

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 458 515**

51 Int. Cl.:

H05H 1/34 (2006.01)

H05H 1/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2007** **E 07786583 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2014** **EP 2177093**

54 Título: **Conjunto de cátodo y método de generación de plasma pulsado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2014

73 Titular/es:

**PLASMA SURGICAL INVESTMENTS LIMITED
(100.0%)
Sea Meadow House P.O. Box 116 Road Town
Tortola, VG**

72 Inventor/es:

SUSLOV, NIKOLAY

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 458 515 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

Conjunto de cátodo y método de generación de plasma pulsado

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un conjunto de cátodo de dispositivos generadores de plasma y a un método de generación de plasma y, más particularmente, un plasma pulsado.

ANTECEDENTES

10 La generación de plasma pulsado con impulsos y períodos inactivos de duración relativamente corta presenta una serie de desafíos únicos. Existen varias limitaciones de los dispositivos generadores de plasma conocidos actualmente que hacen que su uso para la generación de plasma pulsado sea poco práctico.

15 En general, un dispositivo generador de plasma comprende un cátodo y un ánodo. Un gas generador de plasma, que es típicamente un gas noble, fluye en un canal que se extiende longitudinalmente entre el cátodo y a través del ánodo. Conforme el gas generador de plasma atraviesa el canal de plasma, se calienta y se convierte en plasma mediante un arco eléctrico establecido entre el cátodo y el ánodo. Las partes del canal de plasma pueden estar formadas por uno o más electrodos intermedios.

20 La generación de plasma se produce en tres fases. La primera fase, denominada descarga de chispa, se produce cuando se establece una chispa eléctrica entre el cátodo y el ánodo. La segunda fase, denominada descarga luminiscente, se produce cuando los iones cargados positivamente, formados como resultado del movimiento de los electrones cargados negativamente en la chispa eléctrica, bombardean el cátodo. La tercera fase, denominada
25 descarga de arco, se produce después de que una parte del cátodo es calentada suficientemente por el bombardeo de iones de manera que empieza a emitir un número suficiente de electrones para mantener la corriente entre el cátodo y el ánodo para calentar el gas generador de plasma. El arco eléctrico calienta el gas generador de plasma, que forma el plasma. Cada vez que se genera plasma de alta temperatura, el gas generador de plasma tiene que pasar por las tres fases.

30 En los dispositivos de la técnica anterior, en el arranque, la corriente que pasa entre el cátodo y el ánodo simplemente se aumenta al nivel operativo deseado. Este rápido aumento en la corriente, sin embargo, no puede mantenerse durante las fases de descarga de chispa y de descarga luminiscente. Sólo una vez que se ha alcanzado la fase de descarga de arco y que el cátodo comienza a emitir electrones termoiónicamente con una
35 velocidad suficiente para mantener dicha una corriente, el nivel operativo aplicado de corriente comienza a fluir entre el cátodo y el ánodo. Al intentar hacer pasar un alto nivel operativo de corriente a través del cátodo antes de que comience a emitir electrones termoiónicamente con una velocidad suficientemente alta para mantener dicha corriente ejerce un estrés sobre el cátodo, el cual, finalmente, causa su destrucción después de un número relativamente bajo de arranques.

40 La generación de plasma pulsado requiere frecuentes arranques del dispositivo generador de plasma en rápida sucesión. Por ejemplo, en el tratamiento de la piel, una única sesión de tratamiento con plasma pulsado puede requerir miles de impulsos y, por consiguiente, miles de arranques. Los métodos de la técnica anterior de arranque de los dispositivos generadores de plasma no son adecuados para la generación de plasma pulsado ya que el
45 cátodo puede resultar dañado durante la sesión.

En la actualidad, pueden usarse dos tipos de dispositivos para la generación de impulsos de gas ionizado. El dispositivo descrito en la patente US N° 6.629.974 es un ejemplo del primer tipo. En los dispositivos de este tipo, se genera una descarga de corona haciendo pasar gas generador de plasma, tal como nitrógeno, a través de un campo eléctrico alterno. El campo eléctrico alterno crea un movimiento rápido de los electrones libres en el gas.
50 Los electrones que se mueven rápidamente chocan con otros electrones de los átomos del gas, formando lo que se conoce como una avalancha de electrones, la cual, a su vez, crea una descarga de corona. Mediante la aplicación del campo eléctrico en impulsos, se genera una descarga de corona pulsada. Entre las ventajas de este método de generación de descarga de corona pulsada es (1) la ausencia de impurezas en el flujo y (2) tiempos de arranque cortos que permiten la generación de un flujo realmente pulsado. Para los propósitos de la presente descripción, un flujo realmente pulsado se refiere a un flujo que se detiene completamente durante el período
55 inactivo del impulso.

Un inconveniente de los dispositivos y métodos del primer tipo es que la descarga de corona generada tiene una temperatura máxima fija de aproximadamente 2,000° C. La descarga de corona formada en el dispositivo nunca se
60 convierte en plasma de alta temperatura ya que no es calentada por un arco eléctrico. Por lo tanto, los dispositivos que generan la descarga de corona pulsada no pueden ser usados para algunas aplicaciones que requieren una

temperatura superior a 2.000° C. En consecuencia, las aplicaciones de los dispositivos del primer tipo están limitadas por la naturaleza del método de descarga eléctrica, que es capaz de producir una descarga de corona, pero no de plasma de alta temperatura.

5 Los dispositivos del segundo tipo generan plasma mediante el calentamiento del flujo de gas generador de plasma que pasa a través de un canal de plasma por un arco eléctrico que se establece entre un cátodo y un ánodo que forman el canal de plasma. Un ejemplo de un dispositivo del segundo tipo se describe en la patente US N° 6.475.215. Según la descripción de la patente US N° 6.475.215, conforme el gas generador de plasma,
 10 preferiblemente argón, atraviesa el canal de plasma, se aplica un voltaje pulsado de corriente continua entre el ánodo y el cátodo. Un voltaje de polarización constante predeterminado puede añadirse o no al voltaje pulsado de CC. Durante un impulso de voltaje, el número de electrones libres en el gas generador de plasma aumenta, resultando en una reducción en la resistencia del plasma y un aumento exponencial de la corriente eléctrica que fluye a través del plasma. Durante el período inactivo, el número de electrones libres en el gas generador de plasma disminuye, resultando en un aumento de la resistencia del plasma y una disminución exponencial en la corriente que fluye a través del plasma. Aunque la corriente es relativamente baja durante el período inactivo, nunca desaparece completamente. Esta corriente baja, denominada corriente en reposo, no es deseable ya que no se genera realmente un flujo de plasma pulsado. Durante el período inactivo, se mantiene un flujo continuo de plasma de baja potencia. En esencia, el dispositivo no genera plasma pulsado, sino más bien un flujo de plasma continuo con picos de energía, denominados impulsos, que simula, de esta manera, un plasma pulsado. Debido a
 20 que el período inactivo es sustancialmente más largo que un impulso, el dispositivo emite una cantidad considerable de energía durante el período inactivo y, por lo tanto, no puede ser usado efectivamente para aplicaciones que requieren un flujo de plasma realmente pulsado. Por ejemplo, si el dispositivo se usa para el tratamiento de la piel, es posible que tenga que ser retirado de la superficie de la piel después de cada impulso, de manera que la piel no esté expuesta al plasma de baja energía durante el período inactivo. Esto perjudica a la
 25 facilidad de uso y a la seguridad del dispositivo.

La reducción del flujo de corriente a través del plasma hasta el valor cero entre impulsos y la re-inicialización del dispositivo para cada impulso de plasma no es práctico cuando se usa el dispositivo descrito en la patente US N° 6.475.215. El reinicio del dispositivo para cada impulso resultaría en la rápida destrucción del cátodo, como
 30 resultado del paso de una corriente alta a través del cátodo sin garantizar que emite suficientes electrones para que el flujo de plasma mantenga esta corriente. El intento de hacer pasar una corriente alta a través del cátodo antes de que comience a emitir electrones con velocidad suficientemente alta para mantener dicha corriente ejerce un estrés sobre el cátodo, el cual, finalmente, causa su destrucción. De manera alternativa, es posible aumentar lentamente tanto el voltaje entre el cátodo y el ánodo como la corriente que pasa a través del plasma. Esta alternativa tampoco es práctica ya que el arranque del dispositivo para cada impulso sería inadmisiblemente largo.

La incapacidad del dispositivo descrito en la patente US N° 6.475.215 y otros dispositivos de este tipo conocidos actualmente en la técnica, para generar un flujo de plasma realmente pulsado es debida a la estructura del dispositivo. Cuando los dispositivos de este tipo arrancan, se produce una cierta erosión de los electrodos debido
 40 al bombardeo iónico. Esta erosión resulta en materiales de electrodo separados, tales como partículas de metal, que fluyen en el plasma. Cuando se usa un flujo de plasma continuo, las impurezas del arranque son una desventaja relativamente menor ya que el arranque y las impurezas asociadas con el mismo, se producen sólo una vez por tratamiento. Por lo tanto, es posible esperar unos pocos segundos después del arranque para que las partículas de electrodo salgan del dispositivo antes de comenzar el tratamiento real. Sin embargo, la espera a que las impurezas salgan del dispositivo cuando se usa un flujo de plasma pulsado es poco práctica ya que las partículas se separan de los electrodos en cada impulso.

Cuando el flujo de plasma ha sido creado anteriormente, sólo se tarda unos pocos microsegundos en aumentar o disminuir la corriente en el flujo de plasma. Además, debido a que no hay arranques durante el tratamiento, no
 50 entran impurezas en el flujo de plasma y no hay estrés sobre el cátodo. Sin embargo, el mantenimiento de incluso una corriente eléctrica débil a través del plasma hace que el dispositivo funcione continuamente por debajo del nivel óptimo para algunas aplicaciones que requieren un flujo de plasma realmente pulsado, tal como se ha descrito anteriormente.

55 Las dificultades en la generación de un flujo de plasma realmente pulsado por medio del calentamiento del gas generador de plasma con un arco eléctrico son debidas principalmente a la naturaleza de los procesos que ocurren en el cátodo y el ánodo. En general y especialmente para aplicaciones médicas, es fundamental garantizar un funcionamiento libre de erosión del ánodo y el cátodo cuando la corriente aumenta rápidamente. Durante el rápido aumento de la corriente, la temperatura real del cátodo puede ser baja y no controlada fácilmente durante las repeticiones subsiguientes del impulso. Durante la generación de un arco eléctrico entre el cátodo y el ánodo, el
 60 área de unión del arco al cátodo depende fuertemente de la temperatura inicial del cátodo. Cuando el cátodo está

frío, el área de unión es relativamente pequeña. Después de varios impulsos, la temperatura del cátodo aumenta, de manera que durante un aumento rápido de la corriente, el área de unión se extiende sobre toda el área superficial del cátodo e incluso sobre un soporte de cátodo. Bajo estas circunstancias, la caída de tensión del cátodo empieza a fluctuar y empieza la erosión del cátodo. Además, si el área de unión del arco eléctrico alcanza el soporte de cátodo, este comienza a fundirse introduciendo, de esta manera, impurezas no deseadas en el flujo de plasma. Para la funcionalidad apropiada del cátodo, es necesario controlar la ubicación y el tamaño exactos del área de unión del arco eléctrico a la superficie del cátodo durante el rápido aumento de la corriente en cada impulso de plasma.

Un arco eléctrico tiende a unirse a las imperfecciones de la superficie (denominadas también irregularidades) en el cátodo. En la técnica anterior, dichas imperfecciones superficiales se creaban alterando la forma de un cátodo cilíndrico. Una imperfección superficial típica usada en la técnica anterior es el ahusamiento del cátodo. El ahusamiento del cátodo crea una punta a la cual tiende a unirse el arco. Otra forma de crear una imperfección es cortando un cátodo cilíndrico en un ángulo. Esto crea también una imperfección a la que tiende a unirse el arco. Aunque estos métodos controlan la ubicación de la unión del arco eléctrico entre sesiones de flujo de plasma continuo, no son suficientes para controlar el tamaño de esa área para el funcionamiento de plasma pulsado debido a la expansión gradual del área de la unión del arco, tal como se ha descrito anteriormente.

Independientemente de estos intentos de controlar la ubicación y el tamaño del área de unión del arco, algunos dispositivos de la técnica anterior usaban múltiples cátodos para diversos propósitos. Por ejemplo, en la patente US N° 1.661.579, se usaban múltiples cátodos en una bombilla de luz basada en plasma para generar una chispa entre los mismos. En la patente US N° 2.615.137, una pluralidad de cátodos se dividen en tres grupos. La energía trifásica se distribuye entre los cátodos de manera que un grupo se usa durante una fase para proporcionar un modo de funcionamiento pseudo-continuo. En la patente US N° 3.566.185 se usa un par de cátodos para la llevar a cabo una pulverización catódica de trazas metálicas desde los cátodos usando partículas aisladas entre los cátodos por un campo magnético. En la patente US N° 4.785.220 se proporcionan múltiples cátodos en un tambor giratorio de manera que los cátodos pueden ser intercambiados sin romper el sello de vacío de una cámara de vacío en la que se producen las descargas eléctricas. La patente US N° 4.713.170 describe un sistema de purificación de agua en el que múltiples cátodos están distribuidos alrededor de un ánodo. Esta configuración de múltiples cátodos se usa para reducir la perturbación sobre el flujo de agua que pasa a través del purificador. En la patente US N° 5.089.707, se usa un conjunto de múltiples cátodos con cátodos eléctricamente aislados para extender la vida útil de un aparato de haz de iones, alternando un cátodo implicado en la generación de arco eléctrico. En las patentes US 5.406.046 y US N° 5.225.625, se usan múltiples cátodos paralelos, separados unos de otros, en un dispositivo de pulverización de plasma para expandir la sección transversal del flujo de plasma para prevenir la obstrucción de un canal de plasma con partículas de polvo. En general, las referencias de la técnica anterior que describen múltiples cátodos no se refieren a los problemas asociados con la generación de plasma pulsado.

