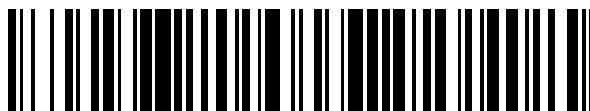


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 596 375**

51 Int. Cl.:

H01L 21/44 (2006.01)

H01J 37/244 (2006.01)

H01J 37/317 (2006.01)

H01J 37/304 (2006.01)

H01L 21/265 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2012** **PCT/US2012/061862**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.05.2013** **WO13063234**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2012** **E 12843609 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016** **EP 2771907**

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y APARATO DE DIAGNÓSTICO PARA CARACTERIZACIÓN DE UN HAZ NEUTRO Y PARA CONTROL DE PROCESO CON EL MISMO**

30 Prioridad:

26.10.2011 US 201161551552 P

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

09.01.2017

73 Titular/es:

EXOGENESIS CORPORATION (100.0%)
20 Fortune Drive
Billerica, Massachusetts 01821, US

72 Inventor/es:

KIRKPATRICK, SEAN, R. y
KIRKPATRICK, ALLEN, R.

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 596 375 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de diagnóstico para caracterización de un haz neutro y para control de proceso con el mismo.

5

Descripción

CAMPO DE LA INVENCIÓN

- 10 Esta invención se refiere en general a procedimientos y aparatos de diagnóstico para caracterizar un haz neutro acelerado (que puede estar disociado o parcialmente disociado) derivado de un haz iónico de cúmulos gaseosos (GCIB) acelerado. Además, se refiere a procedimientos y aparatos para controlar la dosimetría para procesar una pieza de trabajo por irradiación con un haz neutro acelerado (que puede estar disociado o parcialmente disociado) derivado de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

- Los iones han sido los preferidos durante mucho tiempo para muchos procesos porque su carga eléctrica facilita su manipulación mediante campos electrostáticos y magnéticos. Esto introduce una gran flexibilidad en el procesamiento. Sin embargo, en algunas aplicaciones, la carga que es inherente a cualquier ion (incluyendo iones de cúmulos gaseosos en un GCIB) puede producir efectos no deseados en las superficies procesadas. El GCIB tiene una ventaja distintiva respecto a los haces iónicos convencionales porque un ión de cúmulo gaseoso con una única carga o múltiples cargas pequeñas permite el transporte y control de un flujo de masa mucho mayor (un cúmulo puede consistir en cientos o miles de moléculas) comparado con un ion convencional (un átomo ionizado individual, moléculas, o un fragmento molecular). Particularmente en el caso de materiales aislantes, las superficies procesadas usando iones a menudo sufren daño inducido por la carga resultante de la descarga súbita de cargas acumuladas, o la producción de tensión inducida por campo eléctrico perjudicial en el material (de nuevo resultante de las cargas acumuladas). En muchos de tales casos, los GCIB tienen una ventaja debido a su relativamente baja carga por masa, pero en algunos casos puede no eliminar el problema de la carga objetivo. Además, los haces iónicos de corriente moderada a alta pueden sufrir un significativo desenfoque inducido por la carga espacial del haz que tiende a inhibir el transporte de un haz bien enfocado a lo largo de grandes distancias. De nuevo, debido a su carga por masa más baja en relación con los haces iónicos convencionales, los GCIB tienen una ventaja, pero no eliminan totalmente el problema del transporte de carga espacial.
- 35 Surge un caso adicional de necesidad u oportunidad del hecho de que aunque el uso de haces de moléculas o átomos neutros proporciona beneficio en algunas aplicaciones de procesamiento superficial y en el transporte del haz sin carga espacial, generalmente no ha sido fácil ni económico producir haces intensos de moléculas o átomos neutros excepto para el caso de chorros de tobera, donde las energías son generalmente del orden de unos pocos milielectronvoltios por átomo o molécula, y de este modo tienen limitadas capacidades de procesamiento. Las partículas neutras más energéticas pueden ser beneficiosas o necesarias en muchas aplicaciones, por ejemplo cuando resulta deseable romper los enlaces superficiales o subsuperficiales poco profundos para facilitar la limpieza, el grabado, el suavizado, la deposición, la amorfización, o para producir efectos químicos superficiales. En tales casos, a menudo pueden resultar útiles energías de entre aproximadamente un eV hasta unos pocos miles de eV por partícula. En este documento se describen procedimientos y aparatos para formar tales haces neutros formando
- 45 en primer lugar un GCIB cargado acelerado y luego neutralizando o disponiendo para la neutralización de al menos una fracción del haz y separando las fracciones cargadas y sin carga. Aunque el procesamiento por GCIB se ha empleado satisfactoriamente para muchas aplicaciones, hay necesidades de aplicación nuevas y existentes no satisfechas totalmente por GCIB u otros procedimientos y aparatos del estado de la técnica, y donde los haces neutros acelerados pueden proporcionar resultados superiores. Por ejemplo, en muchas situaciones, aunque un GCIB puede producir un suavizado drástico a escala atómica de una superficie inicialmente un tanto áspera, el suavizado final que puede conseguirse a menudo es inferior a la suavidad requerida, y en otras situaciones el procesamiento por GCIB puede tener como resultado el volver moderadamente ásperas las superficies suaves en vez de suavizarlas más.
- 50
- 55 Históricamente, cuando se han usado haces iónicos convencionales y GCIB para procesamiento de piezas de trabajo, la repetibilidad de los resultados del procesamiento se ha conseguido usando una técnica de dosimetría de proceso que emplea la medición de la corriente eléctrica del haz en la pieza de trabajo, integrada a lo largo del tiempo, y teniendo en cuenta el tamaño del área procesada para determinar una dosis en iones/cm². Controlando la dosis (iones/cm²) y la energía del haz, se consigue una buena repetibilidad para la mayoría de los procesos. A

menudo también deben controlarse otros factores para conseguir los resultados de proceso deseados (tales como limitar las desviaciones de temperatura de la pieza de trabajo y la dirección de incidencia del haz durante el procesamiento, etc.) pero la dosis en iones/cm² y la energía del haz a menudo son los principales parámetros de procesamiento que se controlan para producir resultados repetibles.

5

En el caso de haces neutros y haces neutros disociados, como las partículas del haz no están cargadas, su flujo no puede determinarse mediante una medición de corriente, y de este modo se requiere algún otro procedimiento de dosimetría, cuando los resultados de procesamiento aceptables dependen del control de precisión de la dosis de procesamiento.

10

Por lo tanto, un objeto de esta invención es proporcionar procedimientos y aparatos de diagnóstico para caracterizar haces neutros y haces neutros disociados.

Un objeto adicional de esta invención es proporcionar procedimientos y aparatos de diagnóstico para caracterizar haces neutros y haces neutros disociados hasta un grado que permita una dosimetría de proceso más precisa que tenga como resultado un procesamiento de pieza de trabajo repetible.

15

La solicitud de patente internacional nº WO-A-01/70378 describe un aparato detector y su uso para diagnóstico de haz de iones de cúmulos. El detector tiene una copa de Faraday con un recorrido de conductancia a un detector de presión de gas y una conductancia a la salida del detector. El detector adquiere la corriente de iones, que es una medida del flujo del haz iónico, y también adquiere el flujo de masa, a través de una medición de presión. La medición de presión responde a la masa de cúmulos gaseosos disociados y se combina con información acerca de la corriente de iones instantánea para estimar el tamaño medio de ión de cúmulo gaseoso N.

20

La memoria descriptiva de patente de Estados Unidos nº US-A-3757114 describe que la intensidad de un haz de partículas neutras que se desplaza a velocidades de hasta 3,4 por 10⁷ cm/s puede monitorizarse insertando un objetivo precalibrado en el recorrido del haz, y la medición de la intensidad de emisiones de fotones que resultan de la colisión de las partículas con el objetivo. La intensidad del haz está relacionada con la intensidad de las emisiones de fotones por el factor de calibración del material del objetivo.

25

30

RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato sensor tal como se especifica en la reivindicación 1. De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato sensor tal como se especifica en cualquiera de las reivindicaciones 2 – 8. De acuerdo con un aspecto más de la presente invención, se proporciona un procedimiento para caracterizar un haz de partículas tal como se especifica en la reivindicación 9. De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un procedimiento para caracterizar un haz de partículas tal como se especifica en cualquiera de las reivindicaciones 10 - 15.

35

La presente invención está dirigida al uso de una combinación de sensores y mediciones realizadas por esos sensores que se combinan para caracterizar un haz neutro o haz neutro disociado de una manera que permite una dosimetría mejorada para control de procesamiento de pieza de trabajo.

40

Los haces de iones energéticos convencionales, átomos o moléculas cargados eléctricamente acelerados, se utilizan ampliamente para formar uniones de dispositivos semiconductores, para modificar superficies mediante pulverización catódica, y para modificar las propiedades de películas delgadas. A diferencia de los iones convencionales, los iones de cúmulos gaseosos están formados de cúmulos de gran número (teniendo una distribución típica de varios cientos a varios miles con un valor medio de unos pocos miles) de átomos o moléculas ligados débilmente de materiales que son gaseosos bajo condiciones de temperatura y presión normales (comúnmente oxígeno, nitrógeno, o un gas inerte tal como argón, por ejemplo, pero puede usarse cualquier gas condensable para generar iones de cúmulos gaseosos) con cada cúmulo compartiendo una o más cargas eléctricas, y que son acelerados juntos mediante grandes diferencias de potencial eléctrico (del orden de aproximadamente 3 kV a aproximadamente 70 kV o más) para obtener altas energías totales. Después de que los iones de cúmulos gaseosos se han formado y acelerado, sus estados de carga pueden alterarse o resultar alterados (incluso neutralizados), y pueden fragmentarse ser inducidos a fragmentarse en iones de cúmulos más pequeños o iones monómeros o en iones monómeros y/o cúmulos neutralizados más pequeños y monómeros neutralizados, pero tienden a conservar las velocidades y energías relativamente altas que resultan de haber sido acelerados mediante grandes diferencias de potencial eléctrico, con la energía estando distribuida por los fragmentos.

45

50

55

Al estar ligados débilmente, los iones de cúmulos gaseosos (o cúmulos gaseosos neutros) se desintegran en el momento de impactar con una superficie y la energía total del ión de cúmulo gaseoso acelerado se comparte entre los átomos constituyentes. Debido a esta compartición de energía, los monómeros de los cúmulos son individualmente mucho menos energéticos (después de la desintegración) que como es el caso para iones convencionales acelerados de manera similar y, como resultado, los átomos penetran a mucha menos profundidad, a pesar de la alta energía total del cúmulo gaseoso acelerado. Tal como se usan en este documento, los términos "GCIB" y "haz iónico de cúmulos gaseosos" pretenden englobar no sólo haces ionizados e iones, sino también haces en los cuales una porción de las partículas no están ionizadas. Los términos "GCIB" y "haz iónico de cúmulos gaseosos" pretenden englobar todos los haces que comprenden iones de cúmulos gaseosos aun cuando también pueden comprender iones y/o partículas neutras que no forman cúmulos. Tal como se usa en este documento, el término "haz neutro" pretende significar un haz de cúmulos de gas neutro y/o monómeros neutros derivados de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado en donde la aceleración resulta de la aceleración de un haz iónico de cúmulos gaseosos. Tal como se usa en este documento, el término "haz neutro disociado" pretende significar un haz constituido esencialmente por monómeros neutros acelerados derivados de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y donde la aceleración ha resultado de la aceleración de iones de cúmulos gaseosos. Tal como se usa en este documento, el término monómero se refiere por igual a un átomo individual o una molécula individual. Los términos "átomo", "molécula" y "monómero" pueden usarse de manera intercambiable y referirse todos al monómero apropiado que es característico del gas bajo análisis (ya sea un componente de un cúmulo, un componente de un ión de cúmulo, o un átomo o molécula). Por ejemplo, puede hacerse referencia a un gas monoatómico como e argón en términos de átomos, moléculas o monómeros, y cada uno de esos términos significa un átomo individual. Asimismo, en el caso de un gas diatómico como el nitrógeno, se puede hacer referencia al mismo en términos de átomos, moléculas o monómeros, significando cada término una molécula diatómica. Además, puede hacerse referencia a un gas molecular como el CO₂ en términos de átomos, moléculas o monómeros, significando cada término una molécula de tres átomos, etcétera. Estas convenciones se usa para simplificar las discusiones genéricas de gases y cúmulos gaseosos o iones de cúmulos gaseosos independientemente de si son monoatómicos, diatómicos o moleculares en su forma gaseosa.

Cuando un ión de cúmulo gaseoso acelerado está totalmente disociado y neutralizado, los monómeros neutros resultantes tienen energías aproximadamente iguales a la energía total del ión de cúmulo gaseoso acelerado original, divididas por el número, N_1 , de monómeros que comprendían el ión de cúmulo gaseoso original en el momento en que fue acelerado. Tales monómeros neutros disociados tienen energías del orden de aproximadamente 1 eV a decenas o incluso hasta unos pocos miles de eV, dependiendo de la energía acelerada original del ión de cúmulo gaseoso y el tamaño del cúmulo gaseoso en el momento de la aceleración. El efecto de procesamiento de tales monómeros acelerados neutralizados disociados depende tanto del número de tales monómeros que percuten en un área superficial dada en una pieza de trabajo como también de las energías asociadas con tal monómero.

Los haces iónicos de cúmulos gaseosos se generan y transportan con fines de irradiar una pieza de trabajo de acuerdo con técnicas conocidas. Se conocen en la técnica diversos tipos de sujeciones para sujetar el objeto en el recorrido del GCIB para irradiación y para manipular el objeto para permitir la irradiación de una multiplicidad de porciones del objeto. Los haces neutros y los haces neutros disociados pueden generarse y transportarse con fines de irradiar una pieza de trabajo de acuerdo con técnicas enseñadas en este documento.

La presente invención puede emplear un procedimiento y sistema de alta pureza de haz para derivar de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado un cúmulo gaseoso neutro acelerado y/o preferentemente un haz de monómeros que pueda emplearse para una diversidad de tipos de procesamiento superficial y de materiales subsuperficiales poco profundos y que sea capaz, para muchas aplicaciones, de un rendimiento superior comparado con el procesamiento por GCIB convencional. Puede proporcionar haces de monómeros neutros bien enfocados, acelerados e intensos con partículas que tienen energías comprendidas ente aproximadamente 1 eV y hasta unos pocos miles de eV. Este es un intervalo de energía en el cual ha resultado poco práctico con aparatos simples, relativamente económicos, formar haces neutros intensos.

Estos haces neutros acelerados se generan formando en primer lugar un GCIB acelerado convencional, luego disociándolo parcialmente o esencialmente por completo por procedimientos y condiciones de funcionamiento que no introducen impurezas en el haz, luego separando las porciones cargadas restantes del haz de la porción neutra, y posteriormente usando el haz neutro acelerado resultante para procesamiento de la pieza de trabajo. Dependiendo del grado de disociación de los iones de cúmulos gaseosos, el haz neutro producido puede ser una mezcla de monómeros de gas neutros y cúmulos gaseosos o esencialmente puede consistir por entero o casi por entero en monómeros de gas neutros. Se prefiere que el haz neutro acelerado sea un haz neutro disociado, ya que se sabe

que la presencia de cúmulos de menor tamaño en los haces neutros puede producir efectos que no son deseables en algunas aplicaciones.

Una ventaja de los haces neutros y haces neutros disociados que pueden producirse por los procedimientos y aparatos de esta invención, es que pueden usarse para procesar materiales eléctricamente aislantes sin producir daño al material debido a la carga de las superficies de tales materiales por las cargas transportadas por el haz tal como se produce comúnmente para todos los haces ionizados incluyendo GCIB. Por ejemplo, en aplicaciones semiconductores y otras aplicaciones de procesamiento electrónico, los iones a menudo contribuyen al daño o la carga destructiva de películas dieléctricas delgadas tales como óxidos, nitruros, etc. El uso de haces neutros y haces neutros disociados puede permitir el procesamiento exitoso por haz de materiales de polímero, dieléctricos, y/u otros materiales eléctricamente aislantes o de alta resistividad, revestimientos, y películas en otras aplicaciones donde los haces iónicos pueden producir efectos secundarios no deseados debido a efectos superficiales u otros efectos de carga. Ejemplos incluyen (sin limitación) el procesamiento de revestimientos inhibidores de corrosión, y reticulación por irradiación y/o polimerización de películas orgánicas. En otros ejemplos, las modificaciones inducidas por haz neutro de materiales poliméricos u otros materiales dieléctricos (por ejemplo, esterilización, suavizado, mejora de biocompatibilidad superficial, y mejora de fijación de y/o control de tasas de elución de fármacos) pueden permitir el uso de tales materiales en dispositivos médicos para implante y/o otras aplicaciones medicas/quirúrgicas. Ejemplos adicionales incluyen el procesamiento por haz neutro de instrumental de laboratorio de vidrio, polímero y cerámica para cultivos biológicos y/o superficies de muestreo medioambiental donde tales haces pueden usarse para mejorar las características superficiales como, por ejemplo, la aspereza, la suavidad, la hidrofiliidad, y la biocompatibilidad.

Puesto que el GLIB generatriz, del cual puede formarse un haz neutro acelerado o un haz neutro disociado mediante los procedimientos y aparatos descritos en este documento, comprende iones es acelerado fácilmente hasta la energía deseada y es enfocado fácilmente usando técnicas de haces iónicos convencionales. Tras la subsiguiente disociación y separación de los iones cargados procedentes de las partículas neutras, las partículas del haz neutro tienden a conservar sus trayectorias enfocadas y pueden ser transportadas por amplias distancias con buen efecto.

Cuando los cúmulos gaseosos neutros de un chorro son ionizados por bombardeo electrónico, son calentados y/o excitados. Esto puede resultar en la evaporación subsiguiente de monómeros procedentes del cúmulo gaseoso ionizado, después de la aceleración, a medida que se desplaza por una línea de haz. Además, las colisiones de los iones de cúmulos gaseosos con las moléculas de gas de fondo en el ionizador, el acelerador y las zonas de la línea de haz, también calientan y excitan los iones de cúmulos gaseosos y pueden resultar en la evolución subsiguiente adicional de monómeros procedentes de los iones de cúmulos gaseosos después de la aceleración. Cuando estos mecanismos para la evolución de monómeros son inducidos mediante bombardeo electrónico y/o colisión con moléculas de gas de fondo (y/u otros cúmulos gaseosos) del mismo gas del cual se formó el GCIB, no se contribuye a la contaminación del haz por los procesos de disociación que resultan en la evolución de los monómeros.

