia, en la instalación de la invención, interponiendo una bobina de inducción ajustable de características adecuadas, es posible obtener, siendo todos los demás factores iguales, no solamente un aumento en la potencia activa sino también un tiempo de descarga más largo y, en consecuencia, una eficiencia energética mucho mejor.

La Figura 7 es un esquema de circuito equivalente más completo que el representado en la Figura 4 y demuestra mejor las características particulares de la propia instalación, si se compara con la técnica anterior. Haciendo referencia a este esquema de circuito, puede deducirse que todos los ajustes (filtrado, compensación, etc.) hacen posible tener una curva de tensión/corriente estabilizada y ópticamente compensada ($\cos\phi$) que se realiza esencialmente en el devanado primario 601 del transformador de alimentación 602. En consecuencia, el único medio de ajuste necesario para conseguir el desplazamiento de fase, representado en la Figura 6, en el circuito secundario 604 de este transformador 602, es la bobina de inducción variable 606, diseñada especialmente para funcionar a muy alta tensión y dispuesta en paralelo con el generador del plasma.

Por lo tanto, la fuente de suministro de energía está controlada en la manera siguiente: se utiliza un generador aperiódico que está constituido por un inversor 608 (que convierte la corriente de alimentación continua DC a una corriente alterna AC), un circuito oscilador en paralelo y una bobina de inducción variable LV1 para ajustar la frecuencia de servicio y proporcionar la potencia activa correcta. Colocado en el circuito primario del transformador de muy alta potencia, existe un controlador de potencia 610 y sus circuitos de seguridad asociados (P/S) 612.

Gracias al esquema de circuito representado en la Figura 7, es muy sencillo, en adelante, ajustar la inductancia de la bobina de inducción LV2 de tal manera que la carga constituida por LV2, C_r y C_p permanezca no lineal con el fin de favorecer los armónicos de tercer orden y de quinto orden, que permiten que un plasma estable se sostenga durante un tiempo apreciablemente más largo por semiperiodo (véase Figuras 5 y 6).

Las operaciones realizadas en el primario 601 y en el secundario 604, respectivamente, del transformador funcionan, por lo tanto, en una contradicción aparente: el objetivo es, en primer lugar (en el primario) aumentar el valor de $\cos\phi$ de la instalación (con lo que se incrementa su eficiencia aparente) y, además, en el secundario, este valor óptimo se degrada con el fin de generar armónicos, lo que, paradójicamente aumenta la eficiencia de la deposición del plasma.

Si se añade que la bobina de inducción de muy alta potencia, insertada en el circuito secundario, se eleva a una muy alta tensión, la instalación así diseñada comprende una serie de características que son paradójicas para los expertos en esta materia.

La potencia activa se aumenta preferentemente en al menos un 10%, más preferentemente en al menos un 25% e incluso más preferentemente, en al menos un 50%. El tiempo de descarga se aumenta preferentemente en al menos un 15%, más preferentemente en al menos un 30% e incluso más preferentemente en al menos un 60%. Conviene señalar, además, que para determinar la inductancia “óptima” de la bobina de inducción, es necesario tener en cuenta la inductancia intrínseca del circuito de suministro de potencia (que incluye un transformador), con dicha inductancia intrínseca no siendo necesariamente despreciable. Puesto que el circuito de suministro de potencia tiene su propia frecuencia resonante, la inductancia de L puede, bajo determinadas condiciones, reducirse en gran medida.

Entre las ventajas del proceso según aquí se describe, pueden citarse las siguientes:

- debido al aumento en la eficiencia de la preparación de superficie, es posible reducir la cantidad de moléculas utilizadas, con lo que se generan ahorros de costes adicionales;
- un aumento en la rapidez de la preparación de superficie, con la consecuencia de que se reduce el tiempo de tratamiento. Por lo tanto, es posible para los sustratos desplazarse a más alta velocidad para someterse a un tratamiento continuo. Por el contrario, se puede reducir la anchura de la cámara de tratamiento, por lo que se puede conseguir un ahorro de espacio no insignificante;
- mejor descomposición de las moléculas activadas se observa durante las reacciones que tienen lugar dentro del plasma y por lo tanto, una mejor eficiencia de la preparación de superficie. En consecuencia, las superficies se pueden preparar sin tener que realizar etapas de pretratamiento.