Por consiguiente, en la actualidad, existe una necesidad de un conjunto de cátodo y un método de funcionamiento de un dispositivo que usa el conjunto de cátodo que supere las limitaciones de la técnica anterior para la generación de plasma realmente pulsado.

SUMARIO

Un conjunto de cátodo para la generación de plasma pulsado comprende un soporte de cátodo conectado a una pluralidad de cátodos alineados longitudinalmente. Preferiblemente, los cátodos en el conjunto están agrupados de manera tan estrecha como sea posible. Preferiblemente, los cátodos están realizados en tungsteno que contiene lantano. Preferiblemente, los cátodos tienen el mismo diámetro pero diferentes longitudes. De manera óptima, la diferencia de longitud entre los dos cátodos con longitud más parecida es igual aproximadamente el diámetro de un cátodo en el conjunto, que es preferiblemente de 0,5 mm. El conjunto de cátodo según las realizaciones de la presente invención se usa en dispositivos para la generación de plasma pulsado basados en el calentamiento de un gas generador de plasma por un arco eléctrico establecido entre uno de los cátodos y un ánodo. En particular, el conjunto de cátodo comprende (a) un soporte de cátodo; y (b) una agrupación de una pluralidad de cátodos alineados longitudinalmente conectados al soporte de cátodo, con cada cátodo en contacto físico con al menos otro cátodo.

Durante el funcionamiento, en la realización preferida, un gas generador de plasma se hace pasar entre los cátodos y el ánodo, preferiblemente a través de un canal de plasma. Mediante la aplicación de una onda de voltaje de alta frecuencia y gran amplitud entre el ánodo y los cátodos, se producen un gran número de electrones libres. Estos electrones forman una descarga de chispa. La chispa ioniza el gas generador de plasma, que pasa a la fase de descarga luminiscente. Durante la descarga luminiscente, los iones positivos que se forman debido a la ionización de los átomos del gas bombardean los cátodos, calentándolos. Una vez que los extremos de los cátodos

en la dirección hacia el ánodo alcanzan la temperatura de emisión termiónica de electrones, el gas generador de plasma pasa a la fase de descarga de arco y se establece el arco entre los cátodos y el ánodo. El arco se une a todos los cátodos en el conjunto.

5 Una vez establecido el arco entre los cátodos y el ánodo, la corriente se reduce a la magnitud suficiente para mantener el arco o una magnitud ligeramente mayor. Esto hace que el área de unión del arco disminuya. El área de unión disminuye de manera que el arco se une a un único cátodo. Después de mantener esta baja corriente durante un período de tiempo, la corriente se aumenta al nivel operativo del impulso. El área de unión no aumenta significativamente y la emisión de electrones se produce sólo desde el único cátodo. Después de mantener la corriente de funcionamiento durante una duración deseada, el dispositivo pasa al período inactivo sin aplicación de corriente ni voltaje.

10 Este método de funcionamiento evita los problemas de funcionamiento inestable asociados con los métodos de la técnica anterior. Si un conjunto de múltiples cátodo se hace funcionar según este método, los cátodos no se sobrecalientan y el área de unión no se expande al soporte de cátodo. Esto asegura un funcionamiento estable del dispositivo generador de plasma. El método de funcionamiento proporciona también ciertas ventajas cuando se usa en conjuntos de cátodo que tienen un único cátodo.

15 El método de generación de un impulso de plasma comprende (a) hacer pasar una primera corriente a través de uno o más cátodos y un ánodo; (b) hacer pasar una segunda corriente a través del uno o más cátodos y el ánodo, en el que la magnitud de la segunda corriente es menor que la magnitud de la primera corriente; (c) hacer pasar una tercera corriente a través del uno o más cátodos y el ánodo, en el que la magnitud de la tercera corriente es mayor que la magnitud de la primera corriente; y (d) cesar la tercera corriente que pasa a través del uno o más cátodos y el ánodo.

25 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra un dispositivo básico para la generación de plasma pulsado;
 La Figura 2 ilustra un conjunto de cátodo de la realización preferida en tres dimensiones;
 La Figura 3 ilustra un dispositivo para la generación de plasma pulsado adoptado para tratamiento de la piel;
 La Figura 4A ilustra un patrón de voltaje entre un ánodo y los cátodos para la generación de cada impulso;
 La Figura 4B ilustra un patrón de corriente aplicada a los cátodos, el gas generador de plasma en un canal de plasma y un ánodo para la generación de cada impulso;
 Las Figuras 5A-I ilustran los procesos que ocurren en un canal de plasma durante la generación de un impulso;
 La Figura 6A ilustra la temperatura de un cátodo en un conjunto de un único cátodo y el área de unión del arco después de un número de impulsos generados según los métodos conocidos actualmente en la técnica anterior;
 La Figura 6B ilustra la temperatura de los cátodos en un conjunto de múltiples cátodos y el área de unión del arco después de un número de impulsos generados según las realizaciones de la presente invención;
 La Figura 7A es un esquema de una vista microscópica de un conjunto de un único cátodo después de 500 impulsos generados según los métodos de la técnica anterior; y
 La Figura 7B es un esquema de una vista microscópica de un conjunto de múltiples cátodos después de 40.000 impulsos generados según las realizaciones del método de la presente invención.

45 DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

En una realización ejemplar, un conjunto de cátodo que tiene múltiples cátodos es una parte de un dispositivo generador de plasma. No hay límite teórico en el número de cátodos en el conjunto, siempre que haya por lo menos dos. La Figura 1 muestra una vista esquemática de la sección transversal longitudinal de dicho un dispositivo. El soporte 2 de cátodo tiene tres cátodos 10, 20 y 30 alineados longitudinalmente, uno con el otro. El ánodo 4 está situado a una distancia de los cátodos. En la realización preferida, inicialmente, los cátodos tienen superficies 12, 22 y 32 planas, respectivamente, en los extremos más cercanos al ánodo 4 (los "extremos de ánodo"). La superficie plana forma bordes 14, 24 y 34, respectivamente. La Figura 2 muestra una vista tridimensional del conjunto de cátodo.

55 En términos geométricos, los cátodos deben estar agrupados. Agrupar quiere decir que todos los cátodos están dispuestos como un único grupo, con cada cátodo tocando longitudinalmente al menos otro cátodo y ninguno de los cátodos está separado del grupo. Preferiblemente, los cátodos se agrupan tan estrechamente como sea posible. Sin embargo, es suficiente que cada cátodo en el conjunto esté en contacto físico con al menos otro cátodo en la agrupación. En teoría, los cátodos en el conjunto pueden tener diámetros diferentes. En la realización preferida, sin embargo, los cátodos 10, 20, 30 tienen el mismo diámetro, preferiblemente de 0,5 mm. En algunas

realizaciones, al menos un cátodo en el conjunto tiene una longitud que es diferente de la longitud de al menos otro cátodo. En la realización preferida, todos los cátodos en el conjunto tienen longitudes diferentes. Preferiblemente, la diferencia más pequeña en la longitud entre dos cátodos es aproximadamente igual al diámetro de un cátodo, que es de 0,5 mm en la realización preferida del conjunto.

5 En algunas realizaciones, el dispositivo que aloja el conjunto de cátodo comprende también un canal 6 de plasma que se extiende entre los cátodos 10, 20, 30 y a través del ánodo 4. En algunas realizaciones, el canal de plasma está formado por uno o más electrodos intermedios. En algunas realizaciones, los extremos de ánodo de los cátodos 10, 20, 30 están situados en una cámara de plasma conectada al canal de plasma. El conjunto de cátodo
10 puede ser usado en otros dispositivos, tales como por ejemplo el dispositivo generador de plasma pulsado mostrado en la Figura 3.

Sin embargo, los dispositivos que pueden alojar el conjunto de cátodo no se limitan a dispositivos generadores de plasma. En algunas realizaciones, el conjunto de cátodo puede ser usado en una fuente de luz o como una parte
15 de un dispositivo de comunicación. En general, el conjunto de cátodo puede ser usado en cualquier dispositivo que requiera el establecimiento de arcos eléctricos de corta duración entre cátodos y un ánodo.

Para los propósitos de describir los métodos de funcionamiento, se usa una realización del dispositivo mostrado en la Figura 3. Sin embargo, cabe señalar que los métodos de funcionamiento descritos a continuación
20 proporcionarían los mismos beneficios si se usaran en conexión con el conjunto de múltiples cátodos en otros dispositivos. Además, los métodos de funcionamiento pueden ser usados en conexión con conjuntos de un único cátodo, aunque el uso de estos métodos de funcionamiento en un conjunto de múltiples cátodos es más eficaz. El dispositivo mostrado en la Figura 3 comprende el conjunto de cátodo mostrado en la Figura 2 que tiene un soporte 2 de cátodo y cátodos 10, 20 y 30. El dispositivo comprende además un ánodo 4 y uno o más electrodos 42a-e
25 intermedios aislados eléctricamente del ánodo 4 y uno del otro. El canal 6 de plasma está formado por los electrodos 42a-e intermedios y el ánodo 4. En algunas realizaciones, el electrodo 42a intermedio forma también una cámara 8 de plasma. Durante el funcionamiento del dispositivo, un gas generador de plasma, típicamente un gas noble, tal como argón, es introducido en el dispositivo a través de la abertura 72. El gas generador de plasma fluye a lo largo de los cátodos 10, 20, 30 al interior de la cámara 8 de plasma, a continuación, al interior del canal 6
30 de plasma y, a continuación, el gas generador de plasma sale del dispositivo a través de la abertura en el ánodo 4.

En algunas realizaciones, una boquilla de extensión está fijada en el extremo de ánodo del dispositivo. La boquilla de extensión forma un canal de extensión conectado al canal de plasma. Un elemento aislante tubular cubre una parte longitudinal de la superficie interior del canal de extensión. Además, en algunas realizaciones, la boquilla de
35 extensión tiene una o más entradas de gas de transporte de oxígeno.

Un dispositivo generador de plasma, tal como el mostrado en la Figura 3 está conectado típicamente a uno o más circuitos electrónicos que controlan (1) el voltaje aplicado entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 y (2) la corriente que pasa a través de los cátodos 10, 20, 30, el gas generador de plasma en el canal 6 de plasma y el
40 ánodo 4. El circuito para controlar la corriente es una fuente de corriente, conocida en la técnica. Estos circuitos se usan para la generación de cada impulso de plasma. Todos los cátodos en el conjunto están conectados eléctricamente entre sí y están conectados a los mismos circuitos, de manera que los cátodos 10, 20, 30 tienen el mismo potencial eléctrico y no hay voltaje entre los cátodos individuales, sólo entre el ánodo 4 y todos los cátodos 10, 20, 30. El método de formación de un impulso de plasma es controlado (1) aplicando el voltaje entre los
45 cátodos y el ánodo y (2) controlando la corriente que pasa a través del gas generador de plasma.

Como una breve visión general, el método de generación de plasma incluye tres fases: (1) una descarga de chispa, (2) una descarga luminiscente y (3) una descarga de arco. Un arco eléctrico en la fase de descarga de arco calienta el gas generador de plasma que fluye a través del canal 6 de plasma, formando plasma. La generación de
50 cada impulso de plasma requiere que el gas generador de plasma pase por las tres fases. Antes de la generación de un impulso, la resistencia del gas generador de plasma es cercana al valor infinito. Un pequeño número de electrones libres están presentes en el gas generador de plasma debido a la ionización de átomos por rayos cósmicos.

Para crear una descarga de chispa de una gran amplitud, se aplica una onda de voltaje de alta frecuencia y gran amplitud entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30. Esta onda aumenta el número de electrones libres en el canal 6 de plasma, entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4. Una vez formados un número suficiente de electrones libres, se aplica un voltaje CC entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 y se hace pasar una corriente continua a través
60 de los cátodos 10, 20, 30, el gas generador de plasma y el ánodo 4, formando una descarga de chispa entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4.

Después de la descarga de chispa, la resistencia del gas generador de plasma disminuye y comienza la fase de descarga luminiscente. Durante la fase de descarga luminiscente, los iones cargados positivamente son atraídos a los cátodos 10, 20, 30 bajo la influencia del campo eléctrico creado por el voltaje entre los cátodos y el ánodo 4. Debido a que los cátodos 10, 20, 30 están siendo bombardeados con iones, la temperatura de los extremos de ánodo de los cátodos aumenta. Una vez que la temperatura alcanza la temperatura de emisión termiónica de electrones, comienza la fase de descarga de arco. Inicialmente, el arco se une a todos los cátodos en el conjunto. A continuación, la corriente que pasa a través del gas generador de plasma se reduce, de manera que el área de unión disminuye hasta casi la superficie mínima de unión capaz de mantener el arco. Debido a que el área de unión del arco es pequeña, el área de unión se limita a un único cátodo en el conjunto. Por lo tanto, la corriente requerida para mantener la descarga de arco, que depende del diámetro de un cátodo, es relativamente baja. Después de haber reducido la corriente y se ha mantenido a ese nivel durante un período de tiempo, se aumenta rápidamente hasta el nivel operativo de un impulso. El área de la unión del arco aumenta de manera insignificante y sólo un único cátodo continúa emitiendo electrones durante el resto del impulso. Reduciendo el área de la unión del arco y, a continuación, manteniendo esa área pequeña, de manera que sólo un único cátodo emita electrones desde una zona controlada, es esencial para el funcionamiento de un dispositivo de plasma realmente pulsado.