Hay otros mecanismos que pueden emplearse para disociar (o inducir la evolución de los monómeros) los iones de cúmulos gaseosos en un GCIB sin introducir contaminación dentro del haz. Algunos de estos mecanismos también pueden emplearse para disociar cúmulos gaseosos neutros en un haz de cúmulos gaseosos neutro. Un mecanismo es la irradiación láser del haz iónico de cúmulos usando energía infrarroja u otra energía láser. El calentamiento inducido por láser de los iones de cúmulos gaseosos en el GCIB irradiado por láser resulta en la excitación y/o el calentamiento de los iones de cúmulos gaseosos y causa la evolución subsiguiente de monómeros procedentes del haz. Otro mecanismo es pasar el haz a través de un tubo calentado térmicamente de modo que los fotones de energía térmica radiante impacten en los iones de cúmulos gaseosos del haz. El calentamiento inducido de los iones de cúmulos gaseosos por la energía térmica radiante en el tubo resulta en la excitación y/o el calentamiento de los iones de cúmulos gaseosos y causa la evolución subsiguiente de los monómeros procedentes del haz. En otro mecanismo, atravesar el haz iónico de cúmulos gaseosos mediante un chorro de gas del mismo gas o mezcla que el gas fuente usado en la formación del GCIB (u otro gas no contaminante) resulta en colisiones de monómeros del gas del chorro de gas con los cúmulos gaseosos del haz iónico produciendo excitación y/o calentamiento de los iones de cúmulos gaseosos del haz y la subsiguiente evolución de monómeros de los iones de cúmulos gaseosos excitados. Al depender totalmente del bombardeo electrónico durante la ionización inicial y/o las colisiones (con otros iones de cúmulos, o con moléculas de gas de fondo del mismo gas o los mismos gases usados para formar el GCIB) dentro del haz y/o la radiación láser o térmica y/o las colisiones del chorro cruzado de gas no contaminante para producir la disociación y/o fragmentación del GCIB, se evita la contaminación del haz por colisión con otros materiales.

Como el chorro de cúmulos gaseosos neutros procedente de una tobera se desplaza a través de una zona de ionización donde los electros son dirigidos para ionizar los cúmulos, un cúmulo puede permanecer desionizado o puede adquirir un estado de carga, q, de una o más cargas (por eyección de electrones del cúmulo por un electrón

incidente). Las condiciones de funcionamiento del ionizador influyen en la probabilidad de que un cúmulo gaseoso adopte un estado de carga particular, con las condiciones más intensas del ionizador resultando en mayor probabilidad de que se consiga un estado de carga más alta. Las condiciones más intensas de ionizador que resultan en una eficiencia de ionización más alta pueden resultar de un flujo de electrones más alto y/o una energía del electrón más alta (dentro de unos límites). Una vez que el cúmulo gaseoso ha sido ionizado, típicamente es extraído del ionizador, enfocado en un haz, y acelerado cayendo a través de un campo eléctrico. La cantidad de aceleración del cúmulo gaseoso se controla fácilmente controlando la magnitud del campo eléctrico acelerador. Las herramientas de procesamiento por GCIB comerciales típicas generalmente permiten que los iones de cúmulos gaseosos sean acelerados por un campo eléctrico que tiene un potencial acelerador ajustable, V_{Acc} , típicamente de, por ejemplo, desde aproximadamente 1 kV hasta 70 kV (pero no limitado a ese intervalo – puede ser más factible un V_{Acc} hasta 200 kV o incluso más). De este modo, un ión de cúmulo gaseoso cargado individualmente consigue una energía comprendida entre aproximadamente 1 y 70 keV (o más si se usa un V_{Acc} mayor) y un ión de cúmulo gaseoso cargado múltiplemente (por ejemplo, sin limitación, estado de carga, $q=3$ cargas electrónicas) consigue una energía comprendida entre 3 y 210 keV (o más para un V_{Acc} más alto). Para otros estados de carga de ión de cúmulo gaseoso y potenciales de aceleración, la energía acelerada por cúmulo es qV_{Acc} eV. A partir de un ionizador dado con una eficiencia de ionización dada, los iones de cúmulos gaseosos tendrán una distribución de estados de carga desde cero (no ionizados) hasta un número más alto tal como, por ejemplo, 6 (o con una alta eficiencia del ionizador, incluso más), y los valores más probables y medios de la distribución de estado de carga también aumentan con una mayor eficiencia del ionizador (flujo de electrones y/o energía más altos). Una eficiencia del ionizador más alta también resulta en que se forman mayores números de iones de cúmulos gaseosos en el ionizador. En muchos casos, la producción de procesamiento por GCIB aumenta cuando operar el ionizador a alta eficiencia resulta en una mayor corriente de GCIB. Un inconveniente de tal operación es que los múltiples estados de carga que pueden producirse en los iones de cúmulos gaseosos de tamaño intermedio pueden aumentar la formación de cráteres y/o una interfaz áspera por esos iones, y a menudo tales efectos pueden actuar contraproducentemente para la intención del procesamiento. Así, para muchas fórmulas de procesamiento superficial por GCIB, la selección de los parámetros de funcionamiento del ionizador tiende a implicar más consideraciones que simplemente maximizar la corriente de haz. En algunos procesos, el uso de una “célula de presión” (véase la patente de EE.UU. 7.060.989, de Swenson y col.) puede emplearse para permitir operar un ionizador a alta eficiencia de ionización en tanto que obteniendo aun así un aceptable rendimiento de procesamiento del haz moderando la energía del haz mediante colisiones de gas en una “célula de presión” de presión elevada.

Con la presente invención no hay inconveniente para operar el ionizador a alta eficiencia – de hecho, tal funcionamiento se prefiere a veces. Cuando el ionizador se hace funcionar a alta eficiencia, puede haber una amplia variedad de estados de carga en los iones de cúmulos gaseosos producidos por el ionizador. Esto resulta en una amplia variedad de velocidades en los iones de cúmulos gaseosos en la zona de extracción entre el ionizador y los electrodos aceleradores de haz, y también en el haz de aguas abajo. Esto puede resultar en una frecuencia aumentada de colisiones entre iones de cúmulos gaseosos en el haz que generalmente resulta en un grado más alto de fragmentación de los iones de cúmulos gaseosos más grandes. Tal fragmentación puede resultar en una redistribución de los tamaños de cúmulo en el haz, inclinándola hacia los tamaños de cúmulo más pequeños. Estos fragmentos de cúmulo conservan energía en proporción a su nuevo tamaño (N) y por eso se vuelven menos energéticos aunque conservando esencialmente la velocidad acelerada del ión de cúmulo gaseoso sin fragmentar inicial. El cambio de energía con conservación de velocidad después de las colisiones ha sido verificado experimentalmente (tal como se informa, por ejemplo, en el documento de Toyoda, N. y col., “Cluster size dependence on energy and velocity distributions of gas cluster ions after collisions with residual gas”, Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Research B 257 (2007), págs. 662-665). La fragmentación también puede resultar en redistribución de cargas en los fragmentos de cúmulo. Probablemente resultan algunos fragmentos sin cargar y los iones de cúmulos gaseosos multicargados pueden fragmentarse en varios iones de cúmulos gaseosos cargados y quizá algunos fragmentos sin cargar. Se entiende por parte de los inventores que el diseño de los campos de enfoque en el ionizador y la zona de extracción pueden mejorar el enfoque de los iones de cúmulos gaseosos más pequeños y los iones monómeros para aumentar la probabilidad de colisión con iones de cúmulos gaseosos más grandes en la zona de extracción de haz y en el haz de aguas abajo, contribuyendo así a la disociación y/o fragmentación de los iones de cúmulos gaseosos.

En una realización de la presente invención, la presión de gas de fondo en el ionizador, la zona de aceleración, y la línea de haz puede disponerse opcionalmente para que tenga una presión más alta que la que se utiliza normalmente para una buena transmisión de GCIB. Esto puede resultar en una evolución adicional de los monómeros procedentes de los iones de cúmulos gaseosos (más allá de la que resulta del calentamiento y/o la excitación resultante del evento de ionización inicial del cúmulo gaseoso). La presión puede disponerse de modo que los iones de cúmulos gaseosos tengan un recorrido libre medio suficientemente corto y un recorrido de vuelo

suficientemente largo entre el ionizador y la pieza de trabajo que deban sufrir múltiples colisiones con las moléculas de gas de fondo.

Para un ión de cúmulo gaseoso homogéneo que contiene N monómeros y que tiene un estado de carga de q y que ha sido acelerado mediante una caída de potencial de campo eléctrico de V_{Acc} voltios, el cúmulo tendrá una energía de aproximadamente qV_{Acc}/N_i eV por monómero, donde N_i es el número de monómeros en el ión de cúmulo en el momento de la aceleración. Excepto para los iones de cúmulos gaseosos más pequeños, una colisión de tal ión con un monómero de gas de fondo del mismo gas que el gas fuente de cúmulos resultará en una deposición adicional de aproximadamente qV_{Acc}/N_i eV dentro del ión de cúmulo gaseoso. Esta energía es relativamente pequeña comparada con la energía global del ión de cúmulo gaseoso (qV_{Acc}) y generalmente resulta en la excitación o calentamiento del cúmulo y en la evolución subsiguiente de los monómeros del cúmulo. Se cree que tales colisiones de cúmulos más grandes con el gas de fondo rara vez fragmentan el cúmulo sino que más bien lo calienta y/o excita con el resultado de una evolución de los monómeros por evaporación o mecanismos similares. Independientemente de la fuente de la excitación que resulta en la evolución de un monómero o monómeros procedentes de un ión de cúmulo gaseoso, el (los) monómero(s) evolucionado(s) tienen aproximadamente la misma energía por partícula, qV_{Acc}/N_i eV, y conservan aproximadamente la misma velocidad y trayectoria que el ión de cúmulo gaseoso del cual han evolucionado. Cuando se producen tales evoluciones de monómeros de un ión de cúmulo gaseoso, si resultan de la excitación o calentamiento debido al evento de ionización original, una colisión, o calentamiento radiante, la carga tiene una alta probabilidad de permanecer con el ión de cúmulo gaseoso residual más grande. Por lo tanto, después de una secuencia de evoluciones de monómeros, un gran ión de cúmulo gaseoso puede reducirse a una nube de monómeros de desplazamiento conjunto con quizá un ión de cúmulo gaseoso residual más pequeño (o posiblemente varios si también se ha producido fragmentación). Todos los monómeros de desplazamiento conjunto que siguen la trayectoria del haz original tiene aproximadamente la misma velocidad que la del ión de cúmulo gaseoso original y cada uno tiene una energía de aproximadamente qV_{Acc}/N_i eV. Para iones de cúmulos gaseosos pequeños, la energía de colisión con un monómero de gas de fondo es probable que disocie completa y violentamente el cúmulo gaseoso pequeño y es incierto si en tales casos los monómeros resultantes continúan desplazándose con el haz o son expulsados del haz.

Antes de que el GCIB alcance la pieza de trabajo, las partículas cargadas restantes (iones de cúmulos gaseosos, particularmente iones de cúmulos gaseosos de tamaño pequeño e intermedio y algunos monómeros cargados, pero incluyendo también cualquier ión de cúmulo gaseoso grande restante) en el haz se separan de la porción neutra del haz, dejando sólo un haz neutro para procesamiento de la pieza de trabajo.

En una operación típica, la fracción de potencia en los componentes del haz neutro en relación con la del haz completo (cargado más neutro) entregada en el objetivo de procesamiento está comprendida entre aproximadamente el 5 % y el 95 %, así que mediante los procedimientos y aparatos de separación de la presente invención es posible entregar esa porción de la energía cinética del haz cargado acelerado completo al objetivo como un haz neutro.

La disociación de los iones de cúmulos gaseosos y por lo tanto la producción de alta energía de haz de monómeros neutros se facilita por 1) Operar a voltajes de aceleración más altos. Esto aumenta qV_{Acc}/N para cualquier tamaño de cúmulo dado. 2) Operar a alta eficiencia del ionizador. Esto aumenta qV_{Acc}/N para cualquier tamaño de cúmulo dado aumentando q y aumenta las colisiones de ión de cúmulo sobre ión de cúmulo en la zona de extracción debido a las diferencias en los estados de carga entre cúmulos; 3) Operar en una zona de alta aceleración del ionizador, o presión de línea de haz u operar con un chorro de gas que atraviesa el haz, o con un recorrido del haz más largo, todo lo cual aumenta la probabilidad de colisiones con el gas de fondo para un ión de cúmulo gaseoso de cualquier tamaño dado; 4) Operar con irradiación láser o calentamiento radiante térmico del haz, los cuales promueven directamente la evolución de monómeros a partir de los iones de cúmulos gaseosos; y 5) Operar a un flujo de gas de tobera más alto, lo cual aumenta el transporte de gas, en cúmulos y quizá sin cúmulos dentro de la trayectoria del GCIB, lo cual aumenta las colisiones con el resultado de mayor evolución de monómeros.

La medición del haz neutro no puede realizarse mediante una medición de corriente tal como es conveniente para haces iónicos de cúmulos gaseosos. En una realización se usa un sensor de potencia del haz neutro para facilitar la dosimetría cuando se irradia una pieza de trabajo con un haz neutro. El sensor de haz neutro es un sensor térmico que intercepta el haz (u opcionalmente una muestra conocida del haz). La tasa de aumento de temperatura del sensor está relacionada con el flujo de energía que resulta de la irradiación energética del haz del sensor. Las mediciones térmicas deben realizarse sobre un intervalo limitado de temperaturas de sensor para minimizar los errores debidos a la rerradiación térmica de la energía incidente sobre el sensor. Para un proceso de GCIB, la potencia del haz (vatios) es igual a la corriente de haz (amperios) por V_{Acc} , el voltaje de aceleración del haz. Cuando

un GCIB irradia una pieza de trabajo durante un periodo de tiempo (segundos), la energía (julios) recibida por la pieza de trabajo es el producto de la potencia del haz y el tiempo de irradiación. El efecto de procesamiento de tal haz cuando procesa un área amplia se distribuye sobre el área (por ejemplo, cm^2). Para haces iónicos, ha sido convenientemente convencional especificar una dosis de procesamiento en términos de iones irradiados/ cm^2 , donde los iones son conocidos o se supone que tienen en el momento de la aceleración un estado de carga promedio, q , y han sido acelerados mediante una diferencia de potencial de V_{Acc} voltios, de modo que cada ión lleva una energía de qV_{Acc} eV (un eV es aproximadamente $1,6 \times 10^{-19}$ julios). De este modo una dosis de haz iónico para un estado de carga promedio, q , acelerada por V_{Acc} y especificada en iones/ cm^2 corresponde a una dosis de energía calculada fácilmente que puede expresarse en julios/ cm^2 . Para un haz neutro acelerado derivado de un GCIB acelerado tal como se utiliza en la presente invención, el valor de q en el momento de la aceleración y el valor de V_{Acc} es el mismo para ambas fracciones cargada (formada posteriormente y separada) y sin carga del haz. La potencia en las dos fracciones (neutra y cargada) del GCIB se divide en proporción a la masa en cada fracción del haz. Así, para el haz neutro acelerado tal como se emplea en la invención, cuando áreas iguales son irradiadas durante tiempos iguales, la dosis de energía (julios/ cm^2) depositada por el haz neutro es necesariamente inferior a la dosis de energía depositada por todo el GCIB. Usando un sensor térmico para medir la potencia en el GCIB completo P_G y la del haz neutro P_N (que comúnmente se averigua que es aproximadamente del 5 % al 95 % de la del GCIB completo) es posible calcular un factor de compensación para uso en la dosimetría de procesamiento por haz neutro. Cuando P_N es aP_G , entonces el factor de compensación es $k = 1/a$. De este modo, si una pieza de trabajo es procesada usando un haz neutro derivado de un GCIB, para una duración de tiempo se hace que sea k veces mayor que la duración de procesamiento para el GCIB completo (incluyendo las porciones de haz cargada y neutra) requerida para conseguir una dosis de D iones/ cm^2 , entonces las dosis de energía depositadas en la pieza de trabajo tanto por el haz neutro como el GCIB completo son iguales (aunque los resultados pueden ser diferentes debido a diferencias cualitativas en los efectos de procesamiento debido a las diferencias de tamaño de partícula en los dos haces). Tal como se usa en este documento, una dosis de proceso de haz neutro compensada de esta manera a veces se describe como que tiene una equivalencia de energía/ cm^2 de una dosis de D iones/ cm^2 . Debido a pequeñas diferencias en los ionizadores o las toberas de chorro de gas, la distribución de tamaños de cúmulo en la fuente y la distribución de estados de carga en el chorro de gas ionizado antes de la aceleración a veces pueden variar de configuración a configuración y de herramienta de procesamiento a herramienta de procesamiento. Para muchos procesos el procedimiento de dosimetría descrito anteriormente proporciona una repetibilidad de proceso adecuada. Para algunos otros procesos, estas variaciones de hardware pueden resultar en una variación de proceso indeseablemente grande y falta de repetibilidad. En tales casos es deseable una caracterización más completa del haz neutro o el haz neutro disociado.

En tales casos, una caracterización más completa del haz proporciona la precisión requerida para una repetibilidad de proceso mejorada. En una realización descrita más adelante, un procedimiento y aparato de diagnóstico para caracterización exhaustiva de un haz neutro o un haz neutro disociado proporciona tanto una medición precisa del flujo de partículas neutras aceleradas en el haz como la energía media por partícula neutra acelerada. En el caso de un haz neutro disociado, esto corresponde al flujo de monómeros neutros acelerados y la energía media por monómero neutro acelerado. Otras diversas propiedades de las porciones cargada y sin carga, acelerada y sin acelerar del GCIB generatriz se determinan mediante la técnica y pueden emplearse para asegurar la repetibilidad de proceso en aplicaciones de procesamiento de piezas de trabajo de haces neutros y haces neutros disociados.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un esquema que ilustra elementos de un aparato de procesamiento por GCIB (1100) para procesar una pieza de trabajo usando un GCIB;

la figura 2 es un esquema que ilustra elementos de otro aparato de procesamiento por GCIB (1200) para procesar una pieza de trabajo usando un GCIB, donde se emplea escaneo del haz iónico y manipulación de la pieza de trabajo;

la figura 3 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1300) de acuerdo con una realización de la invención, que usa placas de desviación electrostática para separar los haces cargados y sin carga;

la figura 4 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1400) de acuerdo con una realización de la invención que usa un sensor térmico para medición de haz neutro;

la figura 5 es un esquema de un aparato sensor (1500) para diagnóstico y medición de haz neutro de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 6 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1600) de acuerdo con una realización de la invención, que se usa para diagnóstico y medición de haz neutro y mostrado en una configuración de diagnóstico de haz; y

- 5 la figura 7 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1680) de acuerdo con una realización de la invención, que se usa para diagnóstico y medición de haz neutro, y mostrado en una configuración de procesamiento de pieza de trabajo.