Por último, es también posible, según se ilustra en la Figura 8, mediante una elección adecuada de las características, trabajar simultáneamente en ambos lados del sustrato, puesto que existe la posibilidad, utilizando varias disposiciones convenientes (separación física o aparato de extracción adecuadamente situado), de introducir diferentes moléculas 8, 108 a uno u otro lado del sustrato en las dos zonas del plasma (12, 112). Además, la distancia entre el sustrato 1 que se va a preparar y los dos electrodos (10, 110) cubiertos con dieléctricos (14, 114) pueden ajustarse también en función de los criterios de preparación deseados. Por lo tanto, el esquema de circuito equivalente, para dicha instalación, es más complejo y resulta posible controlar sus características solamente por la presencia del inductor ajustable característico de

la instalación, según la invención. Además, la presencia de dos separaciones que actúan como condensadores en serie *a priori* reduce la corriente de descarga y por lo tanto, la ventaja de la presente invención.

5 Conviene señalar que lo que se ha descrito anteriormente para una instalación de preparación de superficie continua se aplica *mutatis mutandis* a una instalación abierta en relación con sustratos discontinuos, tales como, por ejemplo, volúmenes precortados de vidrio. La Figura 9 representa una cámara cerrada (106) diseñada para la preparación de superficie de sustrato discontinua. En este caso, uno o dos dispositivos de cierre (132) hacen posible trabajar a la presión atmosférica o trabajar a presiones distintas de la presión atmosférica (normalmente entre 10^{-1} Pa y 110 kPa) (en el caso de la instalación representada en la Figura 1, es necesario utilizar dispositivos de extracción potentes para alejarse de la presión ambiente). En el caso de un proceso que opere a presión reducida, es posible trabajar con mayores separaciones o con sustratos (en el caso de una superficie aislante) de mayor espesor. Dicha instalación de preparación de superficie puede, a modo de ejemplo, incorporarse en una línea de deposición de película que trabaja a baja presión, del tipo de pulverización de magnetrón, teniendo lugar obviamente la preparación de superficie antes de la fase de deposición.

15 Las ventajas asociadas con la generación de un plasma en ambos lados de un sustrato son numerosas. De hecho, el número de aplicaciones técnicas para un sustrato tratado en ambos lados es cada vez mayor.

20 La Figura 10 es una variante de la instalación ilustrada en la Figura 9. Si el sustrato es aislante, bajo las condiciones predominantes en la cámara de preparación, dicho sustrato, por sí mismo, puede formar una barrera dieléctrica, que proporciona la posibilidad de no tener que utilizar una barrera dieléctrica adicional. De este modo, es posible dispensar al menos una barrera dieléctrica adicional (14, 114).

25 La Figura 11 es una representación simplificada de una forma de realización de la bobina de inducción compensadora 20 para la instalación según la invención. Esta bobina de inducción 20 está esencialmente constituida por un devanado 22 realizado alrededor de un mandril 24. Puesto que la tensión a través de sus terminales puede ser de 60 kV, la elección del material utilizado para el mandril que soporta el devanado es muy importante. En una forma de realización preferida, se utilizó como material Acculon. Un núcleo de émbolo 26, cuidadosamente aislado y mecánicamente conectado a un dispositivo de posicionamiento 28, controlado por un sistema de control, se coloca en el interior de este mandril 24. Considerando las condiciones operativas particulares a las que debe enfrentarse esta bobina de inducción en uso, se han adoptado una serie de innovaciones en su construcción práctica. De este modo, el devanado 22 se realiza con un haz de hilos de cobre 30 (véase Figura 12), que están aislados con el fin de aumentar la sección transversal del flujo para la corriente de alta frecuencia HF (teniendo en cuenta el efecto pelicular) y también para reducir el calentamiento. De este modo, es posible dividir la corriente de HF total por un factor de 50 produciendo un haz de conductores que consiste en 50 torones mutuamente aislados. El paso del devanado es fijo, de modo que el riesgo de la formación de arco entre espiras es lo más bajo posible. Un devanado constituido por una capa única es por lo tanto preferible, aunque tiene la consecuencia de que el dispositivo, en su integridad, es de grandes dimensiones. La posición del núcleo magnético 26, y por lo tanto, la inductancia de la bobina de inducción 20, se ajusta mediante telecontrol de modo que esta operación se pueda realizar sin peligro para el operador.