Más detalladamente, la descripción siguiente del método de generación de plasma pulsado se refiere a las Figuras 4A-B; La Figura 4A muestra el voltaje aplicado entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30; La Figura 4B muestra la corriente que fluye a través del plasma desde uno o más de los cátodos 10, 20, 30 al ánodo 4 a través del gas generador de plasma en el canal 6 de plasma. Los valores de voltaje, corriente y tiempo descritos a continuación son los preferidos para el método cuando se usa en conexión con un conjunto de tres cátodos en un dispositivo de plasma pulsado mostrado en la Figura 3. Cuando este método se usa para otras realizaciones del conjunto de múltiples cátodos o cuando se usa un conjunto de múltiples cátodos en otro dispositivo, otros valores de voltaje, corriente y tiempo pueden ser preferibles.

La Figura 4A muestra un gráfico del voltaje aplicado entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30. Antes de la generación de un impulso de plasma, en el tiempo t_0 , se genera un voltaje 202 de polarización. El voltaje de polarización puede ser de 100 – 1.000 voltios pero, preferiblemente, es de 400 a 500 voltios. Entre t_0 y t_1 , el voltaje de polarización es aplicado entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30, por un circuito electrónico. Sin embargo, la generación del voltaje 202 de polarización no genera ninguna corriente a través del gas generador de plasma en el canal 6 de plasma, ya que la resistencia del gas generador de plasma es cercana al valor infinito. En una realización, se usa un condensador para mantener el voltaje de polarización. La Figura 5A muestra que no hay ninguna corriente que fluye en el canal 6 de plasma entre t_0 y t_1 y que sólo hay unos pocos electrones libres en canal 6 de plasma entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4.

En el tiempo t_1 , se aplica una onda 204 de voltaje de alta frecuencia y gran amplitud entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30. La amplitud de la onda es de al menos 1 kV pero, preferiblemente, es de aproximadamente 5 kV. En algunas realizaciones, la onda 204 de voltaje de alta frecuencia y gran amplitud es amortiguada, con una amplitud que decrece exponencialmente, tal como se muestra en la Figura 4A. La frecuencia de la onda es de al menos 300 kHz, preferiblemente, de aproximadamente 500 kHz. La duración de la onda de alto voltaje y alta frecuencia es de al menos dos longitudes de onda. Por ejemplo, la duración de la onda con la frecuencia de 500 kHz debería ser de al menos 0,4 microsegundos; sin embargo, una mayor longitud de onda de 15 - 20 microsegundos es preferible. Cabe señalar que la onda 204 de voltaje de gran amplitud y alta frecuencia es la única parte controlada por voltaje de la generación de plasma pulsado. Durante el resto del impulso, el voltaje simplemente se mantiene entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 como resultado de la corriente que pasa a través del gas generador de plasma entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4.

La onda 204 de voltaje de gran amplitud y alta frecuencia crea un rápido movimiento alternante de los electrones libres en el gas generador de plasma en el interior del canal 6 de plasma. Los electrones libres que se mueven rápidamente chocan con los electrones de los átomos del gas generador de plasma que fluye a través del canal 6 de plasma. Este método se conoce como avalancha de electrones. Como resultado de la avalancha de electrones, la cantidad de electrones libres alcanza el número suficiente para la creación de una descarga de chispa entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4, tal como se muestra en la Figura 5B.

En realizaciones que tienen un canal 6 de plasma formado por uno o más electrodos intermedios, tales como la mostrada en la Figura 3, en primer lugar se establecería una chispa entre los cátodos y el electrodo 42a intermedio más cercano a los cátodos. Se crean otras chispas entre los electrones libres en el gas generador de plasma que fluye a través del canal 6 de plasma y otros electrodos 42b-e intermedios que forman el canal 6 de plasma. Eventualmente, se crea una descarga de chispa entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4, mostrada en la Figura 5C.

La descarga de chispa ioniza un número de átomos en el gas generador de plasma, aumentando, de esta manera, la conductividad del gas generador de plasma y reduciendo su resistencia, preferiblemente a 200 - 1.000 Ω . Los electrones libres que se crean como resultado de la ionización se limitan a un volumen 302 relativamente pequeño mostrado en la Figura 5C.

5 En el tiempo t_2 , una vez terminada la onda 204 de voltaje de gran amplitud y alta frecuencia, se aplica un voltaje 206 en el intervalo de 100 - 1.000 voltios pero, preferiblemente, de aproximadamente 400 - 500 voltios entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30. En algunas realizaciones, el voltaje aplicado en el tiempo t_2 es igual al voltaje 202 de polarización de la onda 204 de voltaje de gran amplitud y alta frecuencia. En algunas realizaciones, el
10 voltaje 206 decrece exponencialmente con el tiempo, tal como se muestra en la Figura 4A.

En el tiempo t_2 , el gas generador de plasma tiene suficientes electrones libres para conducir electricidad. Sin embargo, los cátodos 10, 20, 30 no se han calentado suficientemente para conseguir la emisión termoiónica de electrones que permitiría un arco eléctrico sostenible que mantendría la generación del flujo de plasma con las
15 características requeridas para una aplicación particular, tal como, por ejemplo, el tratamiento de la piel. El voltaje 206 de descarga inicia la fase de descarga luminiscente. Para que los cátodos 10, 20, 30 comiencen a emitir electrones termoiónicamente, sus superficies 12, 22 y 32 tienen que alcanzar una cierta temperatura específica del material del cátodo, denominada temperatura de emisión termoiónica de electrones. Por ejemplo, para un cátodo
20 realizado en tungsteno que contiene lantano, tal como el usado en la realización preferida, la temperatura de emisión de electrones es de aproximadamente 2.800°- 3.200°K. Bajo la influencia del campo eléctrico creado por el voltaje entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30, los electrones libres presentes en el canal 6 de plasma son atraídos hacia el ánodo 4 y los iones son atraídos hacia los cátodos 10, 20, 30. La descarga luminiscente mostrada en la Figura 5D es una descarga autosostenible con cátodos fríos que emiten electrones debido a la
25 emisión secundaria, sobre todo debido al bombardeo iónico. Una característica distintiva de esta descarga es una capa de carga espacial positiva en los cátodos, con un fuerte campo eléctrico en la superficie y una considerable caída de potencial de 100 a 400 voltios, en la realización preferida. Esta caída se conoce en la técnica como una caída de tensión del cátodo. Si se aumenta la corriente, la descarga luminiscente se transferirá, a un nivel específico, a una descarga de arco y para entonces habrá alcanzado una temperatura superficial suficiente para emitir electrones termoiónicamente.

30 En el tiempo t_3 , cuando el voltaje entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 cae a un valor predeterminado, la corriente que pasa a través de los cátodos 10, 20, 30, el gas generador de plasma en el canal 6 de plasma y el ánodo 4 aumenta desde 0 A hasta una primera corriente predeterminada, preferiblemente en el intervalo de 4 - 6 A. Preferiblemente, esta corriente se mantiene durante 1 - 10 ms. El voltaje predeterminado cuando la corriente comienza a aumentar es de entre $e^{-0.5}$ - $e^{-1.5}$ veces el voltaje en el tiempo t_2 , pero preferiblemente es de
35 aproximadamente de e^{-1} veces el voltaje en el tiempo t_2 . (cabe señalar que e es la base del logaritmo natural, que equivale a aproximadamente a 2,718). Por ejemplo, en una realización, el voltaje aplicado entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 en el tiempo t_2 es de aproximadamente 400 voltios. Cuando el voltaje cae a aproximadamente 150 voltios, la corriente a través del gas generador de plasma se aumenta hasta aproximadamente 5 A. En algunas realizaciones, el aumento de corriente es una rampa 208 con una duración de 300 - 500 microsegundos entre t_3 y t_4 .

En algún momento después de t_4 , los cátodos empiezan a emitir electrones termoiónicamente desde sus superficies 12, 22 y 32, tal como se muestra en la Figura 5E. La emisión de electrones en este tiempo es suficiente
45 para mantener un arco eléctrico necesario para generar el plasma de propiedades deseadas. En este tiempo, comienza la fase de descarga de arco y se establece el arco entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4 a lo largo de canal 6 de plasma. La resistencia del plasma en el flujo es aproximadamente de 1 - 3 Ω . En este tiempo, teóricamente, la corriente puede ser aumentada a un nivel operativo requerido para una aplicación particular, tal como se muestra en la Figura 5F. Sin embargo, el aumento de la corriente a nivel operativo en este momento conduciría a los efectos no deseados siguientes. Tal como se muestra en las Figuras 5D-F, todos los cátodos en el conjunto participan en la fase de descarga luminiscente y, posteriormente, en la fase de descarga de arco. Los cuerpos de los cátodos 10, 20, 30 siguen siendo bombardeados por los iones cargados positivamente durante la fase de descarga luminiscente y el arco se une al área superficial de todos los cátodos durante la fase de descarga de arco. Durante el período inactivo entre impulsos, la temperatura de los cátodos 10, 20, 30 no desciende hasta el nivel no operativo original, de manera que las fases de descarga luminiscente y descarga de arco se producen cuando los cátodos todavía están calientes por el impulso anterior. Conforme partes más grandes de los cátodos pasan a estar suficientemente calientes para emitir electrones con cada impulso, el área de unión del plasma aumenta. En algún momento, después de aproximadamente 300 - 500 impulsos, el plasma se une a toda la superficie de los cátodos y comienza a unirse también al soporte 2 de cátodo.

60 Conforme el arco se une al soporte 2 de cátodo, el soporte de cátodo se calienta hasta el punto de que comienza a

pulverizarse y comienza a emitir electrones junto con materiales de electrodo. Esto introduce impurezas en el flujo de plasma, lo que para algunas aplicaciones, especialmente aplicaciones médicas, es inaceptable. Además, el soporte de cátodo, que tiene un punto de fusión considerablemente menor que el de los cátodos, comienza a fundirse. Conforme las partes del soporte de cátodo que entran en contacto con uno o más cátodos comienzan a fundirse, estos cátodos resultan dañados. Este daño resulta en una imperfección, a la cual podría unirse el arco eléctrico durante los impulsos posteriores. La unión del arco a esta imperfección en la base de uno o más cátodos puede resultar también en que el arco eléctrico termine fuera del canal de plasma. Esto resulta en la incapacidad de controlar si el plasma se forma o no en el canal de plasma. Además, la superficie de unión incontrolada conduce a fluctuaciones del potencial eléctrico en los cátodos. En general, la expansión incontrolada del área de unión del arco conduce a un funcionamiento inestable del dispositivo.

El aumento de la longitud de los cátodos y, de esta manera, el distanciamiento del soporte 2 de cátodo de los extremos de ánodo de los cátodos 10, 20, 30, donde el arco se une inicialmente, ha demostrado ser una solución sub-óptima. Los experimentos han demostrado que el alargamiento de los cátodos no elimina, sino que sólo retrasa insignificadamente, los procesos no deseados descritos anteriormente.

Según los métodos preferidos, en el tiempo t_5 la corriente se reduce a la segunda corriente. En algunas realizaciones, la reducción de la corriente es una rampa 209 con una duración de 300 - 500 microsegundos. Preferiblemente, la corriente se reduce a un nivel entre la corriente mínima necesaria para mantener la descarga de arco y aproximadamente tres veces esa corriente. Para algunas realizaciones, esta corriente está comprendida en el intervalo de 0,33 - 1,0 A. Preferiblemente, la segunda corriente se mantiene durante 5-20 ms. La caída de corriente resulta en una reducción de la sección transversal del arco eléctrico entre los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4, así como en un área de unión del arco de menor tamaño. Aunque no es necesario reducir el área de unión al valor mínimo necesario para mantener el arco, la corriente reducida reduce el área de unión a un tamaño que no excede considerablemente la superficie mínima. Tal como se muestra en la Figura 5G, el arco no se une a toda el área superficial de los cátodos. De hecho, para mantener el arco eléctrico, los electrones emitidos se concentran en un volumen relativamente pequeño y son emitidos desde un área pequeña, mostrada en la Figura 5G. La corriente iónica que calienta el cátodo sigue siendo suficientemente fuerte para mantener la emisión termoiónica de electrones desde el cátodo, debido a la alta densidad de flujo de corriente a través de la pequeña área de unión. Esta corriente iónica resulta en una temperatura muy alta en el área de unión del arco y el volumen circundante. La reducción de la corriente aplicada a los cátodos 10, 20, 30, el gas generador de plasma y el ánodo 4 de esta manera asegura que el arco se una sólo a un único cátodo y, además, que la unión del arco esté restringida a un área relativamente pequeña.

Se ha encontrado experimentalmente que el diámetro del cátodo tiene el efecto más significativo sobre la corriente sostenible mínima que puede hacerse pasar a través del cátodo mientras todavía se mantiene un arco eléctrico entre el cátodo y el ánodo. Por ejemplo, la corriente mínima para el cátodo con un diámetro de 1,0 mm y una longitud de 5 mm es de aproximadamente 1 A. La corriente mínima para el cátodo con un diámetro de 0,5 mm y una longitud de 5 mm es de aproximadamente 0,5 A. La corriente mínima para el cátodo con un diámetro de 0,5 mm y una longitud de 35 mm es de aproximadamente 0,3 A. Debido a que durante el período de la segunda corriente reducida, entre t_6 y t_7 , el plasma se une sólo a un cátodo, es posible mantener el arco eléctrico con una corriente relativamente pequeña, en comparación con la corriente necesaria para mantener el arco si se une a todos los cátodos en el conjunto, tal como por ejemplo entre t_4 y t_5 . Con relación a la realización preferida del conjunto de cátodo, debido a que el diámetro de un único cátodo en el conjunto es de aproximadamente la mitad del diámetro total de todos los cátodos en el conjunto, cuando el arco se une a un único cátodo, la corriente requerida para sostener el arco es aproximadamente la mitad de la que habría sido si el arco se hubiera unido a los tres cátodos.

