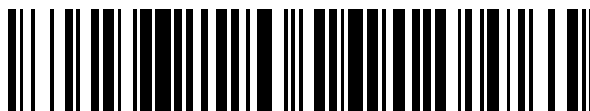


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 471**

51 Int. Cl.:

H01J 9/02 (2006.01)

H01J 37/08 (2006.01)

H01J 27/26 (2006.01)

C25F 3/14 (2006.01)

F03H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2013** **PCT/US2013/057067**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014** **WO14036130**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2013** **E 13759950 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019** **EP 2891169**

54 Título: **Método y aparato para un emisor de electrospray poroso**

30 Prioridad:

30.08.2012 US 201261695034 P

15.03.2013 US 201313839064

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

25.05.2020

73 Titular/es:

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
(100.0%)

77 Massachusetts Avenue
Cambridge, MA 02139, US

72 Inventor/es:

LOZANO, PAULO, C.;
BRIKNER, NATALYA, ANNA y
COFFMAN, CHASE, SPENCER

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 762 471 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

Método y aparato para un emisor de electrospray poroso

Campo de la invención

5 La tecnología se refiere, en general, a dispositivos y métodos de generación de iones. De manera más específica, la invención se refiere a métodos y dispositivos para un emisor de electrospray.

Antecedentes de la invención

10 Los propulsores coloidales existentes utilizan geometría de emisor capilar alimentada por presión para transportar líquido a la base de los conos de Taylor. La Figura 1 muestra un esquema de formación de cono de Taylor a partir de un emisor capilar alimentado por presión. Una tensión puede aplicarse a un emisor 10 capilar, con respecto a un electrodo 20. El equilibrio entre tensión de superficie y presión eléctrica forma un cono 30 de Taylor y genera la emisión de iones 40. Pueden emitirse gotas, debido a la inestabilidad, en el ápice del cono 50. Las gotas pueden llevar la mayor parte de la masa eyectada (a saber, dado que las gotas son relativamente pesadas) mientras administran poco impulso (a saber, dado que las gotas se mueven de manera relativamente lenta). Ello puede traducirse en un funcionamiento ineficaz. En el grabado por haces iónicos, las gotas pueden también contaminar el sustrato.

15 Los emisores capilares alimentados por presión, sin embargo, pueden requerir sistemas de presurización (p.ej., a bordo del satélite que usa los emisores), que añade masa/peso y complejidad al sistema. Las dificultades en la fabricación de pequeños capilares uniformes pueden suponer problemas en la miniaturización de las matrices de agujas. Una manera de evitar los problemas de los emisores capilares alimentados por presión es usar geometrías de emisores humedecidos externamente donde el líquido se extrae de un depósito por fuerzas capilares. Dichos sistemas alimentados pasivamente pueden proveer líquido a la velocidad establecida por el proceso de emisión de electrospray. El uso de emisores externamente alimentados en vacío, sin embargo, es posible con líquidos iónicos.

20 Los líquidos iónicos (LI) son sales fundidas a temperatura ambiente y exhiben presiones de vapor extremadamente bajas. Los LI se forman por iones positivos y negativos que pueden extraerse directamente y acelerarse para producir empuje cuando se usan en la operación bipolar. Los LI han demostrado emitir una corriente puramente iónica cuando se exponen a un fuerte potencial aplicado. Los LI generan una emisión iónica sustancialmente pura y tienen una tensión inicial relativamente baja (p.ej., menor que aproximadamente 2 kV requeridos para generar iones a partir del cono de Taylor). Los LI permiten un impulso específico escalable del (de los) emisor(es) de electrospray de aproximadamente 500 segundos a 5.000+ segundos. Algunos LI pueden mostrar tendencias de superenfriamiento en las cuales permanecen como líquidos por debajo de sus puntos de congelación nominales. Como sus primos inorgánicos (sales simples como NaCl, KBr, etc.) en sus puntos de fusión (normalmente > 850°C), los LI exhiben conductividad eléctrica apreciable a temperatura ambiente, lo cual los hace apropiados para la deformación electrostática y subsiguiente formación del cono de Taylor. Los LI son térmicamente estables en un amplio rango de temperaturas (no hierven, pero se descomponen a temperaturas ~250-500°C) y son, aparentemente, no tóxicos, pudiendo usarse con aplicaciones con estándares verdes como, por ejemplo, en la síntesis y catálisis de reacciones químicas. Los LI pueden usarse en sistemas electroquímicos como, por ejemplo, en supercondensadores de alta densidad energética. La ventana electroquímica de los LI (a saber, la potencial diferencia máxima sostenible por el líquido antes de que las reacciones electroquímicas se activen) es más alta que en las soluciones acuosas convencionales. Los LI tienen bajas presiones de vapor en, o moderadamente por encima de, sus puntos de fusión. Ello permite el uso en el equipo de alto vacío en arquitecturas abiertas como, por ejemplo, agujas/emisores humedecidos externamente.

25 Las fuentes iónicas que usan LI pueden producir haces iónicos positivos o negativos con: (1) distribuciones de energía estrechas, (2) alto brillo, (3) tamaño de fuente pequeño, y (4) amplia selección de líquidos con diversas composiciones moleculares. Las fuentes iónicas LI pueden usarse como una fuente simple y compacta de iones negativos prácticamente monoenergéticos, que pueden reducir la acumulación de carga que limita la capacidad de centrar haces iónicos positivos no neutralizados en dieléctrica (aisladores o algunas muestras biológicas) u objetivos conductores, pero eléctricamente flotantes, y actuar como un producto decapante químicamente reactivo para aplicaciones de micro o nanoprocesamiento de materiales.

30 El documento WO2009137583 A2 describe una fuente de iones de líquidos iónicos que incluye un cuerpo microfabricado que incluye una base y una punta. El cuerpo microfabricado está formado por un metal poroso compatible con un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente.

Compendio de la invención

35 Los emisores de electrospray de metal poroso han demostrado emitir más corriente que un emisor humedecido externamente, sólido, de tamaño comparable (p.ej., aguja), debido a la capacidad de flujo capilar aumentada (p.ej., mayor flujo a través del volumen) provista por la porosidad volumétrica del sustrato de emisor. Los emisores de metal poroso también tienen el beneficio de ser un suministro capilar pasivo que se autorregula que reduce la complejidad en sistemas capilares alimentados por presión acoplado al beneficio del flujo aumentado a través del

volumen que permite que los emisores de metal poroso emitan mayor corriente y provean mayor empuje. Un empuje típico de un solo emisor de metal poroso que funciona en el modo iónico puede ser de alrededor de 0,05 - 0,1 $\mu\text{N}/\mu\text{A}$. Los emisores de electrospray de metal poroso alimentados pasivamente pueden emitir puramente en el régimen iónico, lo cual permite una operación de impulso específico alto (ISP alto) y alta eficacia polidispersiva. Múltiples emisores pueden agruparse para producir una cantidad deseada de corriente, por ejemplo, en aplicaciones espaciales. Las técnicas de microfabricación pueden usarse para fabricar un solo emisor o una matriz de emisores. Los emisores de electrospray de metal poroso pueden fabricarse mediante el uso, por ejemplo, de fotolitografía y grabado electroquímico.

La presente invención se define en la reivindicación 1, las realizaciones preferidas de la invención reivindicada se establecen en las reivindicaciones dependientes.

La siguiente descripción describe varios aspectos y realizaciones de fuentes de iones de líquidos iónicos. Las realizaciones según la invención reivindicada se denotan como tales.

En un aspecto, una fuente de iones de líquidos iónicos incluye un cuerpo microfabricado que incluye una base y una punta y que está hecho de un material poroso compatible (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) con al menos un líquido iónico, o sal fundida a temperatura ambiente. El cuerpo microfabricado puede tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del cuerpo a la punta del cuerpo, de modo que el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.

En otro aspecto, una fuente de iones de líquidos iónicos incluye múltiples emisores microfabricados a partir de un metal poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico, o sal fundida a temperatura ambiente. Cada emisor puede tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del emisor a la punta del emisor, de modo que el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.

En incluso otro aspecto, un sistema para producir iones incluye una fuente de al menos uno de líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente y una matriz de emisores microfabricados a partir de un metal poroso compatible con el al menos uno de líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, donde cada emisor puede tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del emisor a la punta del emisor de modo que el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor. El sistema puede también incluir un electrodo posicionado corriente abajo con respecto a la matriz de emisores y una fuente de alimentación para proveer una tensión a la matriz de emisores con respecto al electrodo.

En otro aspecto, un método para fabricar una matriz de emisores de electrospray puede incluir la aplicación de poliimida a un primer lado de una muestra que comprende un metal poroso compatible con un líquido iónico, la aplicación de fotorresistente al primer lado de la muestra y la aplicación de una máscara de transparencia al primer lado de la muestra y la exposición de la muestra a luz UV para formar un patrón de geometría de emisor. El método puede también incluir retirar el fotorresistente de la muestra, curar la muestra para endurecer la poliimida, grabar electroquímicamente la muestra para formar una geometría de emisor y retirar la poliimida, lo cual resulta en una matriz de emisores de electrospray. El método puede incluir la etapa de tratar y/o procesar una punta de cada emisor para variar un tamaño de poro entre cada punta y cada base de cada emisor en la matriz.

En incluso otro aspecto, un método para fabricar un emisor de iones puede incluir formar un cuerpo con un metal poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el cuerpo teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de un primer extremo del cuerpo a un segundo extremo del cuerpo. El método puede también incluir la microfabricación del cuerpo para formar una base con respecto al primer extremo del cuerpo y una punta con respecto al segundo extremo del cuerpo, en donde el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.

En otro aspecto, un método para fabricar una fuente de iones puede incluir la formación de un patrón de geometría de emisor en un sustrato unitario que comprende un metal poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico, o sal fundida a temperatura ambiente. El método puede también incluir el grabado electroquímico del sustrato unitario para formar múltiples emisores, donde cada emisor comprende una base en el primer extremo del sustrato y una punta en el segundo extremo del sustrato. Una punta de cada emisor puede procesarse/tratarse para formar un gradiente de tamaño de poro que varía de la base a la punta de cada emisor.

En otro aspecto, una fuente de iones de líquidos iónicos incluye un cuerpo que incluye una base y una punta y que está formado por un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el cuerpo teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del cuerpo a la punta del cuerpo, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.

En otro aspecto, una fuente de iones de líquidos iónicos incluye múltiples emisores formados con un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, cada emisor de los múltiples emisores teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de una base del emisor a una punta del emisor, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.

- En otro aspecto, un sistema para producir iones incluye una fuente de al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. El sistema incluye una matriz de emisores formados con un material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, cada emisor teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de una base del emisor a una punta del emisor, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor. El sistema incluye un electrodo posicionado corriente abajo con respecto a la matriz de emisores. El sistema incluye una fuente de alimentación para proveer una tensión a la matriz de emisores con respecto al electrodo.
- En otro aspecto, una fuente de iones de líquidos iónicos incluye un cuerpo de emisor formado a partir de un material poroso, el cuerpo de emisor externamente humedecido por al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. La fuente de iones de líquidos iónicos incluye un electrodo eléctricamente conectado al cuerpo de emisor mediante el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente.
- En otro aspecto, un sistema para producir iones incluye una fuente de al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. El sistema incluye un primer electrodo en contacto con el líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el primer electrodo formado con un primer material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. El sistema incluye un miembro de conexión adyacente al primer electrodo, el miembro de conexión formado por un segundo material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. El sistema incluye una matriz de emisores adyacentes al miembro de conexión, la matriz de emisores formada por un tercer material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. En el sistema, el primer electrodo, el miembro de conexión y la matriz de emisores tienen un gradiente de tamaño poroso que se reduce del primer electrodo a la matriz de emisores de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad del primer electrodo, a través de la al menos una porción del miembro de conexión, y a la matriz de emisores.
- En otro aspecto, un método para fabricar una matriz de emisores de electrospray incluye la formación de un sustrato a partir de un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el sustrato teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de un primer extremo del cuerpo a un segundo extremo del cuerpo. El método incluye el procesamiento del sustrato para formar uno o más emisores, en donde cada emisor del único o más emisores comprende una base y una punta formadas por el sustrato, la base con respecto al primer extremo del sustrato y la punta con respecto al segundo extremo del sustrato, y en donde el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- En otro aspecto, un método para fabricar una matriz de emisores de electrospray incluye la formación de un sustrato a partir de un primer material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. El método incluye depositar, de manera selectiva, un segundo material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente en el sustrato para formar uno o más emisores, en donde cada emisor del único o más emisores comprende una base y una punta, en donde el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- En otros ejemplos, cualquiera de los aspectos de más arriba, o cualquier aparato o método descrito en la presente memoria, puede incluir una o más de las siguientes características.
- En algunas realizaciones, el líquido iónico puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base de un cuerpo microfabricado a la punta del cuerpo microfabricado. El cuerpo puede ser una aguja cilíndrica. En algunas realizaciones, el cuerpo es una aguja tipo cinta plana. La punta del cuerpo microfabricado puede formarse por grabado electroquímico. En algunas realizaciones, un radio de curvatura de la punta es de alrededor de 1-20 μm .
- En algunas realizaciones, el metal poroso es al menos uno de tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno o titanio.
- En algunas realizaciones, una fuente de iones incluye múltiples emisores y el líquido iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor. Los emisores pueden formarse por grabado electroquímico. En algunas realizaciones, un espaciado entre los emisores es menor que alrededor de 1 mm. En algunas realizaciones, un sistema para producir iones incluye una matriz de emisores y el líquido iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.
- En algunas realizaciones, el material poroso incluye un material dieléctrico. En algunas realizaciones, el material dieléctrico incluye al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido. En algunas realizaciones, el material de metal incluye al menos uno de tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno o titanio. En algunas realizaciones, el tercer material poroso incluye un material de metal. En algunas realizaciones, el material de metal incluye al menos uno de plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de ellos cubierto con un material de metal noble. En algunas realizaciones, el tercer material poroso incluye un material dieléctrico. En algunas realizaciones, el material dieléctrico incluye al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido. En algunas realizaciones, el primer material poroso incluye al menos uno de plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel,

magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de ellos cubierto con un material de metal noble. En algunas realizaciones, el sistema para producir iones incluye una rejilla de extracción posicionada corriente abajo con respecto a la matriz de emisores. En algunas realizaciones, el sistema para producir iones incluye una rejilla de acelerador posicionada corriente abajo con respecto a la rejilla de extracción.

5 Un método para fabricar una matriz de emisores puede incluir el llenado del metal poroso con fotorresistente y la exposición del metal poroso con una luz UV para bloquear poros del metal poroso para formar la muestra. En algunas realizaciones, el método incluye bloquear la superficie de metal poroso por la deposición uniforme de monocapas de un material compatible (p.ej., compatible con los líquidos iónicos y el sustrato de metal poroso y que no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) mediante el uso de la Deposición Química de Vapor (CVD, por sus siglas en inglés) o Deposición Física de Vapor (PVD, por sus siglas en inglés). La etapa de aplicar políimida al primer lado de la muestra puede incluir precocer la muestra. El método puede incluir desarrollar la muestra para transferir el patrón de geometría de emisor mediante la retirada del fotorresistente positivo y el grabado de la políimida.

10 En algunas realizaciones, el grabado electroquímico de la muestra incluye la etapa de retirar el exceso de metal poroso para formar la geometría del emisor. La etapa de grabado electroquímico de la muestra puede incluir el grabado de la muestra para formar una geometría de emisor cónica. En algunas realizaciones, el metal poroso es al menos uno de tungsteno, magnesio, molibdeno, titanio o níquel.

15 El método para fabricar un emisor de iones puede incluir microfabricar un cuerpo para formar una base y una punta. En algunas realizaciones, el líquido iónico puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta. La microfabricación del cuerpo puede incluir formar el cuerpo en una aguja tipo cinta plana.

20 Una superficie de la punta de un emisor (p.ej., uno o más emisores en una matriz) puede tratarse/procesarse mediante la aplicación de una capa de metal compatible (p.ej., una capa porosa de metal compatible con los líquidos iónicos y el sustrato de metal poroso que no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) u otro metal inmediatamente condensable al emisor de metal poroso (p.ej., sobre la superficie en o sustancialmente cerca de la punta del emisor). Por ejemplo, una capa de zinc puede aplicarse a un emisor de tungsteno poroso. Una superficie de la punta de un emisor (p.ej., un emisor en una matriz) puede también tratarse/procesarse mediante la fijación de nanotubos de carbono a una superficie de cada emisor en o sustancialmente cerca de la punta del(de los) emisor(es) (p.ej., de modo que un tamaño de poro en la punta de cada emisor es más pequeño que un tamaño de poro en una base de cada emisor).

25 Otros aspectos y ventajas de la invención pueden ser aparentes a partir de los siguientes dibujos y descripción, todos los cuales ilustran los principios de la invención, a modo de ejemplo solamente.

Breve descripción de los dibujos

30 Las ventajas de las realizaciones descritas más arriba, junto con ventajas adicionales, se comprenderán mejor mediante referencia a la siguiente descripción tomada en conjunto con los dibujos anexos. Los dibujos no son necesariamente a escala, en su lugar, se emplea énfasis, en general, al ilustrar los principios de la presente descripción.

La Figura 1 es un esquema de formación de cono de Taylor a partir de un emisor capilar alimentado por presión.

La Figura 2 es un esquema de una fuente de iones.

La Figura 3 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray de metal poroso.

