

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 135**

51 Int. Cl.:
C01B 33/037 (2006.01)
C01B 33/02 (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)
C30B 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08867613 .5**
96 Fecha de presentación: **24.12.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2231518**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.09.2010**

54 Título: **INSTALACIÓN DE PURIFICACIÓN DE UN MATERIAL SEMICONDUCTOR CON ANTORCHA DE PLASMA.**

30 Prioridad:
27.12.2007 FR 0760405

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.12.2011

73 Titular/es:
EFD Induction SA
20, avenue de Grenoble
38170 Seyssinet Pariset, FR;
Commissariat à l'Énergie Atomique et aux
Énergies Alternatives;
Centre National de la Recherche Scientifique y
FERROPEM

72 Inventor/es:
RIVAT, Pascal;
FLAHAUT, Emmanuel;
TRASSY, Christian;
COCCO, François y
GROSSIER, Etienne

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 370 135 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

Instalación de purificación de un material semiconductor con antorcha de plasma.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una instalación de purificación de un material semiconductor, en particular la purificación de silicio para constituir células de producción de energía eléctrica por efecto fotovoltaico.

10 Descripción de la técnica anterior

Actualmente, el silicio destinado a las técnicas fotovoltaicas está esencialmente constituido por los desechos de la industria microelectrónica, ya que el silicio utilizado para aplicaciones fotovoltaicas puede contener una proporción de impurezas (del orden de 10^{-6}) menos crítica que el nivel de impurezas (10^{-9}) generalmente requerido en microelectrónica.

Sería deseable disponer de otra fuente de silicio para producir silicio adaptado a los productos fotovoltaicos. En particular, los desechos de la industria microeléctrica tienden a resultar insuficientes para satisfacer las necesidades de las técnicas fotovoltaicas.

Actualmente, se busca afinar el silicio fabricado para aplicaciones metalúrgicas para obtener silicio con una pureza adaptada a las técnicas fotovoltaicas. El silicio utilizado en metalurgia puede contener varios porcentajes de impurezas tales como hierro, titanio, boro, fósforo, etc.

Para retirar algunas de las impurezas de un material semiconductor, en particular el boro, una posibilidad consiste en fundir bloques del material semiconductor en un crisol y en purificar el material semiconductor fundido utilizando una antorcha de plasma cuya llama barre la superficie libre del baño del material semiconductor. La purificación del material semiconductor se obtiene mediante la introducción de gases reactivos en el plasma que reaccionan con impurezas presentes en el material semiconductor fundido de manera que se forman compuestos gaseosos. Los gases reactivos pueden reaccionar además con el material semiconductor para formar compuestos gaseosos, por ejemplo óxido de silicio (SiO_2 , SiO), cuando el material semiconductor es silicio. Es necesario evacuar los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor y las partículas formadas mediante condensación de esos compuestos para evitar que contaminen de nuevo el material semiconductor.

De manera general, el sistema de purificación está dispuesto en un recinto en el que se realiza una atmósfera de un gas neutro, o de una mezcla de gases neutros, por ejemplo argón o helio. Para evacuar los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor, y las partículas formadas mediante condensación de esos compuestos, una posibilidad consiste en renovar regularmente la atmósfera del recinto. Un inconveniente de un procedimiento de este tipo es que necesita cantidades importantes de gas, lo que presenta un coste elevado.

La patente FR 2 869 028 a nombre de EFD describe una instalación de fabricación de bloques de un material semiconductor, que comprende un sistema de confinamiento adaptado, durante la etapa de purificación, para delimitar, a nivel de la superficie libre del material semiconductor fundido, una parte de la atmósfera del recinto, denominada volumen de confinamiento, en la que se confinan los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor y las partículas formadas mediante condensación de esos compuestos. Entonces se realiza la evacuación de los compuestos gaseosos y de las partículas correspondientes únicamente a nivel del volumen de confinamiento. Para ello, el sistema de confinamiento puede comprender una o varias bocas de aspiración que desembocan en el volumen de confinamiento, renovándose la atmósfera en el volumen de confinamiento por gas neutro procedente del resto del recinto. Una ventaja es que sólo se contamina el volumen de confinamiento con los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor y con las partículas formadas mediante condensación de esos compuestos, y que sólo debe renovarse regularmente en el recinto una pequeña cantidad del gas neutro, o de la mezcla de gases neutros.