40 Debe ser obvio para un experto en esta materia que la presente invención no está limitada a las formas de realización, a modo de ejemplo, ilustradas y descritas anteriormente. La invención comprende cada una de las nuevas características y también sus combinaciones. La presencia de números de referencia no se puede considerar como limitadora. El uso del término "comprende" o el término "incluye" no puede excluir, en manera alguna, la presencia de otros elementos, que no sean los mencionados. El uso del artículo indefinido "un" o "una" para introducir un elemento no excluye la presencia de una pluralidad de estos elementos. La presente invención se ha descrito en relación con formas de realización concretas, que son puramente ilustrativas y no deben considerarse como limitadoras.

REIVINDICACIONES

- 5
1. Un proceso para la preparación de superficie de sustratos inorgánicos, caracterizado porque comprende las operaciones siguientes:
- un sustrato se introduce o se hace extender a través de una cámara de reacción (6, 106), en donde al menos dos electrodos (1, 10, 110) están colocados, estando al menos una barrera dieléctrica (14, 114) colocada entre estos al menos dos electrodos (1, 10, 110);
 - 10 - una tensión de alta frecuencia se genera, siendo dicha tensión tal que genera un plasma filamentario (12, 112) entre los al menos dos electrodos (1, 10, 110);
 - un inductor ajustable (L) colocado en paralelo con el inductor intrínseco de la instalación, que genera la tensión eléctrica, se emplea de modo que se reduzca el desplazamiento de fases entre la tensión y la corriente que se genera;
 - 15 - moléculas (8, 108), de al menos un tipo, se introducen en la cámara de reacción (6, 106) de modo que, al producirse el contacto con el plasma, generen especies activas capaces de reaccionar con la superficie del sustrato;
 - 20 - la tensión y/o la frecuencia suministrada por el circuito del generador y/o la inductancia del inductor ajustable (L) se adaptan al principio de, o durante el proceso, de modo que se obtengan características de reacción óptimas;
 - el sustrato (2) se mantiene dentro de la cámara durante un periodo de tiempo suficiente para obtener una preparación de superficie deseada en al menos uno de los lados de dicho sustrato;
 - 25 - la tensión y/o la frecuencia suministrada por el circuito del generador y/o la inductancia del inductor (L) se adaptan de modo que se favorezca la producción de armónicos que prolongan el tiempo, durante cuyo tiempo la tensión permanece por encima de la correspondiente al sostenimiento de la descarga eléctrica.
- 30 2. El proceso según la reivindicación 1, caracterizado porque los armónicos de tercer orden y de quinto orden son esencialmente favorecidos.
3. El proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque comprende, además, la operación siguiente: la posición y/o la configuración de al menos un electrodo (1, 10, 110) se varía de modo que se obtengan características de reacción óptimas.
- 35 4. El proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque comprende, además, la operación siguiente: la atmósfera dentro de la cámara (6, 106) es llevada a una presión predeterminada.
- 40 5. El proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la cámara (6) está abierta y comprende una zona de entrada y una zona de salida para el sustrato.
- 45 6. El proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la cámara (106) está cerrada en sus dos extremidades.
7. EL proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el sustrato (2) es aislante y constituye, por sí mismo, una barrera dieléctrica.
- 50 8. El proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el sustrato (2) es conductor y forma, por sí mismo, un electrodo.
9. Instalación para la preparación de superficie de sustratos (2) que comprende: una cámara (6, 106); medios de transporte y medios de soporte para el sustrato dentro de la cámara; un suministro de energía de alta tensión y alta frecuencia, conectado a los al menos dos electrodos (1, 10, 110), estando dichos electrodos situados a cada lado del sustrato (2); al menos una barrera dieléctrica (14, 114) colocada entre los al menos dos electrodos (1, 10, 110); medios de regulación/control del suministro de energía para la introducción en el interior de la cámara (6, 106) de moléculas (8, 108) adaptadas para la generación, como consecuencia del contacto con un plasma filamentario, de especies activas capaces de reaccionar con la superficie del sustrato y medios para extraer sustancias residuales, caracterizada porque un inductor ajustable (L) está colocado en paralelo con la inductancia del circuito del suministro de energía, siendo las características de este inductor ajustable (L) tales que permite el desplazamiento de fases entre la tensión generada entre los electrodos (1, 10, 110) y la corriente total suministrada por la fuente de alta tensión.
- 55 60 10. Instalación para la preparación de superficie según la reivindicación 9, caracterizada porque los medios de regulación del suministro de energía y los medios de control de la inductancia (L) están acoplados de modo que permitan la generación de armónicos que prolonguen el tiempo, durante el cual la tensión entre los electrodos (1, 10, 110) se mantiene a un valor superior al necesario para el sostenimiento de la descarga eléctrica.
- 65

11. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, caracterizada porque la cámara (6) está abierta en sus dos extremidades.
- 5 12. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, caracterizada porque la cámara (106) está cerrada en sus dos extremidades.
13. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizada porque la cámara (6) está incorporada en una línea de producción de sustrato de tipo continuo y/o discontinuo.
- 10 14. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9, 10 y 12, caracterizada porque la cámara (106) está incorporada en una línea de producción de sustrato de tipo discontinuo.
- 15 15. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, caracterizada porque los medios de soporte y/o de transporte constituyen uno de los electrodos (1).
16. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9, 10 y 12, caracterizada porque está incorporada en una línea de deposición que funciona a baja presión.
- 20 17. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14 y 16, caracterizada porque el plasma se genera en dos zonas separadas que se depositan en cada lado del sustrato, de tal manera que la superficie sea preparada simultáneamente a cada lado de este sustrato.
- 25 18. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17, caracterizada porque la potencia de la instalación es de al menos 100 kW.
- 30 19. Instalación para la preparación de superficie según la reivindicación 18, caracterizada porque la potencia de la instalación es de al menos 200 kW.
- 35 20. Instalación para la preparación de superficie según la reivindicación 19, caracterizada porque la potencia de la instalación es de al menos 500 kW.
- 40 21. Instalación para la preparación de superficie según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 20, caracterizada porque el inductor comprende:
- 45 - una bobina (22) que se compone de un haz de elementos conductores (30) aislados entre sí, que se devana alrededor de un mandril (24);
- un núcleo de émbolo magnético (26) colocado en el interior de este mandril (24) y aislado de dicho mandril (24);
- 40 - un dispositivo de posicionamiento (28) conectado al núcleo del émbolo (26);
- un enlace de aislamiento que une el núcleo del émbolo (26) al dispositivo de posicionamiento y
- 45 - un sistema de control capaz de actuar sobre el dispositivo de posicionamiento, de modo que se ajuste la posición del núcleo del émbolo magnético (26) con respecto al mandril (24).