Las figuras 8A y 8B muestran una curva de calibración ejemplar para los transductores de presión generada como parte de los procedimientos de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS PROCEDIMIENTOS Y REALIZACIONES EJEMPLARES DE LA INVENCION

En la siguiente descripción, por simplificación, los números de elemento de las primeras figuras descritas pueden aparecer en las figuras descritas posteriormente sin discusión. Asimismo, los elementos analizados en relación con las primeras figuras pueden aparecer en las figuras subsiguientes sin números de elementos o descripción adicional. En tales casos, los elementos con números iguales son elementos iguales y tienen las características y funciones descritas previamente, y la ilustración de elementos sin números de elemento mostrados en la presente figura se refieren a elementos iguales que tienen las mismas funciones que los elementos iguales ilustrados en figuras numeradas analizadas anteriormente.

Ahora se hace referencia a la figura 1, que muestra una configuración esquemática para un aparato de procesamiento por GCIB (1100). Un recipiente de baja presión (1102) tiene tres cámaras conectadas fluidamente: una cámara de tobera (1104), una cámara de ionización/aceleración (1106), y una cámara de procesamiento (1108). Se hace el vacío en las tres cámaras mediante bombas de vacío (1146a), (1146b) y (1146c), respectivamente. Un gas fuente condensable a presión (1112) (por ejemplo argón) almacenado en un cilindro de almacenamiento de gas (1111) circula a través de una válvula dosificadora de gas (1113) y un tubo de alimentación (1114) a una cámara de estancamiento (1116). La presión (típicamente unas pocas atmósferas) en la cámara de estancamiento (1116) resulta en la eyección de gas al vacío a presión sustancialmente más baja a través de la tobera (1110), resultando en la formación de un chorro de gas supersónico (1118). El enfriamiento, resultante de la expansión en el chorro, hace que una porción del chorro de gas (1118) se condense en cúmulos, cada uno consistente en desde varios hasta varios miles de átomos o moléculas ligados débilmente. Se emplea una abertura separadora de gas (1120) para controlar el flujo de gas a las cámaras de aguas abajo separando parcialmente las moléculas de gas que no se han condensado en un chorro de cúmulos a partir del chorro de cúmulos. Una presión excesiva en las cámaras de aguas abajo puede ser perjudicial por interferencia con el transporte de iones de cúmulos gaseosos y por interferencia con la gestión de los altos voltajes que pueden emplearse para la formación y el transporte del haz. Gases fuente condensables adecuados (1112) incluyen, pero no están limitados a argón y otros gases nobles condensables, nitrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, y muchos otros gases y/o mezclas de gases. Después de la formación de los cúmulos gaseosos en el chorro de gas supersónico (1118), al menos una porción de los cúmulos gaseosos son ionizados en un ionizador (1122) que es típicamente un ionizador de impacto de electrones que produce electrones por emisión térmica de uno o más filamentos incandescentes (1124) (o de otras fuentes de electrones adecuadas) y acelera y dirige los electrones, permitiéndoles colisionar con los cúmulos gaseosos del chorro de gas (1118). Los impactos de electrones con los cúmulos gaseosos expulsan electrones de alguna porción de los cúmulos gaseosos, haciendo que esos cúmulos se ionicen positivamente. Algunos cúmulos pueden tener más de un electrón expulsado y pueden ionizarse múltiplemente. El control del número de electrones y sus energías después de la aceleración influye típicamente en el número de ionizaciones que pueden producirse y la proporción entre ionizaciones múltiples e individuales de los cúmulos gaseosos. Un electrodo supresor (1142), y un electrodo conectado a tierra (1144) extraen los iones de cúmulos de la abertura de salida de ionizador (1126), los aceleran hasta una energía deseada (típicamente con potenciales de aceleración desde varios cientos de V hasta varias decenas de kV), y los enfocan para formar un GCIB (1128). La zona que el GCIB (1128) atraviesa entre la abertura de salida de ionizador (1126) y el electrodo supresor (1142) se denomina "zona de extracción". El eje (determinado en la tobera (1110)), del chorro de gas supersónico (1118) que contiene cúmulos gaseosos es sustancialmente el mismo que el eje (1154) del GCIB (1128). La fuente de alimentación de filamento (1136) proporciona voltaje de filamento V_f para calentar el filamento ionizador (1124). La fuente de alimentación anódica (1134) proporciona voltaje anódico V_A a los termoelectrones acelerados emitidos desde el filamento (1124) para hacer que los termoelectrones irradian el chorro de gas que contiene cúmulos (1118) para producir iones de cúmulos. Una fuente de alimentación de supresión (1138) suministra voltaje de supresión V_s (del orden de varios cientos a unos pocos miles de voltios) para polarizar el electrodo supresor (1142). La fuente de alimentación de acelerador (1140) suministra voltaje de aceleración V_{Acc} para polarizar el ionizador (1122) con respecto al electrodo supresor (1142) y el electrodo

conectado a tierra (1144) para dar como resultado un potencial de aceleración de GCIB completo igual a V_{Acc} . El electrodo supresor (1142) sirva para extraer iones de la abertura de salida de ionizador (1126) del ionizador (1122) e impedir que entren electrones no deseados en el ionizador (1122) procedentes de aguas abajo, y formar un GCIB enfocado (1128).

- 5 Una pieza de trabajo (1160), que puede ser (por ejemplo) un dispositivo médico, un material semiconductor, un elemento óptico, u otra pieza de trabajo que haya de ser procesada mediante procesamiento por GCIB, está sujeta en una sujeción de pieza de trabajo (1162), que dispone la pieza de trabajo en el recorrido del GCIB (1128). La sujeción de pieza de trabajo está fijada a, pero aislada eléctricamente de la cámara de procesamiento (1108) por un
10 aislante eléctrico (1164). De este modo, el GCIB (1128) que percute en la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1162) circula a través de un conductor eléctrico (1168) hasta un procesador de dosis (1170). Una compuerta de haz (1172) controla la transmisión del GCIB (1128) a lo largo del eje (1154) hasta la pieza de trabajo (1160). La compuerta de haz (1172) tiene típicamente un estado abierto y un estado cerrado que es controlado por una conexión (1174) que puede ser (por ejemplo) eléctrica, mecánica o electromecánica. El procesador de dosis
15 (1170) controla el estado abierto/cerrado de la compuerta de haz (1172) para gestionar la dosis de GCIB recibida por la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1162). En funcionamiento, el procesador de dosis (1170) abre la compuerta de haz (1172) para iniciar la irradiación de GCIB de la pieza de trabajo (1160). El procesador de dosis (1170) integra típicamente la corriente eléctrica del GCIB que llega a la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1162) para calcular una dosis de irradiación de GCIB acumulada. A una dosis predeterminada, el
20 procesador de dosis (1170) cierra la compuerta de haz (1172), terminando el procesamiento cuando se ha alcanzado la dosis predeterminada.

La figura 2 muestra un esquema que ilustra elementos de otro aparato de procesamiento por GCIB (1200) para procesamiento de piezas de trabajo usando un GCIB, donde se emplea escaneado del haz iónico y manipulación de
25 la pieza de trabajo. Una pieza de trabajo (1160) que ha de ser procesada por el aparato de procesamiento por GCIB (1200) está sujeta en una sujeción de pieza de trabajo (1202), dispuesta en el recorrido del GCIB (1128). Con el fin de conseguir un procesamiento uniforme de la pieza de trabajo (1160), la sujeción de pieza de trabajo (1202) está diseñada para manipular la pieza de trabajo (1160), según pueda requerirse para un procesamiento uniforme.

- 30 Cualquier superficie de la pieza de trabajo que no sea plana, por ejemplo, esférica o similar a una copa, redondeada, irregular, u otra configuración no llana, puede ser orientada dentro de un intervalo de ángulos con respecto a la incidencia del haz para obtener un procesamiento por GCIB óptimo de las superficies de la pieza de trabajo. La sujeción de pieza de trabajo (1202) puede estar totalmente articulada para orientar todas las superficies no planas que han de ser procesadas alineadas adecuadamente con el GCIB (1128) para proporcionar optimización y
35 uniformidad de procesamiento. Más específicamente, cuando la pieza de trabajo (1160) que es procesada no es plana, la sujeción de pieza de trabajo (1202) puede girarse en un movimiento rotatorio (1210) y articularse en movimiento de articulación (1212) mediante un mecanismo de articulación/rotación (1204). El mecanismo de articulación/rotación (1204) puede permitir 360 grados de rotación del dispositivo alrededor del eje longitudinal (1206) (el cual es coaxial con el eje (1154) del GCIB (1128)) y suficiente articulación alrededor de un eje (1208) perpendicular al eje (1206) para mantener la superficie de la pieza de trabajo dentro de un intervalo deseado de
40 incidencia del haz.

- Bajo ciertas condiciones, dependiendo del tamaño de la pieza de trabajo (1160), puede ser deseable un sistema de escaneo para producir irradiación uniforme de una pieza de trabajo grande. Aunque a menudo no es necesario para
45 el procesamiento por GCIB, pueden utilizarse dos pares de placas de escaneo electrostático orientadas ortogonalmente (1130) y (1132) para producir un barrido u otro patrón de escaneo sobre un área de procesamiento extensa. Cuando se realiza tal escaneo de haz, un generador de escaneo (1156) proporciona voltajes de señal de escaneo en el eje X al par de placas de escaneo (1132) a través del par de conductores (1159) y voltajes de señal de escaneo en el eje Y al par de placas de escaneo (1130) a través del par de conductores (1158). Los voltajes de
50 señal de escaneo son comúnmente ondas triangulares de diferentes frecuencias que hacen que el GCIB (1128) se convierta en un GCIB escaneado (1148), que escanea toda la superficie de la pieza de trabajo (1160). Un abertura de definición de haz escaneado (1214) define un área escaneada. La abertura de definición de haz escaneado (1214) es conductora eléctricamente y está conectada eléctricamente a la pared del recipiente de baja presión (1102) y soportada por el miembro de soporte (1220). La sujeción de pieza de trabajo (1202) está conectada
55 eléctricamente por medio de un conductor eléctrico flexible (1222) a una copa de Faraday (1216) que rodea la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1202) y recoge toda la corriente que pasa por la abertura de definición de haz escaneado (1214). La sujeción de pieza de trabajo (1202) está aislada eléctricamente del mecanismo de articulación/rotación (1204) y al copa de Faraday (1216) está aislada eléctricamente de, y montada en el recipiente de baja presión (1102) por aislantes (1218). Por consiguiente, toda la corriente procedente del GCIB

escaneado (1148), que pasa por la abertura de definición de haz escaneado (1214) es recogida en la copa de Faraday (1216) y circula por el conductor eléctrico (1224) hasta el procesador de dosis (1170). En funcionamiento, el procesador de dosis (1170) abre la compuerta de haz (1172) para iniciar la irradiación de GCIB de la pieza de trabajo (1160). El procesador de dosis (1170) integra típicamente la corriente eléctrica de GCIB que llega a la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1202) y la copa de Faraday (1216) para calcular la dosis de irradiación de GCIB acumulada por área unitaria. A una dosis predeterminada, el procesador de dosis (1170) cierra la compuerta de haz (1172), terminando el procesamiento cuando se ha alcanzado la dosis predeterminada. Durante la acumulación de la dosis predeterminada, la pieza de trabajo (1160) puede ser manipulada por el mecanismo de articulación/rotación (1204) para asegurar el procesamiento de todas las superficies deseadas.

10

La figura 3 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1300) de un tipo ejemplar que puede emplearse para procesamiento por haz neutro de acuerdo con realizaciones de la invención. Usa placas de desviación electrostática para separar las porciones cargadas y sin carga de un GCIB. Una cámara de línea de haz (1107) encierra las zonas de ionizador y acelerador y las zonas de procesamiento de la pieza de trabajo. La cámara de línea de haz (1107) tiene alta conductancia y por eso la presión es sustancialmente uniforme por toda ella. Una bomba de vacío (1146b) hace el vacío en la cámara de línea de haz (1107). El gas circula dentro de la cámara de línea de haz (1107) en forma de gas en cúmulos y sin cúmulos transportado por el chorro de gas (1118) y en forma de gas sin cúmulos adicional que se escapa por la abertura succionadora de gas (1120). Un sensor de presión (1330) transmite datos de presión procedentes de la cámara de línea de haz (1107) a través de un cable eléctrico (1332) hasta un controlador de sensor de presión (1334), que mide y muestra la presión en la cámara de línea de haz (1107). La presión en la cámara de línea de haz (1107) depende del equilibrio del flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) y la velocidad de bombeo de la bomba de vacío (1146b). Mediante la selección del diámetro de la abertura separadora de gas (1120), el flujo del gas fuente (1112) a través de la tobera (1110), y la velocidad de bombeo de la bomba de vacío (1146b), la presión en la cámara de línea de haz (1107) se equilibra a una presión, P_B , determinada por diseño y por el flujo de tobera. El recorrido de vuelo del haz desde el electrodo conectado a tierra (1144) hasta la sujeción de pieza de trabajo (1162) es, por ejemplo, 100 cm. Por diseño y ajuste P_B puede ser aproximadamente 6×10^{-5} Torr (8×10^{-3} pascuales). Por lo tanto, el producto de la presión y la longitud de recorrido del haz es aproximadamente 6×10^{-3} Torr-cm (0,8 pascuales-cm) y el grosor objetivo del gas para el haz es aproximadamente $1,94 \times 10^{14}$ moléculas de gas por cm^2 , lo cual se observa que es eficaz para disociar los iones de cúmulos gaseosos en el GCIB (1128). V_{Acc} puede ser, por ejemplo, 30 kV y el GCIB (1128) es acelerado por ese potencial. Un par de placas de desviación (1302 y 1304) está dispuesto alrededor del eje (1154) del GCIB (1128). Una fuente de alimentación de desviador (1306) proporciona un voltaje de desviación positivo V_D a la placa de desviación (1302) por medio del conductor eléctrico (1308). La placa de desviación (1304) está conectada a la puesta a tierra eléctrica por el conductor eléctrico (1312) y a través del sensor/visualizador de corriente (1310). La fuente de alimentación de deflector (1306) es controlable manualmente. V_D puede ajustarse desde cero hasta un voltaje suficiente para desviar completamente la porción ionizada (1316) del GCIB (1128) sobre la placa de desviación (1304) (por ejemplo, unos pocos miles de voltios). Cuando la porción ionizada (1316) del GCIB (1128) es desviada sobre la placa de desviación (1304), la corriente resultante, I_D circula a través del conductor eléctrico (1312) y el sensor/visualizador de corriente (1310) para indicación. Cuando V_D es cero, el GCIB (1128) no es desviado y se desplaza hasta la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1162). La corriente de haz GCIB I_B es recogida en la pieza de trabajo (1160) y la sujeción de pieza de trabajo (1162) y circula a través del conductor eléctrico (1168) y el sensor/visualizador de corriente (1320) hasta la puesta a tierra eléctrica. I_B se indica en el sensor/visualizador de corriente (1320). Una compuerta de haz (1172) es controlada a través de una conexión (1338) por el controlador de compuerta de haz (1336). El controlador de compuerta de haz (1336) puede ser manual o estar regulado eléctrica o mecánicamente por un valor preestablecido para abrir la compuerta de haz (1172) durante un intervalo predeterminado. En uso, V_D se establece en cero, se mide la corriente de haz, I_B , que percute en la sujeción de pieza de trabajo. Basándose en la experiencia previa para una fórmula de proceso por GCIB dada, se determina un tiempo de irradiación inicial para un proceso dado basándose en la corriente medida, I_B , se incrementa V_D hasta que toda la corriente de haz medida se transfiere de I_B a I_D e I_D ya no se incrementa con V_D creciente. En este punto, un haz neutro (1314) que comprende componentes disociados energéticos del GCIB inicial (1128) irradia la sujeción de pieza de trabajo (1162). Después se cierra la compuerta de haz (1172) y la pieza de trabajo (1160) se coloca sobre la sujeción de pieza de trabajo (1162) por un medio de carga de pieza de trabajo convencionales (no mostrados). La compuerta de haz (1172) se abre durante el tiempo de radiación inicial predeterminado. Después del intervalo de irradiación, la pieza de trabajo puede ser examinada y el tiempo de procesamiento ajustado según sea necesario para calibrar la duración del procesamiento por haz neutro basándose en la corriente de haz de GCIB I_B medida. Después de tal proceso de calibración, pueden procesarse piezas de trabajo adicionales usando la duración de exposición calibrada.

El haz neutro (1314) contiene una fracción repetible de la energía inicial del GCIB acelerado (1128). La porción

ionizada restante (1316) del GCIB original (1128) ha sido eliminada del haz neutro (1314) y es recogida por la placa de desviación conectada a tierra (1304). La porción ionizada (1316) que es eliminada del haz neutro (1314) puede incluir iones monómeros y iones de cúmulos gaseosos incluyendo iones de cúmulos gaseosos de tamaño intermedio. Debido a los mecanismos de evaporación de monómeros debido al calentamiento de cúmulo durante el proceso de ionización, las colisiones intra-haz, las colisiones con el gas de fondo y otras causas (todas las cuales resultan en erosión del cúmulo) el haz neutro consiste sustancialmente en monómeros neutros, mientras que las partículas cargadas separadas son predominantemente iones de cúmulos. Los inventores han confirmado esto por mediciones adecuadas que incluyen reionización del haz neutro y medición de la relación carga-masa de los iones resultantes.