40 La Figura 4 muestra un esquema de una configuración para el grabado electroquímico.

La Figura 5 muestra un esquema de una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 6 es un dibujo de un conjunto de matriz de emisores de electrospray porosos.

La Figura 7A es un gráfico que muestra mediciones de tiempo de vuelo para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

45 La Figura 7B es otro gráfico que muestra mediciones de tiempo de vuelo para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 8A es un gráfico que muestra mediciones de empuje para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

50 La Figura 8B es otro gráfico que muestra mediciones de empuje para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 9A es un gráfico que muestra mediciones de corriente y tensión para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 9B es otro gráfico que muestra mediciones de corriente y tensión para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

5 La Figura 10A es un gráfico que muestra el porcentaje de corriente para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 10B es otro gráfico que muestra el porcentaje de corriente para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

10 La Figura 11A es un gráfico que muestra el impulso específico para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 11B es otro gráfico que muestra el impulso específico para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso.

La Figura 12 es un esquema de una fuente de iones, según una realización ilustrativa de la invención.

Las Figuras 13A y 13B son esquemas de una fuente de iones, según una realización ilustrativa de la invención.

15 La Figura 14 es un esquema de una matriz de emisores de electrospray, según una realización ilustrativa de la invención.

La Figura 15 es un esquema de una matriz de emisores de electrospray, según una realización ilustrativa de la invención.

La Figura 16 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray.

20 La Figura 17 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray.

La Figura 18 es un gráfico que muestra la variación relativa de la tensión de emisor inmediatamente después de la inversión de polaridad.

Descripción detallada de la invención

25 La Figura 2 es un esquema de una fuente 100 de iones. La fuente 100 de iones incluye un cuerpo 105 (p.ej., un cuerpo de emisor) que incluye una base 110 y una punta 115. El cuerpo 105 puede estar hecho de un metal poroso (p.ej., un cuerpo de emisor microfabricado formado por un sustrato de metal poroso) compatible con un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión). El cuerpo 105 puede montarse con respecto a una fuente 120 de líquido iónico o una fuente de una sal fundida a temperatura ambiente. El cuerpo 105 incluye un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base 110 del cuerpo 105 a la punta 115 del cuerpo 105, de modo que el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad (p.ej., a través de fuerzas capilares) de la base 110 a la punta 115. El líquido iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad de la base 110 a la punta 115 de modo que la fuente 100 de iones (p.ej., emisor) evita la falta de líquido. Un electrodo 125 puede posicionarse corriente abajo con respecto al cuerpo 105. Una fuente 130 de alimentación puede aplicar una tensión al cuerpo 105 con respecto al electrodo 125 y, de esta manera, emitir una corriente (p.ej., un haz de iones 135) desde la punta 115 del cuerpo 105. La aplicación de una tensión puede provocar la formación de un cono de Taylor (p.ej., como se muestra en la Figura 1) en la punta 115 y provocar la emisión de iones 135 desde la punta 115.

40 En algunas realizaciones, el cuerpo 105 es un emisor que es una aguja cilíndrica o una aguja tipo cinta plana. La geometría del emisor (p.ej., forma y/o configuración del cuerpo de emisor) puede afectar la corriente generada por el emisor. Por ejemplo, configuraciones tipo cinta plana producen más corriente que las agujas sólidas cilíndricas tradicionales. Un emisor externamente humedecido de tungsteno puede generar alrededor de 0,2 μA por emisor. Por el contrario, un emisor de tungsteno de cinta plana puede generar hasta alrededor de 10 μA por emisor. En algunas realizaciones, un radio de curvatura de la punta 115 del cuerpo 105 puede encontrarse en el rango de alrededor de 1 μm a alrededor de 20 μm en la dirección horizontal (p.ej., a lo largo del eje z) y un radio de curvatura de alrededor de 2 μm a alrededor de 3 μm en la dirección vertical (p.ej., a lo largo del eje y).

45 El cuerpo 105 puede microfabricarse a partir de un sustrato de metal poroso. El cuerpo 105 puede formarse por grabado electroquímico. En algunas realizaciones, el cuerpo puede formarse por un sustrato de metal poroso (p.ej., tungsteno) pero otros materiales pueden estar presentes. El cuerpo 105 puede microfabricarse a partir de un metal poroso compatible (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente. Ejemplos de dichos metales porosos incluyen tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno o titanio.

El gradiente de tamaño de poro del cuerpo 105 puede permitir que el líquido iónico de la fuente 120 se transporte de la base 110 a la punta 115. En algunas realizaciones, el tamaño de los poros en la base 110 es mayor que los poros en el metal en la punta 115, lo cual permite que el líquido iónico se transporte a través de la capilaridad (p.ej., fuerzas capilares) de la base 110 del emisor a la punta 115. Mediante el transporte del líquido iónico a través de la capilaridad, el gradiente de tamaño de poro puede actuar como un suministro capilar pasivo autorregulable que reduce la masa y complejidad en sistemas capilares (p.ej., mediante la reducción sustancial de la necesidad de un sistema presurizado). El gradiente de tamaño de poro puede proveer, de manera continua, líquido iónico a la punta 115 y, por consiguiente, reducir las posibilidades de que la fuente de iones sufra una falta de líquido. El flujo a lo largo del cuerpo (p.ej., flujo de volumen aumentado de los poros) puede permitir incluso más corriente que los emisores de cinta sólidos.

La Figura 2 ilustra una fuente de iones que comprende un cuerpo 105 de emisor, sin embargo, múltiples emisores (p.ej., una matriz de emisores) pueden usarse en una matriz 1D o 2D. La matriz de emisores puede también microfabricarse a partir de un metal poroso (p.ej., un sustrato de metal poroso unitario) compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. Cada emisor, según se describe más arriba, puede tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del emisor a la punta del emisor, de modo que el líquido iónico se transporta a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor. Un electrodo (p.ej., electrodo 125) puede posicionarse corriente abajo con respecto a la matriz de emisores y una fuente de alimentación (p.ej., fuente de alimentación 130) para proveer una tensión a la matriz de emisores con respecto al electrodo.

La Figura 3 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray de metal poroso. Emisores solos (p.ej., el cuerpo 105 de emisor según se muestra en la Figura 2) o matrices de emisores (p.ej., matrices 1D o 2D) pueden fabricarse a partir de sustratos metálicos porosos mediante el uso de técnicas de microfabricación como, por ejemplo, fotolitografía y grabado electroquímico. El(los) emisor(es) de metal poroso puede(n) microfabricarse mediante el uso de grabado electroquímico con una película de poliimida como una capa de enmascaramiento. Un método para fabricar los emisores puede incluir las siguientes etapas: (1) llenar un sustrato poroso con un fotorresistente positivo (Etapa 300), (2) aplicar una capa de poliimida a la muestra (p.ej., el sustrato poroso con el fotorresistente) (Etapa 310), (3) aplicar una capa de fotorresistente positivo en la poliimida y exponer el fotorresistente para transferir la geometría prevista (Etapa 320), (4) desarrollar el fotorresistente (p.ej., para retirar el fotorresistente expuesto) y grabar la poliimida (Etapa 330), (5) retirar el fotorresistente (p.ej., dejar solamente la máscara de poliimida definida por la geometría de emisor prevista) (Etapa 340), y (6) grabar la muestra para formar el emisor/matrices de emisores (Etapa 350). El método puede también incluir el procesamiento y/o tratamiento de una punta de cada emisor para variar un tamaño de poro entre la base y la punta del emisor.

Un método para fabricar los emisores puede incluir la etapa de proveer un sustrato 360 de metal poroso. El cuerpo de emisor puede formarse a partir de un metal poroso compatible (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) con un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. Por ejemplo, hojas de tungsteno (p.ej., hojas de tungsteno poroso con un grosor de 0,25 mm y una porosidad de 2 micras de American Elements, Los Ángeles, CA) pueden cortarse en piezas de 1 cm por 2,5 cm mediante el uso de una sierra troqueladora (p.ej., Sistema Abrasivo de Disco Modelo DAD-2H/6T de DISCO, Tokio, Japón) y limpiarse en acetona seguido de isopropanol. Otros metales porosos compatibles con líquidos iónicos y sales fundidas a temperatura ambiente pueden usarse también. Por ejemplo, el metal poroso puede ser níquel, magnesio, molibdeno, titanio o cualquier combinación de ellos. En algunas realizaciones, un sustrato unitario de un metal poroso puede usarse para formar más de un emisor (p.ej., un patrón de geometría de emisor que puede usarse para formar una matriz de emisores). El uso de metal poroso resulta en la capacidad de flujo capilar aumentada provista por la porosidad volumétrica del sustrato de emisor. Los emisores pueden fabricarse a partir de uno o más sustratos para formar uno o más emisores planos (p.ej., agujas).

El sustrato de metal poroso puede desarrollarse para formar una muestra que incluye un sustrato 360 de metal poroso (p.ej., sustrato de tungsteno poroso) con los poros bloqueados (Etapa 300), por ejemplo, con un fotorresistente 370. El sustrato de metal poroso puede llenarse con fotorresistente 370 (p.ej., fotorresistente positivo Shipley 1827) y el sustrato expuesto (p.ej., ambos lados) con luz UV para bloquear poros del metal poroso para formar la muestra. En algunas realizaciones, puede permitirse que el sustrato se empape en el fotorresistente 370 (p.ej., durante 20 segundos). La muestra (p.ej., el sustrato de metal poroso con el fotorresistente) puede girarse durante 60 segundos comenzando a 700 rpm y aumentando a 1.700 rpm con una aceleración de 200 rpm/s. La muestra puede entonces cocerse mediante calentamiento en una placa caliente durante 20 segundos a 70°C seguido de 30 segundos en un horno a 90° y 30 segundos a 130°. En algunas realizaciones, ambos lados de la muestra pueden exponerse mediante el uso de un alineador de banda ancha (p.ej., Karl Suss MJB3 de Suss-MicroTec, Waterbury Center, CT) durante 150 segundos y sumergirse en un desarrollador (p.ej., un desarrollador de solución de pH alto como, por ejemplo, MF-319 para "lavar" el material que se eliminará tras la exposición UV) hasta que ambas superficies estén limpias de fotorresistente. Un alineador de banda ancha puede usarse en la microfabricación para transferir un patrón a un sustrato cubierto con fotorresistente mediante el brillo de luz UV. Si no se aplica patrón alguno, la luz UV puede usarse para producir el deterioro en superficies expuestas. El fotorresistente 370 puede dejarse sustancialmente llenando el volumen del medio poroso para evitar que la poliimida entre en los poros. Las muestras pueden limpiarse en agua desionizada (DI) y secarse.

En algunas realizaciones, la superficie del metal 360 poroso puede bloquearse por la deposición uniforme de monocapas de un metal compatible mediante el uso de la Deposición Química de Vapor (CVD) (p.ej., técnica de evaporación térmica que implica hervir y depositar un material en una superficie relativamente más fría como, por ejemplo, depositar el metal compatible en el sustrato poroso). Monocapas de un metal compatible mediante el uso de CVD pueden depositarse en lugar de sumergir el sustrato de metal poroso en polímeros fotorresistentes. Un beneficio es que los poros pueden estar sustancialmente libres de contaminación potencial que podría dañar el proceso de grabado y operación de electro spray. Un "metal compatible" puede ser un metal que es compatible con líquidos iónicos y el material de sustrato poroso (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión). Por ejemplo, si el sustrato 360 de metal poroso es un sustrato de tungsteno poroso, la superficie del sustrato de tungsteno poroso puede bloquearse por la deposición uniforme de monocapas de tungsteno mediante el uso de CVD.

El método puede también incluir la etapa de añadir una capa de poliimida 380 (p.ej., poliimida PI2556 de HD Microsystems) a un primer lado de la muestra (p.ej., el sustrato 360 de metal poroso con los poros bloqueados con el fotorresistente 370) (Etapa 310). La muestra puede precocerse para expulsar disolventes. La poliimida 380 puede usarse como el material de enmascaramiento para su resistencia al Hidróxido de Sodio y capacidad de tener un patrón preciso mediante el uso de técnicas de fotolitografía estándares. En algunas realizaciones, una capa de 1,5 µm de poliimida 380 gira sobre una superficie de la muestra. La muestra puede precocerse mediante el agrupamiento de la poliimida 380 sobre la superficie durante 10 segundos, girar a 500 rpm durante 5 segundos y lentamente impulsarse hasta 1.300 rpm y girar durante 50 segundos. La poliimida 380 puede calentarse en una placa caliente a 55° durante 30 segundos y a 70° durante 30 segundos, seguido de cocciones en el horno a 90° durante 60 segundos y a 130° durante 60 segundos. El protocolo de calentamiento gradual empleado puede limitar la cantidad de agujeros en la poliimida 380 provocados por el gas atrapado en el volumen del medio poroso que se escapa durante el calentamiento rápido.

El método puede también incluir la etapa de aplicar fotorresistente 370 al primer lado de la muestra (p.ej., sustrato de metal poroso con los poros bloqueados y que incluye una capa de poliimida) (Etapa 320). Una capa de fotorresistente 370 puede aplicarse en la parte superior de la poliimida 380 (p.ej., la capa de poliimida 380 aplicada al sustrato 360 de metal poroso en la Etapa 310 de más arriba). En algunas realizaciones, una capa de fotorresistente 370 que tiene un grosor de alrededor de 5 µm gira sobre la poliimida 380. La muestra puede calentarse a 70° durante 30 segundos en una placa caliente y a 130° durante 90 segundos en un horno. Una máscara de transparencia (p.ej., transparencias de fotolitografía de PageWorks, Cambridge, MA) puede aplicarse al primer lado de la muestra y exponerse con una luz UV para formar el patrón 390 de geometría de emisor y partes expuestas del fotorresistente 400 positivo.

La muestra puede desarrollarse para transferir el patrón 390 de geometría de emisor a la muestra. La muestra puede desarrollarse para retirar el fotorresistente 400 positivo expuesto de la muestra (Etapa 330). Las partes expuestas del fotorresistente 400 positivo pueden retirarse para grabar la poliimida 380 subyacente (p.ej., para retirar la porción de la poliimida 380 cubierta por partes expuestas del fotorresistente y dejar la porción de la poliimida cubierta por el fotorresistente no expuesto) y, de esta manera, transferir el patrón 390 de geometría de emisor deseado. En algunas realizaciones, las muestras se exponen durante 120 segundos y se desarrollan en MF-319 hasta que el patrón se haya transferido a la poliimida.

El método puede también incluir la etapa de retirar el fotorresistente de la muestra (p.ej., retirar la capa del fotorresistente no expuesto de la Etapa 320) y luego curar la muestra (Etapa 340). El curado de la poliimida 380 (p.ej., la poliimida restante definida por el patrón 390 de geometría de emisor) en un horno endurece la poliimida 380 contra la química de grabado electroquímico. Las muestras pueden sumergirse en acetona durante 1 hora en un limpiador ultrasónico para retirar el fotorresistente 370 de la superficie y volumen (p.ej., para retirar el fotorresistente 370 que estaba no expuesto de la Etapa 320 y también el fotorresistente 370 que llenaba los poros del sustrato 360 de metal poroso en la Etapa 300). Las muestras pueden cocerse en un horno de recocido para curar parcialmente la poliimida 380 mediante el uso del siguiente perfil de temperatura: una tasa de incremento lenta de temperatura ambiente a 150°C, mantener a 150° durante 10 minutos, luego aumentar a 200° y mantener durante 10 minutos en nitrógeno, luego un aumento de hasta 240° y mantener durante 1,5 horas en nitrógeno, seguido de un período de enfriamiento lento.

La muestra puede entonces grabarse electroquímicamente para formar la geometría 390 de emisor (Etapa 350). La muestra (p.ej., un sustrato unitario de metal poroso que ha experimentado las Etapas 300-340 de más arriba) puede grabarse para retirar el exceso de metal 360 poroso para formar la geometría 390 de emisor deseada (p.ej., uno o más emisores donde cada emisor tiene una base en el primer extremo del sustrato y una punta en el segundo extremo del sustrato). La muestra puede grabarse, por ejemplo, en Hidróxido de Sodio hasta que el exceso de metal 360 poroso (p.ej., exceso de tungsteno u otro metal) se haya retirado para formar el(los) emisor(es) según una geometría deseada. El(los) emisor(es) puede(n) microfabricarse mediante grabado de la muestra para retirar el exceso de metal poroso para formar, por ejemplo, uno o más emisores de forma cónica o una o más emisores/agujas tipo cinta plana. La poliimida 380 restante puede entonces retirarse y, de esta manera, proveer la matriz de emisores de metal poroso con el patrón 390 de geometría de emisor deseado.

Una punta de un emisor, o un emisor individual en una matriz de emisores, puede procesarse y/o tratarse para variar un tamaño de poro entre la base del cuerpo de emisor a una punta del cuerpo de emisor. En algunas realizaciones, los poros más pequeños (p.ej., con respecto a otros poros en el emisor) están cerca de las puntas de emisor. El cuerpo de emisor puede fabricarse para tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de un primer extremo del cuerpo a un segundo extremo del cuerpo (p.ej., el tamaño de poro se convierte en más pequeño hacia el segundo extremo/punta del cuerpo, de modo que los tamaños de los poros en el segundo extremo/punta son más pequeños que el tamaño de poro en el primer extremo/base del cuerpo). El gradiente de tamaño de poro permite que el líquido iónico se transporte de forma continua a través de la capilaridad del primer extremo del cuerpo al segundo extremo del cuerpo (p.ej., de la base del emisor a la punta del emisor).