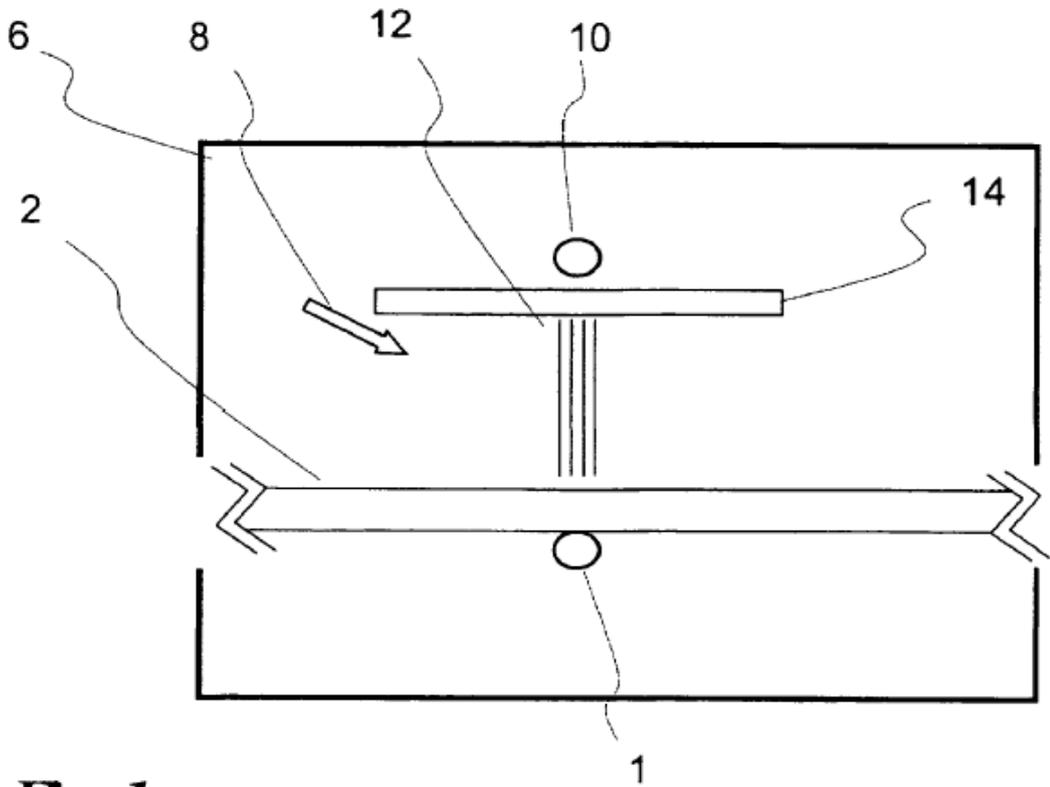


Fig. 1

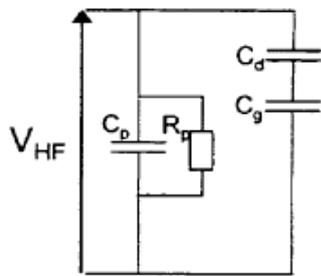


Fig. 2