10

La figura 4 muestra un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1400) tal como puede usarse, por ejemplo, en la generación de haces neutros tal como pueden emplearse en realizaciones de la invención. Usa un sensor térmico para medición de haz neutro. Un sensor térmico (1402) se fija mediante la fijación de baja conductividad térmica (1404) a un brazo de soporte giratorio (1410) fijado a un pivote (1412). El actuador (1408) mueve el sensor térmico (1402) mediante un movimiento giratorio reversible (1416) entre las posiciones que intercepta el haz neutro (1314) o el GCIB (1128) y una posición estacionada indicada por (1414) donde el sensor térmico (1402) no intercepta ningún haz. Cuando el sensor térmico (1402) está en la posición estacionada (indicada por (1414)) el GCIB (1128) o el haz neutro (1314) continúa a lo largo del recorrido (1406) para irradiación de la pieza de trabajo (1160) y/o la sujeción de pieza de trabajo (1162). Un controlador de sensor térmico (1420) controla la colocación del sensor térmico (1402) y realiza el procesamiento de la señal generada por el sensor térmico (1402). El sensor térmico (1402) se comunica con el controlador de sensor térmico (1420) a través de un cable eléctrico (1418). El controlador de sensor térmico (1420) se comunica con un controlador de dosimetría (1432) a través de un cable eléctrico (1428). Un dispositivo de medición de corriente de haz (1424) mide la corriente de haz I_B que circula en el conductor eléctrico (1168) cuando el GCIB (1128) percute en la pieza de trabajo (1160) y/o la sujeción de pieza de trabajo (1162). El dispositivo de medición de corriente de haz (1424) comunica una señal de medición de corriente de haz al controlador de dosimetría (1432) por el cable eléctrico (1426). El controlador de dosimetría (1432) controla el establecimiento de los estados abierto y cerrado para la compuerta de haz (1772) mediante señales de control transmitidas por la conexión (1434). El controlador de dosimetría (1432) controla la fuente de alimentación de desviador (1440) por el cable eléctrico (1442) y puede controlar el voltaje de desviación V_D entre voltajes de cero y un voltaje positivo adecuado para desviar completamente la porción ionizada (1316) del GCIB (1128) hacia la placa de desviación (1304). Cuando la porción ionizada (1316) del GCIB (1128) percute en la placa de desviación (1304), la corriente resultante I_D es medida por el sensor de corriente (1422) y comunicada al controlador de dosimetría (1432) por el cable eléctrico (1430). En funcionamiento, el controlador de dosimetría (1432) establece el sensor térmico (1402) en la posición estacionada (1414), abre la compuerta de haz (1172), establece la V_D a cero de modo que el GCIB completo (1128) percute en la sujeción de pieza de trabajo (1162) y/o la pieza de trabajo (1160). El controlador de dosimetría (1432) registra la corriente de haz I_B transmitida desde el dispositivo de medición de corriente de haz (1424). El controlador de dosimetría (1432) mueve entonces el sensor térmico (1402) de la posición estacionada (1414) para interceptar el GCIB (1128) mediante órdenes retransmitidas a través del controlador de sensor térmico (1420). El controlador de sensor térmico (1420) mide el flujo de energía de haz del GCIB (1128) mediante cálculo basado en la capacidad calorífica del sensor y la tasa medida de aumento de temperatura del sensor térmico (1402) a medida que su temperatura aumenta a través de una temperatura de medición predeterminada (por ejemplo 70 grados C) y comunica el flujo de energía de haz calculado al controlador de dosimetría (1432) que entonces calcula una calibración del flujo de energía de haz tal como es medido por el sensor térmico (1402) y la corriente de haz correspondiente medida por el dispositivo de medición de corriente de haz (1424). El controlador de dosimetría (1432) estaciona entonces el sensor térmico (1402) en la posición estacionada (1414), permitiéndole enfriarse y ordena la aplicación de V_D positivo a la placa de desviación (1302) hasta que toda la corriente I_D debida a la porción ionizada del GCIB (1128) se transfiera a la placa de desviación (1304). El sensor de corriente (1422) mide la I_D correspondiente y la comunica al controlador de dosimetría (1432). El controlador de dosimetría también mueve el sensor térmico (1402) de la posición estacionada (1414) para interceptar el haz neutro (1314) mediante órdenes retransmitidas a través del controlador de sensor térmico (1420). El controlador de sensor térmico (1420) mide el flujo de energía de haz del haz neutro (1314) usando el factor de calibración determinado anteriormente y la tasa de aumento de temperatura del sensor térmico (1402) a medida que su temperatura aumenta a través de la temperatura de medición predeterminada y comunica el flujo de energía de haz neutro al controlador de dosimetría (1432). El controlador de dosimetría (1432) calcula una fracción del haz neutro, que es la relación de la medición térmica del flujo de energía del haz neutro (1314) a la medición térmica del flujo de energía del GCIB completo (1128) en el sensor térmico (1402). En el marco de un funcionamiento típico, se consigue una fracción del haz neutro desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 95 %. Antes de comenzar el procesamiento, el controlador de dosimetría (1432) también mide la corriente, I_D , y determina una relación de corriente ente los valores iniciales de I_B e I_D . Durante el proceso, la medición de I_D instantánea multiplicada por la relación I_B/I_D inicial

puede usarse como representante para medición continua de la I_B y emplearse para dosimetría durante el control del procesamiento por el controlador de dosimetría (1432). De este modo, el controlador de dosimetría (1432) puede compensar cualquier fluctuación del haz durante el procesamiento de la pieza de trabajo, justo como si se dispusiera de una medición de corriente de haz real para el GCIB completo (1128). El controlador de dosimetría usa la fracción de haz neutro para calcular un tiempo de procesamiento deseado para un proceso por haz particular. Durante el proceso, el tiempo de procesamiento puede ajustarse basándose en la medición calibrada de I_D para la corrección de cualquier fluctuación del haz durante el proceso. La figura 5 es un esquema de un aparato sensor (1500) para diagnóstico y medición de haz neutro de acuerdo con una realización de la invención. El aparato sensor (1500) tiene múltiples sensores y puede usarse para medir características ya sea de un haz iónico o un haz neutro. En uso, está alineado con el eje (1154) de un haz (1514). El haz (1514) puede ser, por ejemplo, un GCIB, un haz neutro, o un haz neutro disociado. El cuerpo del aparato sensor (1500) es una copa de Faraday (1502), que tiene un interior (1504) y una abertura de entrada (1536). El haz (1514) entra en la copa de Faraday (1502) a través de la abertura de entrada (1536) y es incidente sobre la placa de percusión (1516). La placa de percusión metálica (1516) es eléctrica y térmicamente conductora y tiene una capacidad calorífica. La placa de percusión (1516) está conectada eléctrica y térmicamente a la copa de Faraday (1502) que forma el cuerpo del aparato sensor (1500) por uno o más soporte(s) eléctrica y térmicamente conductor(es) (1518a) y (1518b) (se muestran dos por ejemplo, no por limitación; en lo sucesivo, se acepta que los números de referencia (1518a) y (1518b) representan uno o más soportes). El (los) soporte(s) (1518a) y (1518b) es (son) metálico(s) y está(n) diseñado(s) para tener baja resistencia eléctrica y una moderada resistencia térmica (haciendo referencia a la conexión en paralelo de todos los del uno o más soportes) y también sirven para sostener mecánicamente la placa de percusión (1516). En comparación con el uno o más soportes (1518a) y (1518b), la placa de percusión (1516) y la copa de Faraday (1502) tienen ambos conductividad térmica muy alta. Preferentemente, la porción de la copa de Faraday (1502) a la cual se fija(n) el (los) soporte(s) (1518a) y (1518b) es térmicamente masiva para tener una capacidad de absorber calor con poco cambio de temperatura. El exterior de la copa de Faraday (1502) puede estar expuesto a la atmósfera y beneficiarse por lo tanto del enfriamiento atmosférico de ese modo. Opcionalmente, no mostrada, la copa de Faraday (1502) puede ser enfriada activamente o regularse su temperatura para mantener su temperatura a una temperatura fija, por ejemplo 25 grados Celsius. El haz (1514) que entra a través de la abertura de entrada (1536) es incidente sobre la placa de percusión (1516). Si el haz (1514) comprende iones (GCIB), entonces la corriente de haz, I_B , es recogida por la placa de percusión (1516) y la copa de Faraday (1502) y puede ser conducida a través del conductor eléctrico (1512) hasta un sistema de medición de corriente de haz externo. Si el haz (1514) es un haz neutro o un haz neutro disociado, se recoge una corriente de haz, I_B , cero. Por lo tanto, la función de la copa de Faraday del aparato sensor (1500) no se requiere para la medición y caracterización de haz neutro o haz neutro disociado y el conductor eléctrico (1512) y no se requiere un aparato asociado para medir la corriente de haz I_B . La descripción de este documento supone que puede desearse que el mismo aparato sea capaz de medir un haz que comprende iones, y por lo tanto describe la función de copa de Faraday (opcional) y funciones de medición de corriente de haz del aparato sensor (1500). La energía cinética del haz (1514) se disipa en la placa de percusión (1516) y se transforma en calor, elevando la temperatura de la placa de percusión (1516). El calor procedente de la placa de percusión a temperatura elevada circula a través del uno o más soportes (1518a), (1518b) hasta el cuerpo de la copa de Faraday (1502) del aparato sensor (1500), creando una caída de temperatura a través del (de los) soporte(s) (1518a) y (1518b). Un sensor de temperatura (1520), que es típicamente un termopar o una termopila (pero puede ser otro tipo de sensor, tal como un termistor o un RTD) está conectado térmicamente a, pero aislado eléctricamente de la placa de percusión (1516) por una capa de adhesivo eléctricamente aislante (1522). Otro sensor de temperatura (1530), que es típicamente un termopar (pero puede ser otro tipo de sensor, tal como un termistor, una termopila, o un RTD) está conectado térmicamente a, pero aislado eléctricamente del cuerpo de la copa de Faraday (1502) del aparato sensor (1500) por una capa de adhesivo eléctricamente aislante (1532). En una configuración ejemplar, el sensor de temperatura (1520) es la unión caliente de un termopar o una termopila, y el sensor de temperatura (1530) es la unión fría del mismo termopar o termopila. Un cable eléctrico (1524) que tiene una conductividad térmica que es despreciable en comparación con la del soporte (1518) conecta los sensores de temperatura (1520) y (1530) a través de un pasamuros eléctricamente aislante (1526) al cable externo (1528) para transmitir información de temperatura procedente de los dos sensores de temperatura hasta un sistema de medición externo. La diferencia de equilibrio de temperatura medida por el sensor de temperatura (1520) y el sensor de temperatura (1530) es una medida de la potencia disipada en la placa de percusión (1516) debido a la incidencia del haz energético (1514). La capacidad calorífica de la placa de percusión (1516) y la resistencia térmica de (haciendo referencia a la conexión en paralelo de todos los del uno o más soportes (1518a) y (1518b)) determinan la constante de tiempo del fenómeno transitorio de temperatura que se produce cuando el haz (1514) disipa su energía cinética en la placa de percusión (1516) – esa constante de tiempo se escoge típicamente por diseño para que sea desde una pequeña fracción de un segundo hasta unos pocos segundos, según se desee. El haz (1514) transmite masa al interior (1504) de la copa de Faraday (1502). Cualquier cúmulo gaseoso o ión de cúmulo gaseoso que pueda estar en el haz (1514) se disocia completamente en el momento de su incidencia sobre la placa de percusión (1516) y junto con cualquier monómero

que pueda estar en el haz (1514), son liberados al interior (1504) de la copa de Faraday (1502), elevando la presión en el interior (1504) de la copa de Faraday (1502). Un transductor de presión (1506) se comunica fluidamente con el interior (1504) de la copa de Faraday (1502) y está fijado a la misma con una brida eléctricamente aislante (1508). El transductor de presión (1506) mide la presión en el interior (1504) de la copa de Faraday (1502). La presión en el interior (1504) de la copa de Faraday (1502) es una medida del flujo de masa dentro de la copa de Faraday (1502) debido al haz (1514). En operación, el aparato sensor (1500) funciona con el interior (1504) de la copa de Faraday (1502) bajo condiciones de vacío. La función de medición de potencia del haz del aparato sensor (1500) puede calibrarse poniendo el aparato sensor (1500) bajo condiciones de vacío y dirigiendo un haz de láser infrarrojo de potencia del haz conocida (u otra fuente de potencia radiante calibrada) sobre la placa de percusión (para simular la dispersión de potencia debida a un haz acelerado).

La figura 6 es un esquema de un aparato de procesamiento por haz neutro (1600) de acuerdo con una realización de la invención, que usa un aparato sensor (1500) para diagnóstico y medición de haz neutro y mostrado en una configuración de diagnóstico de haz. Un aparato sensor (1500) está dispuesto coaxialmente con el eje (1154) del haz (1514). El aparato sensor está fijado a la cámara de línea de haz (1107) del recipiente de baja presión (1102) con una brida eléctricamente aislante (1656) en un orificio que permite la transmisión del haz (1514) dentro del aparato sensor (1500). Se genera un GCIB acelerado (1128). Un par de placas de desviación electrostática (1602) está dispuesto alrededor del eje (1154). Una fuente de alimentación de desviación (1636) proporciona un voltaje de desviación controlable, V_D . Un conductor eléctrico (1638) aplica el voltaje de desviación, V_D , entre las placas de desviación (1602). Cuando V_D es cero, el haz de aguas abajo (1514) es el GCIB (1128). Cuando V_D es suficientemente grande (dependiendo de la energía del haz y la geometría de la placa de desviación, pero típicamente unos pocos kV), la porción ionizada (1604) del GCIB (1128) es desviada, y el haz (1514) es un haz neutro. Un bloque de parada de haz (1606) está colocado para recibir la porción ionizada (1604) del haz cuando es desviado por las placas de desviación (1602). El bloque de parada de haz (1606) tiene una abertura (1608) para pasar el haz (1514). Cuando V_D es cero, la abertura (1608) transmite un haz (1514) que es un GCIB. Cuando V_D es suficientemente grande, la porción ionizada (1604) impacta en el bloque de parada de haz (1606) y la abertura (1608) transmite un haz neutro. Cuando el haz (1514) es un haz neutro, contiene tanto componentes acelerados como componentes no acelerados. Una porción del chorro de gas (1118) se transmite típicamente a través del ionizador (1122) sin ser ionizada y por lo tanto no es acelerada en la zona de extracción entre la abertura de salida de ionizador (1126) y el electrodo supresor (1142). Tal porción sin acelerar del chorro de gas puede contener monómeros y cúmulos gaseosos, que se desplazan a la velocidad del chorro de gas, que es supersónica. Típicamente, los monómeros y/o cúmulos sin acelerar tienen energías del orden de unos pocos milielectronvoltios por monómero y, por lo tanto, normalmente no resultan en ningún procesamiento superficial significativo cuando impactan en una pieza de trabajo. Sin embargo, estas partículas participan en el transporte de masa a lo largo del haz (1514), y dentro del aparato sensor (1500). Puesto que estos componentes de baja energía (sin acelerar) del haz neutro no participan significativamente en el procesamiento de la pieza de trabajo, deberían excluirse de los cálculos de dosimetría para el haz neutro acelerado.

Un controlador (1616) puede ser un controlador de propósito general (tal como un controlador basado en microprocesador) y se usa para calibrar el sistema de medición de haz, para controlar la dosimetría durante el procesamiento de la pieza de trabajo, y para notificar información de diagnóstico de haz a un usuario/operador.

Un transductor de presión (1610) está situado en la cámara de línea de haz (1107) en una posición fuera del eje del haz (1514). El conductor eléctrico (1512) conduce la corriente de haz, I_B , a un dispositivo de medición de corriente de haz (1612) que mide I_B y transmite la medición por el cable eléctrico (1618) al controlador (1616). El cable eléctrico (1528) transmite información de medición de temperatura a un dispositivo de medición de temperatura (1614) que mide la diferencia de temperatura a través del uno o más soportes (1518a) y (1518b) y transmite la medición de diferencia de temperatura a través del cable eléctrico (1620) al controlador (1616). El sensor de presión (1506) mide la presión en el interior del aparato sensor (1500) y transmite información de medición de presión al controlador (1616) por el cable eléctrico (1510). El transductor de presión (1610) mide la presión en la cámara de línea de haz (1107) y la transmite al controlador (1616) por el cable eléctrico (1644). Un gas fuente condensable a presión (1112) (por ejemplo argón) almacenado en un cilindro de almacenamiento de gas (1111) circula a través de una válvula dosificadora y de cierre de gas (1640) y un tubo de alimentación (1114) a una cámara de estancamiento (1116) para expulsión a través de la tobera (1116) para formar el chorro de gas (1118). Una válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) conecta el gas fuente (1112) al tubo de alimentación (1650) o el tubo de alimentación (1660). La válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) puede cerrar el flujo de gas, o regular el flujo de gas a un caudal controlable entregado al tubo de alimentación (1650) o el tubo de alimentación (1660). El tubo de alimentación (1650) tiene una tobera (1652) que dirige un flujo controlado de gas fuente dosificado (1112) al interior del aparato sensor (1500) con fines de calibración. El tubo de alimentación (1660) tiene una tobera (1662) que dirige

un flujo controlado de gas fuente dosificado (1112) a la cámara de línea de haz (1107). La válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) recibe señales de control procedentes del controlador (1616) por el cable (1648) para dosificar un flujo controlado de flujo de gas fuente al aparato sensor (1500) o a la cámara de línea de haz (1107) o para cerrar el flujo completamente.

5

Un manipulador de pieza de trabajo (1622) controla una sujeción de pieza de trabajo (1624) que sujeta una pieza de trabajo (1160). Una pieza de trabajo (1160) puede ser colocada sobre, o retirada de la sujeción de pieza de trabajo (1624) (o una pieza de trabajo sin procesar intercambiarse por una pieza de trabajo procesada) por un medio de carga/descarga de pieza de trabajo convencionales (no mostrados). El manipulador de pieza de trabajo (1622) puede extender o retraer mecánicamente la sujeción de pieza de trabajo (1624) y la pieza de trabajo (1160) con un movimiento lineal (1626). Esto permite colocar la pieza de trabajo (1160) dentro del haz (1514) o retraerla del haz (1514) para iniciar o detener el procesamiento por haz de la pieza de trabajo (1160). La sujeción de pieza de trabajo se muestra en su posición retraída (1654), con la pieza de trabajo fuera del haz (1514) como es lo adecuado cuando se realiza el diagnóstico de haz. El manipulador de pieza de trabajo (1622) puede tener opcionalmente un eje de movimiento adicional (1628), es decir, entrando y saliendo del plano del papel en la figura 6 y ortogonal al movimiento (1626). La combinación de movimientos (1626) y (1628) facilita el escaneo de la pieza de trabajo a través del haz (1514) cuando es deseable el escaneo para proporcionar un procesamiento uniforme de piezas de trabajo de gran área. El controlador (1616) proporciona señales de control por el cable eléctrico (1632) al manipulador de pieza de trabajo (1622) para controlar la extensión y retracción de la pieza de trabajo con respecto al haz (1514), y opcionalmente para controlar el escaneo de la pieza de trabajo (1160) a través del haz (1514) cuando se desee. El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de desviación (1636) para ajustar el voltaje de desviación, V_D , para controlar la desviación de la porción ionizada (1604) fuera del haz (1514). El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de supresión (1138) para conectar o desconectar el voltaje de supresión, V_S . El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de acelerador (1140) para conectar o desconectar el voltaje de aceleración, V_{Acc} . El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de desviación (1636) para ajustar el voltaje de desviación, V_D , para controlar la desviación de la porción ionizada (1604) fuera del haz (1514). El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de filamento (1136) para ajustar o conectar o desconectar el voltaje de filamento, V_F . El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación anódica (1134) para ajustar o conectar o desconectar el voltaje anódico, V_A . El controlador (1616) transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640) para controlar o cerrar el flujo del gas de fuente (1112) a la cámara de estancamiento (1116) para iniciar o terminar la formación del chorro de gas (1118). Un dispositivo de visualización (1656) es controlado mediante el controlador (1616) por el cable eléctrico (1658) y proporciona visualización de información de diagnóstico de haz a un usuario/operador.