Una nano/meso capa porosa de un material compatible eléctricamente conductor (p.ej., zinc en tungsteno poroso) puede aplicarse a la superficie sustancialmente cerca/alrededor de la punta de cada emisor para variar un tamaño de poro (p.ej., para formar poros más pequeños en la punta con respecto a la base). El tamaño de los poros en la capa del material compatible puede ser sustancialmente más pequeño que el tamaño de los poros en el sustrato poroso (p.ej., el emisor poroso). Un "metal compatible" puede ser un metal que es compatible con líquidos iónicos y el material de sustrato poroso (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión). Un metal compatible (p.ej., zinc para tungsteno poroso) puede depositarse a través de evaporación térmica. El metal compatible (p.ej., zinc) puede formar agregados en el emisor de metal poroso (p.ej., tungsteno poroso). En algunas realizaciones, una capa de alrededor de 1-5 micras de grosor de metal compatible puede depositarse. Nanotubos de carbono pueden también fijarse a la superficie del emisor sustancialmente cerca/alrededor de la punta de cada emisor para formar el gradiente de tamaño de poro (p.ej., para formar poros más pequeños en la punta con respecto a la base). Los nanotubos de carbono pueden depositarse en la superficie (p.ej., en o sustancialmente cerca de la punta del emisor) y formar un "bosque" poroso relativamente bien organizado. En ambos casos, la introducción de porosidades diferentes para el flujo preferencial (p.ej., tamaños de poro más pequeños en la punta que en la base del emisor de metal poroso) facilita el transporte de líquido a los sitios de emisión (p.ej., la punta del emisor).

Las fuentes de iones tradicionales que usan disolventes normales (con presiones de vapor diferentes de cero) no usan, en principio, variación de poro controlada dado que la interfaz líquido/vapor está en equilibrio (p.ej., agua con vapor de agua) y se transporta por convección hacia afuera a través de evaporación, incluso dentro de los poros. Los emisores de electrospray de metal poroso, sin embargo, no tienen una dirección preferencial para la convección dado que no hay evaporación térmica de líquidos iónicos. Solo hay evaporaciones de iones, pero para que esta ocurra, el líquido se transporta a las puntas a través de la capilaridad (p.ej., fuerzas capilares).

La Figura 4 muestra un esquema de una configuración 401 para el grabado electroquímico. Según se describe más arriba, los emisores pueden fabricarse a partir de sustratos de metal poroso electroquímicamente grabados (p.ej., tungsteno poroso) con una capa de poliimida que actúa como una máscara de grabado. El grabado isotrópico (p.ej., etapa 350 en la Figura 3) puede llevarse a cabo para formar la geometría del emisor. La muestra 410 enmascarada (p.ej., la muestra de la Etapa 340) puede colocarse en un contenedor lleno de una solución 420 de ataque (p.ej., hidróxido de sodio 1N (NaOH)). Un potencial eléctrico (p.ej., potencial eléctrico CD) puede aplicarse mediante el uso de una fuente 429 de alimentación entre la muestra 410 y un cátodo 430 (p.ej., un cátodo de acero inoxidable) para iniciar el proceso de grabado. El grabado puede llevarse a cabo, por ejemplo, en un rompedor 440 de vidrio con un cátodo circular que rodea la pieza. Para ayudar en la formación de puntas parejas y para mejorar la velocidad de grabado, la muestra 410 de metal poroso puede retirarse de forma periódica y sumergirse en un limpiador ultrasónico para despejar la superficie de residuos y para retirar burbujas que se forman en la superficie. El grabado puede también llevarse a cabo en un flujo uniforme de solución de ataque, lo cual puede reducir el efecto de formación de remolinos y burbujas en el grabado. Siguiendo la finalización del grabado, el hidróxido de sodio puede aclararse de la muestra en agua DI. La máscara de poliimida restante (p.ej., la máscara de poliimida restante que define la geometría de emisor según se describe en las Etapas 340 y 350 en la Figura 3 de más arriba) puede retirarse en Piranha (p.ej., mezcla 4:1 de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno). Siguiendo un aclarado en agua DI, los emisores pueden secarse con aire con nitrógeno.

La Figura 5 muestra un esquema de una matriz 500 de emisores de electrospray de metal poroso, según una realización ilustrativa de la invención. Los emisores 510A-510E pueden fabricarse para tener un espaciado 520 de emisores de menos de alrededor de 1 mm. Cada emisor puede tener un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base 530A-530E del emisor a la punta 540A-540E del emisor 510A-510E. El líquido iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad (p.ej., fuerzas capilares) desde la base 530A-530E a la punta 540A-540E de cada emisor 510A-510E. En algunas realizaciones, cualquiera de los emisores 510A-510E puede tener un radio de curvatura de alrededor de 10 μm a alrededor de 20 μm en la dirección horizontal (p.ej., a lo largo del eje y) y un radio de curvatura de alrededor de 2 μm a alrededor de 3 μm en la dirección vertical (p.ej., a lo largo del eje x). La matriz 500 de emisores puede incluir múltiples emisores 510A-510E microfabricados a partir de un metal poroso. El metal poroso puede ser compatible (p.ej., no reacciona o resulta en deterioro electroquímico o corrosión) con un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente. Los emisores pueden formarse por grabado electroquímico. En algunas realizaciones, el metal poroso es tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio o cualquier combinación de ellos.

La Figura 6 es un dibujo de un conjunto 600 de matriz de emisores de electrospray de metal poroso, según otra realización ilustrativa de la invención. Múltiples emisores (p.ej., dos o más emisores) pueden agruparse juntos para

formar un propulsor. El empuje típico de un solo emisor/aguja que funciona en el modo iónico se encuentra en el orden de alrededor de 0,05 $\mu\text{N}/\mu\text{A}$ a alrededor de 0,1 $\mu\text{N}/\mu\text{A}$, por lo tanto, los emisores pueden agruparse para producir tanta corriente como sea posible (p.ej., para diferentes aplicaciones espaciales). Un conjunto de propulsor puede incluir hojas de emisor 620A-620C (p.ej., donde cada hoja incluye uno o más emisores) juntas para crear una matriz 2D de emisores. Los emisores pueden colocarse con respecto a un extractor 630, lo cual resulta en la generación de un haz iónico.

En la presente realización, la fuente 600 de iones es un propulsor que incluye un conjunto de 3 matrices de agujas planas 620A-620C, cada una de las cuales contiene hasta 18 emisores individuales que proveen un máximo de 54 emisores con una separación de punta a punta de alrededor de 1 mm. El propulsor 600 provee una densidad de emisor de un poco por debajo de 0,5 puntas por mm^2 . En la presente realización, las hojas de emisores 620A-620C individuales se sujetan con abrazadera en el lugar entre dos barras 640 (acero inoxidable de 50 x 7,9 x 7,9 mm). La separación de hojas de emisores puede proveerse por placas 641 (p.ej., placas 165 de acero inoxidable de 1,5 mm de grosor cortadas por un chorro de agua).

El extractor 630 puede estar hecho de acero inoxidable (p.ej., una hoja de acero inoxidable de 0,635 mm de grosor). En la presente realización, las hendiduras 650 del extractor individuales son de 1 mm de ancho, lo cual provee espacio para un medio ángulo de dispersión de haz de 51 grados cuando las puntas del emisor tocan el plano de hendidura del extractor. El extractor 630 puede fijarse a las barras 670 del soporte mediante el uso de un mecanismo 660 y 670 de sujeción (p.ej., dos tornillos de policarbonato #6-32 con dos espaciadores de polietileno). La combinación de tornillos 660 (p.ej., u otro dispositivo de sujeción similar) y espaciadores 670 puede proveer aislamiento eléctrico entre el extractor 630 y los emisores 620A-620C y puede impedir que el combustible líquido migre al extractor y provoque un corto.

El conjunto 600 de propulsor puede proveer alineación precisa entre las hojas de emisores 620A-620C y la rejilla 630 de extractor para reducir el choque de haces. El conjunto 600 de propulsor puede proveer aislamiento adecuado (p.ej., aislamiento eléctrico y fluídico) entre el extractor 630 y los emisores 620A-620C para reducir el riesgo de corto eléctrico. El conjunto 600 incluye materiales que son compatibles (p.ej., no reaccionan o resultan en deterioro electroquímico o corrosión) con líquidos iónicos durante largos períodos. El conjunto 600 de propulsor es fácil de montar, para reducir el riesgo de rotura de emisores.

Las Figuras 7A-7B muestran gráficos 700 y 710 que muestran mediciones de tiempo de vuelo para una matriz de emisores de electrospray de metal poroso. Los gráficos 700 y 710 muestran la intensidad normalizada de un haz de iones generado por una matriz de emisores de electrospray de metal poroso, como una función de tiempo. Los emisores probados han usado EMI-BF4 (3-etil-1-metilimidazolio tetrafluoroborato) como el Líquido Iónico. EMI-IM (1-etil-3-metilimidazolio bis(trifluorometilsulfonil)imida) puede también usarse como el líquido iónico. La técnica de tiempo de vuelo se ha usado para determinar la composición del haz emitido en una matriz de una sola aguja plana que contiene 6 emisores. Las curvas de tiempo de vuelo para la emisión positiva (1915,28 V) y negativa (-1898,33 V) se muestran en los gráficos 700 y 710, respectivamente. La espectrometría de masa de tiempo de vuelo muestra que el haz emitido es puramente iónico e incluye dos especies de iones en ambos modos de funcionamiento positivo y negativo. La contribución de cada especie de ion a la corriente total puede calcularse mirando los cambios relativos en la corriente medida durante las pruebas de tiempo de vuelo. La falta de una cola alargada después de las etapas indica que no hay gotas que contribuyen a la corriente emitida. El funcionamiento de una fuente de electrospray en un régimen mixto gota-ion puede ser muy costoso en términos de eficacia e impulso específico.

En las Figuras 7A-7B, el tiempo que lleva que las partículas se desplacen una distancia conocida se ha medido y luego una relación carga/masa se ha calculado según la velocidad. Desde el tiempo de deriva medido para que las partículas se desplacen entre la distancia dada entre la puerta electroestática y el detector ($L = 751,57 \text{ mm}$) la relación de carga específica y posteriormente la masa de las especies pueden calcularse mediante el uso de EC 1.

$$\left(\frac{q}{m}\right)_1 = \frac{(L/t_1)^2}{2\phi_B}$$

EC. 1

donde "L" es la distancia de deriva en el espectrómetro de tiempo de vuelo, "m" es la masa de partículas, "q" es la carga eléctrica de partículas, "t₁" es el tiempo de vuelo con respecto a la distancia de deriva, y " ϕ_B " es el potencial de aceleración en el eje. Como una aproximación, el potencial de aceleración en el eje puede tomarse como igual al potencial de extracción. En realidad, puede ser de hasta 7 eV más bajo. Los resultados se tabulan en la tabla 1.

Polaridad	Tiempo de Vuelo (μs)	Masa (amu)	% de Corriente Total	$\left(\frac{q}{m}\right)C/gr$	Ion Correspondiente
Positivo	13,9	112,40	42,58	430,6	[EMI] ⁺

(1915,28 V)	22,8	310.15	57.42		[EMI-BF ₄][EMI] ⁺
Negativo	12,4	89,49	49,13	513,9	[BF ⁻]
(-1898,33)	21,9	287,28	50,87		[EMI-BF ₄][BF ⁻]

Tabla 1. Composición de Haces Emitidos

Las Figuras 8A-8B son gráficos 800 y 810 que muestran mediciones de empuje para la matriz de emisores de electrospray de metal poroso que contiene 6 emisores de las Figuras 7A-7B. Los gráficos 800 y 810 muestran el empuje medido como una función de potencial de extracción para un rango de tensión de extracción negativo y un rango de tensión de extracción positivo, respectivamente. Las mediciones de empuje se han llevado a cabo en Busek Company, Natick, MA, mediante el uso de una balanza de torsión que puede medir subfuerzas micronewton. Los emisores de electrospray de metal poroso han demostrado soportar un aumento de la corriente de más de un orden de magnitud en comparación con los emisores cilíndricos sólidos. Los resultados muestran que el propulsor ha producido de alrededor de 0,82 µN a alrededor de 2,33 µN en el rango 800 de tensión de extracción negativo de -1282 V a -2088 V y de alrededor de 1,08 µN a alrededor de 5,67 µN en el rango 810 de tensión de extracción positivo 1391 V a 2437 V. Ello corresponde a un empuje por punta de emisor de alrededor de 0,048 µN a -2088 V y de alrededor de 0,116 µN a 2437 V. El nivelado de empuje en el modo negativo puede deberse a que el propulsor se acerca al límite de su capacidad para transportar líquido a la punta.

Las Figuras 9A-9B muestran la corriente como una función de mediciones de tensión de extracción para la matriz de emisores de electrospray de metal poroso que contiene 6 emisores de las Figuras 7A-7B. Los gráficos 900 y 910 muestran la corriente medida en un haz de iones generado por la matriz de emisores de electrospray de metal poroso como una función de tensión de extracción para un rango de tensión de extracción negativo y un rango de tensión de extracción positivo, respectivamente. El gráfico 940 es la corriente medida/perdida en el extractor (p.ej., electrodo), el gráfico 930 es la corriente medida en el haz de iones y el gráfico 920 es la corriente total recogida. Las Figuras 10A-10B muestran el porcentaje de corriente para la misma matriz de emisores. Los gráficos 1000 y 1010 muestran el porcentaje de corriente total perdida para el extractor como una función de tensión de extractor para un rango de tensión de extracción negativo y un rango de tensión de extracción positivo, respectivamente. Una pequeña fracción de la corriente de haz (alrededor del 10% - 20%) se ha perdido para el extractor, lo cual se debe al choque de haces. La geometría del extractor puede cambiarse y alinearse para minimizar la corriente perdida para el extractor. Los extractores pueden, por ejemplo, posicionarse a una distancia de alrededor de 1 emisor de altura lejos de la punta y pueden alinearse a través de la fabricación de características de alineación en los sustratos. El grosor del extractor puede también reducirse para minimizar la corriente perdida para el extractor.

La corriente de haz puede extraerse mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{F}{I_B} = \sqrt{\frac{2\phi_B}{(q/m)}} \quad \text{EC. 2}$$

donde F es el empuje medido e I_B es la corriente de haces de electrospray. La relación de carga específica puede calcularse según se describe más arriba en EC. 1 para las mediciones de tiempo de vuelo. Además, puede existir cierta corriente de haces no representada en la corriente de extractor y corriente recogida, debido al efecto de electrones secundarios provocados por el golpe de iones de alta energía contra el extractor y el colector. El colector puede desviarse para atrapar los secundarios y reducir dicho efecto.

Las Figuras 11A-11B muestran el impulso específico para la matriz de emisores de electrospray de metal poroso que contiene 6 emisores de las Figuras 7A-7B. Los gráficos 1100 y 1110 muestran el impulso específico medido como una función de tensión de extracción para un rango de tensión de extracción negativo y un rango de tensión de extracción positivo, respectivamente. El gráfico 1120 representa el impulso específico medido y el gráfico 1130 representa el impulso específico máximo. En el régimen 1110 de polaridad negativa, los emisores han producido hasta alrededor de -57,17 µA en corriente y un empuje de hasta alrededor de 2,33 µN, lo cual ha producido un impulso específico (ISP) de alrededor de ISP de alrededor de 2.000 a 3.000 segundos. En el régimen 1100 de polaridad positiva, los emisores han producido hasta alrededor de 69,84 µA en corriente y un empuje de hasta alrededor de 5,67 µN, lo cual ha producido un ISP de alrededor de 3.000 a 5.000 segundos.

En algunas realizaciones de la invención, los emisores y/o matrices de emisores pueden fabricarse a partir de un material dieléctrico (p.ej., un material de cerámica, vidrio u otro óxido). En algunas realizaciones, los emisores y/o matrices de emisores pueden fabricarse a partir de un material de metal (p.ej., plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro). Algunas realizaciones de la invención incluyen un electrodo distal, según se describe en mayor detalle más abajo. En algunas realizaciones, el electrodo distal puede estar hecho de un material de metal (p.ej., plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio,

cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro).

La Figura 12 es un esquema de una fuente 1200 de iones, según una realización ilustrativa de la invención. La fuente 1200 de iones incluye un cuerpo 1205 (p.ej., un cuerpo de emisor) que incluye una base 1210 y una punta 1215. El cuerpo 1205 puede estar hecho de un material poroso (p.ej., un cuerpo de emisor microfabricado formado por un sustrato de material poroso) compatible con un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente. El cuerpo 1205 puede humedecerse externamente por un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente (p.ej., líquido 1220 iónico). El cuerpo 1205 incluye un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base 1210 del cuerpo 1205 a la punta 1215 del cuerpo 1205, de modo que el líquido 1220 iónico puede transportarse a través de la capilaridad (p.ej., a través de fuerzas capilares) de la base 1210 a la punta 1215. Por ejemplo, el líquido 1220 iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad a la punta 1215 de modo que la fuente 1200 de iones (p.ej., emisor) evita la falta de líquido. Un electrodo 1225 de extractor puede posicionarse corriente abajo con respecto al cuerpo 1205. Una fuente 1230 de alimentación puede aplicar una tensión al líquido 1220 iónico con respecto al electrodo 1225 de extractor y, de esta manera, emitir una corriente desde la punta 1215 del cuerpo 1205. La aplicación de una tensión puede provocar la formación de un cono de Taylor (p.ej., como se muestra en la Figura 1) en la punta 1215 y provocar la emisión de iones desde la punta 1215. En la realización ilustrada, el líquido 1220 iónico puede ser el electrodo distal.