En el tiempo t_7 la corriente es aumentada a la tercera corriente, el nivel operacional requerido para una aplicación particular, preferiblemente en el intervalo de 10 - 80 A. En algunas realizaciones, el aumento de corriente es una rampa 211 con una duración de 300 - 500 microsegundos entre t_7 y t_8 . La velocidad de aumento es de 1.000 - 10.000 A/s. Para el tiempo t_8 , el voltaje de funcionamiento, preferiblemente en el intervalo de 30 - 90 Voltios permanece entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 como resultado de la geometría del dispositivo y la corriente que pasa entre uno de los cátodos 10, 20, 30 y el ánodo 4.

En el tiempo t_8 , la corriente alcanza el nivel operacional y el flujo de plasma totalmente desarrollado se mantiene en el nivel 214 de corriente operativa y el nivel 216 de voltaje operativo, que son preferiblemente de 10 - 80 A y 30 - 90 voltios, respectivamente. Estos niveles operativos se mantienen durante la duración deseada para una aplicación particular. Por ejemplo, para el tratamiento de la piel, la duración $t_7 - t_8$ preferida es de 5 - 100 ms. La Figura 5H muestra un arco eléctrico entre uno de los cátodos, cátodo 10, y el ánodo 4 que mantiene un flujo de plasma totalmente desarrollado. Durante el período operativo del impulso, el arco eléctrico tiene una sección

transversal que no es significativamente mayor que la sección transversal del arco durante el período $t_6 - t_7$ cuando se hace pasar la segunda corriente.

5 En el tiempo t_9 , cuando el flujo de plasma se ha mantenido durante la duración deseada, la corriente que fluye a través del gas generador de plasma en el canal 6 de plasma se anula y, en consecuencia, el voltaje entre el ánodo 4 y los cátodos 10, 20, 30 deja de ser aplicado y el dispositivo pasa al período inactivo, mostrado en la Figura 51, hasta que se genera el siguiente impulso de plasma.

10 El uso del método descrito anteriormente evita un área en expansión gradual de la unión del arco, tal como se ha descrito anteriormente. La descarga luminiscente que tiene lugar desde t_2 a t_4 , cuando el plasma puede unirse a toda el área superficial expuesta de los cátodos dura hasta 10 ms en la realización preferida. Cualquier aumento de la temperatura que se obtiene durante la descarga luminiscente se pierde durante el resto del impulso y el período inactivo. Como consecuencia, para el tiempo en el que debe generarse el nuevo impulso, los cátodos se han enfriado. La Figura 6A ilustra esquemáticamente la temperatura y el área de unión para un conjunto de un único cátodo para una secuencia de impulsos generados según los métodos de la técnica anterior. El gráfico superior muestra la corriente como una función del tiempo. El gráfico central muestra la temperatura del cátodo como una función del tiempo. El gráfico inferior muestra el área de unión del arco al conjunto de cátodo como una función del tiempo. Aunque la Figura 6A muestra sólo cuatro impulsos con fines ilustrativos, los procesos reales pueden ocurrir en el lapso de aproximadamente 300 - 500 impulsos. De esta manera, por ejemplo, el primer impulso ilustrado puede ser el primer impulso real, el segundo impulso ilustrado puede ser el 150-ésimo impulso real, el tercer impulso ilustrado puede ser el 300-ésimo impulso real y el cuarto impulso ilustrado puede ser el 450-ésimo impulso real. Durante el primer impulso ilustrado, el cátodo está frío y el arco se une a una pequeña área de la superficie del cátodo. Sin embargo, la corriente que pasa a través del cátodo durante el primer impulso ilustrado aumenta la temperatura del cátodo. Aunque la temperatura del cátodo disminuye un poco antes del siguiente impulso, no disminuye a su temperatura inicial no operativa. Durante el segundo impulso ilustrado, el área de unión del arco no aumenta, sin embargo, la temperatura del cátodo aumenta aún más. Después del segundo impulso ilustrado, la temperatura disminuye un poco, pero no llega a alcanzar ni la temperatura del cátodo antes del segundo impulso. Durante el tercer impulso ilustrado, la temperatura aumenta aún más y supera la temperatura crítica T_0 por encima de la cual todo el cuerpo del cátodo es capaz de emitir electrones termoiónicos. Después de que la temperatura del cátodo excede T_0 , el área de unión aumenta rápidamente con cada impulso siguiente. Tal como se muestra en la Figura 6A, para el cuarto impulso ilustrado, el área de unión del arco cubre toda la superficie del cátodo.

35 La Figura 6B ilustra esquemáticamente la temperatura y el área de unión de la realización preferida del conjunto de múltiples cátodos para una secuencia de impulsos generados según las realizaciones de la presente invención. Los impulsos de corriente corresponden a los mostrados en la Figura 4B y descritos anteriormente. Los impulsos ilustrados corresponden a los impulsos reales de la misma manera que en la Figura 6A. Tal como se ha descrito anteriormente, en cada impulso de corriente, una vez iniciado el arco, éste se une a todos los cátodos en el conjunto. A continuación, la corriente disminuye para reducir el área de unión a un único cátodo y sólo entonces se aumenta la corriente hasta el nivel operativo. Debido a que para sustancialmente toda la duración del impulso, el arco se une a un área pequeña, la totalidad del cuerpo del cátodo no se calienta significativamente. Durante el período inactivo, los cátodos se enfrían rápidamente debido a que una gran parte del conjunto de cátodo está relativamente fría durante el impulso. Tal como se muestra en la Figura 6B, después del primer impulso ilustrado, la temperatura del cátodo se reduce a una temperatura no operativa antes del siguiente impulso real. Por lo tanto, cuando se inicia el siguiente impulso de corriente real, los cátodos en el conjunto tienen la temperatura no operativa inicial. Durante el período de inactividad después de ese impulso, la temperatura de los cátodos cae de nuevo al nivel no operativo inicial. Debido a que la temperatura de los cátodos nunca excede T_0 , el área de unión no aumenta y se mantiene aproximadamente igual durante decenas de miles de impulsos, tal como se muestra en la gráfica inferior de la Figura 6B.

50 La Figura 7 A es un esquema de una vista microscópica de un conjunto de un único cátodo después de 500 impulsos generados según los métodos de la técnica anterior. El área 350 es el área de unión del arco eléctrico durante el último impulso de la sesión de 500 impulsos. El soporte 352 de cátodo se ha fundido y el área 350 incluye la totalidad del cátodo. Un examen microscópico del cátodo mostró que el área de unión estaba fuertemente erosionada, debido a la inestabilidad de la temperatura del cátodo como resultado de la falta de control del área de unión del método de funcionamiento. La Figura 7B es un esquema de una vista microscópica de un conjunto de múltiples cátodos después de 40.000 impulsos generados según las realizaciones del método de la presente invención. El área 360 es el área de unión durante el último impulso de la sesión de 40.000 impulsos. Tal como se observa en la Figura 7B, el soporte de cátodo y la parte longitudinal de los cátodos más cercana al soporte no están afectados debido a que el arco nunca se une a los mismos. También, las partes de los cátodos que están cubiertas por el área de unión se ven afectadas de manera insignificante por el arco debido a que el arco

se une a esa zona sólo entre t_4 y t_5 , tal como se muestra en la Figura 5F y después de t_5 , el área de unión se reduce a un área pequeña en uno de los cátodos, de manera que el resto de los cátodos no se ven afectados por el arco.

5 Se ha descubierto experimentalmente que para el conjunto de cátodo mostrado en la Figura 2 durante los primeros pocos miles de impulsos, el arco se une al cátodo 10 más corto. Durante estos impulsos, el extremo de ánodo del cátodo 10 es sometido a un calentamiento considerable. Como resultado, se produce cierta fusión en el extremo de ánodo del cátodo 10. El cátodo 10 pierde la imperfección superficial bien definida del borde 14. Una vez que la imperfección superficial no está tan bien definida, el arco comienza a unirse al segundo cátodo 20 más corto, cuyo extremo de ánodo todavía tiene un borde 24 bien definido. Después de unos pocos miles de impulsos, el extremo del cátodo 20 pierde el borde 24 bien definido. Entonces, el arco comienza a unirse al siguiente cátodo más corto, el cátodo 30. Después de unos pocos miles de impulsos, el extremo del cátodo 30 pierde también su borde 34 bien definido. En las realizaciones del conjunto de cátodo que comprenden más de tres cátodos, el arco se une a diferentes cátodos en orden de longitud creciente. Después de que el arco se ha unido al cátodo más largo y debido al calor absorbido por su extremo de ánodo, los extremos de todos los cátodos más cercanos al ánodo pierden sus bordes bien definidos debido a cierta fusión.

20 Una vez que esto ocurre, el arco empieza a unirse de nuevo al cátodo más corto. El arco se une al cátodo 10 durante unos pocos miles de impulsos, hasta que el ánodo pierde aún más la definición de su borde 14. En este punto, el arco comienza a unirse al segundo cátodo más corto, el cátodo 20, que tiene el extremo de ánodo con un borde 22 mejor definido que el borde 12. En unos pocos miles de impulsos, el arco se une al siguiente cátodo más corto, etc.

25 Para el conjunto de cátodo mostrado en la Figura 2, los experimentos han demostrado que el arco se une al cátodo 10 durante aproximadamente 10.000 impulsos, a continuación, se une al cátodo 20 durante aproximadamente los próximos 10.000 impulsos y, a continuación, al cátodo 30 durante aproximadamente los próximos 10.000 impulsos. A continuación, el arco se une al cátodo 10 de nuevo durante aproximadamente los próximos 10.000 impulsos, etc. Se observó que el conjunto de cátodo mostrado en la Figura 2 trabajaba de esta manera durante sesiones de 60.000 impulsos, lo cual es suficiente para la mayoría de las aplicaciones de plasma pulsado.

30 Aunque el método descrito anteriormente proporciona los mejores resultados cuando se usa con un conjunto de múltiples cátodos, el uso del método puede ser beneficioso también para un conjunto de un único cátodo.

35 La descripción anterior de las realizaciones de la presente invención se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos. No se pretende que sea exhaustiva ni que limite la invención a la forma precisa descrita. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para las personas con conocimientos en la materia. Las realizaciones se han elegido y descrito con el fin de explicar mejor los principios de la invención y sus aplicaciones prácticas, permitiendo, de esta manera, que otras personas con conocimientos en la materia comprendan la invención. Se contemplan diversas realizaciones y modificaciones adaptadas a un uso particular. Se pretende que el alcance de la invención esté definido por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

40

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de cátodo para generar plasma que comprende:
- 5 a. un soporte (2) de cátodo; y
 b. una pluralidad de cátodos (10, 20, 30) alineados longitudinalmente que están conectados como una agrupación al soporte (2) de cátodo, en el que cada cátodo (10, 20, 30) está en contacto físico con al menos otro cátodo (10, 20, 30).
- 10 2. Conjunto de cátodo según la reivindicación 1, en el que los cátodos (10, 20, 30) están conectados eléctricamente entre sí.
3. Conjunto de cátodo según la reivindicación 1, en el que al menos uno de los cátodos (10, 20, 30) tiene una longitud que difiere de la longitud de al menos otro cátodo (10, 20, 30).
- 15 4. Conjunto de cátodo según la reivindicación 3, en el que todos los cátodos (10, 20, 30) tienen longitudes diferentes.
5. Conjunto de cátodo según la reivindicación 4, en el que el diámetro de cada uno de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) es sustancialmente idéntico.
- 20 6. Conjunto de cátodo según la reivindicación 5, en el que la diferencia más pequeña en longitud entre un par de cátodos (10, 20, 30) es igual al diámetro de un cátodo (10, 20, 30).
- 25 7. Conjunto de cátodo según la reivindicación 5, en el que el diámetro del cátodo (10, 20, 30) es de 0,5 mm.
8. Un método para generar un impulso de plasma en un dispositivo que comprende un ánodo (4) y un conjunto de cátodo que comprende un soporte (2) de cátodo conectado a una pluralidad de cátodos (10, 20, 30), en el que cada cátodo está en contacto físico directo con al menos otro cátodo, en el que el método comprende:
- 30 a. hacer pasar una primera corriente a través de los uno o más de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) y el ánodo (4);
 b. hacer pasar una segunda corriente a través de uno o más de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) y el ánodo (4), en el que la magnitud de la segunda corriente es menor que la magnitud de la primera corriente;
- 35 c. hacer pasar una tercera corriente a través de uno o más de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) y el ánodo (4), en el que la magnitud de la tercera corriente es mayor que la magnitud de la primera corriente; y
 d. cesar la tercera corriente que pasa a través de uno o más de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) y el ánodo (4).
- 40 9. Método según la reivindicación 8, en el que la segunda corriente se hace pasar a través de un cátodo (10, 20, 30) y la tercera corriente se hace pasar a través del mismo cátodo (10, 20, 30).
10. Método según la reivindicación 9, que comprende además la aplicación de un voltaje alterno entre el ánodo (4) y uno o más de entre la pluralidad de cátodos (10, 20, 30) antes de hacer pasar la primera corriente.
- 45 11. Método según la reivindicación 10, en el que la magnitud de la segunda corriente está comprendida entre una y tres veces la corriente mínima necesaria para mantener un arco eléctrico entre el cátodo (10, 20, 30) y el ánodo (4).
- 50 12. Método según la reivindicación 11, en el que la magnitud de la segunda corriente es de 0,33 - 1,0 A.
13. Método según la reivindicación 12, en el que la magnitud de la primera corriente es de 4,0 - 6,0 A.
- 55 14. Método según la reivindicación 13, en el que la magnitud de la tercera corriente es de 10 - 80 A.