En uso, el sistema se calibra calibrando la medición de potencia del haz tal como se describió anteriormente y la sensibilidad de potencia (en kelvins/mW) se registra como k_A (por ejemplo, 0,05 kelvins/mW).

La medición de transporte de masa del haz se calibra poniendo la cámara de línea de haz bajo su vacío de funcionamiento normal sin generación de haz (válvula dosificadora de gas (1113) cerrada). Se abre la válvula de gas (1640). El controlador (1616) ordena al controlador de flujo de masa (1646) que introduzca gas fuente (típicamente argón) dentro del aparato sensor (1500) por el tubo de alimentación (1650) y la tobera (1652). Para un intervalo de flujos, por ejemplo 0-1 centímetro cúbico estándar por minuto (std cm³/min), también (sccm), se mide una curva de medición de presión lineal y la pendiente de la curva lineal se determina y registra como k_D (por ejemplo $1,2 \times 10^{-3}$ Torr/sccm). (Obsérvese que 1 pascal metro³/s es aproximadamente 592,2 sccm; y 1 Torr/sccm es aproximadamente 7,892 s/metro³). El controlador (1616) ordena al controlador de flujo de masa (1646) un flujo cero.

50

La figura 7 es un esquema (1680) que muestra el aparato de procesamiento por haz neutro (1600) descrito anteriormente, y mostrado en una configuración de procesamiento de pieza de trabajo por haz neutro. El controlador (1616) ordena a la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640), la fuente de alimentación anódica (1134), la fuente de alimentación de filamento (1136), la fuente de alimentación de acelerador (1140) y la fuente de alimentación de supresor (1138) que establezcan condiciones para formar un GCIB (1128) de acuerdo con los parámetros del haz (corriente y voltaje de aceleración del haz, etc. determinados anteriormente como adecuados para el procesamiento deseado) a través de señales de control enviadas por el bus de comunicación y control (1634). El controlador (1616) también transmite señales de control por el bus de comunicación eléctrica y control (1634) a la fuente de alimentación de desviación (1636) para ajustar el voltaje de desviación, V_D , para desviar la porción ionizada (1604)

del GCIB (1128) fuera del haz (1514) de modo que el haz (1514) sea un haz neutro. El controlador (1616) transmite señales de control al manipulador de pieza de trabajo (1622) por el cable eléctrico (1632) para hacer que una pieza de trabajo sin procesar (1160) se mueva dentro del haz (1514) moviendo la sujeción de pieza de trabajo (1624) a la posición extendida (1682). Si se desea, el manipulador de pieza de trabajo (1622) puede ser controlado por el controlador (1616) para escanear la pieza de trabajo (1160) a través del haz (1514) para permitir un procesamiento uniforme de la pieza de trabajo (1160) cuando la pieza de trabajo (1160) es mayor que el diámetro del haz (1514). Usando la información de caracterización de haz determinada durante las mediciones de caracterización de haz anteriores (descritas más adelante en este documento – véanse los cálculos C_P y C_S más adelante) el controlador (1616) determina el tiempo total requerido para la exposición (escaneada o sin escanear) de la pieza de trabajo (1160) al haz (1514) para conseguir una dosis deseada preseleccionada de procesamiento por haz neutro (dosis total de moléculas neutras aceleradas por cm^2 en la superficie de la pieza de trabajo). En la consecución de la dosis deseada preseleccionada en la pieza de trabajo (1160), el controlador (1616) ordena al manipulador de pieza de trabajo (1622) que retire la pieza de trabajo (1160) del haz (1514) para terminar el procesamiento de la pieza de trabajo (1160). Un medio de carga/descarga de pieza de trabajo convencional (no mostrado) puede retirar la pieza de trabajo procesada (1160) del aparato de procesamiento y reemplazarla por otra pieza de trabajo sin procesar para un procesamiento adicional.

Aunque el aparato sensor (1500) se ha ilustrado en las figuras 6 y 7 como fijado al exterior del recipiente de baja presión (1102) con fines de ejemplo, resultará claro para los expertos en la materia que el aparato sensor (1500) alternativamente podría estar dispuesto parcial o totalmente dentro de la cámara de línea de haz (1107). También podría estar dispuesto aguas arriba de la sujeción de pieza de trabajo (1624) instalando mecanismos y controles adecuados para mover el aparato sensor dentro del haz (1514) para caracterización de haz o fuera del haz para permitir el procesamiento. Si se dispone parcial o totalmente dentro de la cámara de línea de haz (1107), pueden ser necesarios cambios apropiados correspondientes en la posición de la tobera (1652), y puede ser necesaria la provisión de enfriamiento adecuado o regulación de temperatura de la porción de la copa de Faraday (1502) a la cual se fija(n) el (los) soporte(s) (1518a) y (1518b) para impedir el sobrecalentamiento del aparato sensor (1500) y asegurar un funcionamiento correcto en un entorno de vacío.

El aparato ilustrado en las figuras 5 y 6 es capaz de una caracterización exhaustiva de un haz neutro o un haz neutro disociado y (opcionalmente, midiendo la corriente de haz I_B con una copa de Faraday) el GCIB del que se deriva. De acuerdo con los siguientes procedimientos, inicialmente se determinan ciertas constantes del sistema y luego se determinan varias variables relacionadas con cada reglaje de haz específico. A partir de las constantes del sistema medidas y las variables específicas del reglaje, puede calcularse una caracterización de haz exhaustiva y utilizarse para, entre otros fines, dosimetría durante el procesamiento por haz neutro o haz neutro disociado de una pieza de trabajo. Colectivamente, la placa de percusión (1516), el uno o más soportes (1518a) y (1518b) por ejemplo, el cuerpo de la copa de Faraday (1502), los sensores de temperatura (1520) y (1530), el dispositivo de medición de temperatura (1614) y el controlador (1616) junto con sus interconexiones eléctricas constituyen un “medidor de potencia del haz” para medir la potencia del haz (1514) a través de sus efectos térmicos sobre la placa de percusión (1516). La sensibilidad del medidor de potencia del haz es kelvins/mW se representa como k_A , donde la potencia del haz disipada en la placa de percusión (1516) se expresa en mW y la diferencia de temperatura de equilibrio resultante entre las temperaturas medidas en los sensores de temperatura (1520) y (1530) se expresa en kelvins. La sensibilidad del transductor de presión (1506) al gas transportado dentro del aparato sensor (1500) por el haz (1514) en Torr/sccm se representa por k_D , donde la cantidad de gas transportado se expresa en sccm (para el haz disociado o para la fuente de gas de calibración introducida a través de la tobera (1652)) y la presión medida por el transductor de presión (1506) se expresa en Torr (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$; y un pascal es aproximadamente 0,007501 Torr; y 1 pascal metro^3/s es aproximadamente 592,2 sccm). La sensibilidad del transductor de presión (1506) a la presión de gas de fondo en el aparato sensor (1500) con un flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) en unidades de Torr/sccm se representa por K_B , donde la cantidad de gas suministrada a través de la tobera (1110) se expresa en sccm (o para la fuente de gas de calibración introducida a través de la tobera (1662)) y la presión medida por el transductor de presión (1506) se expresa en unidades de Torr (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$; y 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr; y 1 pascal metro^3/s es aproximadamente 592,2 sccm). La sensibilidad del transductor de presión (1610) a la presión de gas de fondo en la línea de haz (1107) con un flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) en unidades de Torr/sccm se representa por k_C , donde la cantidad de gas suministrada a través de la tobera (1110) se expresa en sccm (o para la fuente de gas de calibración introducida a través de la tobera (1662)) y la presión medida por el transductor de presión (1610) se expresa en unidades de Torr (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$; y 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr; y 1 pascal metro^3/s es aproximadamente 592,2 seem).

La sensibilidad del medidor de potencia del haz, K_A , puede medirse poniendo el aparato sensor (1500) bajo condiciones de vacío y dirigiendo un haz de láser infrarrojo de potencia del haz conocida (u otra fuente de potencia radiante calibrada) sobre la placa de percusión (para simular la disipación de potencia debida a un haz acelerado). Por ejemplo, puede ser conveniente un láser de fibra de iterbio que opera en una longitud de onda de 1,06 micrómetros en un nivel de potencia del haz de 100 milivatios (calibrado usando un medidor de potencia de láser). Cuando se calibra de ese modo, la relación entre la potencia incidente en la placa de percusión (1516) y la diferencia de temperatura entre los dos sensores de temperatura (1520) y (1530) (en el equilibrio o cerca del equilibrio, por ejemplo después de aproximadamente 5 constantes de tiempo térmicas del medidor de potencia del haz) es conocida y puede usarse para medir la potencia del haz incidente en la placa de percusión (1516). En una configuración ejemplar del (de los) soporte(s) (1518a) y (1518b), la sensibilidad, K_A , puede ser, por ejemplo, del orden de aproximadamente 0,5 kelvins/mW.

La sensibilidad del transductor de presión (1506) al gas transportado dentro del aparato sensor (1500) por el haz (1514) en Torr/sccm se mide mediante simulación controlada de transporte de gas por el haz (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$). El chorro de gas (1118) se desconecta cerrando la válvula de medición y cierre de gas (1640). Después, el controlador (1616) controla la válvula de medición y cierre de gas de dos vías (1646) para hacer que una secuencia controlada de flujos a través de la tobera (1652) directamente al interior (1504) del aparato sensor (1500) simule el transporte de gas dentro del aparato sensor (1500) por el haz. Por ejemplo, pueden introducirse flujos de gas de 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 y 0,6 seem (u otra secuencia de valores que corresponden al transporte de gas de un haz típico que se experimentarán probablemente para las intensidades de haz empleadas típicamente) dentro del aparato sensor y registrarse las lecturas de presión correspondientes del transductor de presión (1506) (obsérvese que los flujos de gas de 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 y 0,6 sccm corresponden respectivamente a aproximadamente $3,378 \times 10^{-4}$, $5,067 \times 10^{-4}$, $6,756 \times 10^{-4}$, $8,445 \times 10^{-4}$ y $1,013 \times 10^{-3}$ pascal metro³/s). La figura 8A muestra una curva de calibración ejemplar (1700) para el transductor de presión (1506) que puede resultar de tal secuencia de mediciones. Las mediciones resultan en una curva esencialmente de línea recta (1702), que tiene una pendiente (1704) igual a K_D , por ejemplo del orden de aproximadamente $1,2 \times 10^{-3}$ Torr/sccm ($9,470 \times 10^{-3} \text{ s/metro}^3$). El controlador (1616) realiza y almacena las mediciones, ajusta una curva de línea recta (1702) a los datos medidos, y extrae la pendiente (1704) y la almacena como la sensibilidad calibrada, K_D en Torr/sccm (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$), para el transductor de presión (1506) al gas transportado dentro del aparato sensor (1500) por el haz (1514) (o por el flujo de gas de calibración inyectado por la tobera (1652)).

La sensibilidad del transductor de presión (1506) a la presión de gas de fondo en el aparato sensor (1500) que resulta del flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) cuando no está entrando ningún haz (1514) en el aparato sensor (1500) se representa por K_B (en unidades de Torr/sccm, donde 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$). Se introduce un flujo de gas de calibración a través de la tobera (1662) dentro de la cámara de línea de haz (1107) y la presión resultante medida por el transductor de presión (1506) se expresa en unidades de Torr (obsérvese que: 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr). Para esta calibración, el controlador (1616) corta el chorro de gas (1118) cerrando la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640). Después, el controlador (1616) controla la válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) para hacer que una secuencia controlada de flujos a través de la tobera (1662) directamente dentro de la cámara de línea de haz (1107) simule el flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118). Por ejemplo, pueden introducirse flujos de gas de 1, 1,5, 2, 2,5 y 3 sccm (u otra secuencia de valores que corresponden al flujo de gas típico dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) y cualquier haz resultante durante el funcionamiento típico del sistema) dentro de la cámara de línea de haz (1107) bajo control del controlador (1616) (obsérvese que los flujos de gas de 1, 1,5, 2, 2,5 y 3 sccm corresponden respectivamente a aproximadamente $1,689 \times 10^{-3}$, $2,534 \times 10^{-3}$, $3,378 \times 10^{-3}$, $4,223 \times 10^{-3}$ y $5,067 \times 10^{-3}$ pascal metro³/s). Las presiones correspondientes en el sensor de presión (1506) son medidas y registradas por el controlador (1616). La figura 8B muestra algunas curvas de calibración ejemplares (1710). La curva de línea recta superior (1712) representa (por ejemplo) una curva para presión de gas de fondo debida al flujo del chorro de gas (1118) tal como se simular usando el flujo a través de la tobera (1662) y tal como se mide en el transductor de presión (1506). La curva de línea recta (1712) representa una curva ejemplar que puede resultar de tal secuencia de mediciones. El resultado es una curva esencialmente de línea recta (1712), que tiene una pendiente (1714) igual a K_B . El controlador (1616) realiza y almacena las mediciones, ajusta una curva de línea recta (1712) a los datos medidos, y extrae la pendiente (1714) y la almacena como la sensibilidad calibrada, K_B en Torr/sccm (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$), para el transductor de presión (1506) al gas transportado dentro de la cámara de línea de haz (1107) por el chorro de gas (1118) (o por el flujo de gas de calibración inyectado por la tobera (1662)).

La sensibilidad del transductor de presión (1610) a la presión de gas de fondo en la cámara de línea de haz (1107)

que resulta del flujo de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) se representa por k_C (en unidades de Torr/sccm, donde 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$). Se introduce un flujo de gas de calibración a través de la tobera (1662) dentro de la cámara de línea de haz (1107) y la presión medida por el transductor de presión (1610) se expresa en unidades de Torr. Para esta calibración, el controlador (1616) corta el chorro de gas (1118) cerrando la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640). Después, el controlador (1616) controla la válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) para hacer que una secuencia controlada de flujos a través de la tobera (1662) directamente dentro de la cámara de línea de haz (1107) simule el transporte de gas dentro de la cámara de línea de haz (1107) por el chorro de gas (1118). Por ejemplo, pueden introducirse flujos de gas de 1, 2, 3, 4 y 5 sccm (u otra secuencia de valores que corresponden al flujo de gas típico dentro de la cámara de línea de haz (1107) debido al chorro de gas (1118) y cualquier haz resultante durante el funcionamiento típico del sistema) dentro de la cámara de línea de haz (1107) bajo control del controlador (1616) (obsérvese que los flujos de gas de 1, 2, 3, 4 y 5 sccm corresponden respectivamente a aproximadamente $1,689 \times 10^{-3}$, $3,378 \times 10^{-3}$, $5,067 \times 10^{-3}$, $6,756 \times 10^{-3}$ y $8,445 \times 10^{-3}$ pascal metro³/s). Las presiones correspondientes en el sensor de presión (1610) son medidas y registradas por el controlador (1616). La figura 8B muestra algunas curvas de calibración ejemplares (1710). La curva de línea recta inferior (1722) representa una curva ejemplar que puede resultar de tal secuencia de mediciones. El resultado es una curva esencialmente de línea recta (1722), que tiene una pendiente (1724) igual a k_C . El controlador (1616) realiza y almacena las mediciones, ajusta una curva de línea recta (1722) a los datos medidos, y extrae la pendiente (1724) y la almacena como la sensibilidad calibrada, k_C en Torr/sccm (obsérvese que: 1 Torr/sccm es aproximadamente $7,892 \text{ s/metro}^3$), para el transductor de presión (1610) al gas transportado dentro de la cámara de línea de haz (1107) por el chorro de gas (1118) (o por el flujo de gas de calibración inyectado por la tobera (1662)).

Se entiende por los inventores que k_B , k_C y k_D pueden tener pequeños errores que pueden resultar de las curvas de línea recta (1702), (1712) y (1722) que no pasa exactamente por el origen (presión cero a flujo cero). Esto se produce cuando el vacío base en la cámara no es adecuadamente lento. Con fines prácticos, se descubre típicamente que si el vacío base es 10^{-7} Torr ($1,333 \times 10^{-5}$ pascuales) o menos, entonces los errores en k_B , k_C y k_D son tan pequeños que el error es intrascendente. En caso de presiones de vacío base más altas o si se requiere la mayor precisión, pueden realizarse correcciones en k_B , k_C y k_D de acuerdo con técnicas convencionales conocidas por los expertos en la materia para compensar unas condiciones de vacío base imperfectas.

Las mediciones de calibración para las constantes del sistema k_A , k_B , k_C y k_D son independientes entre sí y pueden realizarse en cualquier orden. Después de la medición, las constantes son almacenadas por el controlador (1616) para visualización en el dispositivo de visualización (1656) o para futuro uso en la caracterización de haz y/o el control de proceso. Las constantes del sistema k_A , k_B , k_C y k_D son constantes que pueden presentar deriva a largo plazo debido a envejecimiento de las constantes o pueden cambiar como resultado de la sustitución o el ajuste de los componentes del sistema. Por lo tanto, es aconsejable volver a medirlas periódicamente o después del mantenimiento del sistema o la sustitución de componentes.