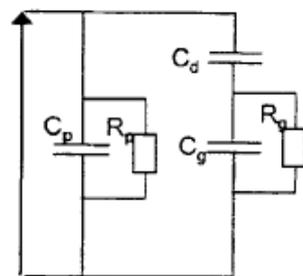


Fig. 3

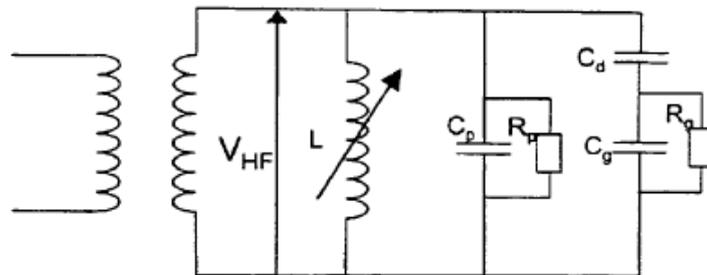


Fig. 4

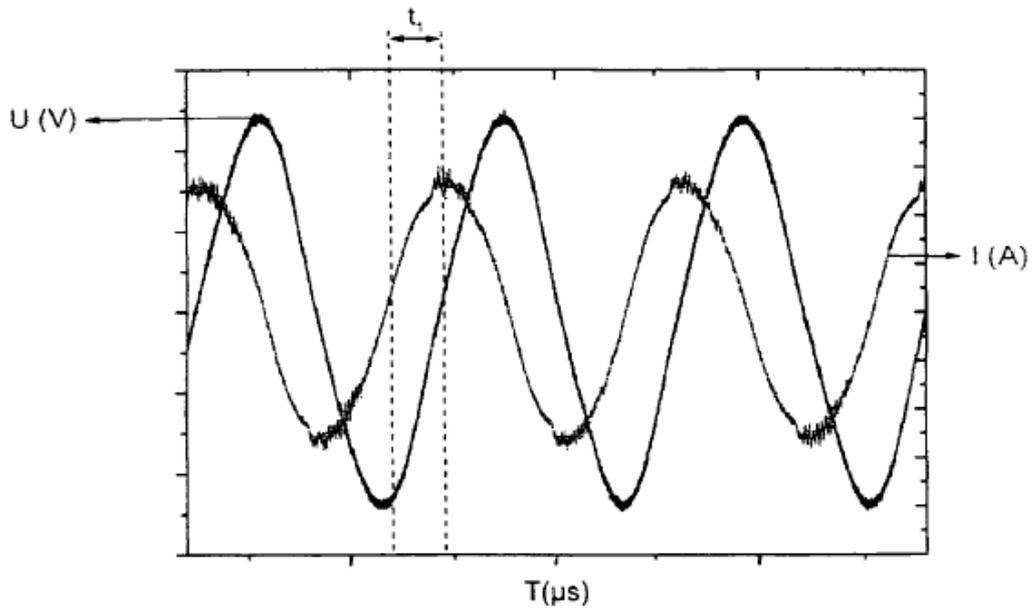