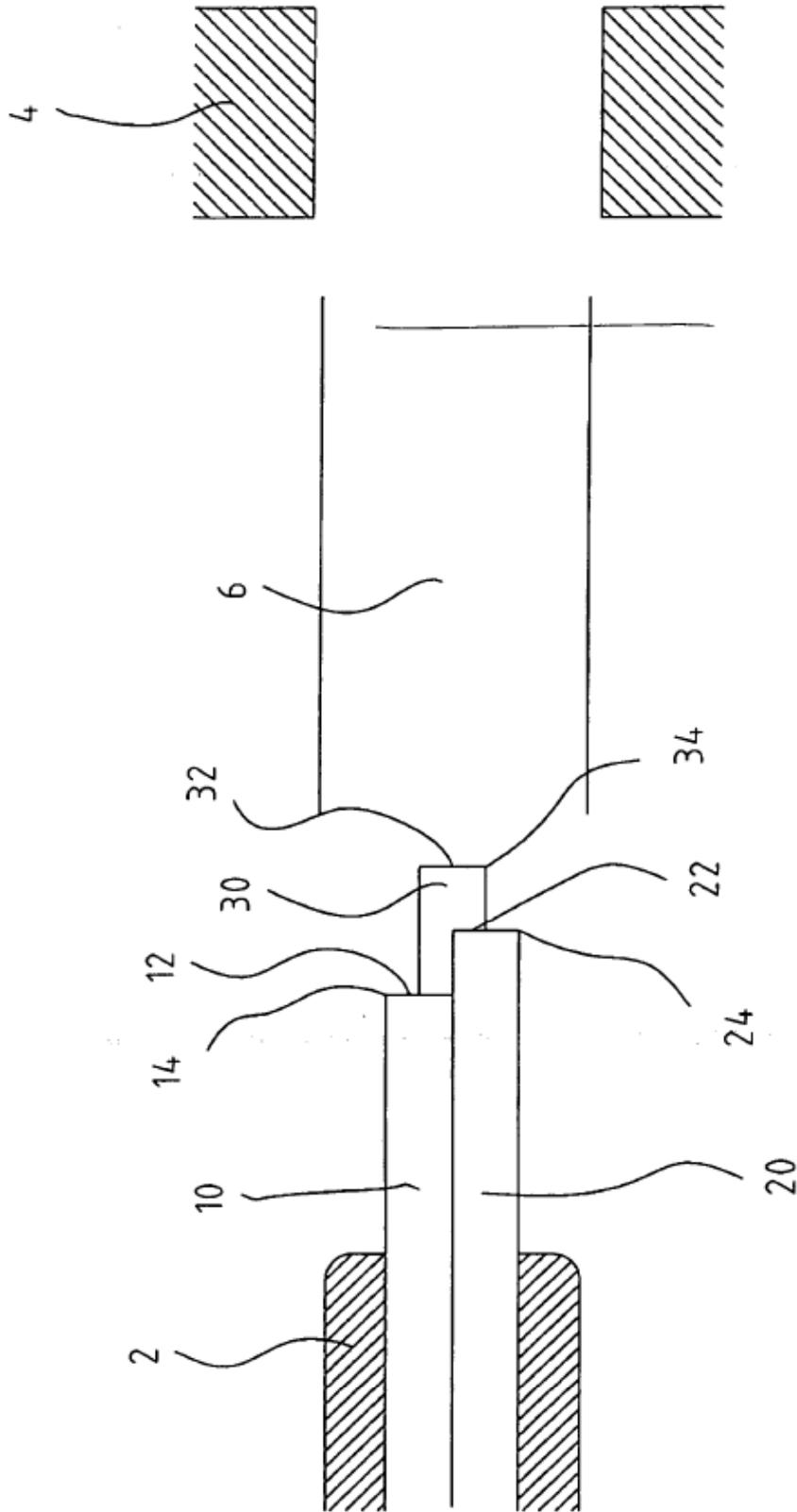


Fig. 1

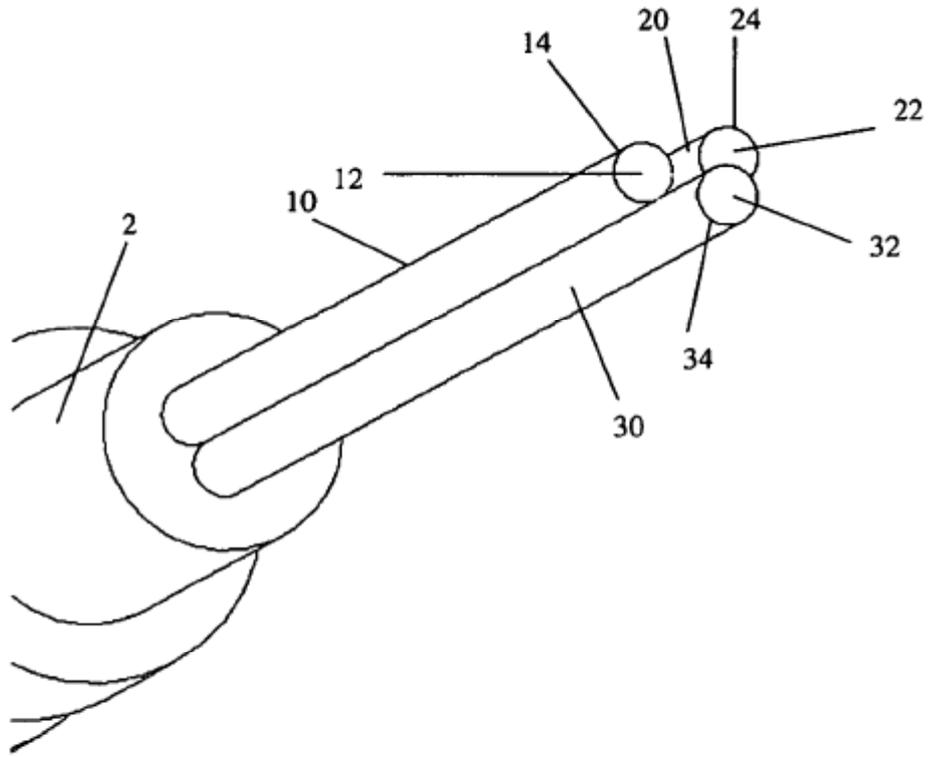


Fig. 2

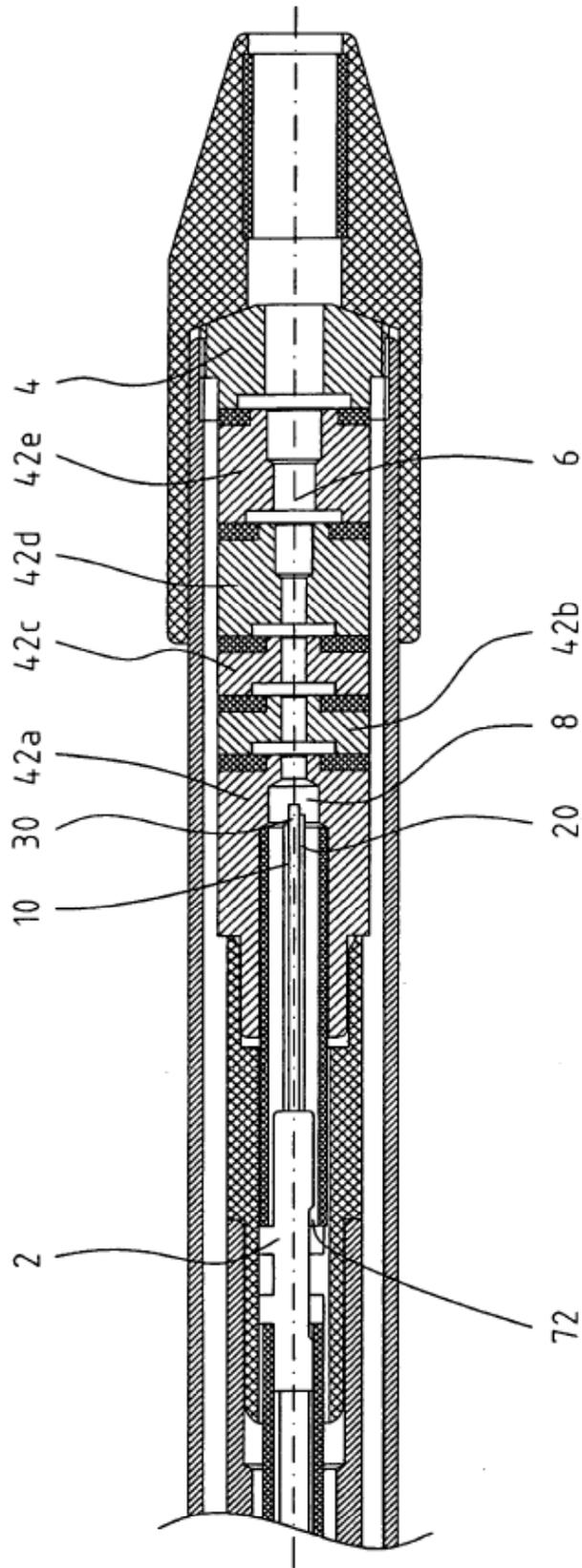


Fig. 3

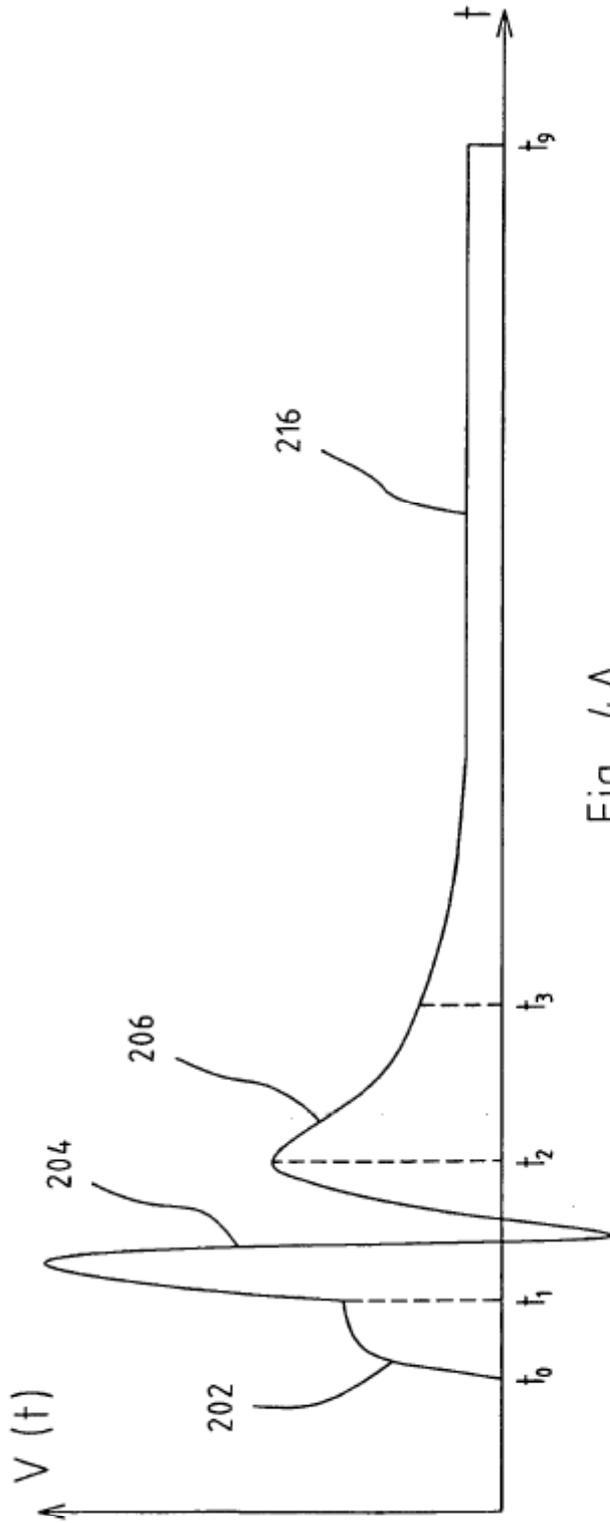


Fig. 4A

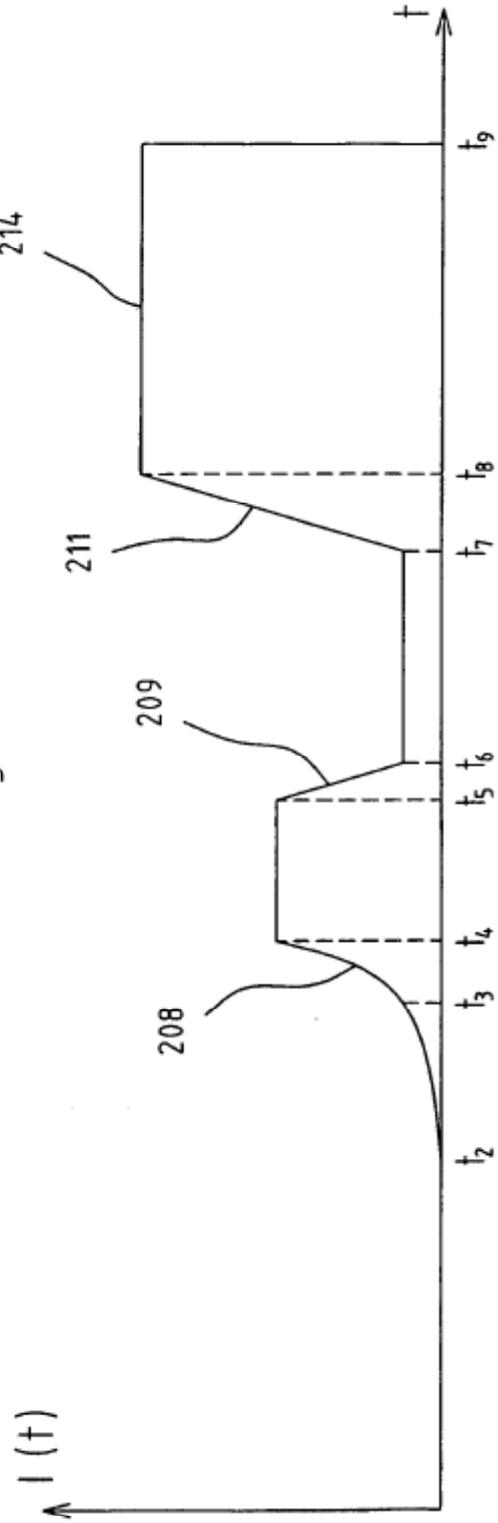