Además de las constantes del sistema, se usan otras constantes y conversiones en los cálculos requeridos para la caracterización de haz. Son (con los valores aproximados indicados): el número de Avogadro, N_A

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ átomos/mol (o moléculas/mol)} = k_1$$

Volumen molar, V_m

$$V_m = 2,24 \times 10^4 \text{ cm}^3 \text{ estándar/mol} = k_2$$

Obsérvese que 1 pascal metro³ es aproximadamente $9,869 \text{ cm}^3$ estándar
Carga electrónica, e

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ culombios} = k_3$$

$$1 \text{ culombio} = 1 \text{ amperio-segundo} = 6,242 \times 10^{18} e = k_4$$

Milijulio, 10^{-3} julios

$$10^{-3} \text{ julios} = 1 \text{ mW-s} = 6,242 \times 10^{15} \text{ eV} = k_5$$

Segundo, s

$$1 \text{ s} = 1/60 \text{ minuto} = k_6$$

k_7 , átomo-minutos/scc-s, donde $s = \text{cm}^3$ estándar, y obsérvese que 1 pascal metro³ es aproximadamente 9,869 cm³ estándar.

$$k_7 = \frac{k_1 \times k_6}{k_2} = 4,48 \times 10^{17}$$

En el funcionamiento de un sistema de procesamiento por haz neutro tal como el descrito anteriormente y mostrado en las figuras 6 y 7, existe típicamente una porción del chorro de gas (1118) que pasa a través del ionizador (1122) sin ionizarse. Esta porción sin ionizar puede comprender tanto cúmulos como monómeros, pero no es acelerada en la zona de extracción y continúa como parte del haz (1514), desplazándose todo el camino hasta el aparato sensor (1500) donde contribuye al aumento de presión en el interior (1504) que es detectado por el transductor de presión (1506). Puesto que este gas nunca ionizado (denominado en este documento "gas inactivo") detectado por el transductor de presión (1506) no ha sido acelerado, se desplaza demasiado lentamente y con energía insuficiente (unos pocos mili-eV por monómero) para contribuir significativamente al procesamiento por haz neutro de una pieza de trabajo. Por consiguiente, se puede representar por separado en la dosimetría de procesamiento por haz neutro, y puede medirse por separado como parte de los procedimientos de caracterización de haz de la invención. La contribución del gas de fondo en la cámara de línea de haz (1107) y el gas inactivo procedente del chorro de gas en el transductor de presión (1506) se mide de la siguiente manera:

El controlador (1616) mueve la sujeción de pieza de trabajo (1624) a la posición retraída (1654) de modo que la abertura de entrada (1536) del aparato sensor (1500) esté despejada. El controlador (1616) cierra la válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) y abre la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640) y establece el flujo a través de la válvula (1640) en un caudal preseleccionado que se usará para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El controlador (1616) establece ambos valores de V_{Acc} y V_{S} en cero, de modo que no se producirá aceleración del haz. El controlador (1616) establece ambos valores de V_{A} y V_{F} en valores de funcionamiento preseleccionados que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro, de modo que el ionizador (1122) ioniza el chorro neutro (1118) que pasa a través del ionizador (1122) con las mismas condiciones y eficiencia del ionizador que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El GCIB resultante comprende porciones ionizadas y sin ionizar, pero ninguna de las porciones es acelerada en la zona de extracción. La velocidad del haz (velocidad del chorro de gas) es tan lenta que los efectos de la carga espacial en el GCIB, resultan en una ampliación del haz de la porción ionizada, repeliendo todos los iones fuera del haz, resultando en que el haz (1514) se convierte en un haz neutro que se desplaza a baja velocidad a lo largo del eje (1154) dentro del aparato sensor (1500). La confirmación de que todos los iones han sido eliminados del haz (1514) puede confirmarse midiendo la corriente de haz I_{B} como cero en la copa de Faraday (1502). Alternativamente, el controlador puede conectar V_{D} a un valor pequeño que desvía cualquier porción ionizada restante (1604) fuera del haz (1514). Bajo estas condiciones (condición A) se toman y almacenan las siguientes mediciones mediante el controlador (1616):

M_{B} , la presión en el transductor de presión (1506), medida en Torr (obsérvese que: 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr)
 M_{F} , la presión en el transductor de presión (1610), medida en Torr (obsérvese que: 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr)

Se toman mediciones adicionales con las siguientes condiciones: el controlador (1616) mueve la sujeción de pieza de trabajo (1624) a la posición retraída (1654) de modo que la abertura de entrada (1536) del aparato sensor (1500) esté despejada. El controlador (1616) cierra la válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) y abre la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640) y establece el flujo a través de la válvula (1640) en un caudal preseleccionado que se usará para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El controlador (1616) establece ambos valores de V_{Acc} y V_{S} en potenciales preseleccionados que se usarán para aceleración del GCIB para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El controlador (1616) establece ambos valores de V_{A} y V_{F} en valores de funcionamiento preseleccionados que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro, de modo que el ionizador (1122) ioniza el chorro neutro (1118) que pasa a través del ionizador (1122) con las mismas condiciones y eficiencia del ionizador que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El GCIB resultante (1128) es un GCIB acelerado. El controlador (1616) establece V_{D} en cero de modo que el haz (1514) es un GCIB que se desplaza dentro del aparato sensor (1500). Bajo

estas condiciones (condición B) se toman y almacenan las siguientes mediciones mediante el controlador (1616):

M_G , la presión en el transductor de presión (1506), medida en Torr (obsérvese que: 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr)

5 M_H , la corriente de haz I_B recogida por la copa de Faraday (1502), medida en amperios. Esta medición no se requiere a menos que el haz contenga iones y se desee caracterizar la relación de tamaño a carga de los iones del haz.

M_I , la medición de temperatura de equilibrio o cercana al equilibrio de la diferencia de temperatura entre el sensor de temperatura (1520) y el sensor de temperatura (1530), medida en kelvins.

10

Se toman mediciones adicionales con las siguientes condiciones: el controlador (1616) mueve la sujeción de pieza de trabajo (1624) a la posición retraída (1654) de modo que la abertura de entrada (1536) del aparato sensor (1500) esté despejada. El controlador (1616) cierra la válvula dosificadora y de cierre de gas de dos vías (1646) y abre la válvula dosificadora y de cierre de gas (1640) y establece el flujo a través de la válvula (1640) en un caudal preseleccionado que se usará para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El controlador (1616) establece ambos valores de V_{Acc} y V_S en potenciales preseleccionados que se usarán para aceleración del GCIB para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El controlador (1616) establece ambos valores de V_A y V_F en valores de funcionamiento preseleccionados que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro, de modo que el ionizador (1122) ioniza el chorro neutro (1118) que pasa a través del ionizador (1122) con las mismas condiciones y eficiencia del ionizador que se usarán para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro. El GCIB resultante (1128) es un GCIB acelerado. El controlador (1616) establece V_D en un valor de funcionamiento preseleccionado que se usará para generación del haz durante el funcionamiento del haz neutro de modo que el haz (1514) es un haz neutro que se desplaza dentro del aparato sensor (1500) y de modo que la porción ionizada (1604) impacta en el bloque de parada de haz (1606). Bajo estas

25

M_J , la presión en el transductor de presión (1506), medida en Torr (obsérvese que: 1 pascal es aproximadamente 0,007501 Torr)

M_K , la medición de temperatura de equilibrio o cercana al equilibrio de la diferencia de temperatura entre el sensor de temperatura (1520) y el sensor de temperatura (1530), medida en kelvins.

30

Usando las constantes del sistema k_A , k_B , k_C , y k_D y los valores medidos M_E , M_F , M_G , M_H , M_I , M_J y N_K , una caracterización exhaustiva del haz (1516) puede calcularse de la siguiente manera:

35

$$C_L = \text{gas de fondo (átomos/s)} = \frac{M_F \times k_B}{k_D \times k_C} \times \frac{N_A \times k_6}{k_2} = \frac{M_F \times k_B}{k_D \times k_C} \times k_7;$$

$$C_M = \text{flujo de gas inactivo en el haz (átomos/s)} = \frac{k_7 \times M_E}{k_D} - C_L;$$

$$C_N = \text{Transporte de masa del haz completo (átomos/s)} = \frac{k_7 \times M_G}{k_D};$$

40

donde "haz completo" significa el haz (1514) con $V_D = 0$ e incluye cualquier cúmulo, cualquier monómero, cualquier cúmulo ionizado, cualquier monómero ionizado, incluyendo el gas inactivo.

$$C_O = \text{Porción acelerada de transporte de masa del haz completo (átomos/s)} = C_N - (C_L + C_M);$$

45

$$C_P = \text{Flujo neutro de masa acelerado (átomos/s)} = \frac{k_7 \times M_J}{k_D} - (C_L + C_M); \text{ o}$$

Alternativamente, C_P puede calcularse con idéntico resultado usando:

$$C_P = \text{Flujo neutro de masa acelerado (átomos/s)} = \frac{k_7 \times (M_J - M_E)}{k_D};$$

$$C_Q = \text{Flujo de masa de especies cargadas (átomos/s)} = C_O - C_P;$$

5 $C_R = \text{Relación de tamaño medio a carga de especies cargadas (átomos/q)} = \frac{M_Q}{M_H \times k_4};$

donde q representa la carga positiva elemental, -e; obsérvese que este cálculo depende de una medición de corriente de haz, pero no se requiere para haces neutros y haces neutros disociados, ya que sólo tiene significado si el haz contiene iones.

10

$$C_S = \text{Energía por átomo en el haz neutro (eV)} = \frac{M_K \times k_5}{k_A \times C_P};$$

$$C_T = \text{Energía por átomo de las especies cargadas (eV)} = \frac{(M_I - M_K) \times k_5}{k_A \times C_Q};$$

15 $C_U = \text{Energía por átomo de la porción acelerada del haz completo (eV)} = \frac{M_I \times k_5}{k_A \times C_O};$

$$C_V = \text{Energía total por carga de las especies cargadas (keV)} = \frac{C_R \times C_T}{1000}.$$

20 Obsérvese que el cálculo de C_V depende de una medición de corriente de haz, pero no se requiere para haces neutros y haces neutros disociados, ya que sólo tiene significado si el haz contiene iones.

En las ecuaciones de cálculo anteriores, C_L , C_M ,...a C_V , el término "átomo" se usa en el sentido definido en este documento anteriormente y no depende de si los átomos están disociados o en cúmulos. En ciertas situaciones no se requiere una caracterización de haz exhaustiva. Por ejemplo, al controlar la dosimetría de un proceso por haz neutro en una pieza de trabajo, a menudo las únicas características del haz que es necesario conocer para una dosimetría exitosa son C_P , el flujo neutro de masa acelerado del haz neutro, y C_S , la energía por átomo en el haz neutro. En tal caso puede usarse un procedimiento abreviado de caracterización de haz. Usando las constantes del sistema k_A y k_D , y los valores medidos M_E , M_J y M_K , una caracterización simplificada del haz (1516) puede calcularse de la siguiente manera:

30

$$C_P = \text{Flujo neutro de masa acelerado (átomos/s)} = \frac{k_7 \times (M_J - M_E)}{k_D};$$

$$C_S = \text{Energía por átomo en el haz neutro (eV)} = \frac{M_K \times k_5}{k_A \times C_P}.$$

35 Las mediciones y ecuaciones usadas en esta descripción usan unidades de medida convencionales de Estados Unidos para muchas mediciones y ecuaciones (por ejemplo, Torr, seem, etc.). Las mismas mediciones y ecuaciones pueden representarse en el Sistema Internacional de Unidades (SI) por conversión directa. Cuando se convierten de ese modo, la forma, pero no la sustancia de las ecuaciones puede parecer diferente porque los valores numéricos de las constantes y mediciones son diferentes en las diferentes unidades de medida. Las mediciones y los procedimientos de la invención pueden ponerse en práctica igualmente en unidades de medida de Estados Unidos y en unidades de medida del SI empleando unidades equivalentes del SI especificadas en este documento.

40

En resumen, una realización de la presente invención proporciona un aparato sensor para caracterizar un haz, que comprende: un recinto alrededor de una zona central y que tiene una abertura construida para admitir un haz procedente de una cámara a presión reducida dentro de la zona central para caracterización; un área de percusión de haz dispuesta dentro de la zona central para recibir el haz y absorber energía del haz, dicha área de percusión al menos parcialmente aislada térmicamente de dicho recinto; un sensor de temperatura para medir un cambio de temperatura inducido en el área de percusión por el haz recibido; un primer sensor de presión en comunicación fluida con la zona central para medir un cambio de presión dentro del recinto causado por el haz admitido a través de la abertura; y un sistema de procesamiento para procesar el cambio de temperatura medido y el cambio de presión medido para determinar características del haz.

El haz puede derivarse de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y puede comprender cúmulos gaseosos y/o iones de cúmulos gaseosos; y el área de percusión de haz puede estar adaptada para disociar dichos cúmulos gaseosos y/o iones de cúmulos gaseosos. El aparato puede comprender además un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_D , del primer sensor de presión al gas transportado dentro de la zona central del recinto por el haz; y un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_A , del sensor de temperatura a la potencia del haz; y donde el sistema de procesamiento usa k_D y k_A en la determinación de características del haz. El aparato puede comprender además un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_B del primer sensor de presión a la presión de gas de fondo en la cámara a presión reducida; y donde el sistema de procesamiento usa k_B en la determinación de características del haz. El aparato puede comprender además un segundo sensor de presión adaptado para medir la presión en la cámara a presión reducida; y un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_C , del segundo sensor de presión a un cambio de la presión de gas de fondo en la cámara a presión reducida; y donde el sistema de procesamiento usa k_C en la determinación de características del haz.

El haz puede ser un haz neutro o un haz neutro disociado y el sistema de procesamiento puede determinar una o más características del haz seleccionadas del grupo consistente en: flujo de gas inactivo en el haz, C_M ; transporte de masa del haz completo, C_N ; porción acelerada de transporte de masa del haz completo, C_O ; flujo neutro de masa acelerado, C_P ; energía por átomo en el haz neutro, C_S ; y energía por átomo de la porción acelerada del haz completo, C_U .

El sensor de temperatura puede incluir un primer y un segundo sensores de temperatura situados para medir temperaturas del área de percusión de haz y el recinto, respectivamente. El recinto puede estar adaptado para actuar como una copa de Faraday para recoger la carga del haz iónico y medir una corriente de haz, y el sistema de procesamiento puede estar adaptado para usar la medición de corriente de haz para determinar características del haz. El haz puede derivarse de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y puede comprender iones y el sistema de procesamiento determina una o más características del haz seleccionadas del grupo consistente en: transporte de masa del haz completo, C_N ; flujo de masa de especies cargadas, C_Q ; relación de tamaño medio a carga de especies cargadas, C_R ; energía por átomo de las especies cargadas, C_T ; y energía total por carga de las especies cargadas, C_V .

El haz puede ser un haz neutro o un haz neutro disociado. El aparato puede comprender además: una cámara a presión reducida; un generador de haz iónico de cúmulos gaseosos; un medio para acelerar el haz iónico de cúmulos gaseosos; un medio para transformar el haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado en un haz neutro que tiene una trayectoria; un medio para disponer la abertura en el recinto en una trayectoria para admitir el haz dentro de la zona central para medición y caracterización; un medio de sujeción de pieza de trabajo para introducir una pieza de trabajo dentro de la trayectoria; donde el medio de procesamiento usa determinadas características del haz para controlar el tratamiento por haz neutro de la pieza de trabajo.

Otra realización de la presente invención proporciona un procedimiento para caracterizar un haz de partículas, que comprende: recibir un haz de partículas en una zona central de un recinto a presión reducida; hacer impactar el haz recibido contra un área de percusión de haz que está aislada térmicamente del recinto; medir un cambio de temperatura del área de percusión de haz debido al impacto del haz; medir un cambio de presión en el recinto debido a la recepción del haz; y procesar el cambio de temperatura medido y el cambio de presión medido para determinar características del haz.

El procedimiento puede comprender además las etapas de calibrar la sensibilidad, k_D , de un sensor de presión para el recinto a los cambios de presión de gas creados por la recepción del haz y calibrar la sensibilidad, k_A , de un sensor de temperatura del área de percusión de haz a la potencia del haz del impacto del haz, donde en la etapa de procesamiento el sistema usa k_D y k_A en la determinación de características del haz.

El procedimiento puede comprender además las etapas de medir la presión en el recinto a presión reducida, y usar la presión medida en la cámara a presión reducida para determinar características del haz en la etapa de procesamiento. El procedimiento puede comprender además las etapas de calibrar la sensibilidad, K_C , de un sensor de presión en el recinto a presión reducida, y usar la sensibilidad K_C para determinar características del haz en la etapa de procesamiento.

El haz puede ser un haz neutro o un haz neutro disociado y la etapa de procesamiento puede determinar una o más características del haz seleccionadas del grupo consistente en: flujo de gas inactivo en el haz, C_M ; transporte de masa del haz completo, C_N ; porción acelerada de transporte de masa del haz completo, C_O ; flujo neutro de masa acelerado, C_P ; energía por átomo en el haz neutro, C_S ; y energía por átomo de la porción acelerada del haz completo, C_U .

El procedimiento puede comprender además medir la corriente eléctrica en el recinto y el área de percusión de haz debida a la recepción y el impacto del haz, donde la etapa de procesamiento incluye procesar la corriente eléctrica medida para determinar características del haz. El haz puede derivarse de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y comprende iones y el sistema de procesamiento puede determinar una o más características del haz seleccionadas del grupo consistente en: transporte de masa del haz completo, C_N ; flujo de masa de especies cargadas, C_Q ; relación de tamaño medio a carga de especies cargadas, C_R ; energía por átomo de las especies cargadas, C_T ; y energía total por carga de las especies cargadas, C_V .

Otra realización más de la presente invención proporciona un procedimiento de determinación de una o más características de un haz que tiene una trayectoria en una cámara a presión reducida, que comprende las etapas de: proporcionar un recinto que tiene una zona central y una abertura conectada a la cámara a presión reducida para admitir el haz dentro de la zona central para caracterización; proporcionar un área de percusión de haz dispuesta dentro de la zona central para recibir el haz admitido y absorber energía del haz, estando dicha área de percusión al menos parcialmente aislada térmicamente de dicho recinto; proporcionar un sensor de temperatura para medir un cambio de temperatura inducido en el área de percusión por el haz recibido para proporcionar una señal de medición de potencia del haz; proporcionar un primer sensor de presión en comunicación fluida con la zona central para medir un cambio de presión dentro del recinto causado por el haz admitido a través de la abertura, para proporcionar una señal de medición de transporte de gas de haz; proporcionar un medio de procesamiento para procesar la señal de medición de potencia del haz y la señal de medición de transporte de gas de haz para determinar características del haz.

El procedimiento puede comprender además proporcionar un sistema de control que usa al menos una característica del haz determinada para controlar un proceso. Puede comprender además proporcionar un aparato en la cámara a presión reducida para producir un haz iónico de cúmulos gaseosos. Comprende además proporcionar elementos dentro de la cámara a presión reducida para neutralizar completamente el haz iónico de cúmulos gaseosos. El procedimiento puede comprender además proporcionar elementos en la cámara a presión reducida para disociar el haz iónico de cúmulos gaseosos.