En algunas realizaciones, el cuerpo 1205 es un emisor que es una aguja cilíndrica o una aguja tipo cinta plana. Según se describe más arriba, la geometría del emisor (p.ej., forma y/o configuración del cuerpo de emisor) puede afectar la corriente generada por el emisor. Por ejemplo, configuraciones tipo cinta plana producen más corriente que las agujas sólidas cilíndricas tradicionales. El cuerpo 1205 puede microfabricarse con un material poroso. En algunas realizaciones, el cuerpo 1205 puede formarse por un sustrato de metal poroso pero otros materiales pueden estar presentes. El cuerpo 1205 puede microfabricarse a partir de un metal poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente. Ejemplos de dichos metales porosos incluyen plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro. El cuerpo 1205 puede microfabricarse a partir de un material de cerámica porosa, vidrio poroso u otro material de óxido poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente.

El gradiente de tamaño de poro del cuerpo 1205 puede permitir que el líquido 1220 iónico se transporte a la punta 115. En algunas realizaciones, el tamaño de los poros en la base 1210 es mayor que los poros en la punta 1215, lo cual permite que el líquido iónico se transporte a través de la capilaridad (p.ej., fuerzas capilares) de la base 1210 del emisor a la punta 1215. Mediante el transporte del líquido iónico a través de la capilaridad, el gradiente de tamaño de poro puede actuar como un suministro capilar pasivo autorregulable que reduce la masa y complejidad en sistemas capilares (p.ej., mediante la reducción sustancial de la necesidad de un sistema presurizado). El gradiente de tamaño de poro puede proveer, de manera continua, líquido iónico a la punta 1215 y, por consiguiente, reducir las posibilidades de que la fuente 1200 de iones sufra una falta de líquido. El flujo a lo largo del cuerpo (p.ej., flujo de volumen aumentado de los poros) puede permitir incluso más corriente que los emisores sólidos.

En algunas realizaciones, el cuerpo puede estar hecho de un material dieléctrico poroso. De manera beneficiosa, las fuerzas eléctricas, además de la capilaridad descrita más arriba, pueden facilitar la dirección del líquido iónico hacia la punta del cuerpo dado que el material dieléctrico no protege el líquido iónico como un cuerpo hecho de metal. En algunas realizaciones, el cuerpo puede estar hecho de un material dieléctrico poroso sin un gradiente de tamaño de poro, donde fuerzas eléctricas pueden facilitar la dirección del líquido iónico hacia la punta del cuerpo.

Las Figuras 13A y 13B son esquemas de una fuente 1300 de iones, según una realización ilustrativa de la invención. La Figura 13A ilustra una sección transversal lateral de la fuente 1300 de iones. La Figura 13B ilustra una vista superior de la fuente 1300 de iones. La fuente 1300 de iones incluye un cuerpo 1305 (p.ej., un cuerpo de emisor) que incluye una base 1310 y una punta 1315. El cuerpo 1305 puede estar hecho de un material poroso (p.ej., un cuerpo de emisor microfabricado formado por un sustrato de material poroso) compatible con un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente. El cuerpo 1305 se dispone en líquido 1320 iónico. El líquido 1320 iónico está rodeado de electrodo 1322 distal. El cuerpo 1305 incluye un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base 1310 del cuerpo 1305 a la punta 1315 del cuerpo 1305, de modo que el líquido 1320 iónico puede transportarse a través de la capilaridad (p.ej., a través de fuerzas capilares) a la punta 1315. Por ejemplo, el líquido 1320 iónico puede transportarse de forma continua a través de la capilaridad a la punta 1315 de modo que la fuente 1300 de iones (p.ej., emisor) evita la falta de líquido. Un electrodo 1325 de extractor puede posicionarse corriente abajo con respecto al cuerpo 1305. Una fuente 1330 de alimentación en conexión eléctrica con el electrodo 1322 distal puede aplicar una tensión al líquido 1320 iónico con respecto al electrodo 1325 de extractor y, de esta manera, emitir una corriente desde la punta 1315 del cuerpo 1305. La aplicación de una tensión puede provocar la formación de un cono de Taylor (p.ej., como se muestra en la Figura 1) en la punta 1315 y provocar la emisión de iones desde la punta 1315.

En algunas realizaciones, el cuerpo 1305 es un emisor que es una aguja cilíndrica o una aguja tipo cinta plana. Según se describe más arriba, la geometría del emisor (p.ej., forma y/o configuración del cuerpo de emisor) puede afectar la corriente generada por el emisor. El cuerpo 1305 puede microfabricarse con un material poroso. En

algunas realizaciones, el cuerpo 1305 puede estar formado por un sustrato de metal poroso (p.ej., tungsteno) pero otros materiales pueden estar presentes. El cuerpo 1305 puede microfabricarse a partir de un metal poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente. Ejemplos de dichos metales porosos incluyen plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro. El cuerpo 1205 puede microfabricarse a partir de un material de cerámica porosa, vidrio poroso u otro material de óxido poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente.

La Figura 14 es un esquema de una matriz 1400 de emisores de electrospray, según una realización ilustrativa de la invención. En la presente realización, la fuente 1400 de iones incluye una matriz 1405 de emisores de aguja. La matriz 1405 de emisores de aguja puede estar hecha de un material poroso (p.ej., un cuerpo de emisor microfabricado formado por un sustrato de material poroso) compatible con un líquido iónico o una sal fundida a temperatura ambiente. La matriz 1405 de emisores de aguja se dispone en líquido 1420 iónico. El líquido 1420 iónico rodea al aislador 1422 y está en contacto con el electrodo 1424 distal. Según se describe más arriba, la matriz 1405 de emisores de aguja incluye un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base a las puntas de la matriz 1405 de emisores de aguja, de modo que el líquido 1420 iónico puede transportarse a través de la capilaridad (p.ej., a través de fuerzas capilares) a las puntas. Un electrodo 1425 de extractor puede posicionarse corriente abajo con respecto a la matriz 1405 de emisores de aguja. Una fuente 1430 de alimentación en conexión eléctrica con el electrodo 1424 distal puede aplicar una tensión al líquido 1420 iónico con respecto al electrodo 1425 de extractor y, de esta manera, emitir una corriente desde las puntas de la matriz 1405 de emisores de aguja.

La matriz 1405 de emisores de aguja puede microfabricarse con un material poroso. En algunas realizaciones, la matriz 1405 de emisores de aguja puede formarse por un sustrato de metal poroso (p.ej., tungsteno) pero otros materiales pueden estar presentes. La matriz 1405 de emisores de aguja puede microfabricarse a partir de un metal poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente. Ejemplos de dichos metales porosos incluyen plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro. La matriz 1405 de emisores de aguja puede microfabricarse a partir de un material de cerámica porosa, vidrio poroso u otro material de óxido poroso compatible con líquidos iónicos y/o sales fundidas a temperatura ambiente.

La Figura 15 es un esquema de una matriz 1500 de emisores de electrospray, según una realización ilustrativa de la invención. La fuente 1500 de iones incluye una matriz 1505 de emisores. La matriz 1505 de emisores se aloja en un paquete 1510 de propulsor (hecho de, p.ej., silicio). La matriz 1505 de emisores se dispone contra una toma porosa/válvula de aislamiento 1515. La toma porosa/válvula de aislamiento 1515 se dispone contra un electrodo 1520 distal. La toma porosa/válvula de aislamiento 1515 puede servir como un miembro de conexión entre la matriz 1505 de emisores y el electrodo 1520 distal. El electrodo 1520 distal está en contacto con líquido 1525 iónico. En algunas realizaciones, cada uno de la matriz 1505 de emisores, toma porosa/válvula de aislamiento 1515 y electrodo 1520 distal puede incluir un gradiente de tamaño de poro que se reduce de su base a su punta (p.ej., en la dirección hacia las puntas de la matriz 1505 de emisores de aguja), de modo que el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad. En algunas realizaciones, la matriz 1505 de emisores puede tener poros de tamaño más pequeño que la toma porosa/válvula de aislamiento 1515, que, a su vez, puede tener poros de tamaño más pequeño que el electrodo 1520 distal y, de esta manera, crear un gradiente de tamaño de poro que se reduce del electrodo 1520 distal a la matriz 1505 de emisores, de modo que el líquido 1525 iónico puede transportarse a través de la capilaridad del electrodo 1520 distal a la matriz 1505 de emisores.

Un electrodo 1530 de extractor puede posicionarse corriente abajo con respecto a la matriz 1505 de emisores. Una rejilla 1535 de acelerador puede posicionarse corriente abajo con respecto a la rejilla 1530 de extractor. Una fuente 1545 de alimentación bipolar puede aplicar una tensión al electrodo 1520 distal con respecto al electrodo 1530 de extractor y, de esta manera, emitir una corriente (p.ej., un haz de iones) desde las puntas de la matriz 1505 de emisores. La aplicación de una tensión puede provocar la formación de un cono de Taylor (p.ej., como se muestra en la Figura 1) en las puntas 115 y provocar la emisión de iones desde la matriz 1505 de emisores.

En algunas realizaciones, la matriz 1505 de emisores puede fabricarse a partir de un material dieléctrico (p.ej., un material de cerámica, vidrio u otro óxido). En algunas realizaciones, la matriz 1505 de emisores puede fabricarse a partir de un material de metal (p.ej., plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro). En algunas realizaciones, el electrodo 1520 distal puede estar hecho de un material de metal (p.ej., plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de dichos metales cubierto con un material de metal noble como, por ejemplo, platino u oro). En algunas realizaciones, el electrodo 1530 de extractor puede fabricarse con silicio o tungsteno. En algunas realizaciones, la toma porosa/válvula de aislamiento 1515 puede fabricarse con un material dieléctrico. En algunas realizaciones, la toma porosa/válvula de aislamiento 1515 puede servir como una toma o válvula para evitar que el líquido 1525 iónico absorba agua y/u otros gases del ambiente. Por ejemplo, la matriz 1500 de emisores de electrospray puede usarse como un propulsor. La toma porosa/válvula de aislamiento 1515 puede abrirse una vez que el propulsor esté en el espacio para evitar la contaminación del líquido iónico.

La Figura 16 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray. Emisores solos o matrices de emisores (p.ej., matrices 1D o 2D) pueden fabricarse a partir de sustratos porosos mediante el uso de técnicas de microfabricación. El(los) emisor(es) poroso(s) puede(n) microfabricarse mediante la retirada de material de un sustrato hecho de un material dieléctrico poroso (p.ej., material de cerámica porosa, vidrio u otro material de óxido) mediante grabado húmedo químico, grabado en seco con plasma, mecanizado por haz de iones, mecanizado por láser, etc. Un método para fabricar los emisores puede incluir las siguientes etapas: (1) proveer un material 1650 poroso (etapa 1600) y (2) retirar, de forma selectiva, material del material 1650 poroso (etapa 1710). En algunas realizaciones, el ácido hídrico puede usarse para abrir los poros del material después de, p.ej., el proceso de mecanizado.

La Figura 17 muestra un esquema para un método de fabricación de un emisor de electrospray. Emisores solos o matrices de emisores (p.ej., matrices 1D o 2D) pueden fabricarse a partir de sustratos porosos mediante el uso de técnicas de microfabricación. El(los) emisor(es) poroso(s) puede(n) microfabricarse mediante el depósito de un material dieléctrico poroso (p.ej., material de cerámica porosa, vidrio u otro óxido) en un sustrato poroso mediante deposición química de vapor, deposición física de vapor, deposición de nanopelículas, etc. Un método para fabricar los emisores puede incluir las siguientes etapas: (1) proveer un material 1750 poroso (etapa 1700) y (2) depositar, de forma selectiva, materiales 1760 dieléctricos porosos en el material 1750 poroso (etapa 1710). En algunas realizaciones, puede usarse un molde para formar los emisores (p.ej., en una matriz de agujas).

Resultados experimentales

En la interfaz electrodo-líquido de algunas fuentes de iones, una capa doble (CD) electroquímica existe en un estado de equilibrio. A medida que la corriente se provee a o se extrae del electrodo, su nivel de carga se modifica y, por consiguiente, cambia la diferencia de potencial a lo largo de la CD. Cuando el potencial de la CD supera el límite de ventana electroquímica del líquido iónico, la carga electrónica puede transferirse a lo largo de la interfaz (corriente farádica) con reacciones redox potencialmente dañinas. Según se describe más arriba, algunas realizaciones de la invención pueden incluir un electrodo distal (p.ej., electrodos 1322, 1424 y 1520 distales) que realizan contacto eléctrico exclusivamente con el líquido iónico. Dicha configuración puede mitigar la degradación electroquímica de puntas de emisores. Mediante el movimiento del contacto eléctrico de, por ejemplo, los emisores a un electrodo distal con un área de superficie relativamente grande, las reacciones electroquímicas en las puntas de emisores pueden reducirse, tanto en emisores solos como en matrices densas. La CP que se forma en el electrodo distal puede aún saturarse, pero solo después de un tiempo comparativamente largo. Por ejemplo, para emisores espaciados en una matriz bidimensional por una distancia p , el tiempo de saturación estará en el orden de $\tau \sim \tau (p/D)^4$ a medida que la corriente se distribuye en el área más grande $\sim p^2$. De manera similar, el electrodo distal puede ser tan grande como sea práctico en emisores solos. En ambos casos, la alternancia de tensión en frecuencias modestas puede ser una técnica para evitar la degradación electroquímica.

Según se describe más arriba, en algunas realizaciones, los emisores pueden fabricarse a partir de un material aislante (p.ej., un material poroso de cerámica, vidrio u otro óxido). En dichas realizaciones, no hay electroquímica en la superficie del emisor siempre que la ventana electroquímica sea siempre más baja que el potencial de la CD de equilibrio, que no cambiará dado que el potencial de superficie local seguirá el potencial del líquido. En algunas realizaciones, los emisores pueden fabricarse con metal, pero separados del electrodo distal por el propio líquido iónico. En dichas realizaciones, el potencial eléctrico del sustrato de emisor metálico será constante, mientras que la diferencia de potencial a lo largo de la CD cambiará como resultado de la caída óhmica a lo largo del trayecto ℓ del líquido eficaz que separa el electrodo distal del sitio de emisión cerca de las micropuntas, dado por $\Delta V \approx \ell I / KA$. A es el área en sección transversal eficaz a través de la cual la corriente I se transporta. Siempre que $\Delta V \ll V_w$, las reacciones electroquímicas no ocurrirán a velocidades significativas a lo largo del trayecto del líquido en contacto con el sustrato de emisor metálico.

Un emisor se ha humedecido con EMI-BF_4 y se ha atravesado por un depósito cilíndrico de acero inoxidable que sirve como electrodo distal (p.ej., según se ilustra en las Figuras 13A y 13B), de modo que su área de contacto con el líquido es de 18 mm². Una tensión de onda cuadrada (± 1285 V) se ha aplicado al electrodo de extractor a una frecuencia de 0,1 Hz. La tensión de emisor con respecto a la tierra se ha monitoreado mediante el uso de un electrómetro de alta impedancia ($> 1 \text{ T}\Omega$). La longitud, L , de emisor expuesta ha variado de alrededor de 1 a 4 mm en el lugar. El trayecto del líquido eficaz ha sido entonces $\ell \sim L$. La corriente al cilindro (igual a la corriente de haces iónicos) se ha monitoreado por un segundo electrómetro y variado de 60-70 nA para corto y largo, L , respectivamente. Se han llevado a cabo experimentos en vacío a presiones de alrededor de 10⁻⁶ Torr.

La Figura 18 es un gráfico 1800 que muestra la variación relativa de la tensión de emisor inmediatamente después de la inversión de polaridad. La variación relativa de la tensión de emisor inmediatamente después de la inversión de polaridad (en $t = 0$) se representa para dos longitudes expuestas. Finalmente, las velocidades de carga del emisor en ambos casos se convierten en muy similares y son coherentes con la carga capacitiva uniforme de la superficie interior del cilindro ($\sim 0,04 \text{ V/s}$). La compensación de tensión entre las dos curvas se debe a una diferencia rápida de pendientes iniciales. Su valor ($\sim 0,01 \text{ V}$) también es coherente con la caída óhmica anticipada (más alta, para L más larga) a lo largo de la capa líquida en la superficie expuesta.

Mientras la invención reivindicada se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a realizaciones ilustrativas específicas, debe comprenderse que se pueden llevar a cabo varios cambios en la forma y los detalles sin apartarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones anexas.