Fig. 4B

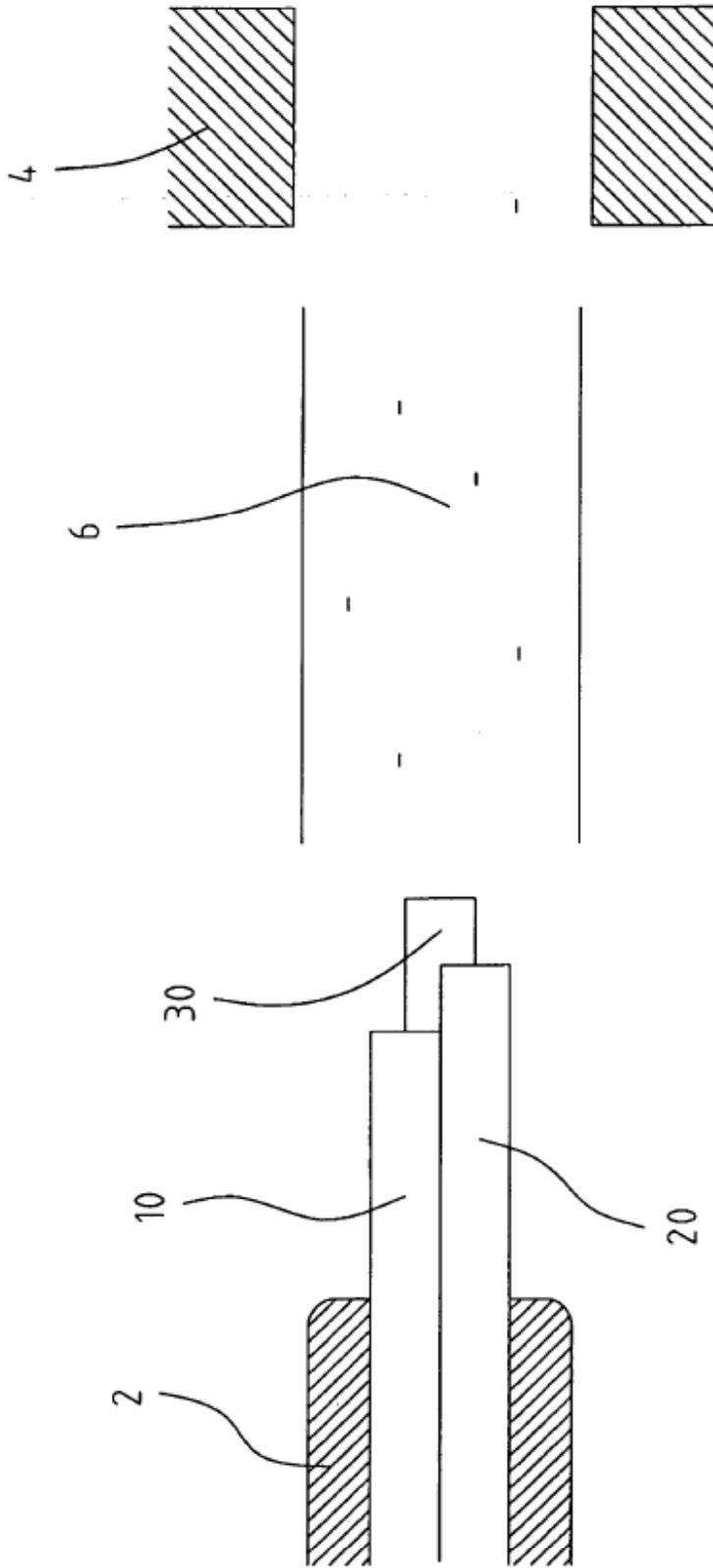


Fig. 5A

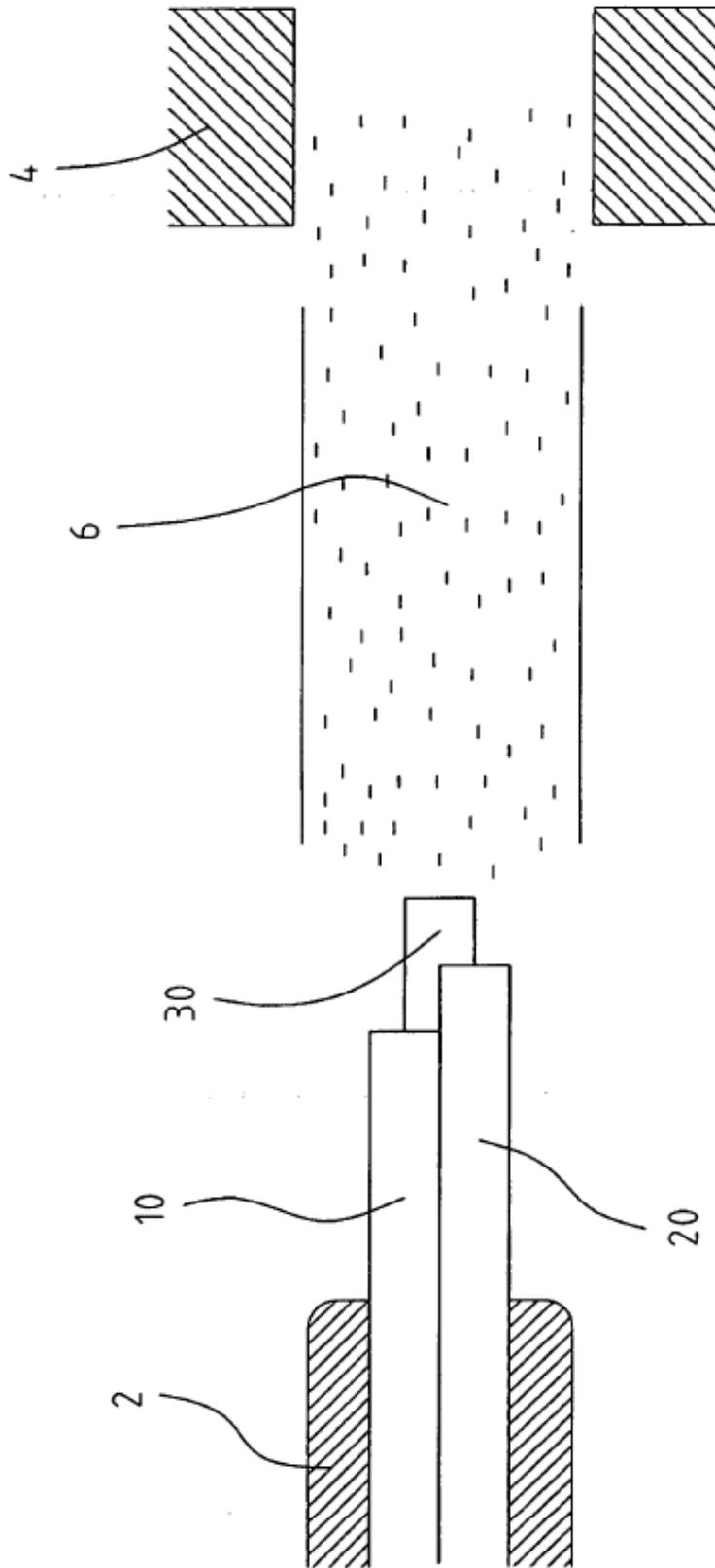


Fig. 5B

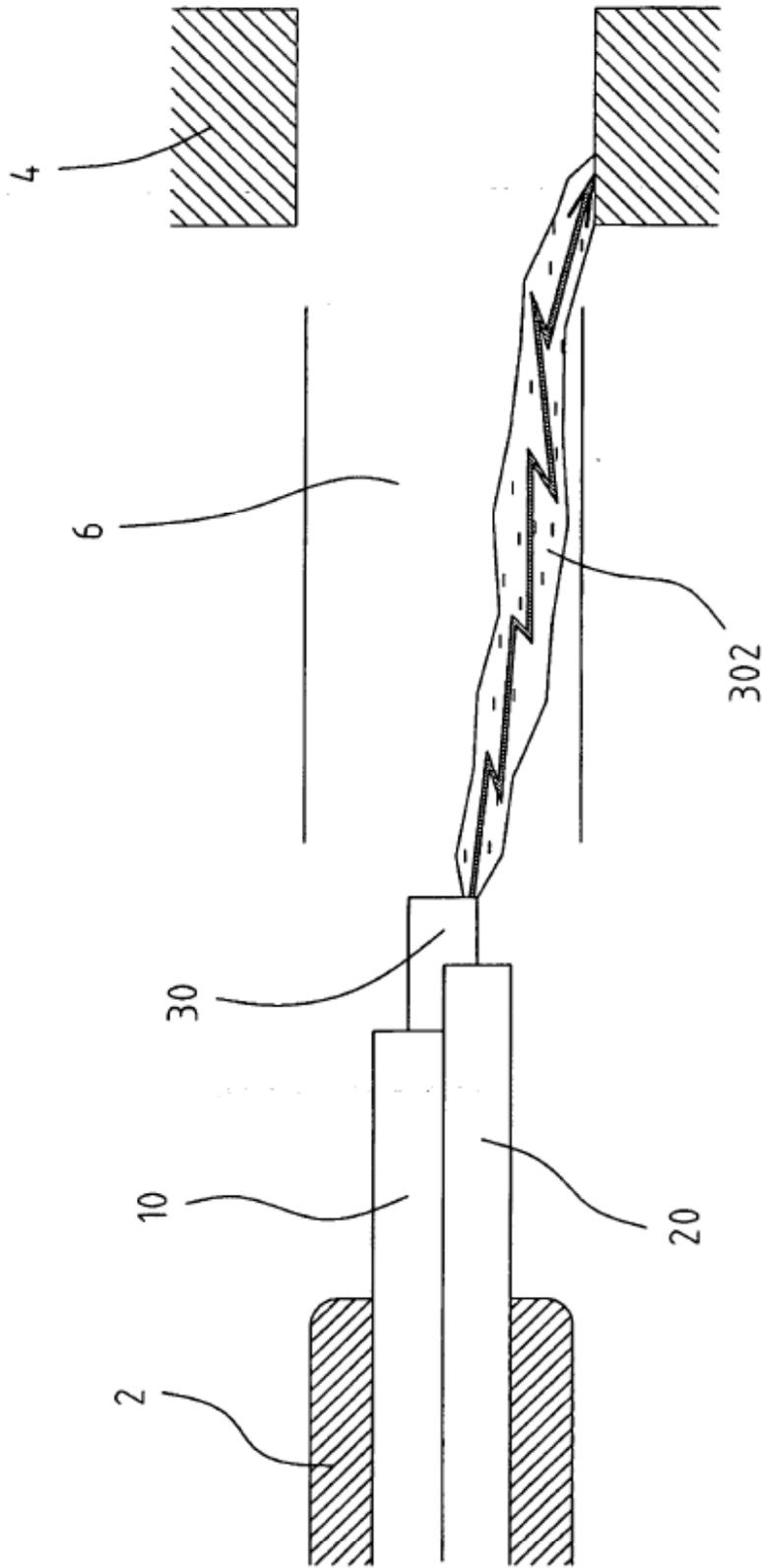


Fig. 5C

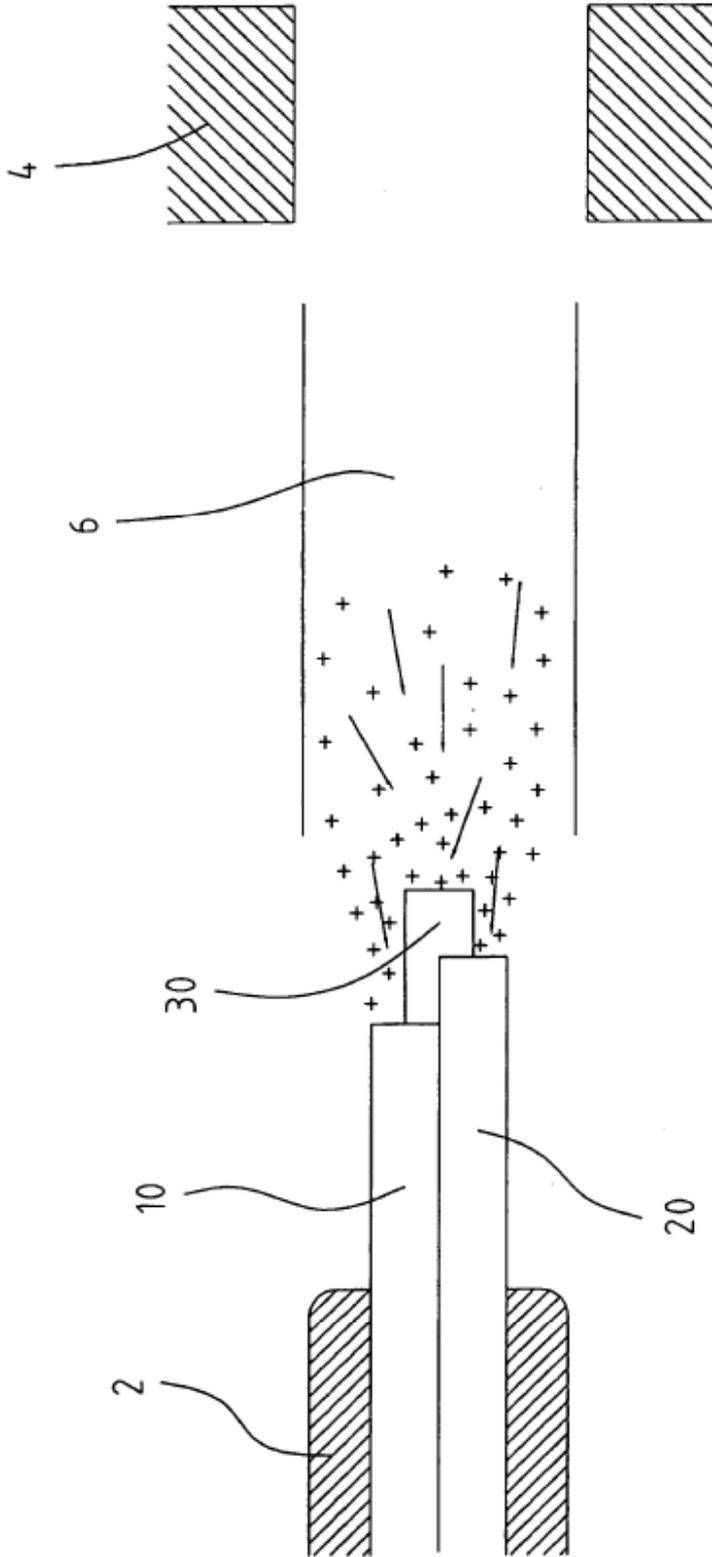


Fig. 5D