Un inconveniente de una instalación de este tipo es que la atmósfera en el volumen de confinamiento está muy cargada en compuestos gaseosos que se condensan en partículas, cuyo diámetro puede variar de algunos micrómetros a algunos milímetros, y que pueden permanecer en suspensión en el volumen de confinamiento o depositarse sobre las paredes del sistema de confinamiento. La formación de partículas en el volumen de confinamiento es tanto más importante cuanto que la diferencia entre la temperatura de las paredes internas del sistema de confinamiento y la temperatura de condensación de los compuestos gaseosos es elevada. Pueden alcanzarse densidades de partículas importantes en el volumen de confinamiento. Con tales densidades, resulta difícil garantizar una aspiración conveniente de los compuestos gaseosos y de las partículas presentes en el volumen de confinamiento al tiempo que se reduce lo más posible la renovación del volumen de confinamiento con gas neutro, o con mezcla de gases neutros.

La condensación de los compuestos gaseosos y/o la deposición de las partículas en suspensión sobre las paredes del sistema de confinamiento pueden conducir a la obturación parcial o completa de las bocas de aspiración del

sistema de confinamiento. Entonces es necesario limpiar con frecuencia el sistema de confinamiento, lo que presenta un coste elevado, sobre todo si el sistema de confinamiento debe desmontarse para limpiarse. También se hace referencia a los documentos JP-A-20010109594 y JP-A- 2007314403.

5 **Sumario de la invención**

10 La presente invención se refiere a una instalación de purificación de un material semiconductor, en particular silicio, que comprende una antorcha de plasma y un sistema de confinamiento de los compuestos gaseosos y de las partículas en suspensión procedentes de la purificación del material semiconductor, en la que se reduce la condensación de los compuestos gaseosos y/o la deposición de partículas sobre las paredes del sistema de confinamiento, susceptibles de degradar el funcionamiento de la instalación.

15 Según otro objetivo, la instalación presenta una estructura particularmente sencilla y presenta unas dimensiones reducidas.

Según otro objetivo, la instalación permite, además, la limpieza en continuo del sistema de aspiración de los compuestos gaseosos y de las partículas presentes en el volumen de confinamiento.

20 Para alcanzar la totalidad o una parte de esos objetivos así como otros, un aspecto de la presente invención prevé una instalación de purificación de un material semiconductor que comprende al menos un recinto que contiene una atmósfera de al menos un gas neutro. La instalación comprende en el recinto un crisol destinado a contener el material semiconductor en estado fundido; una antorcha de plasma destinada a eliminar impurezas del material semiconductor fundido en el crisol; y un sistema de confinamiento destinado a delimitar un volumen de confinamiento entre el crisol y la antorcha de plasma, comprendiendo el sistema de confinamiento un sistema de evacuación de compuestos gaseosos y/o de partículas procedentes de la purificación de silicio fundido. El sistema de evacuación comprende al menos una abertura de aspiración que presenta una porción cilíndrica que se prolonga mediante una porción ensanchada que desemboca en el volumen de confinamiento.

25 Según un ejemplo de realización, la instalación comprende un sistema de limpieza de la abertura de aspiración adaptado para realizar una operación de limpieza de la abertura durante el funcionamiento de la antorcha de plasma.

30 Según un ejemplo de realización, el sistema de confinamiento comprende una primera porción anular en la periferia del volumen de confinamiento, que comprende una pared lateral interna, desembocando la porción ensanchada a nivel de la pared lateral interna.

35 Según un ejemplo de realización, la instalación comprende un tubo hueco que prolonga la abertura en el lado opuesto a la porción ensanchada, siendo la longitud del tubo superior al diámetro de la porción anular.