Realizaciones adicionales, que no caen necesariamente dentro del alcance de la invención según se reivindica:

- 5 1. Una fuente de iones de líquidos iónicos que comprende: un cuerpo que comprende una base y una punta y está formado por un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; y el cuerpo tiene un gradiente de tamaño de poro que se reduce de la base del cuerpo a la punta del cuerpo, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- 10 2. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta.
3. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde el cuerpo es una aguja cilíndrica.
4. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde el cuerpo es una aguja tipo cinta plana.
- 15 5. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde la punta está formada por al menos uno de grabado húmedo químico, grabado en seco con plasma, mecanizado por haz de iones, mecanizado por láser, deposición química de vapor, deposición física de vapor o deposición de nanopelículas.
6. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde el material poroso comprende un material dieléctrico.
- 20 7. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 6 en donde el material dieléctrico comprende al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido.
8. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 1 en donde un radio de curvatura de la punta es de aproximadamente 1-20 μm .
- 25 9. Una fuente de iones de líquidos iónicos que comprende: múltiples emisores formados por un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; y cada emisor de los múltiples emisores tiene un gradiente de tamaño de poro que se reduce de una base del emisor a una punta del emisor, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.
- 30 10. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 9 en donde el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.
11. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 9 en donde el material poroso comprende un material dieléctrico.
- 35 12. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 11 en donde el material dieléctrico comprende al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido.
13. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 9 en donde los emisores están formados por al menos uno de grabado húmedo químico, grabado en seco con plasma, mecanizado por haz de iones o mecanizado por láser.
- 40 14. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 8 en donde un espaciado entre los emisores es menor que aproximadamente 1 mm.
15. Un sistema para producir iones que comprende: una fuente de al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; una matriz de emisores formados por un material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, cada emisor teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de una base del emisor a una punta del emisor de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor; un electrodo posicionado corriente abajo con respecto a la matriz de emisores; y una fuente de alimentación para proveer una tensión a la matriz de emisores con respecto al electrodo.
- 45 16. El sistema de la realización 15 en donde el líquido iónico puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta de cada emisor.
- 50 17. Una fuente de iones de líquidos iónicos que comprende: un cuerpo de emisor formado por un material poroso, el cuerpo de emisor externamente humedecido por al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura

ambiente; un electrodo eléctricamente conectado al cuerpo de emisor mediante el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente.

18. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17, en donde el cuerpo de emisor tiene un gradiente de tamaño de poro que se reduce de una base del cuerpo a una punta del cuerpo, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
19. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 18 en donde el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta.
20. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde el cuerpo de emisor es una aguja cilíndrica.
21. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde el cuerpo es una aguja tipo cinta plana.
22. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde la punta está formada por grabado electroquímico.
23. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde la punta está formada por al menos uno de grabado húmedo químico, grabado en seco con plasma, mecanizado por haz de iones, mecanizado por láser, deposición química de vapor, deposición física de vapor o deposición de nanopelículas.
24. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde el material poroso comprende un material de metal.
25. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 24 en donde el material de metal comprende al menos uno de tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno o titanio.
26. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde el material poroso comprende material dieléctrico.
27. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 26 en donde el material dieléctrico comprende al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido.
28. La fuente de iones de líquidos iónicos de la realización 17 en donde un radio de curvatura de una punta del emisor es de aproximadamente 1-20 μm .
29. Un sistema para producir iones que comprende: una fuente de al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; un primer electrodo en contacto con el líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el primer electrodo formado por un primer material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; un miembro de conexión adyacente al primer electrodo, el miembro de conexión formado por un segundo material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; una matriz de emisores adyacente al miembro de conexión, la matriz de emisores formada por un tercer material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; y en donde el primer electrodo, el miembro de conexión y la matriz de emisores tienen un gradiente de tamaño de poro que se reduce del primer electrodo a la matriz de emisores de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad del primer electrodo, a través de al menos una porción del miembro de conexión, y a la matriz de emisores.
30. El sistema para producir iones de la realización 29 en donde el tercer material poroso comprende un material de metal.
31. El sistema para producir iones de la realización 30 en donde el material de metal comprende al menos uno de plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de ellos cubierto con un material de metal noble.
32. El sistema para producir iones de la realización 29 en donde el tercer material poroso comprende un material dieléctrico.
33. El sistema para producir iones de la realización 32 en donde el material dieléctrico comprende al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido.
34. El sistema para producir iones de la realización 29 en donde el primer material poroso comprende al menos uno de plata, acero inoxidable, tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno, titanio, cualquier combinación de ellos, o cualquiera de ellos cubierto con un material de metal noble.
35. El sistema para producir iones de la realización 29 que además comprende: una rejilla de extracción posicionada corriente abajo con respecto a la matriz de emisores.

36. El sistema para producir iones de la realización 29 que además comprende: una rejilla de acelerador posicionada corriente abajo con respecto a la rejilla de extracción.
- 5 37. Un método para fabricar una matriz de emisores de electrospray que comprende: formar un sustrato a partir de un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente, el sustrato teniendo un gradiente de tamaño de poro que se reduce de un primer extremo del cuerpo a un segundo extremo del cuerpo; procesar el sustrato para formar uno o más emisores; y en donde cada emisor del único o más emisores comprende una base y una punta formadas por el sustrato, la base con respecto al primer extremo del sustrato y la punta con respecto al segundo extremo del sustrato, y en donde el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- 10 38. El método de la realización 37 en donde el procesamiento del sustrato para formar uno o más emisores al menos uno de los cuales comprende grabado húmedo químico, grabado en seco con plasma, mecanizado por haz de iones o mecanizado por láser del sustrato.
- 15 39. Un método para fabricar una matriz de emisores de electrospray que comprende: formar un sustrato a partir de un primer material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; depositar, de manera selectiva, un segundo material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente en el sustrato para formar uno o más emisores, en donde cada emisor del único o más emisores comprende una base y una punta, en donde el líquido iónico puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- 20 40. El método de la realización 39 en donde el depósito, de manera selectiva, del segundo material poroso compatible con el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente en el sustrato para formar el único o más emisores comprende formar el único o más emisores por al menos una de deposición química de vapor, deposición física de vapor o deposición de nanopelículas.

REIVINDICACIONES

1. Una fuente de iones de líquidos iónicos que comprende:
un cuerpo de emisor formado a partir de un material poroso, el cuerpo de emisor humedecido por al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente;
- 5 un electrodo eléctricamente conectado al cuerpo de emisor mediante el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente.
2. Un método para fabricar una fuente de iones de líquidos iónicos que comprende:
formar un sustrato a partir de un material poroso compatible con al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente;
- 10 procesar el sustrato para formar un cuerpo de emisor, en donde el cuerpo de emisor comprende una base y una punta formadas por el sustrato; y
disponer un electrodo configurado para conectarse eléctricamente al cuerpo de emisor mediante el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente.
- 15 3. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el cuerpo de emisor tiene un tamaño de poro que se reduce de una base del cuerpo a una punta del cuerpo, de modo que el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad de la base a la punta.
- 20 4. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de la reivindicación 3 en donde el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse de manera continua a través de la capilaridad de la base a la punta.
5. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el cuerpo de emisor es una aguja cilíndrica o una aguja tipo cinta plana.
6. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el material poroso comprende un material de metal o material dieléctrico.
- 25 7. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de la reivindicación 6, en donde el material de metal comprende al menos uno de tungsteno, níquel, magnesio, molibdeno o titanio y en donde el material dieléctrico comprende al menos uno de un material de cerámica, un material de vidrio u otro material de óxido.
8. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la fuente de iones de líquidos iónicos además comprende:
- 30 una fuente del al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente en donde el electrodo está en contacto con el líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente; y un miembro de conexión poroso adyacente al primer electrodo, en donde el cuerpo de emisor es adyacente al miembro de conexión, y en donde el al menos uno de un líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente puede transportarse a través de la capilaridad del primer electrodo, a través de la al menos una porción del miembro de conexión, y al cuerpo de emisor.
- 35 9. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de la reivindicación 8, en donde el electrodo, el miembro de conexión y el cuerpo de emisor tienen un tamaño de poro que se reduce del electrodo al cuerpo de emisor.
10. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el cuerpo de emisor comprende una matriz de emisores, y en donde la fuente de iones de líquidos iónicos además comprende: una rejilla de extracción posicionada corriente abajo con respecto a la matriz de emisores.
- 40 11. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de la reivindicación 10, en donde la fuente de iones de líquidos iónicos además comprende: una rejilla de acelerador posicionada corriente abajo con respecto a la rejilla de extracción.
12. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la fuente de iones de líquidos iónicos además comprende un electrodo posicionado corriente abajo del cuerpo de emisor.
- 45 13. La fuente de iones de líquidos iónicos o método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el cuerpo de emisor se dispone sobre o en el líquido iónico o sal fundida a temperatura ambiente.