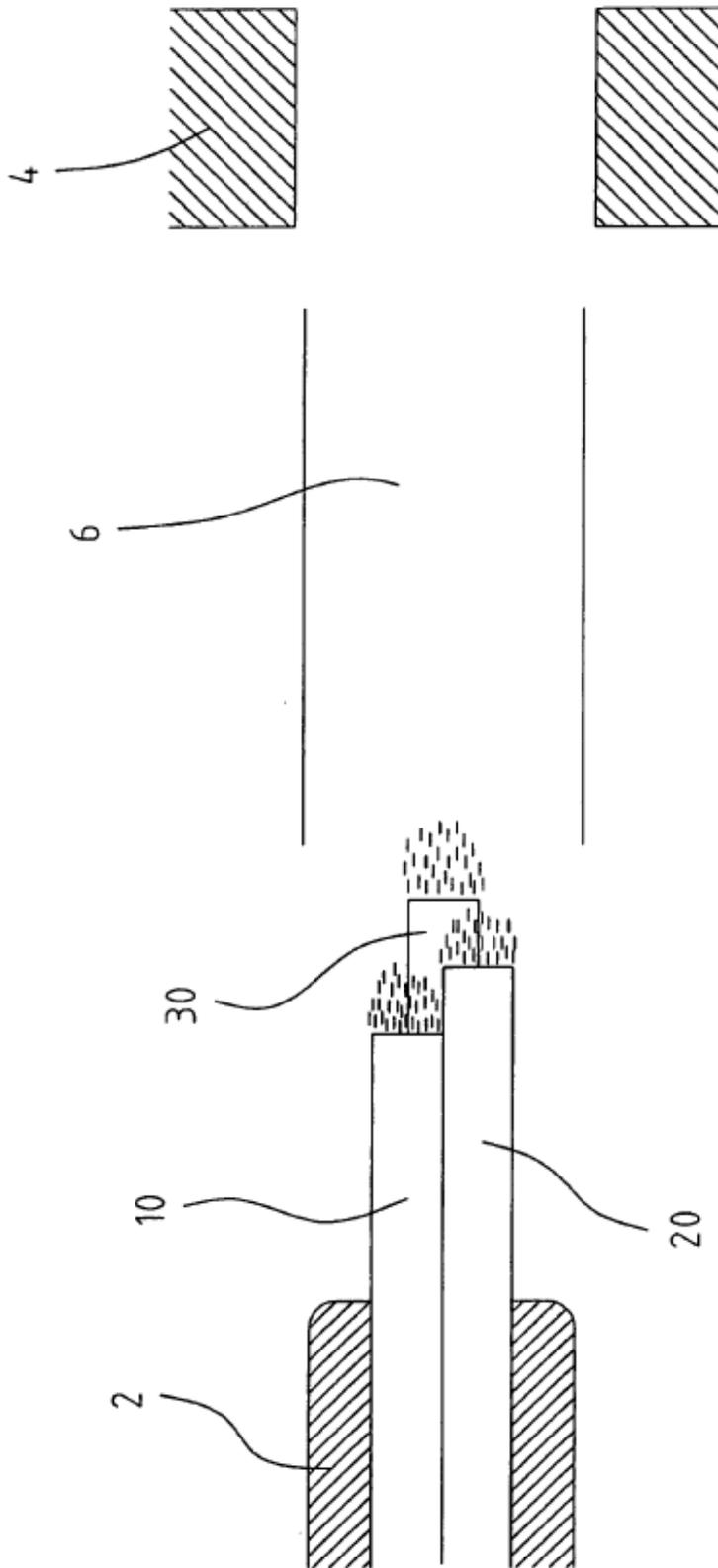


Fig. 5E

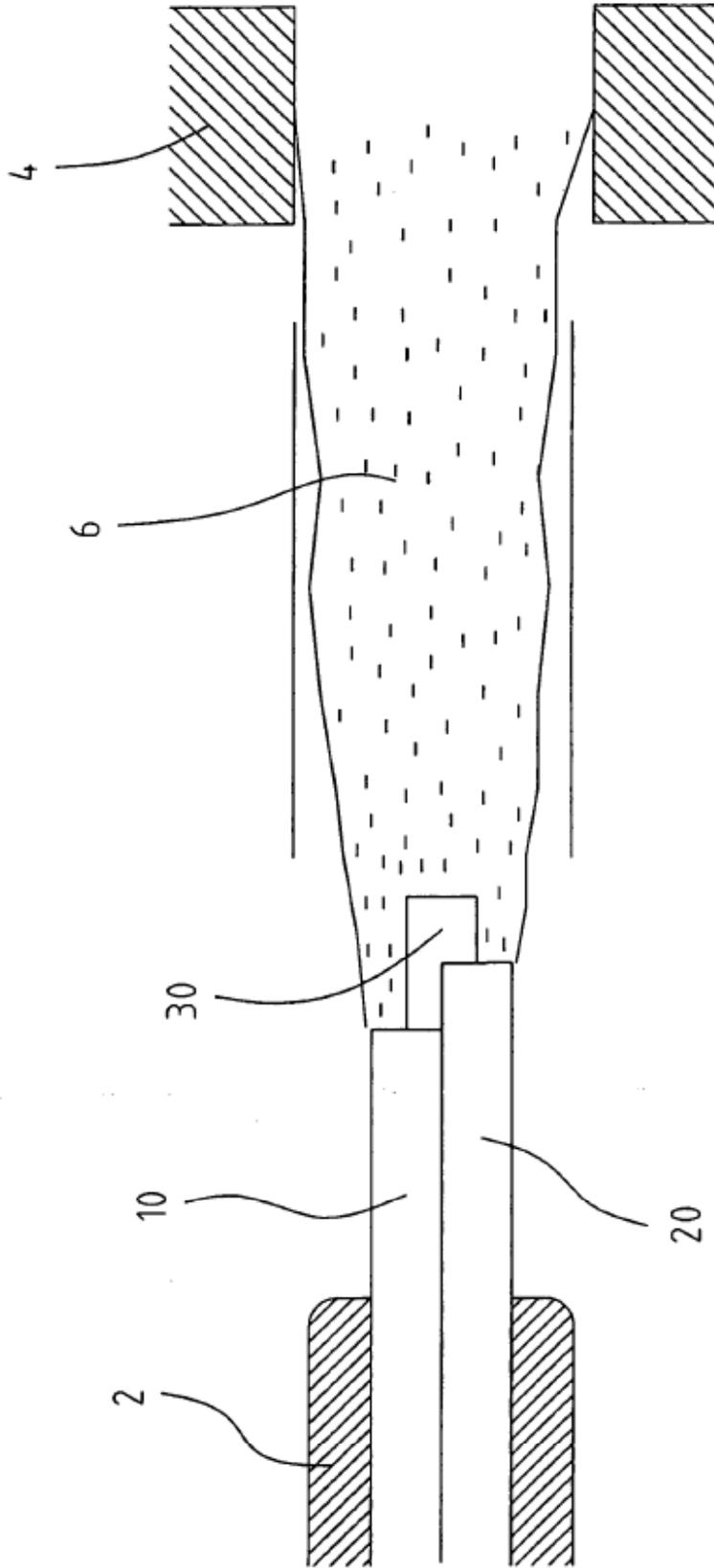


Fig. 5F

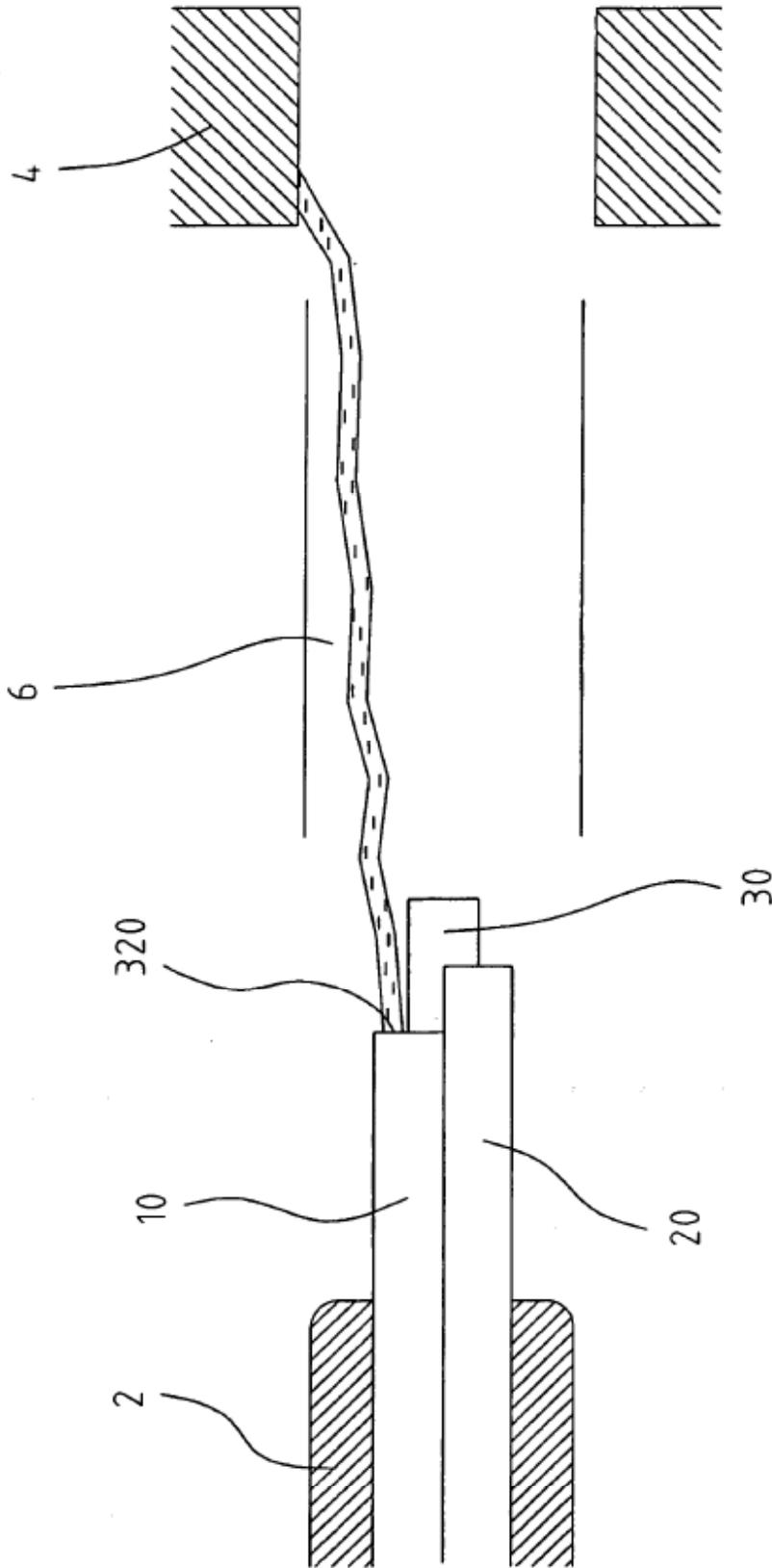


Fig. 5G

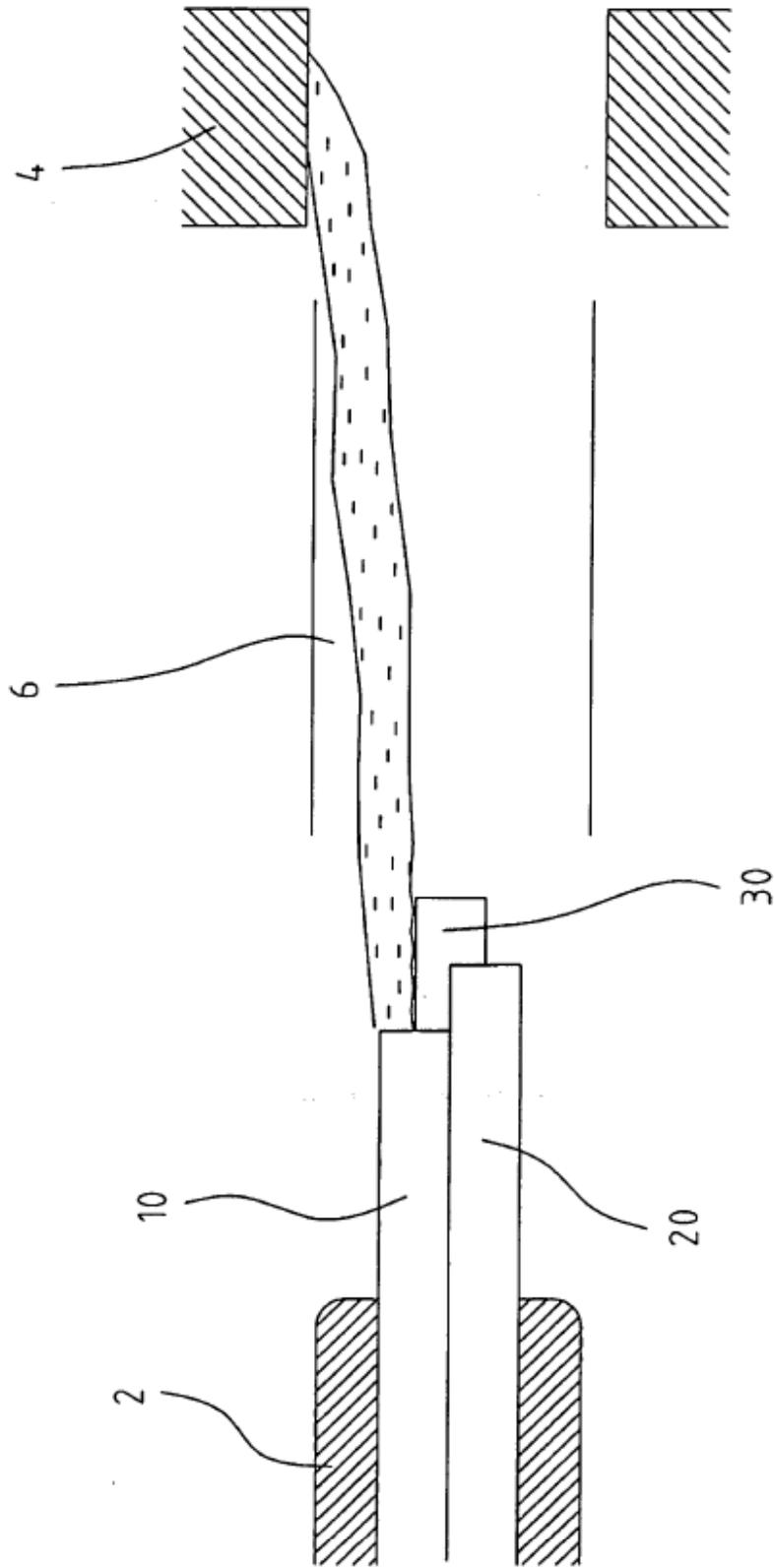


Fig. 5H

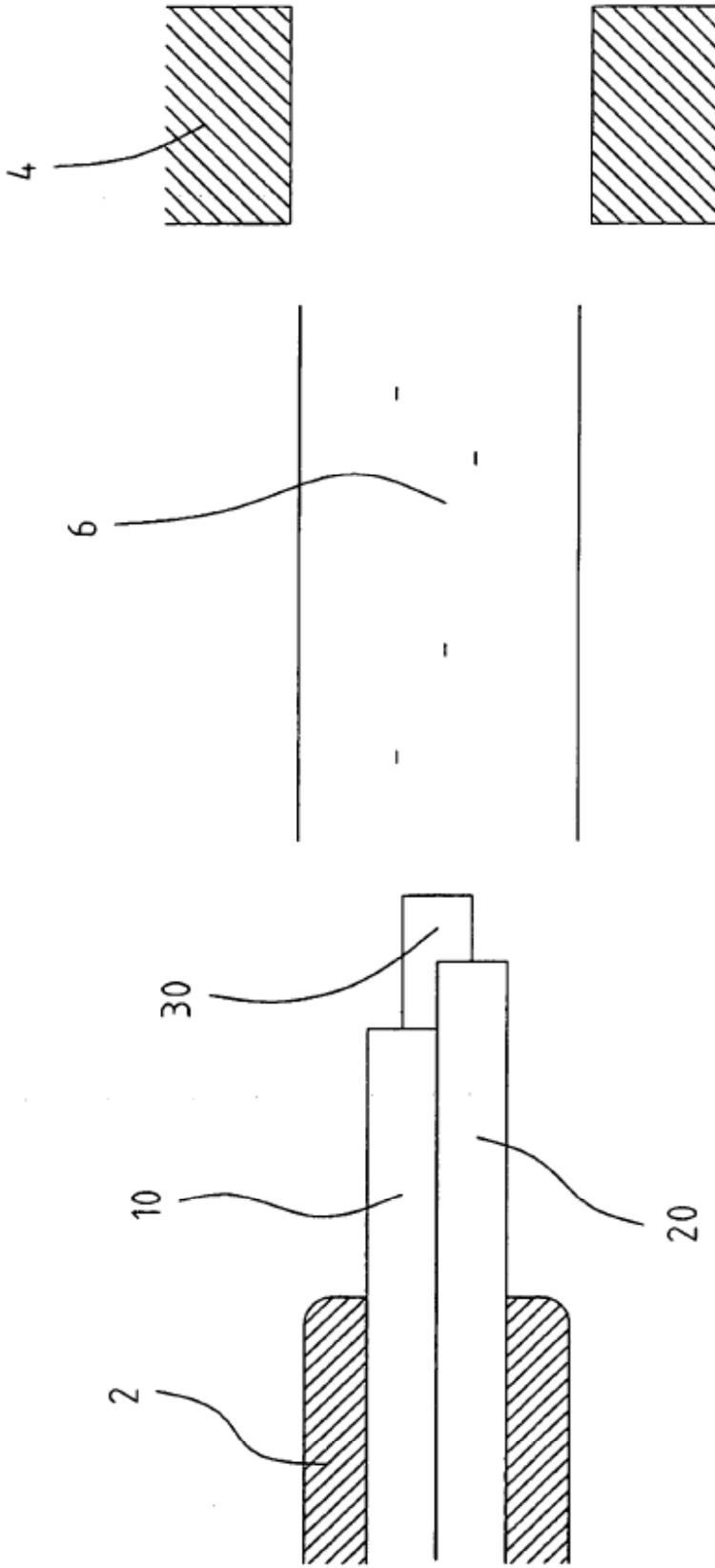