Fig. 5

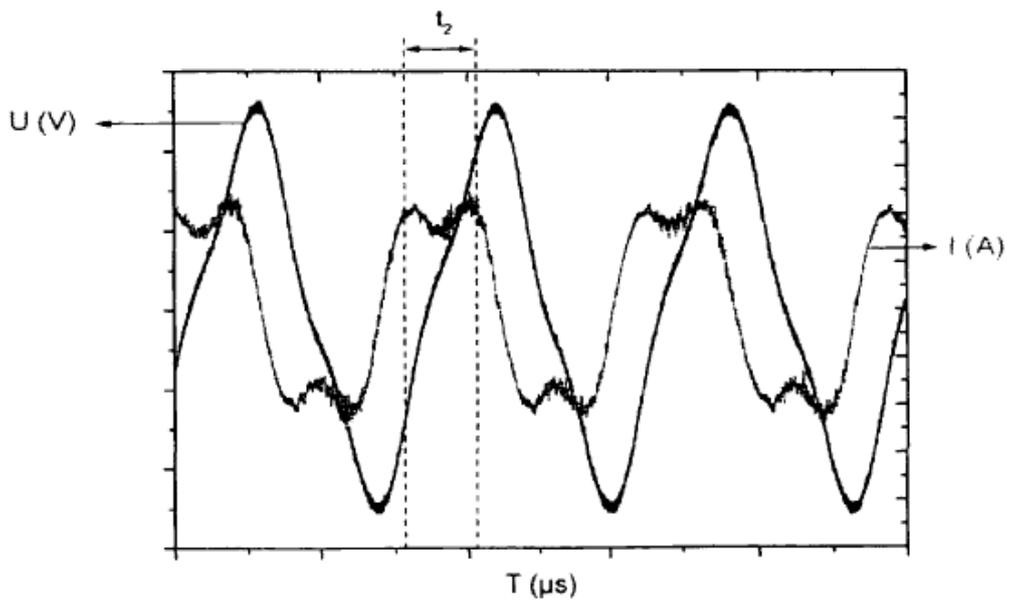


Fig. 6

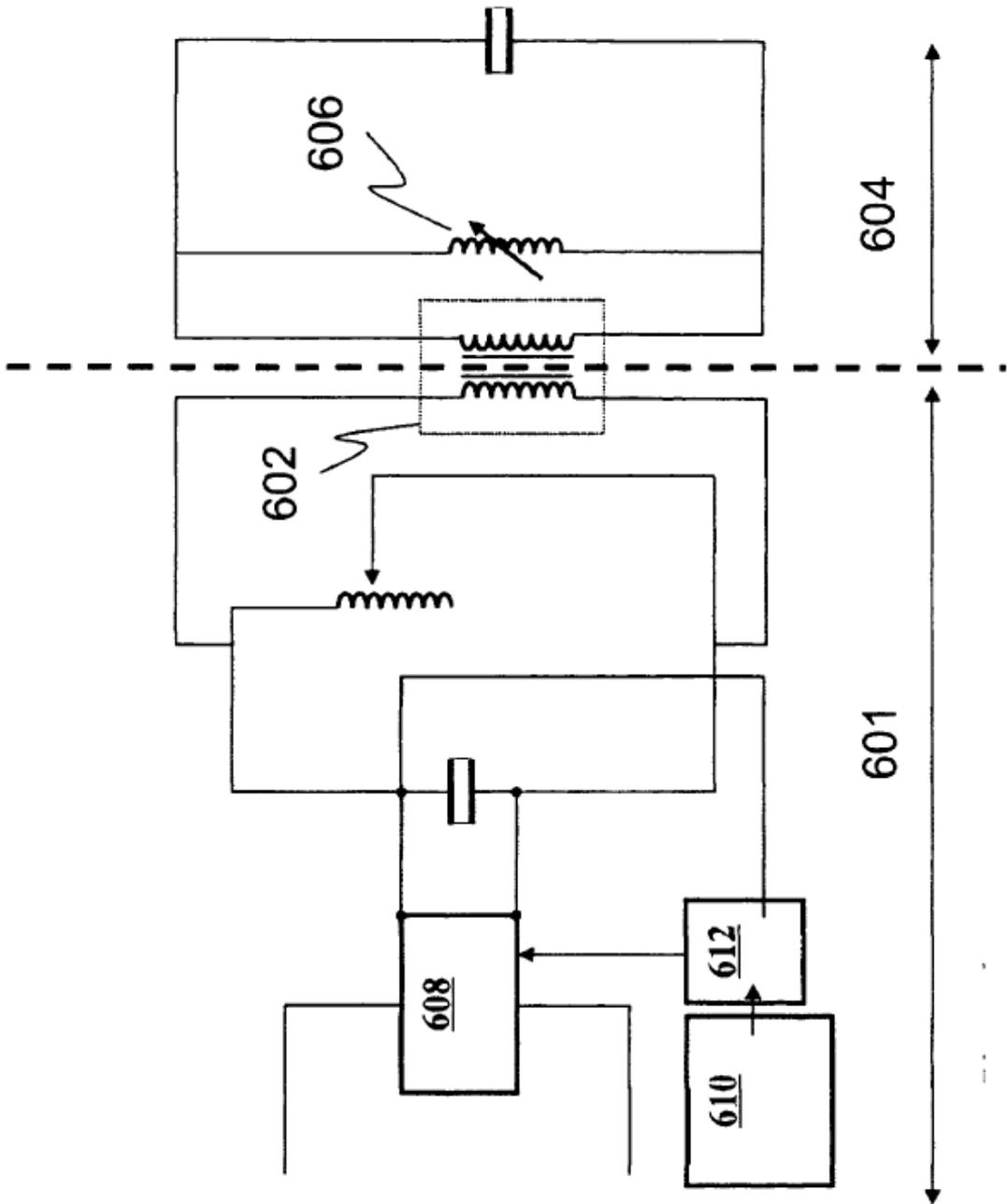