40 Según un ejemplo de realización, la antorcha de plasma está orientada según una primera dirección, siendo el tubo rectilíneo y extendiéndose según una segunda dirección inclinada con respecto a la primera dirección en un ángulo comprendido entre 20° y 90°.

45 Según un ejemplo de realización, el recinto comprende una cubierta, presentando la primera porción anular una cara en el lado opuesto a la cubierta, comprendiendo la instalación garras distribuidas en la periferia externa de la primera porción anular, estando cada garra fijada a dicha cara y a la cubierta.

50 Según un ejemplo de realización, el sistema de confinamiento comprende, además, una segunda porción anular de un primer material que rodea a la antorcha de plasma; y una tercera porción anular de un segundo material diferente del primer material, que rodea a la segunda porción anular y que comprende una pared destinada a enfrentarse al material semiconductor, rodeando la primera porción anular a la tercera porción anular.

55 Según un ejemplo de realización, la tercera porción anular está constituida por al menos dos sectores conectados uno al otro.

Según un ejemplo de realización, la porción ensanchada es tangente al plano que contiene la pared de la tercera porción anular.

60 Según un ejemplo de realización, la porción ensanchada es en todas partes tangente a la pared interna de la primera porción anular excepto por las partes más próxima y alejada de la pared de la tercera porción anular.

Breve descripción de los dibujos

65 Estos objetos, características y ventajas, así como otros, se describirán con detalle en la siguiente descripción de un modo de realización particular realizada a modo no limitativo en relación con las figuras adjuntas en las que:

la figura 1 es una vista frontal con sección parcial de un ejemplo de realización de una instalación de purificación de un material semiconductor según la invención;

la figura 2 es una vista ampliada de una parte de la sección de la figura 1;

las figuras 3 y 4 son respectivamente una vista desde abajo y una sección frontal de un elemento del sistema de confinamiento de la instalación de purificación de la figura 1;

las figuras 5, 6 y 7 son vistas de detalle en sección y en perspectiva del elemento de la figura 3;

la figura 8 es una vista en perspectiva explosionada de otros elementos del sistema de confinamiento de la instalación de la figura 1; y

la figura 9 es una sección frontal de los elementos de la figura 8.

Descripción detallada

Elementos iguales se designan con referencias iguales en las diferentes figuras. Por motivos de claridad, sólo se han representado en las diferentes figuras los elementos de la instalación que son necesarios para la comprensión de la invención. A continuación en la descripción, los calificativos "inferior", "superior", "hacia arriba" y "hacia abajo" se utilizan en relación con un eje D, considerado como vertical. No obstante, resulta evidente que el eje D puede estar ligeramente inclinado con respecto a la vertical.

Ahora va a describirse un ejemplo de instalación de purificación de un material semiconductor para la purificación de silicio, en particular para la obtención de bloques de silicio que presentan un grado de pureza suficiente para una utilización directa para la realización de productos fotovoltaicos y/o la obtención de bloques de silicio que presentan un grado de pureza inferior al nivel requerido para una utilización directa para la realización de productos fotovoltaicos y destinados a tratarse posteriormente para presentar un grado de pureza suficiente para las técnicas fotovoltaicas.

La figura 1 representa algunos elementos de un ejemplo de realización de una instalación 10 de fabricación de bloques de silicio. En la parte izquierda de la figura 1, se representa la instalación 10 en una vista frontal y en la parte derecha de la figura 1, se representa la instalación 10 en sección según un plano que comprende el eje D. La figura 2 es una sección en detalle de la instalación 10. La instalación comprende un recinto que comprende, por ejemplo, una pared lateral, no representada, cerrada en su extremo superior por una cubierta 12. Puede preverse una abertura, no representada, a través de la pared lateral del recinto y permitir comunicar el volumen interno del recinto con el exterior. La instalación puede comprender una puerta estanca a nivel de la abertura para aislar herméticamente el volumen interno del recinto. Según una variante, el recinto puede comunicarse con un recinto secundario que desempeña por ejemplo el papel de una esclusa de entrada/salida para la introducción o la retirada de objetos en la instalación.