Fig. 5I

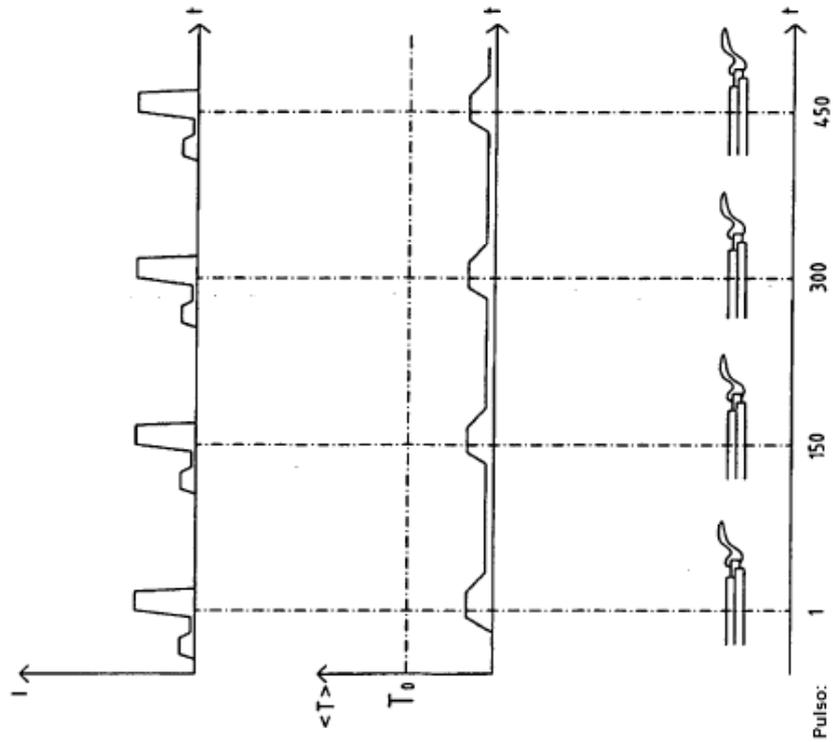


Fig. 6A

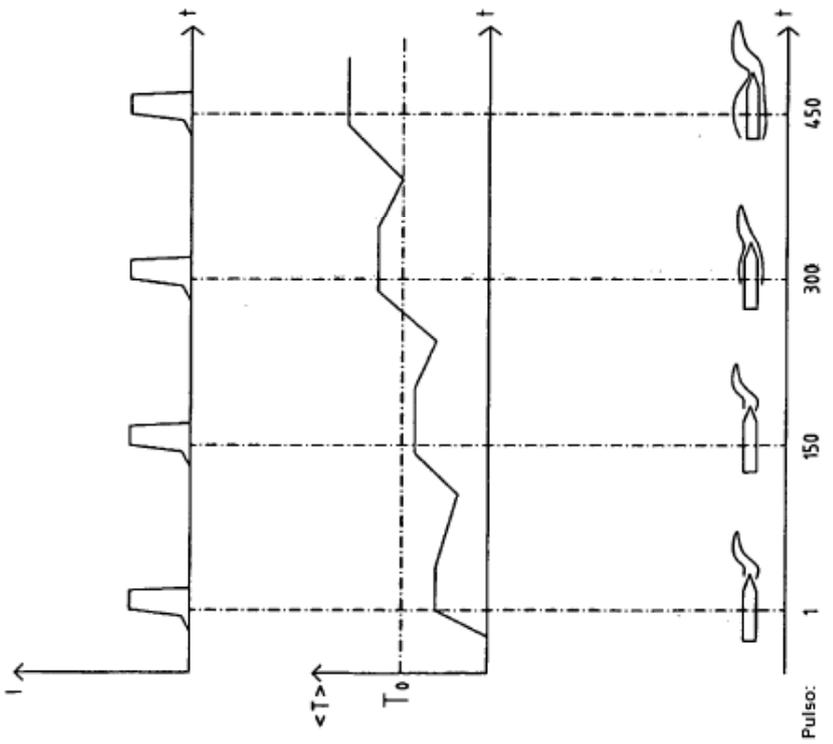


Fig. 6B

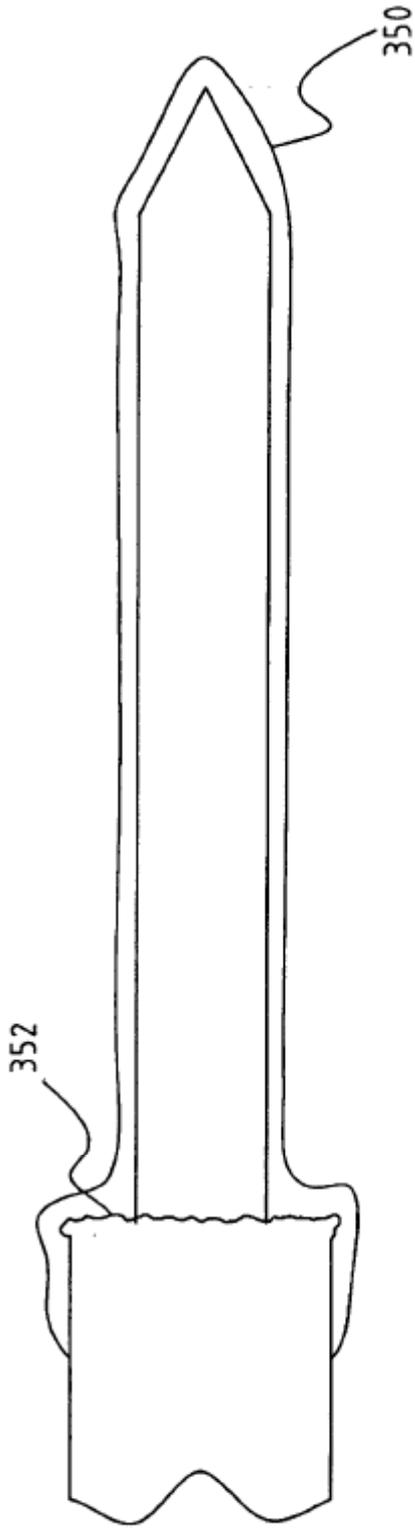


Fig. 7A

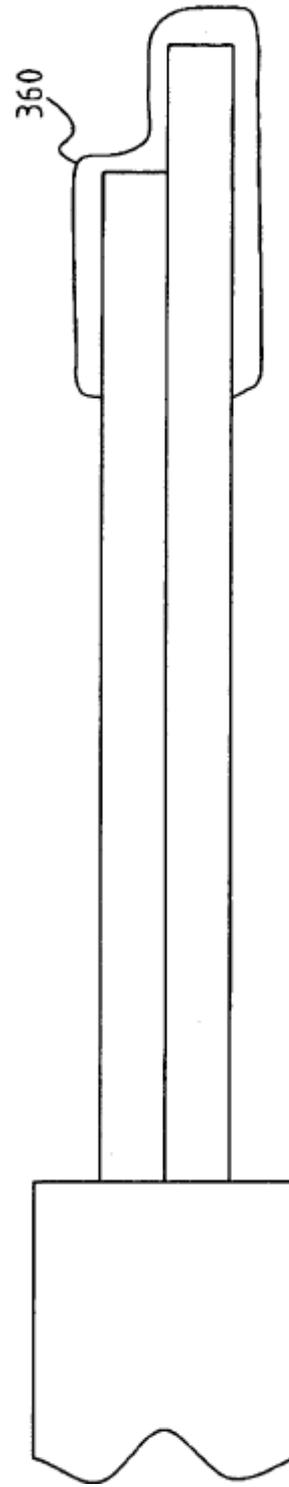


Fig. 7B