Aunque la invención se ha descrito con respecto a diversas realizaciones, los expertos en la materia se darán cuenta de que esta invención también es capaz de una amplia variedad de realizaciones adicionales y otras realizaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato sensor (1500) para caracterizar un haz (1514), que comprende:
5 un recinto (1502) alrededor de una zona central y que tiene una abertura (1536) construida para admitir un haz (1514) procedente de una cámara a presión reducida (1504) dentro de la zona central para caracterización;
un área de percusión de haz dispuesta dentro de la zona central para recibir el haz (1514) y absorber energía del haz (1514), dicha área de percusión al menos parcialmente aislada térmicamente de dicho recinto (1502);
10 un sensor de temperatura (1520) para medir un cambio de temperatura inducido en el área de percusión por el haz recibido (1514);
un primer sensor de presión en comunicación fluida con la zona central para medir un cambio de presión dentro del recinto (1502) causado por el haz (1514) admitido a través de la abertura (1536); y
15 un sistema de procesamiento para procesar el cambio de temperatura medido y el cambio de presión medido para determinar características del haz (1514).
2. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el haz (1514) se deriva de un haz
20 iónico de cúmulos gaseosos acelerado y comprende cúmulos gaseosos y/o iones de cúmulos gaseosos; donde además el área de percusión de haz está adaptada para disociar dichos cúmulos gaseosos y/o iones de cúmulos gaseosos.
3. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
25 un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_D , del primer sensor de presión al gas transportado dentro de la zona central del recinto (1502) por el haz (1514); y
un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_A , del sensor de temperatura (1520) a la potencia del haz; y
30 donde el sistema de procesamiento usa k_D y k_A en la determinación de características del haz (1514); y, opcionalmente, que comprende además:
(a) un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_B , del primer sensor de presión (1506) a la presión de
gas de fondo en la cámara a presión reducida (1504); y
35 donde el sistema de procesamiento usa k_B en la determinación de características del haz (1514); o
(b) un segundo sensor de presión adaptado para medir la presión en la cámara a presión reducida; y
un medio de calibración para calibrar la sensibilidad, k_C , del segundo sensor de presión a un cambio de la presión de
gas de fondo en la cámara a presión reducida (1504); y
40 donde el sistema de procesamiento usa k_C en la determinación de características del haz (1514).
4. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el haz (1514) es un haz neutro o
un haz neutro disociado y el sistema de procesamiento determina una o más características del haz (1514)
45 seleccionadas del grupo consistente en:
flujo de gas inactivo en el haz, C_M ;
transporte de masa del haz completo, C_N ;
porción acelerada de transporte de masa del haz completo, C_O ;
50 flujo neutro de masa acelerado, C_P ;
energía por átomo en el haz neutro, C_S ; y
energía por átomo de la porción acelerada del haz completo, C_U .
5. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el sensor de temperatura (1520)
55 incluye un primer (1520) y un segundo (1530) sensores de temperatura situados para medir temperaturas del área de percusión de haz y el recinto (1502), respectivamente.
6. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el recinto (1502) está adaptado
para actuar como una copa de Faraday (1502) para recoger la carga del haz iónico y medir una corriente de haz, y

donde además el sistema de procesamiento está adaptado para usar la medición de corriente de haz para determinar características del haz (1514); y, opcionalmente, donde el haz (1514) se deriva de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y comprende iones y el sistema de procesamiento determina una o más características del haz (1514) seleccionadas del grupo consistente en:

- 5 transporte de masa del haz completo, C_N ;
flujo de masa de especies cargadas, C_Q ;
relación de tamaño medio a carga de especies cargadas, C_R ;
energía por átomo de las especies cargadas, C_T ; y
 - 10 energía total por carga de las especies cargadas, C_V .
7. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el haz (1514) es un haz neutro; y, opcionalmente, donde el haz (1514) es un haz neutro disociado.
- 15 8. El aparato sensor (1500) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
- una cámara a presión reducida (1504);
 - un generador de haz iónico de cúmulos gaseosos;
 - un medio para acelerar el haz iónico de cúmulos gaseosos;
 - 20 un medio para transformar el haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado (1514) en un haz neutro (1514) que tiene una trayectoria;
 - un medio para disponer la abertura (1536) en el recinto (1504) en una trayectoria para admitir el haz (1154) dentro de la zona central para medición y caracterización;
 - un medio de sujeción de pieza de trabajo para introducir una pieza de trabajo dentro de la trayectoria;
 - 25 donde el medio de procesamiento usa determinadas características del haz para controlar el tratamiento por haz neutro (1154) de la pieza de trabajo.
9. Un procedimiento para caracterizar un haz de partículas, que comprende:
- 30 recibir un haz de partículas (1514) en una zona central de un recinto a presión reducida (1504);
 - hacer impactar el haz recibido (1514) contra un área de percusión de haz que está aislada térmicamente del recinto (1504);
 - medir un cambio de temperatura del área de percusión de haz debido al impacto del haz (1514);
 - 35 medir un cambio de presión en el recinto (1504) debido a la recepción del haz (1514); y
 - procesar el cambio de temperatura medido y el cambio de presión medido para determinar características del haz.
10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además las etapas de:
- 40 calibrar la sensibilidad, k_D , de un sensor de presión para el recinto (1504) a los cambios de presión de gas creados por la recepción del haz (1514); y
 - calibrar la sensibilidad, k_A , de un sensor de temperatura (1520) del área de percusión de haz a la potencia del haz del impacto del haz (1514),
 - donde en la etapa de procesamiento el sistema usa k_D y k_A en la determinación de características del haz; y,
 - 45 opcionalmente,
 - que comprende además las etapas de medir la presión en el recinto a presión reducida, y usar la presión medida en la cámara a presión reducida para determinar características del haz en la etapa de procesamiento; y, más opcionalmente,
 - 50 que comprende además las etapas de calibrar la sensibilidad, K_C , de un sensor de presión en el recinto a presión reducida (1504), y usar la sensibilidad K_C para determinar características del haz en la etapa de procesamiento.
11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, donde el haz (1514) es un haz neutro (1514) o un haz neutro disociado (1514) y la etapa de procesamiento determina una o más características del haz seleccionadas
- 55 del grupo consistente en:
- flujo de gas inactivo en el haz, C_M ;
 - transporte de masa del haz completo, C_N ;
 - porción acelerada de transporte de masa del haz completo, C_O ;

flujo neutro de masa acelerado, C_P ;
energía por átomo en el haz neutro, C_S ; y
energía por átomo de la porción acelerada del haz completo, C_U .

- 5 12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además medir la corriente eléctrica en el recinto (1504) y el área de percusión de haz debida a la recepción y el impacto del haz (1514), donde la etapa de procesamiento incluye procesar la corriente eléctrica medida para determinar características del haz; y, opcionalmente, donde el haz (1514) se deriva de un haz iónico de cúmulos gaseosos acelerado y comprende iones y el sistema de
10 procesamiento determina una o más características del haz seleccionadas del grupo consistente en:

transporte de masa del haz completo, C_N ;
flujo de masa de especies cargadas, C_Q ;
relación de tamaño medio a carga de especies cargadas, C_R ;
15 energía por átomo de las especies cargadas, C_T ; y
energía total por carga de las especies cargadas, C_V .

13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además:

- 20 (a) proporcionar un sistema de control que usa al menos una característica del haz determinada para controlar un proceso; o

(b) proporcionar un aparato en la cámara a presión reducida (1504) para producir un haz iónico de cúmulos gaseosos (1514).

- 25 14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además

proporcionar elementos dentro de la cámara a presión reducida (1504) para neutralizar completamente el haz iónico de cúmulos gaseosos (1514).

- 30 15. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además

proporcionar elementos en la cámara a presión reducida (1504) para disociar el haz iónico de cúmulos gaseosos (1514).