La cubierta 12 está constituida por varias piezas con simetría de revolución alrededor del eje D. Según el presente ejemplo de realización, la cubierta 12 comprende una porción anular externa 14 y una porción anular interna 16 conectadas entre sí por dos paredes troncocónicas 18, 19 paralelas. La porción anular interna 16 está en una posición inferior según el eje D con respecto a la porción anular externa 14. La porción anular interna 16 define una abertura central 20. La abertura 20 está parcialmente oculta por una placa anular 22 que recubre parcialmente la porción anular interna 16, estando dispuesta una junta 24 de estanqueidad entre la placa 22 y la porción anular interna 16. La placa anular 22 se prolonga mediante una porción cilíndrica 26 de eje D, que se extiende hacia arriba y delimita una abertura 28.

Se mantiene una atmósfera de un gas neutro, o de una mezcla de gases neutros, por ejemplo argón, de manera ventajosa a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica, en funcionamiento, en el recinto para evitar la penetración de oxígeno en el recinto. La instalación 10 comprende un sistema, no representado, de renovación de la atmósfera en el recinto.

Un crisol 30 está dispuesto en el recinto. Se trata, por ejemplo, de un crisol a base de sílice o de grafito. El crisol 30 puede ser de base circular o rectangular. Se trata, por ejemplo, de un crisol del tipo crisol caliente o crisol frío, constituido, por ejemplo, por un crisol a base de grafito mezclado con arcilla o a base de carburo de silicio dotado de un contracrisol interior a base de sílice. Según otro ejemplo, se trata de un crisol de cuarzo revestido en el interior con nitruro de silicio. También puede tratarse del crisol descrito en la solicitud de patente US 2006/0144326 presentada a nombre de Appolon, Solar, de Cyberstar y de EFD. A continuación en la descripción, se considera un crisol 30 cilíndrico cuyo diámetro externo puede alcanzar varias decenas o incluso una centena de centímetros.

La instalación 10 puede comprender un sistema de desplazamiento, no representado, del crisol 30 en el recinto. A modo de ejemplo, el sistema de desplazamiento puede corresponder a un elevador constituido por un plato sobre el que se dispone el crisol 30 y susceptible de desplazarse en el recinto según la dirección vertical por medio de un

sistema de arrastre. El elevador puede controlarse de manera automática, por ejemplo mediante un programa de control previamente memorizado. Según una variante, el sistema de desplazamiento puede corresponder a un brazo robotizado.

5 La instalación 10 puede comprender un sistema de calentamiento, no representado, del crisol 30 adaptado para fundir trozos de silicio dispuestos en el crisol 30. Se trata, por ejemplo, de un sistema de calentamiento que comprende una bobina de inducción lateral que rodea al crisol 30.

10 Una antorcha de plasma 40 inductivo, no representada en detalle, está dispuesta en la vertical del crisol 30. La antorcha de plasma 40 inductivo está asociada con un inyector de gases reactivos (no representado) tales como hidrógeno, oxígeno, cloro, nitrógeno, etc. La antorcha de plasma 40 inductivo comprende una boquilla 42 cilíndrica, de eje D, que se extiende en la abertura 28 delimitada por la pared cilíndrica 26 y se proyecta hacia abajo más allá de la abertura 28, en la abertura 20 delimitada por la pared anular interna 16.

15 La instalación 10 comprende un sistema de alimentación, no representado, del crisol 30 con trozos de silicio metalúrgico, por ejemplo en forma de gránulos. Puede tratarse de una tolva escamoteable. La referencia 44 designa el baño de silicio contenido en el crisol 30 y la referencia 46 designa la superficie superior libre del baño de silicio 44.