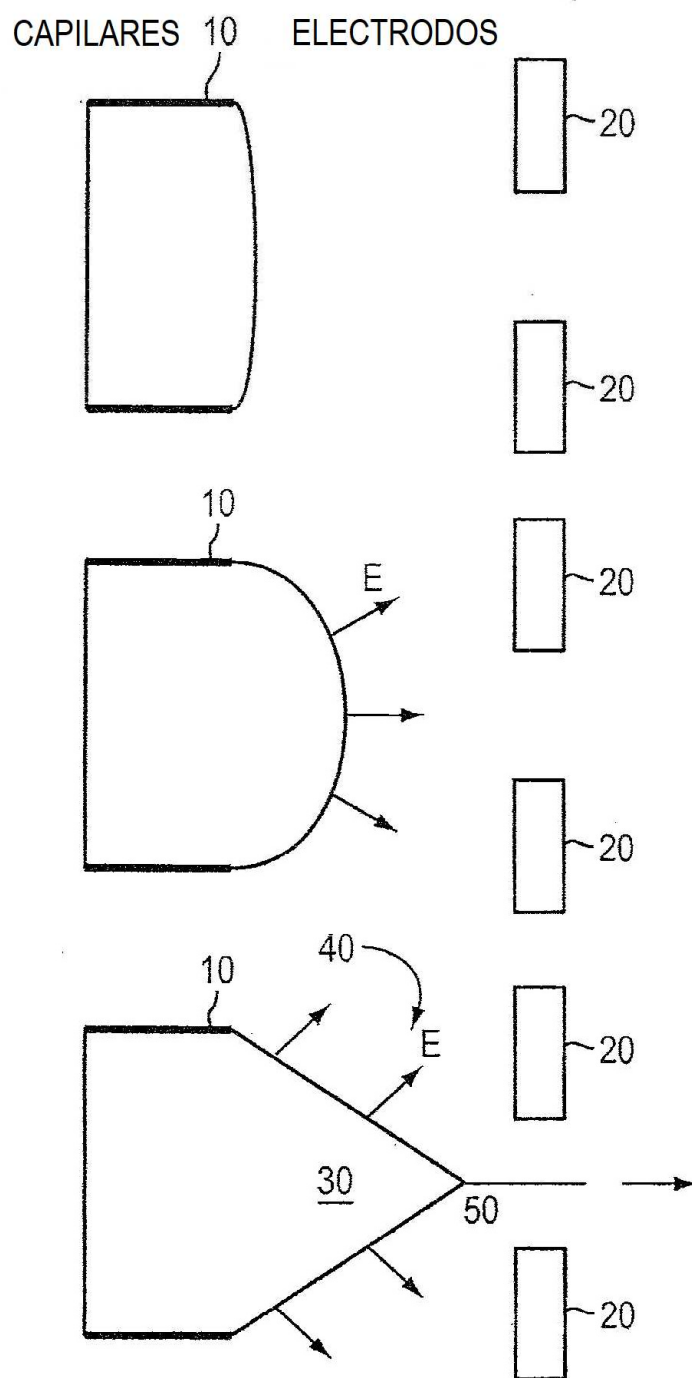


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

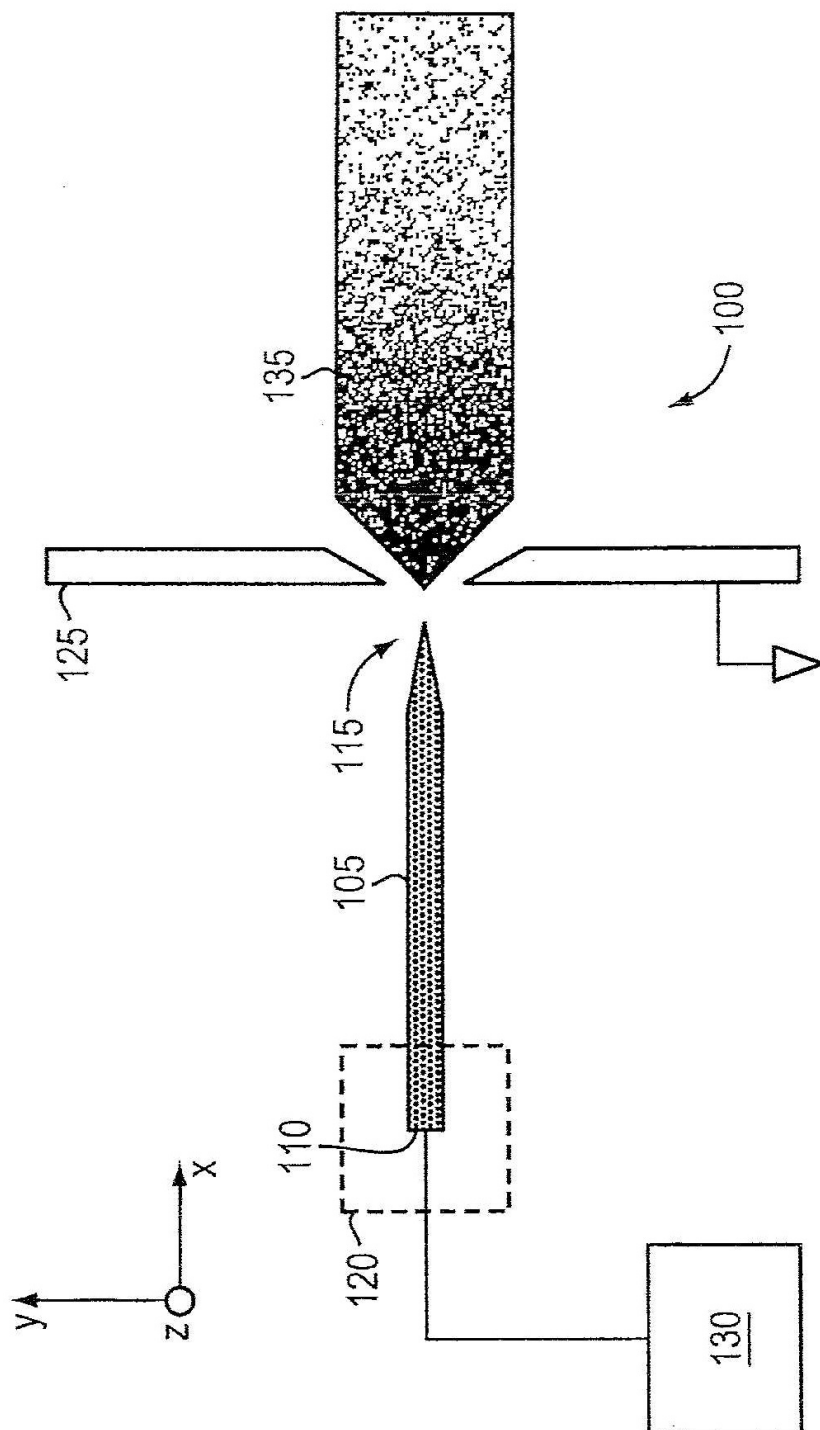


FIG. 2

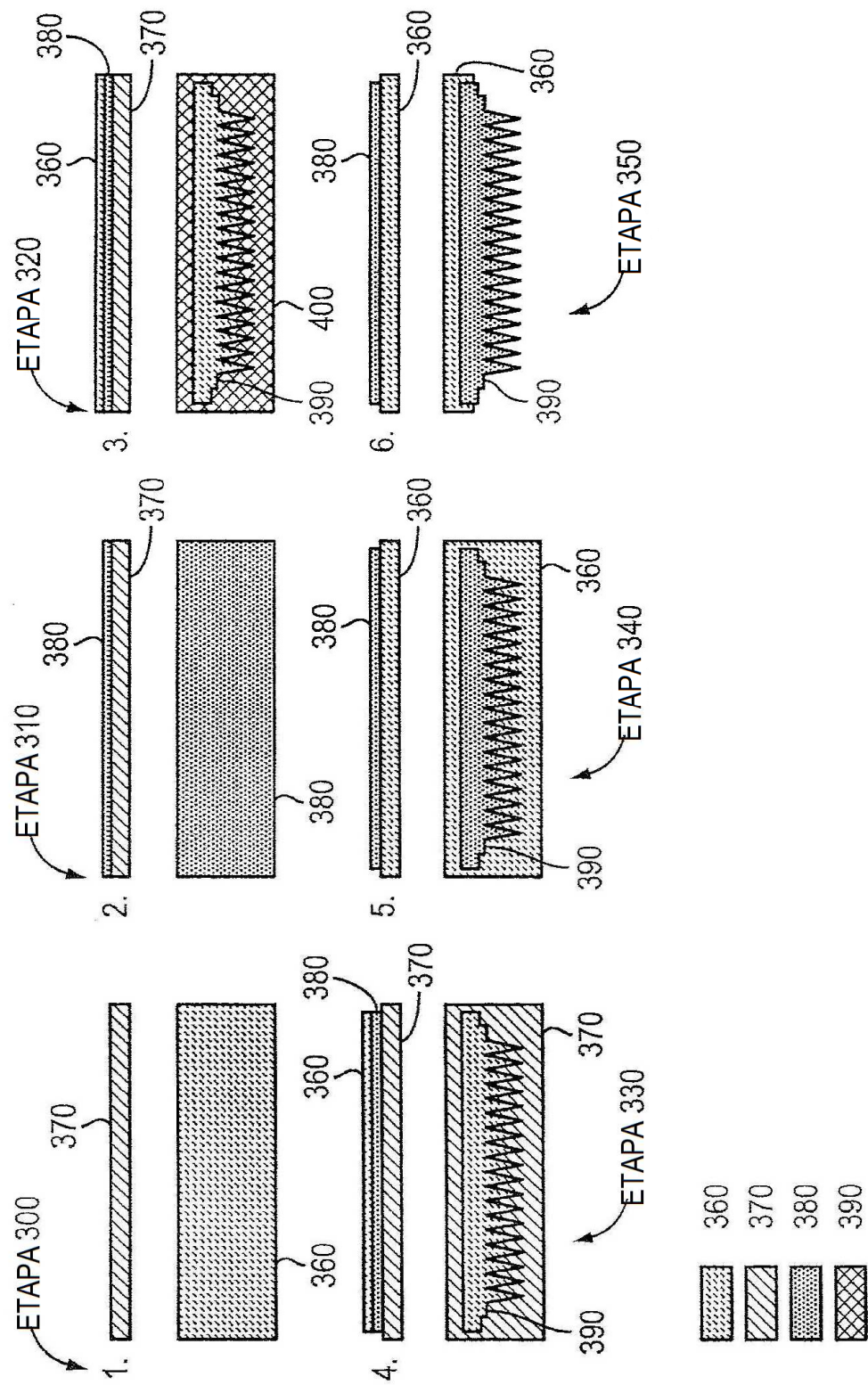


FIG. 3

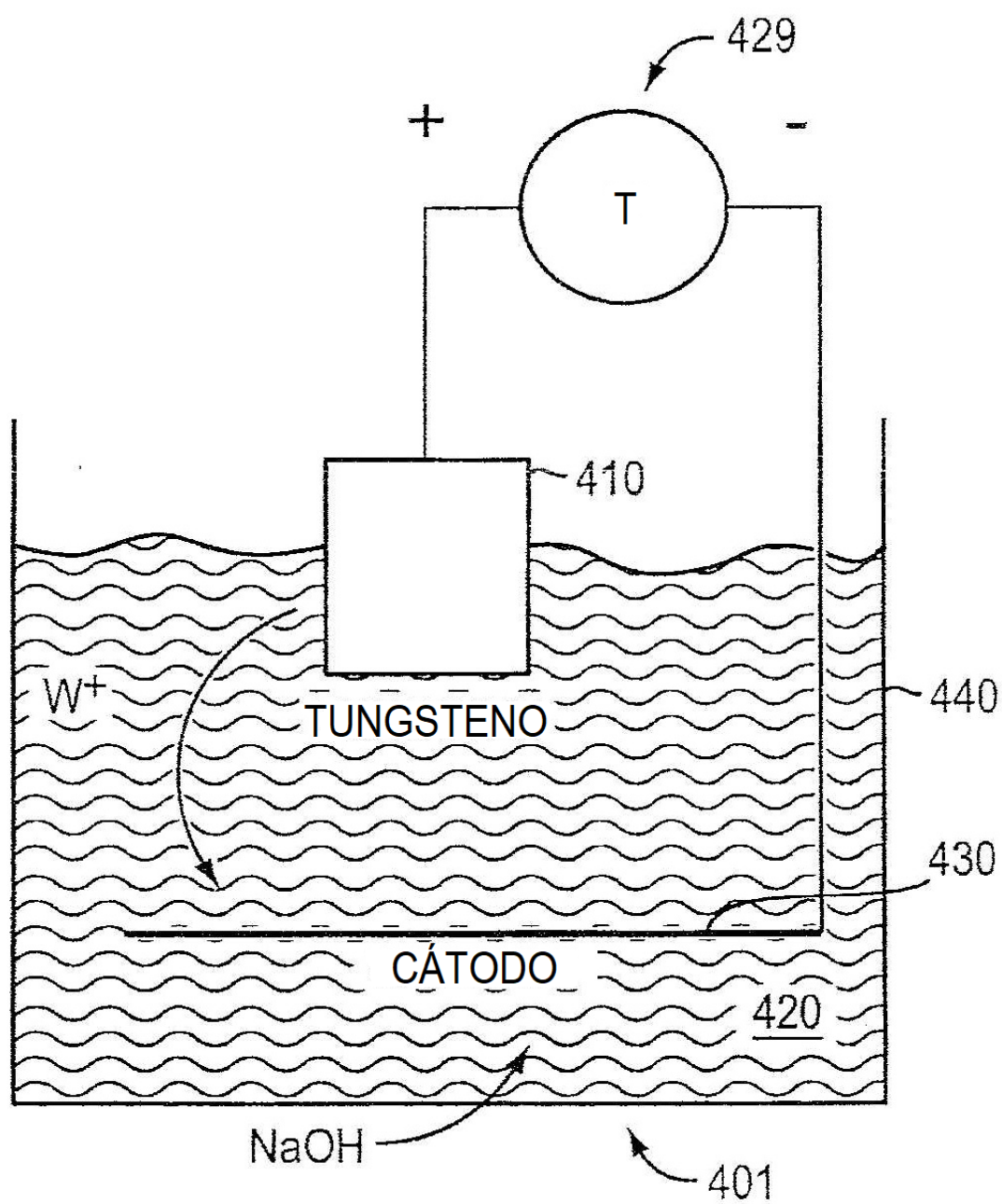


FIG. 4

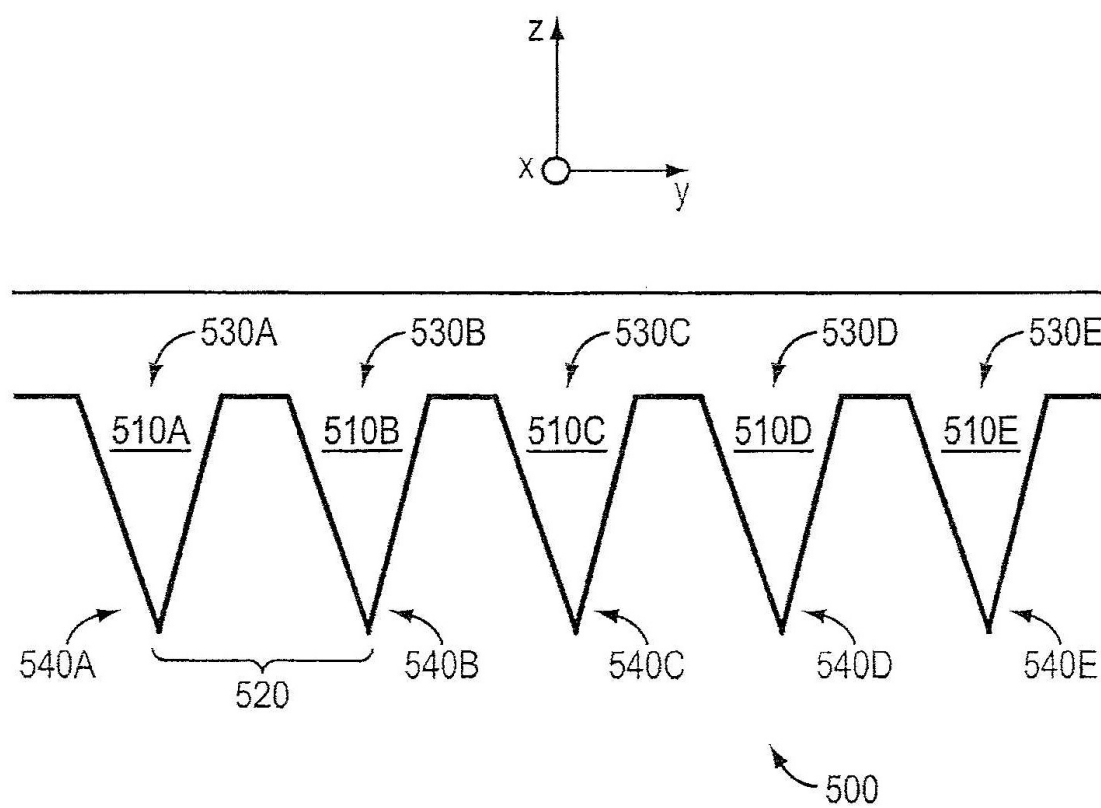


FIG. 5

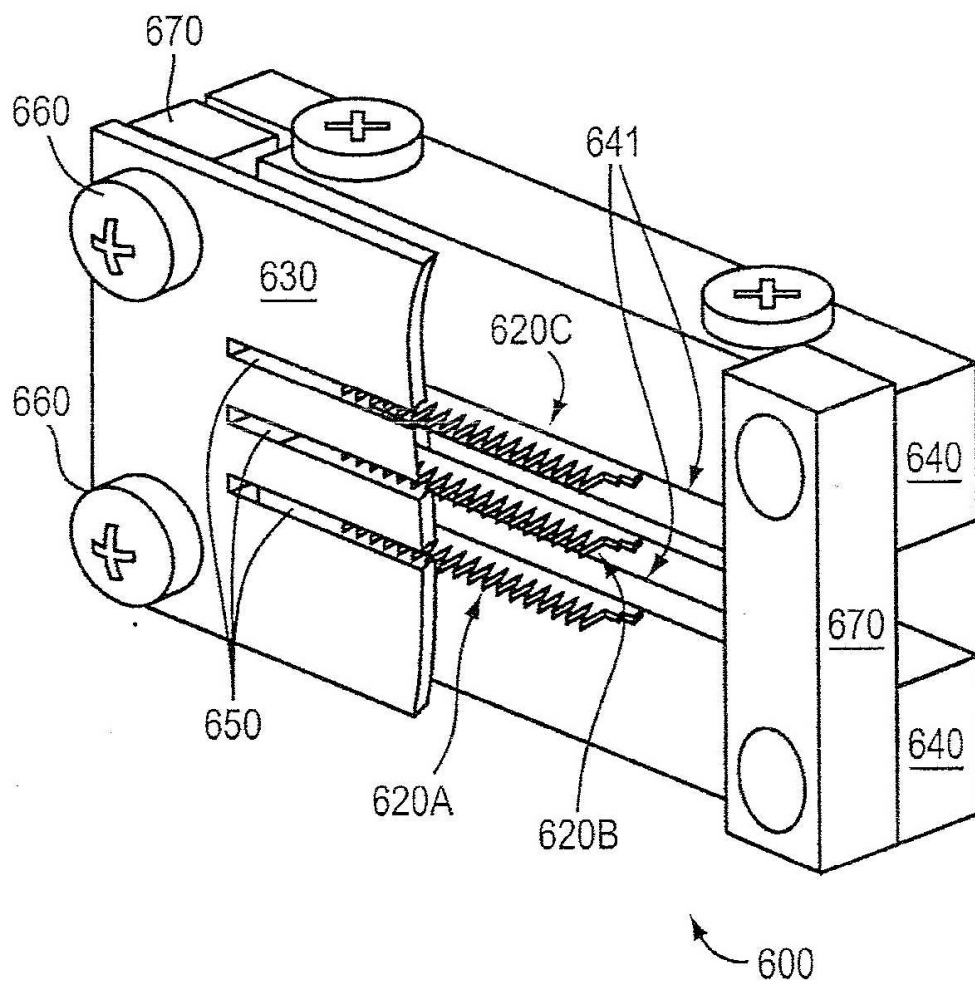


FIG. 6

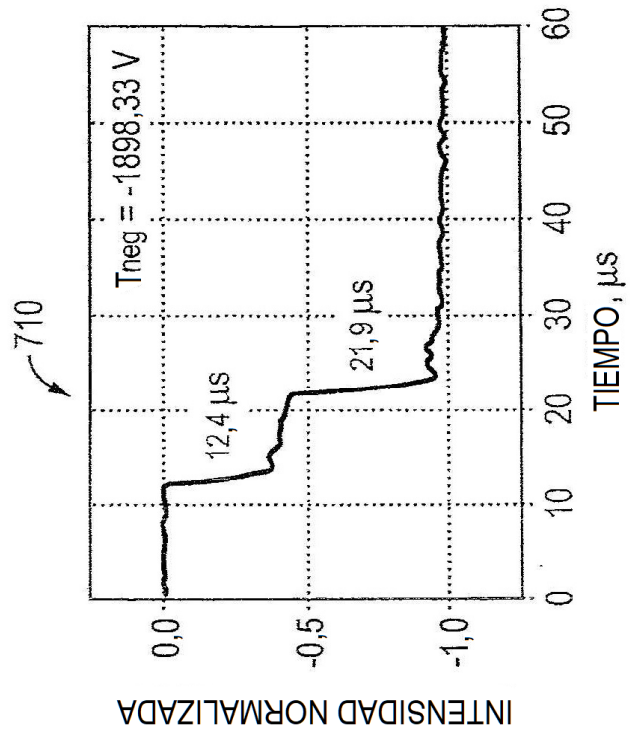


FIG. 7B

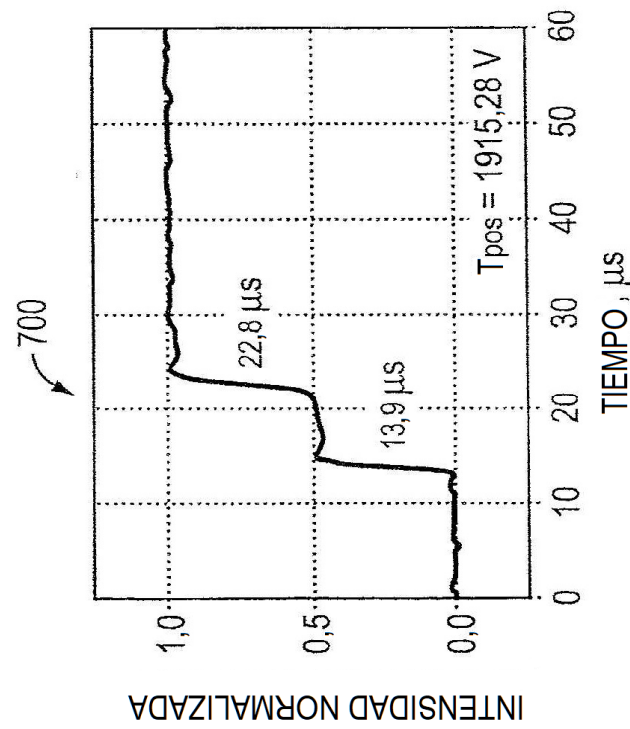