35

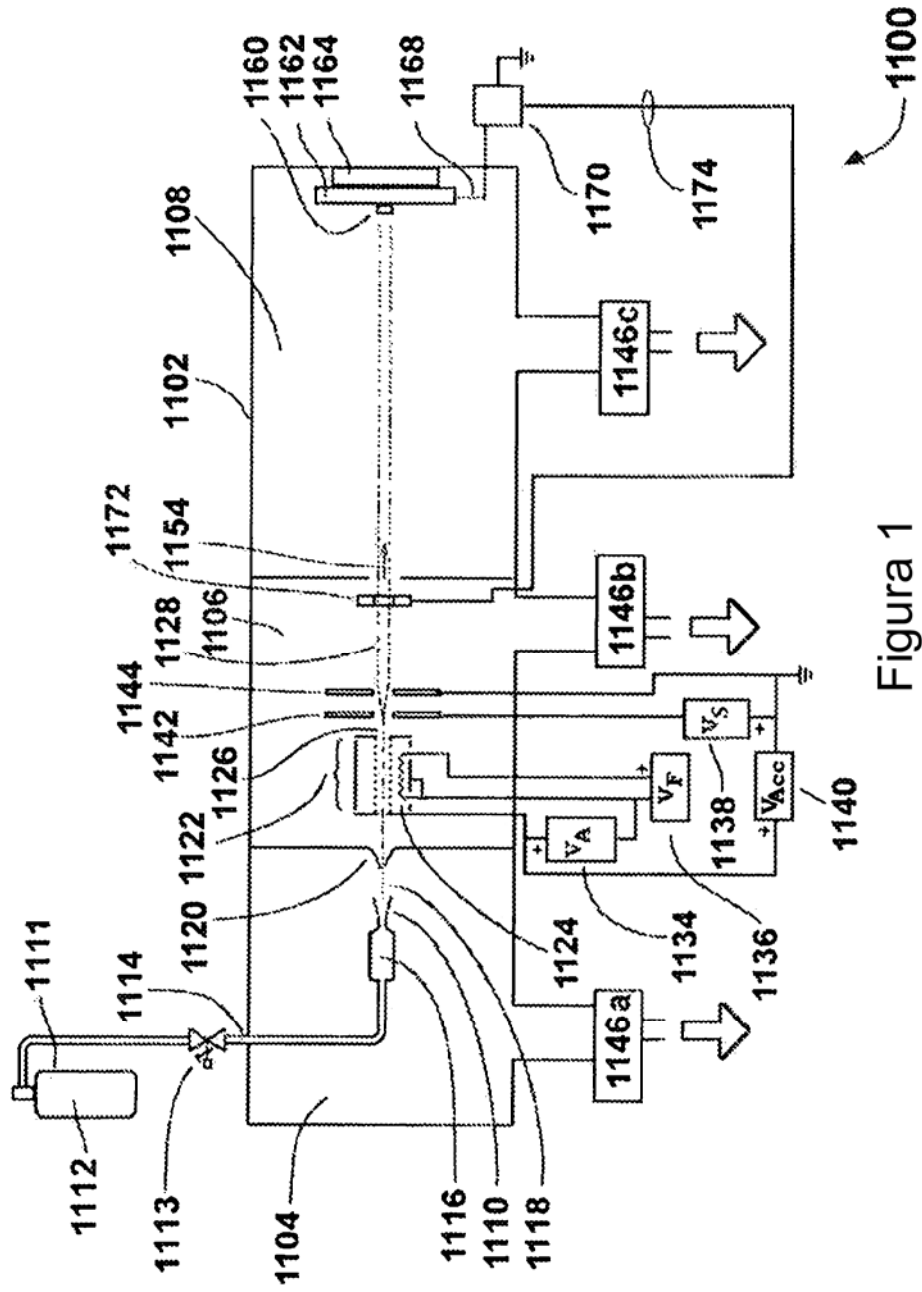


Figura 1

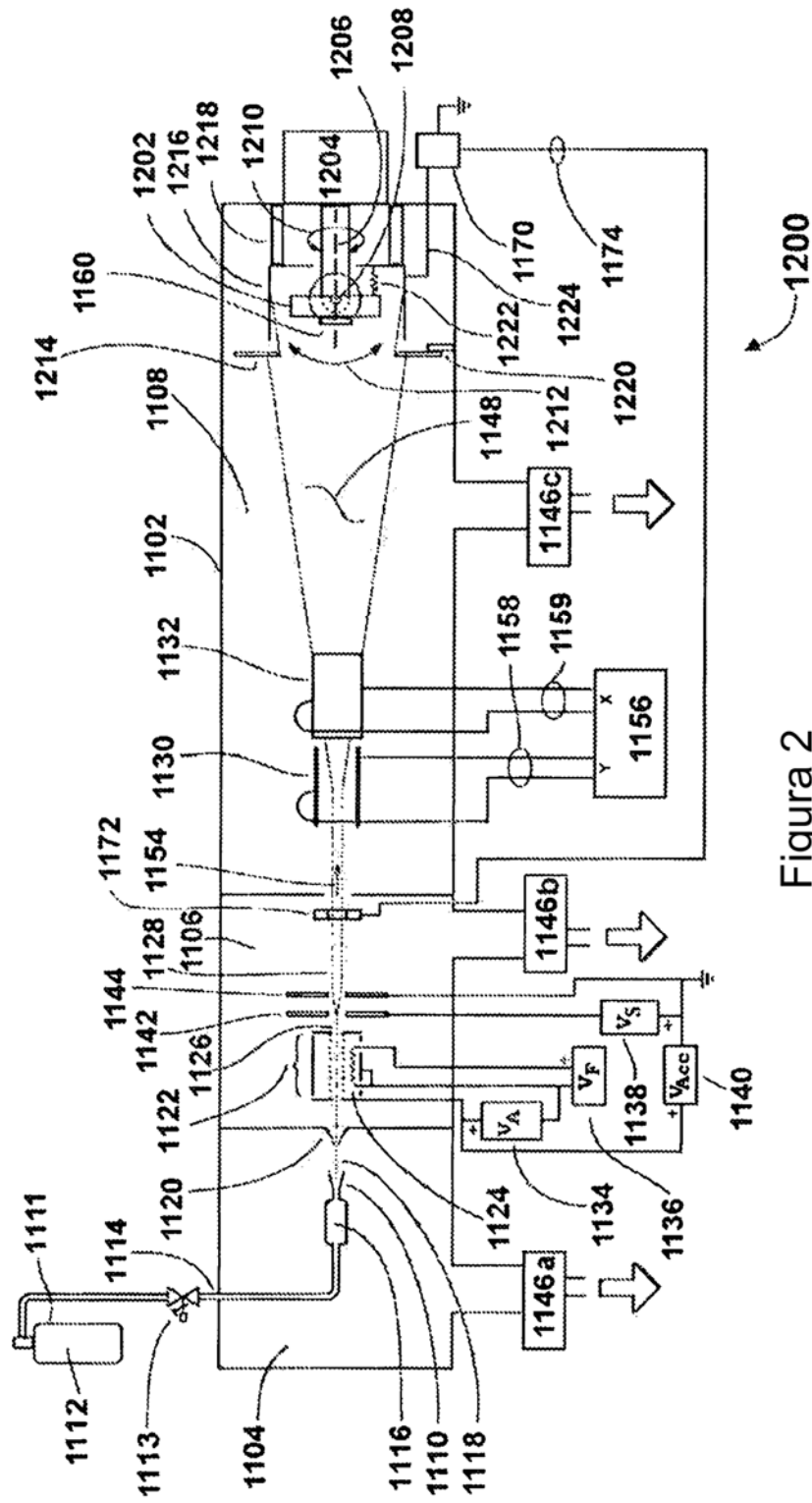


Figura 2

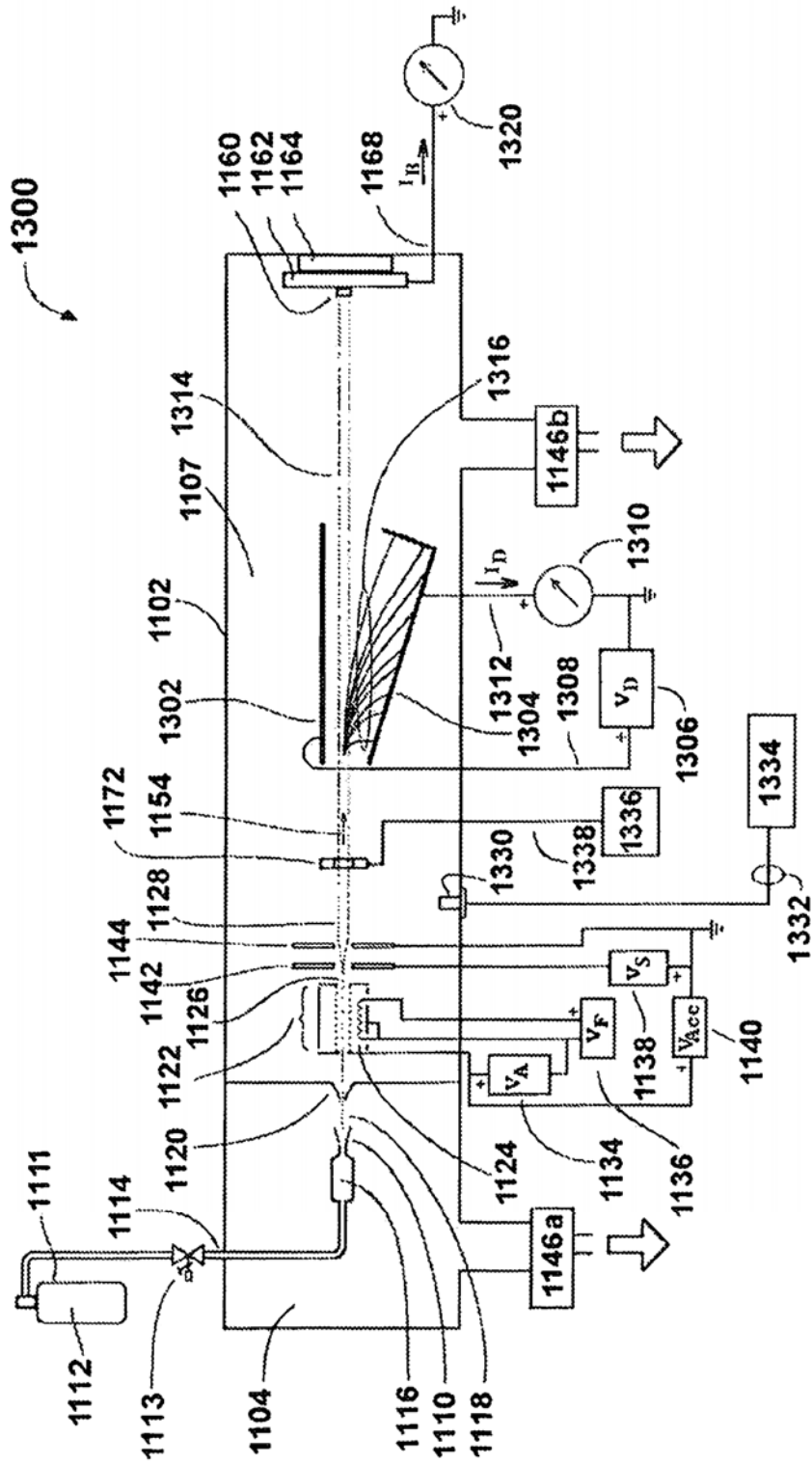


Figura 3

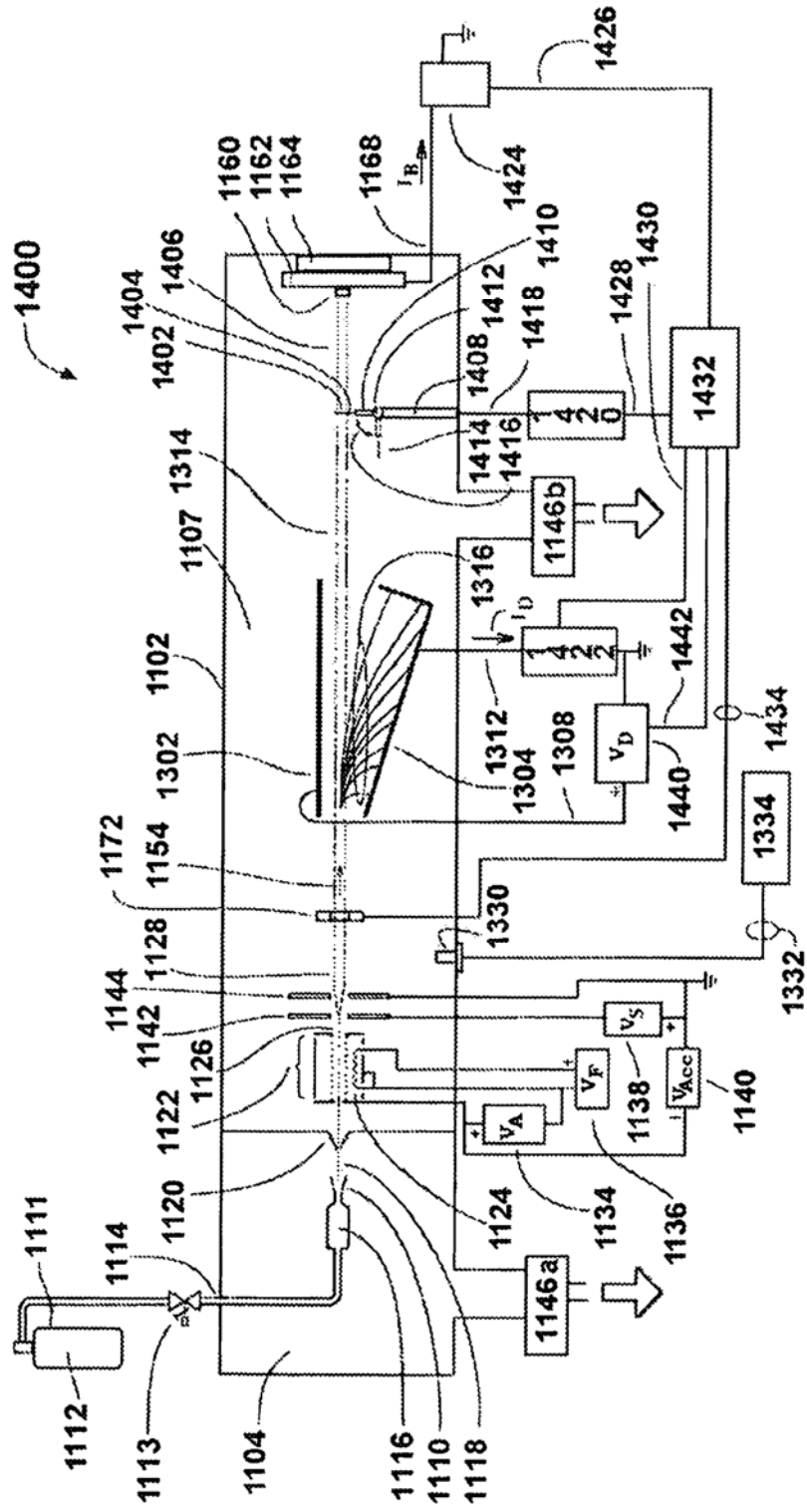


Figura 4

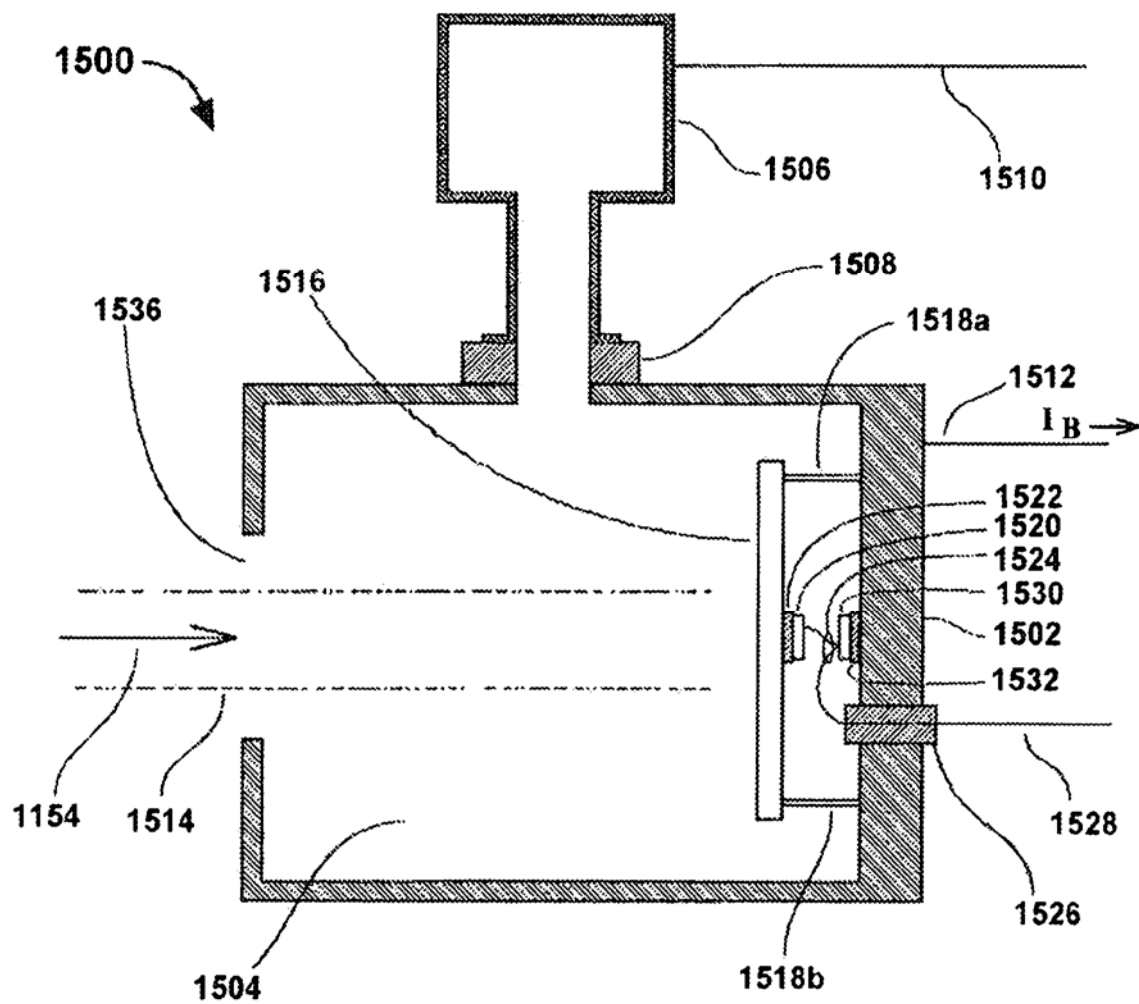


Figura 5

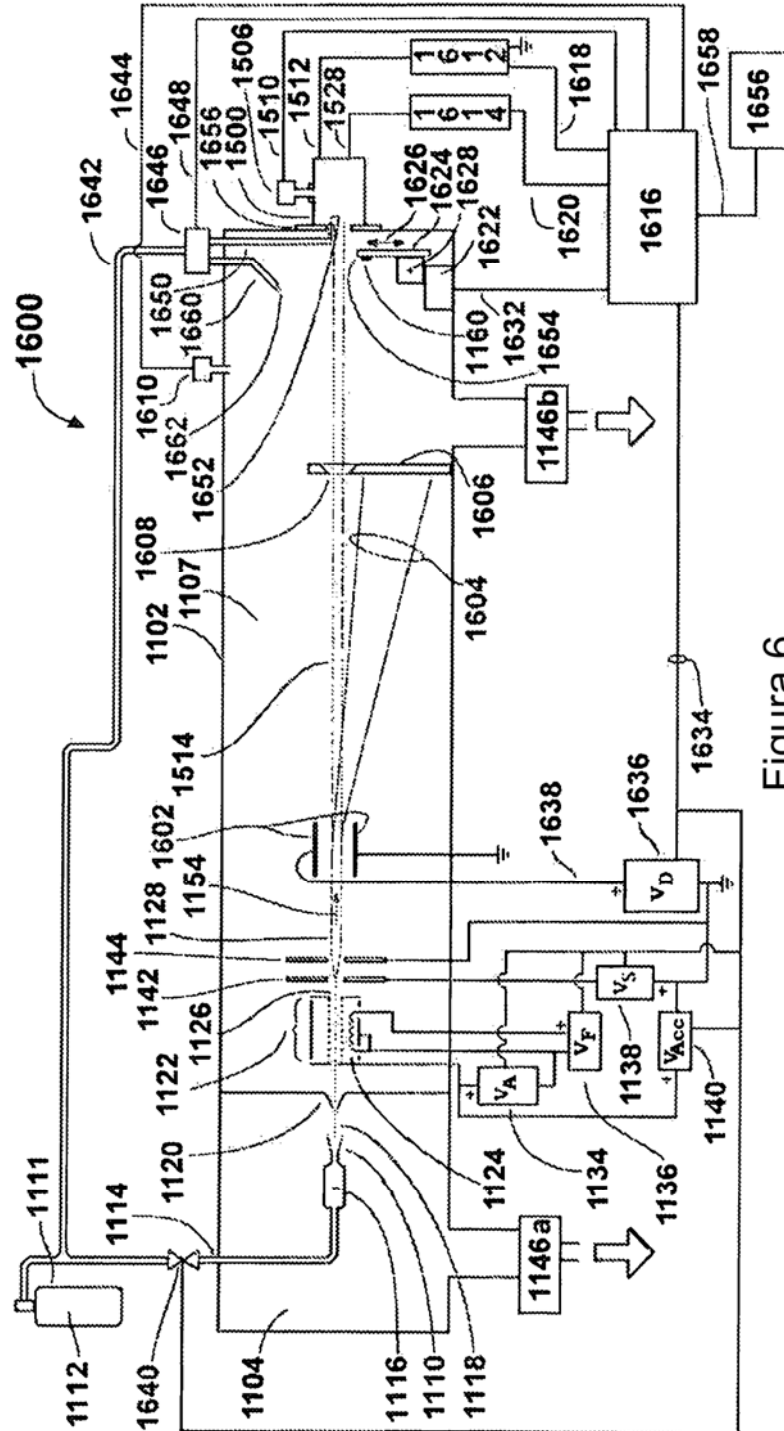


Figura 6

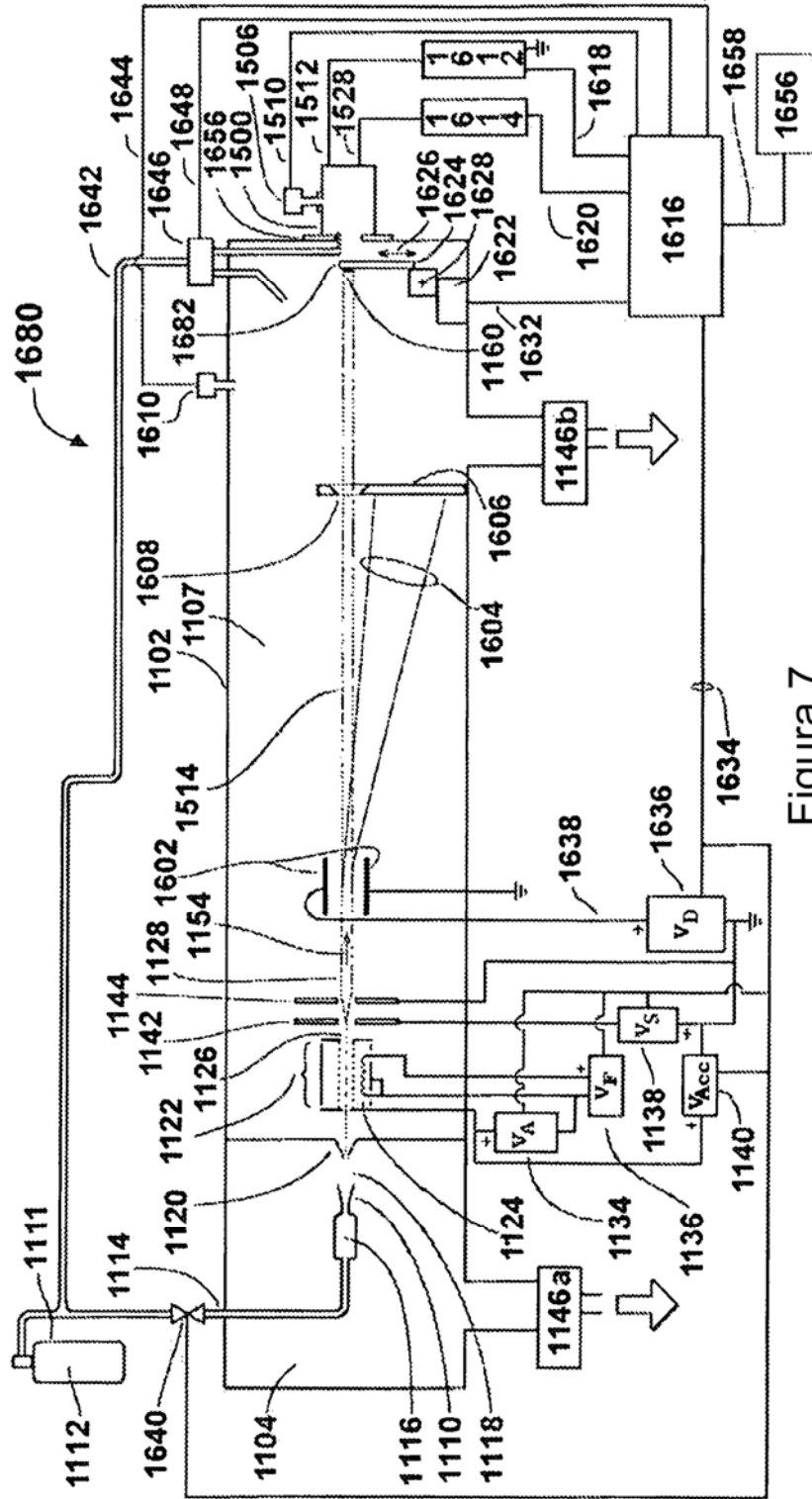


Figura 7

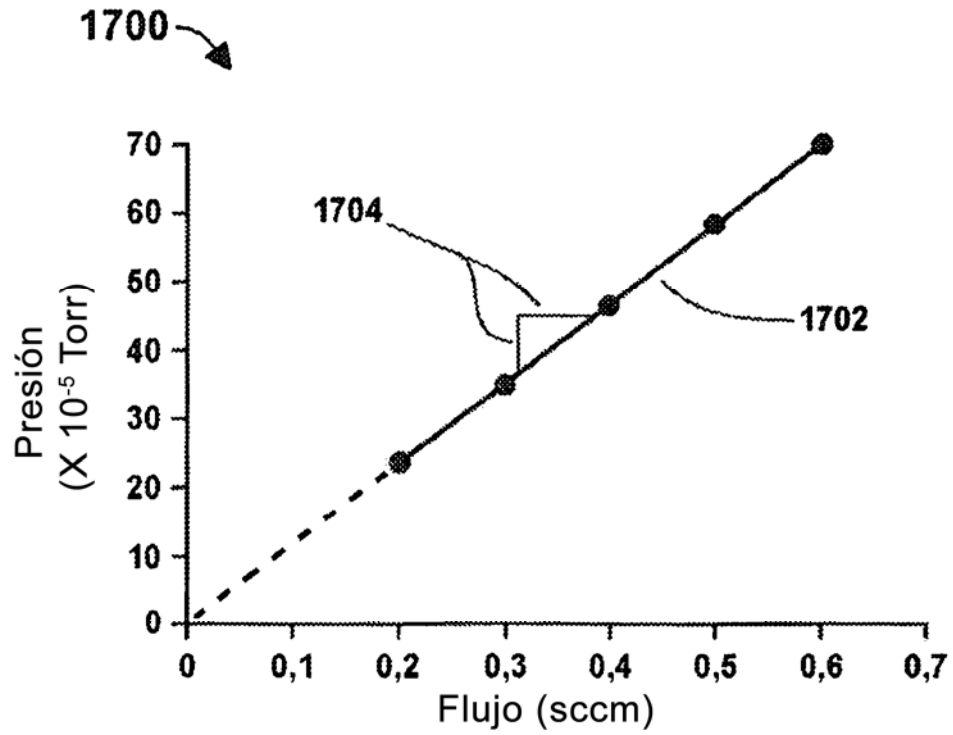


Figura 8A

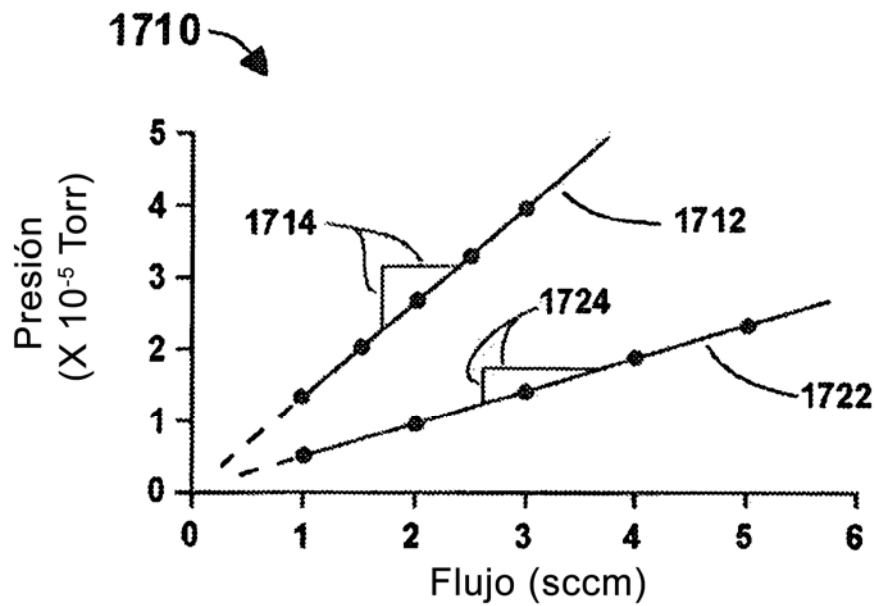


Figura 8B