Fig. 7

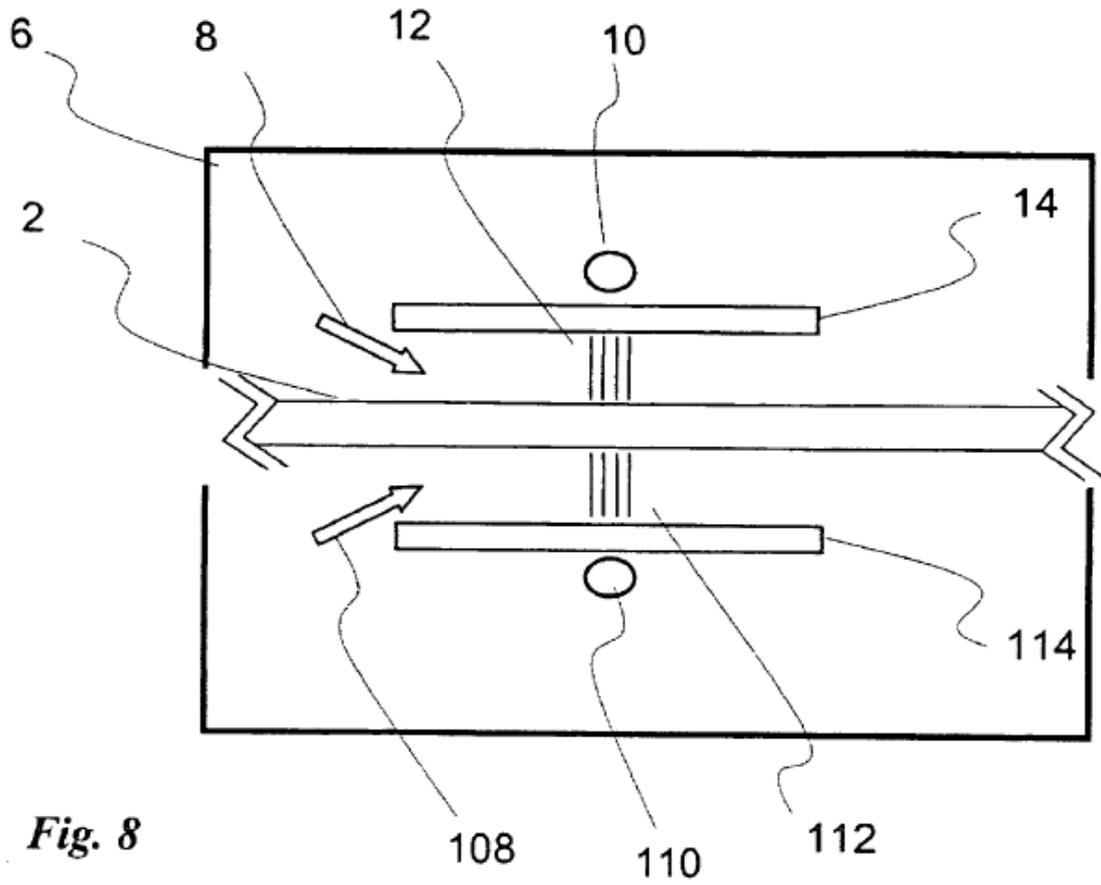


Fig. 8

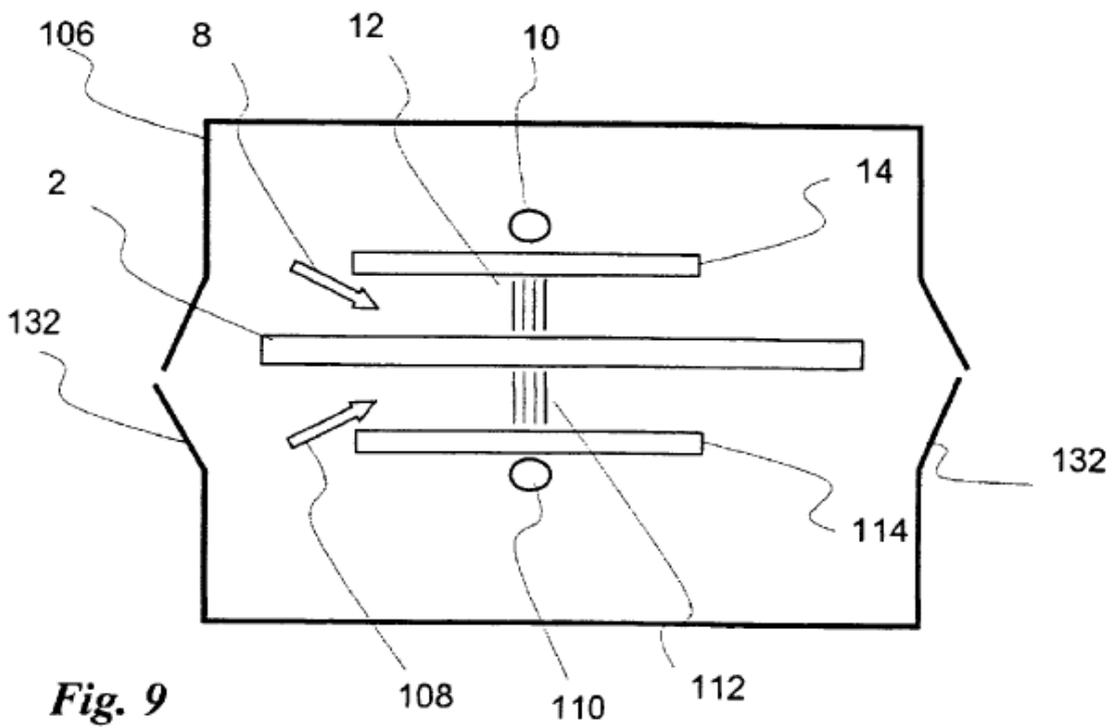


Fig. 9