FIG. 7A

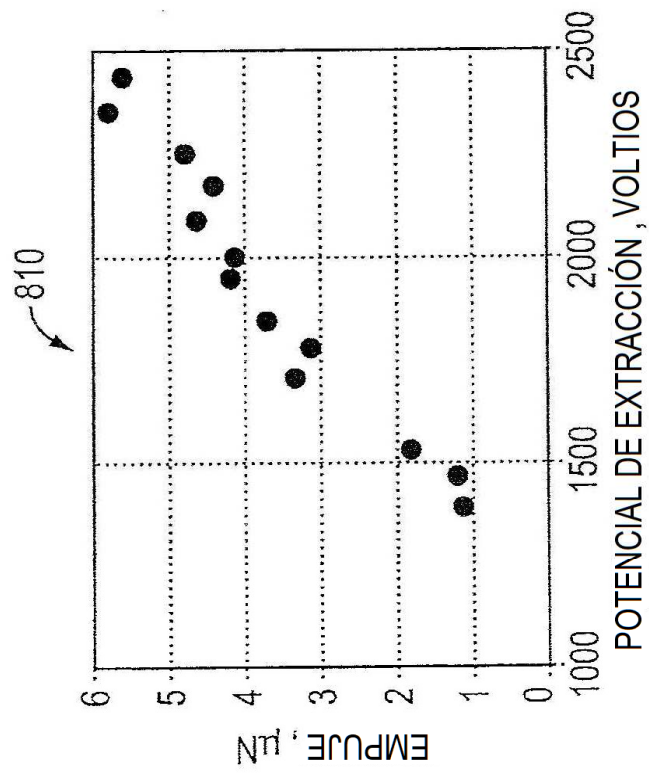


FIG. 8B

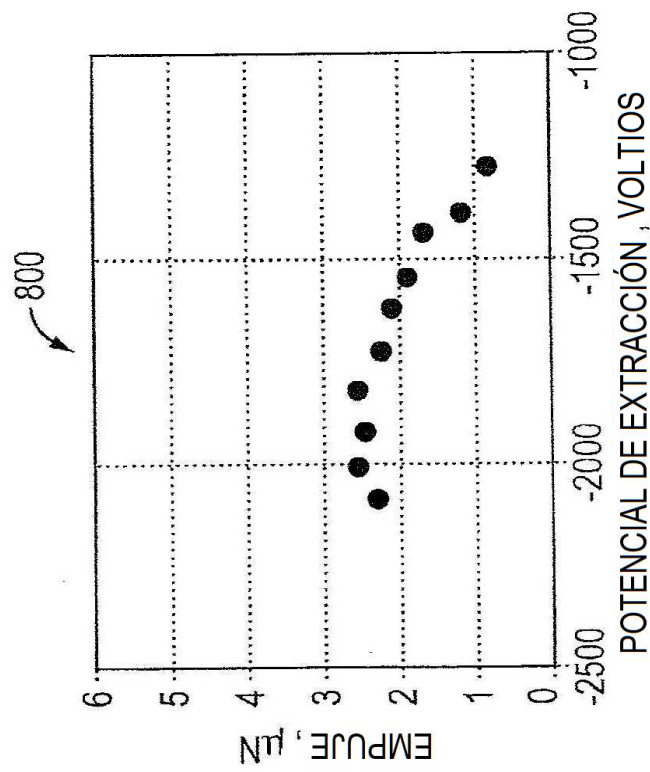


FIG. 8A

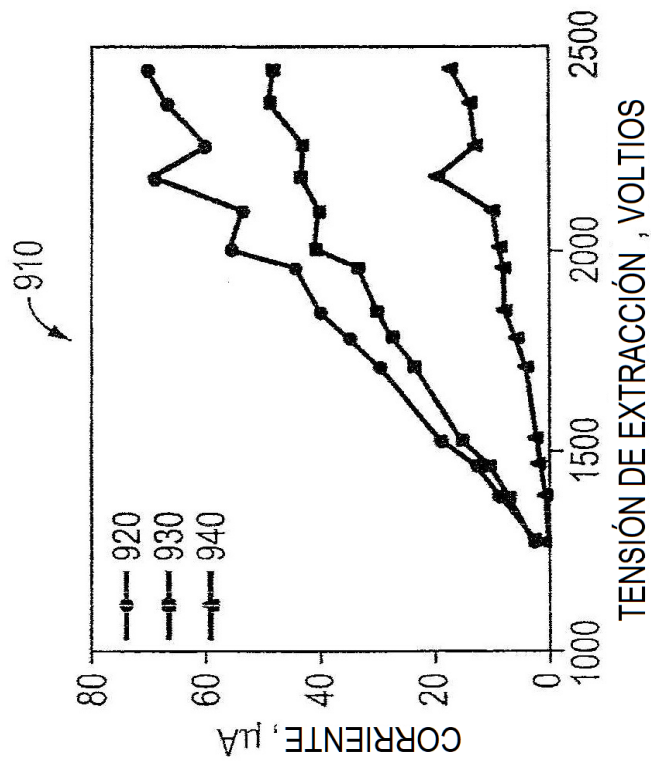


FIG. 9B

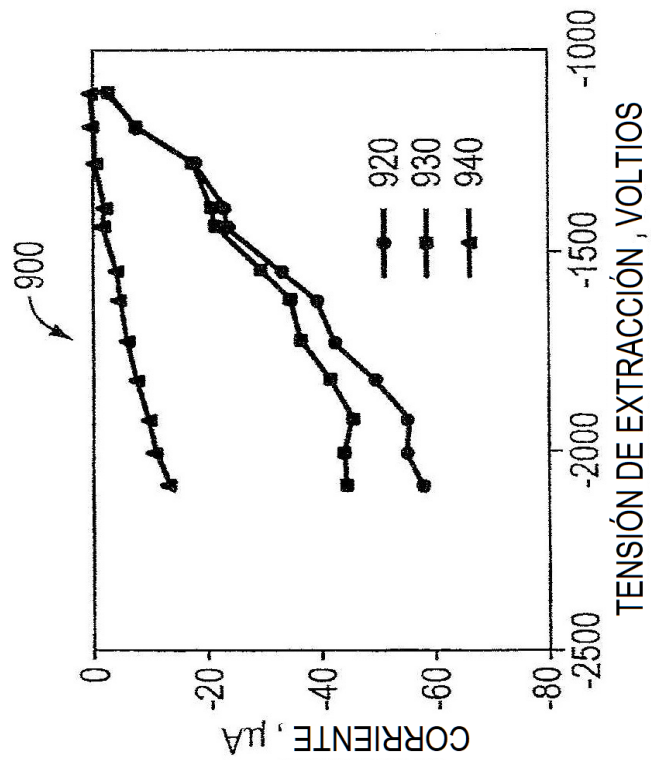


FIG. 9A

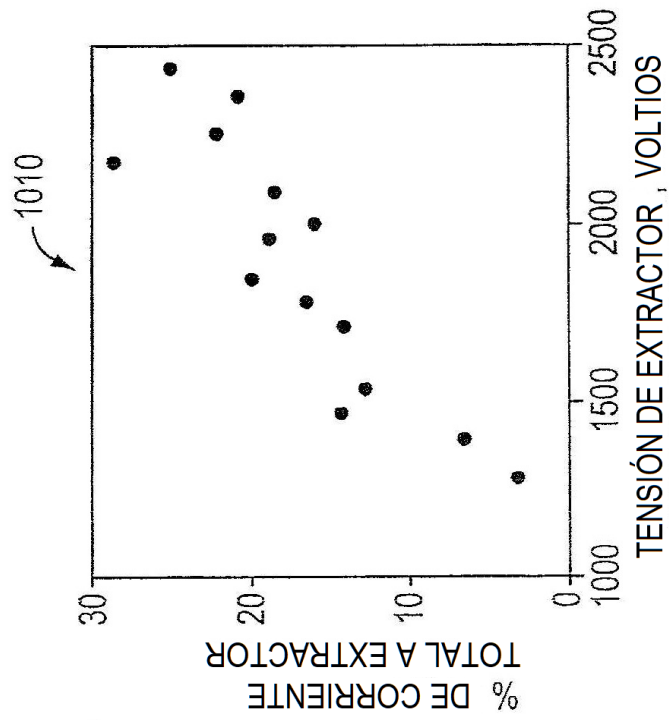


FIG. 10B

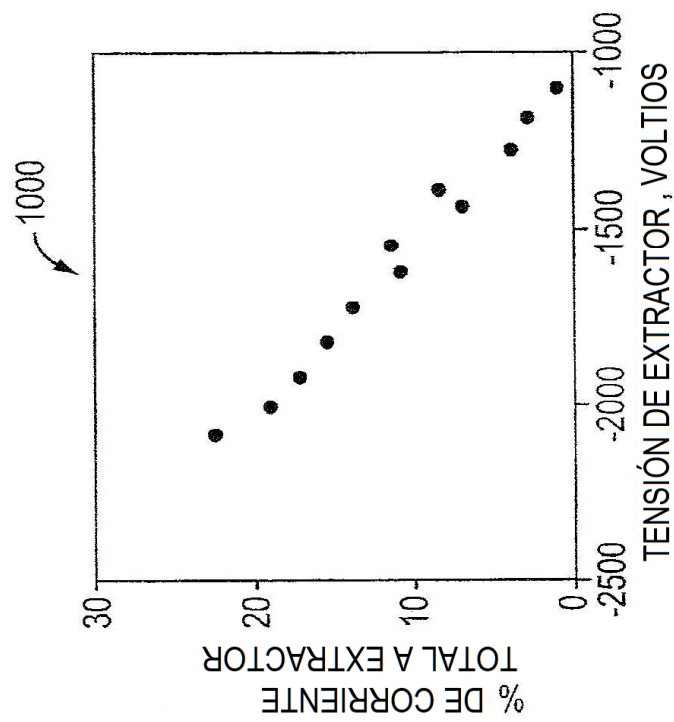


FIG. 10A

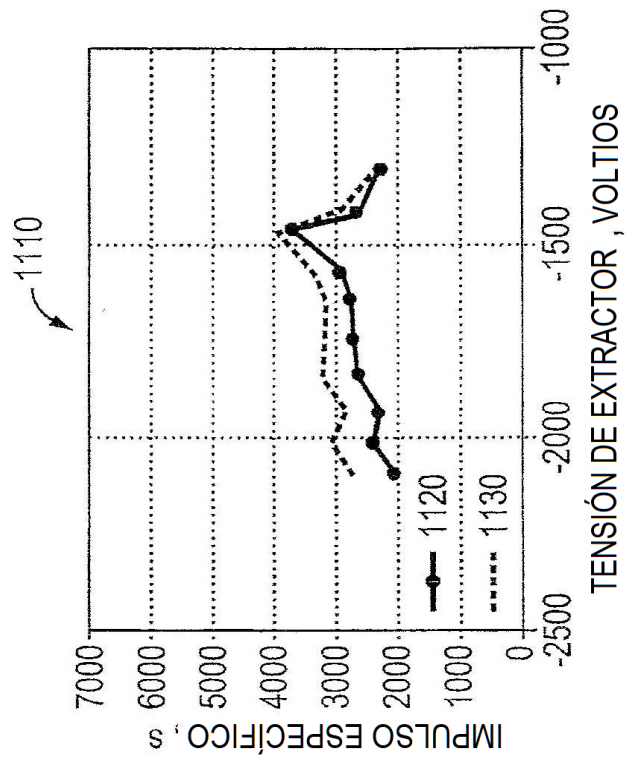


FIG. 11A

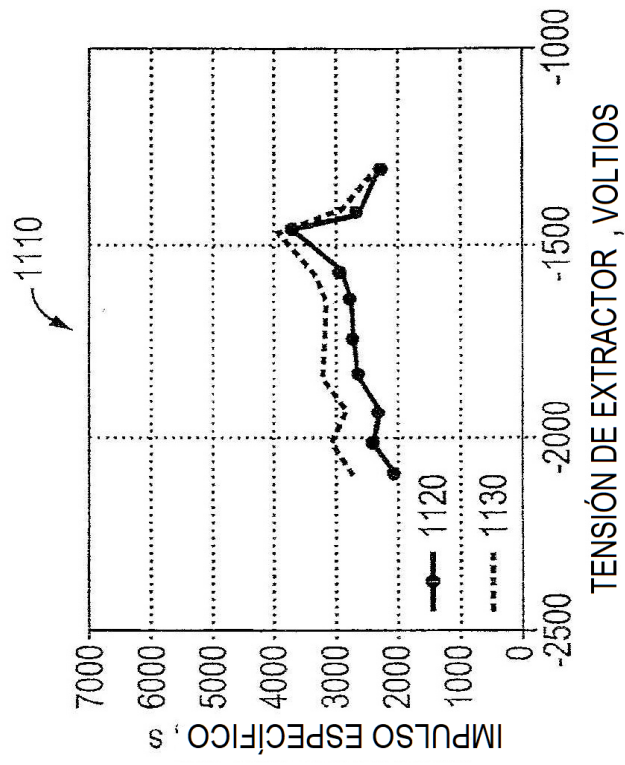


FIG. 11B

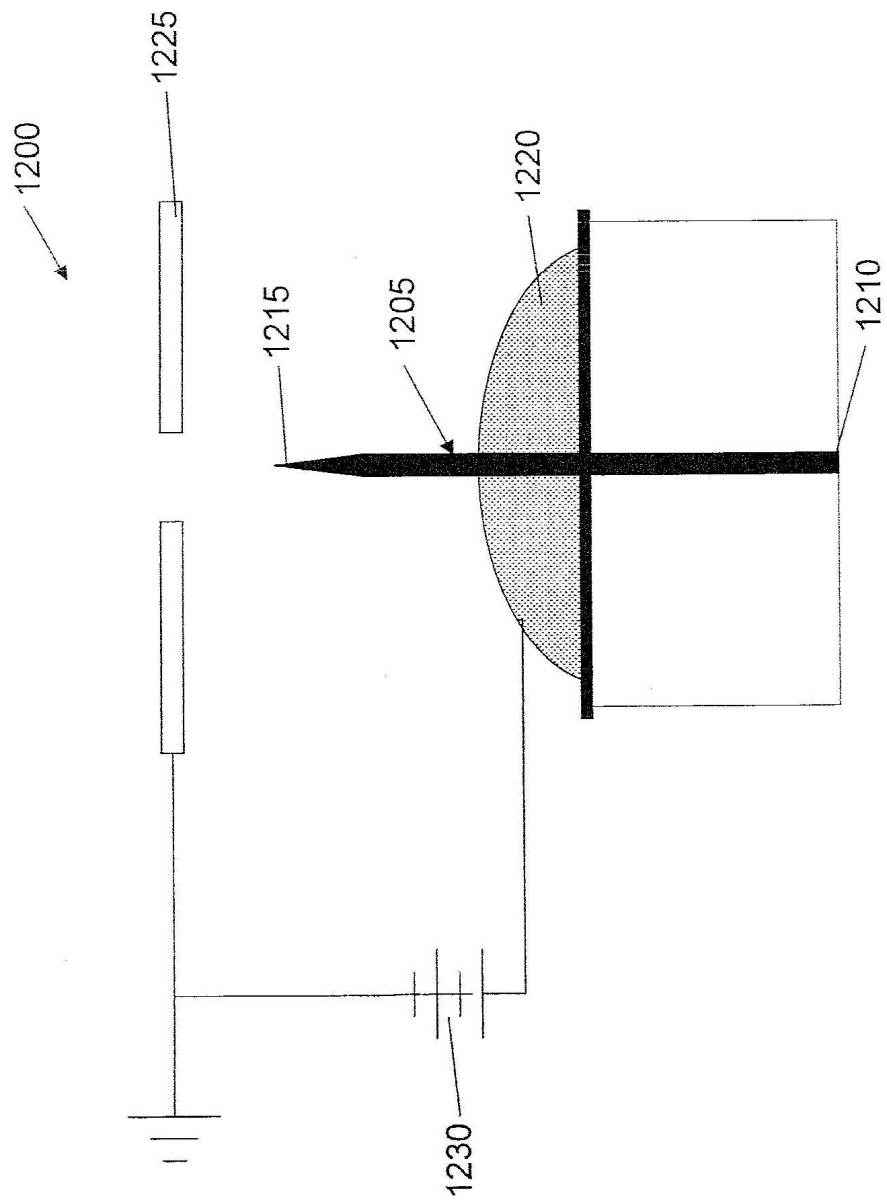


FIG. 12

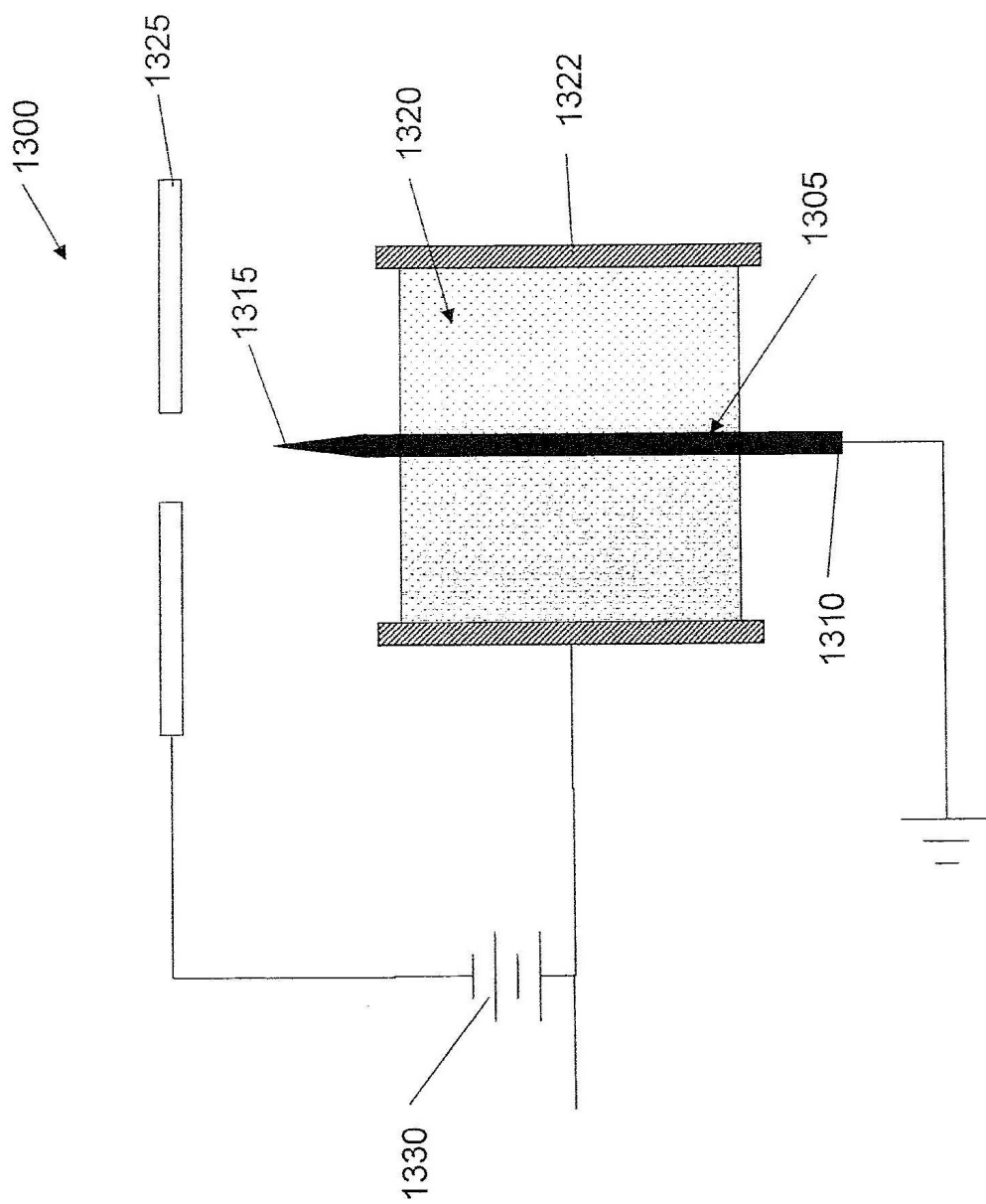


FIG. 13A

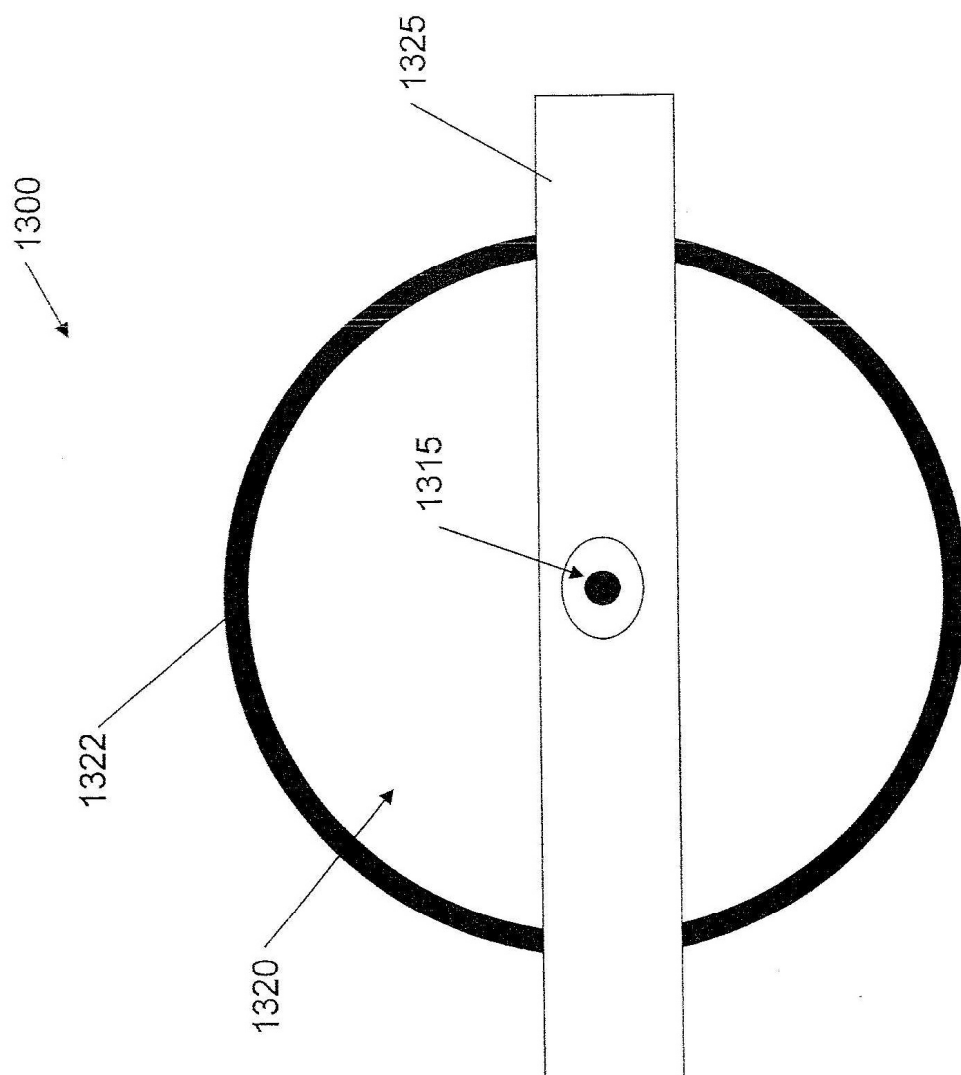


FIG. 13B

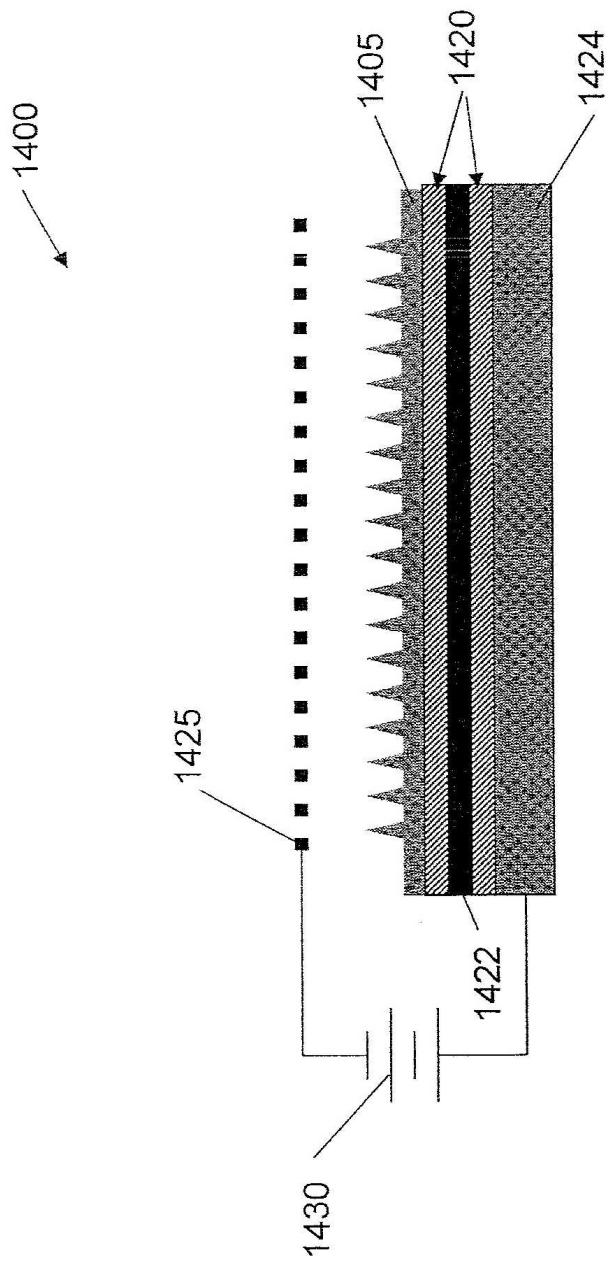


FIG. 14

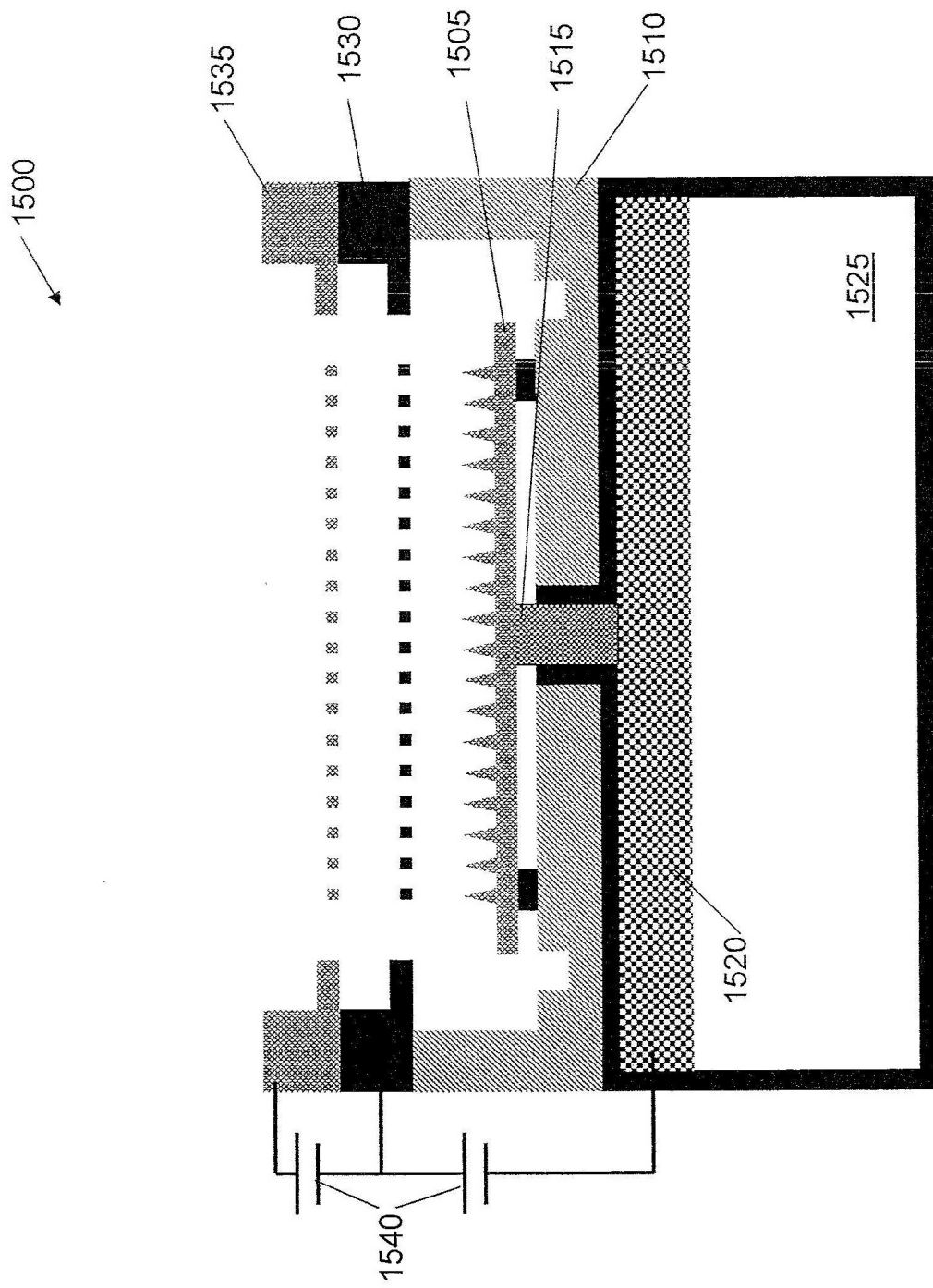


FIG. 15

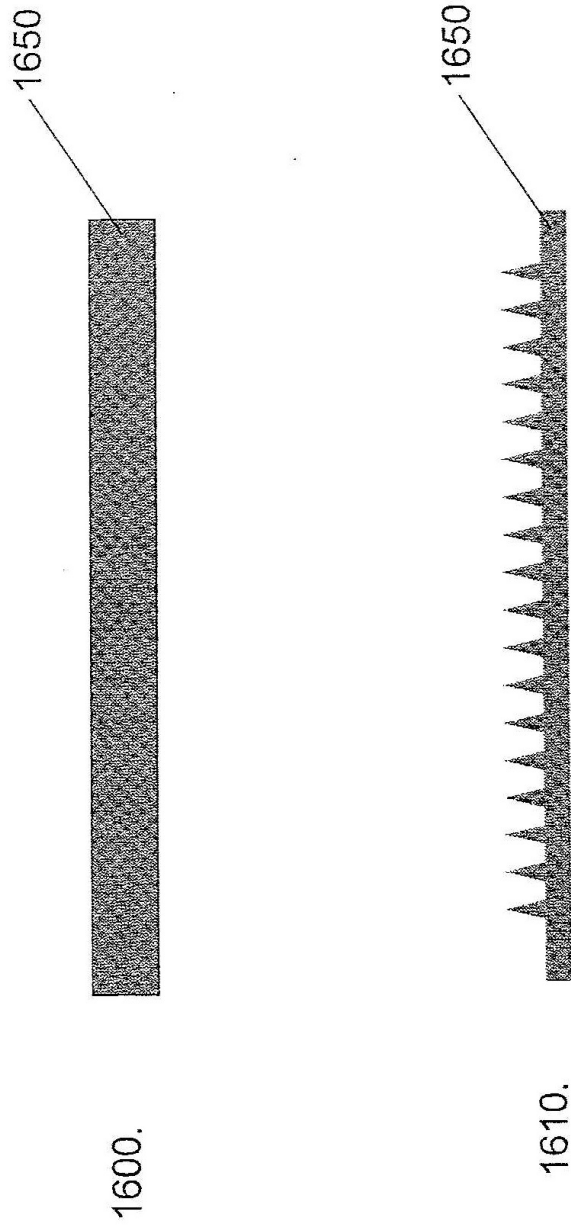


FIG. 16

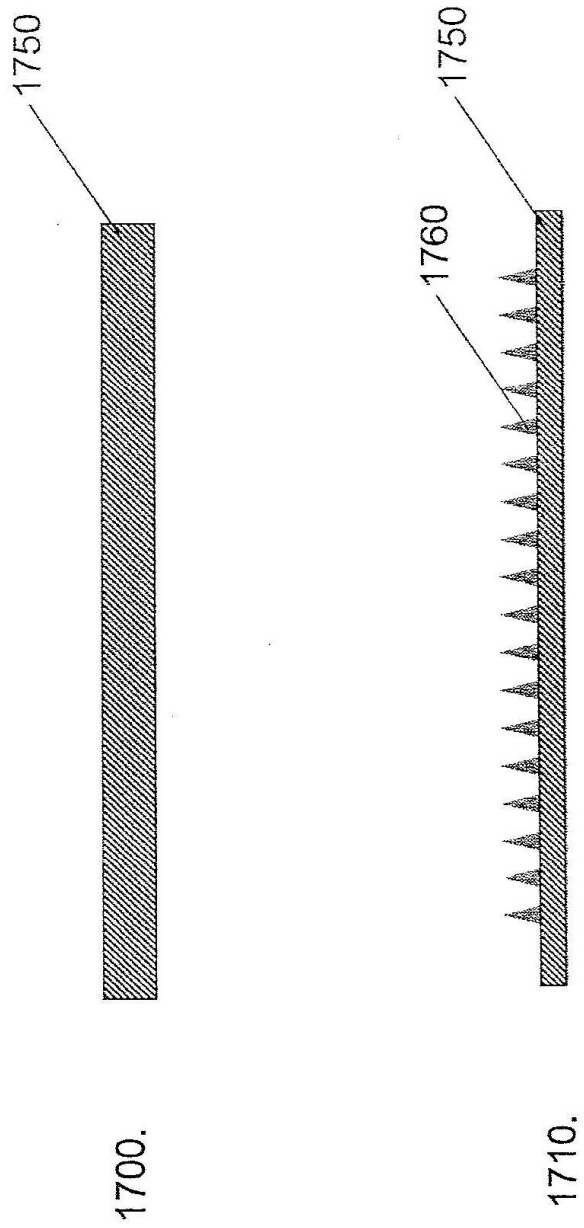


FIG. 17

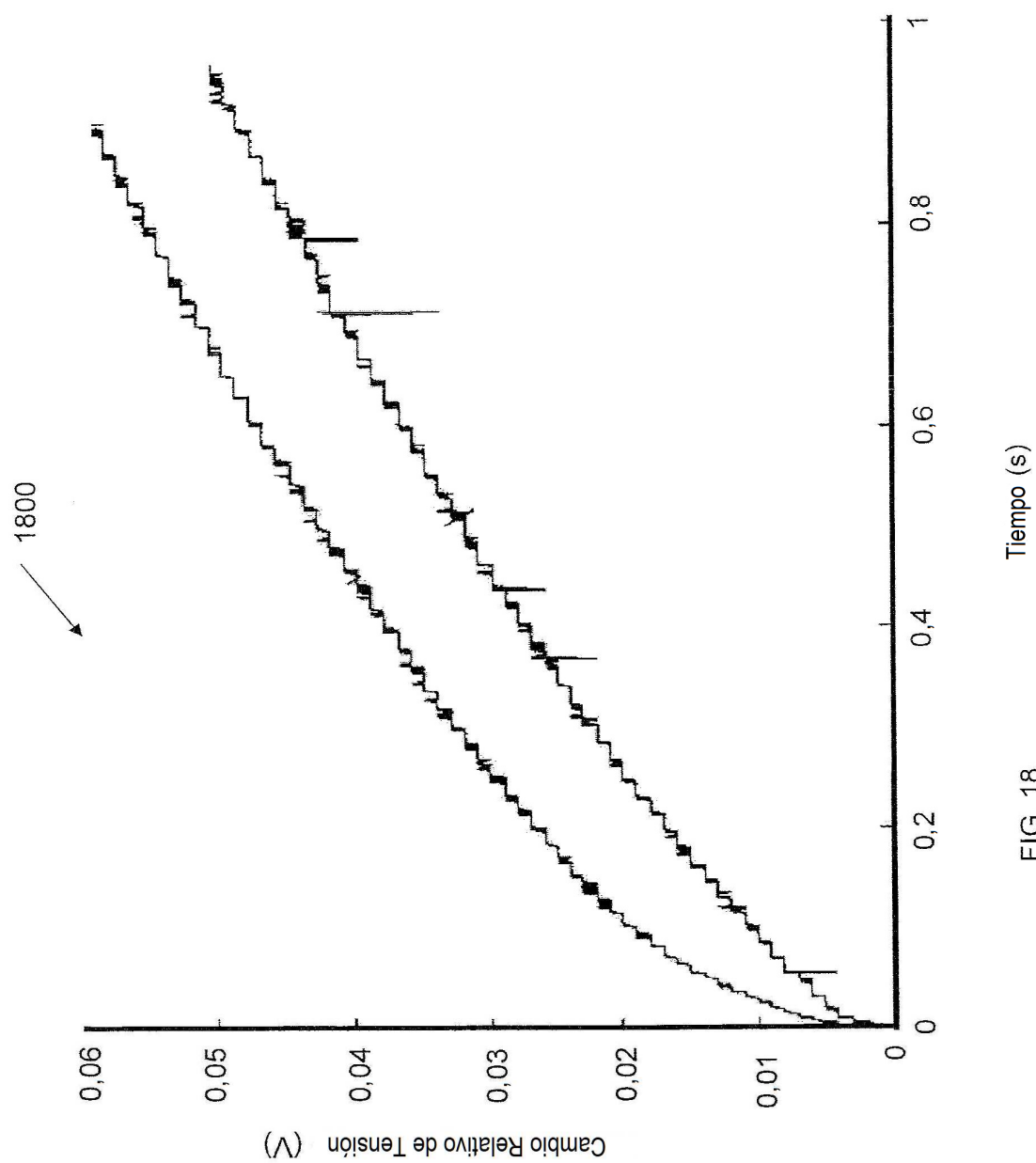


FIG. 18

c