20 El recinto comprende un sistema de confinamiento 50, en el interior del recinto, que está compuesto por una pantalla 52 de protección y por una corona de aspiración 54. La pantalla 52 de protección comprende una parte anular interna 56, denominada elemento de inserción, de eje D y que rodea el extremo de la boquilla 42 de la antorcha de plasma 40, y una parte anular externa 58, denominada deflector, de eje D y que rodea el elemento de inserción 56. El deflector 58 comprende una cara sustancialmente plana 60, perpendicular al eje D, y opuesta a la superficie libre 46 del baño de silicio 44 contenido en el crisol 30. El deflector 58 está conectado a la porción anular interna 16 de la cubierta 12 mediante tornillos 62 tal como se describirá con más detalle a continuación, representándose un único tornillo 62 en las figuras 1 y 2. La corona de aspiración 54 comprende un cuerpo anular 64 que comprende una cara inferior plana 65 y una pared lateral interior 66 cilíndrica de eje D, siendo el diámetro de la pared 66 ligeramente superior al diámetro externo del crisol 30. El cuerpo anular 64 comprende, en la parte superior, un reborde 68 que se extiende hacia el eje D recubriendo parcialmente el deflector 58. La corona de aspiración 54, el deflector 58, el elemento de inserción 56 y el crisol 30 definen un volumen de confinamiento 69 en la parte superior del crisol 30 cuando el crisol 30 está en la proximidad de la corona de aspiración 54. A modo de ejemplo, la altura según el eje D de la corona de aspiración 54 es de varios centímetros.

35 El cuerpo 64 de la corona de aspiración 54 está atravesada por aberturas 70, representándose una única abertura 70 en las figuras 1 y 2. Cada abertura 70 comprende una porción central cilíndrica 72, de eje D', que se prolonga en un lado por una porción cilíndrica 74 de mayor diámetro, de eje D', y en el lado opuesto por una porción ensanchada 76. La porción cilíndrica 74 está conectada a la porción cilíndrica 72 mediante un resalte 78 y desemboca a nivel del borde superior externo del cuerpo 64. La porción ensanchada 76 desemboca en la pared lateral interna 66 del cuerpo 64 y es sustancialmente tangente al borde inferior de la pared lateral interna 66.

40 La instalación 10 comprende, para cada abertura 70, un tubo de aspiración 80. En el presente ejemplo de realización, la instalación comprende dos aberturas 70 en la corona de aspiración 54 y dos tubos de aspiración 80 asociados. Cada tubo de aspiración 80 comprende una primera porción tubular 82 cuyo diámetro exterior corresponde sustancialmente al diámetro de la porción cilíndrica 74 y que se prolonga mediante una segunda porción tubular 84 de diámetro exterior más grande. La primera porción tubular 82 penetra en la porción cilíndrica 74 de la abertura 70 correspondiente y hace tope contra el resalte 78. El tubo 80 es hueco, estando atravesadas la primera y segunda porción tubular 82, 84 por una abertura cilíndrica 86, de eje D', cuyo diámetro corresponde al diámetro de la porción cilíndrica 72 de la abertura 70. La porción anular externa 14 de la cubierta 12 comprende aberturas 88 que permiten el paso de los tubos 80. Una pared 89 envuelve el tubo 80 en el lado de la cubierta 12 opuesto al crisol 30. Los extremos de los tubos de aspiración 80 opuestos a la corona de aspiración 54 están conectados a un sistema de bombeo, no representado. Cada tubo de aspiración 80 presenta una longitud superior a un umbral dado, y al menos superior al diámetro de la corona de aspiración 54, para obtener un gradiente de temperatura suficiente de los gases aspirados entre los dos extremos del tubo 80. A modo de ejemplo, los tubos 80 son de grafito, de un material compuesto de tipo carbono-carbono, o de acero inoxidable macizo.

55 La corona de aspiración 54 se une a la cubierta 12 mediante garras 90. Cada garra 90 comprende un primer extremo atornillado en la corona de aspiración 54 y un segundo extremo atornillado en la porción anular exterior 14 de la cubierta 12 mediante un tornillo 92. Más precisamente, en el presente ejemplo de realización, cada garra 90 comprende una porción central plana 94 que se extiende en paralelo al eje D y se prolonga en los extremos mediante porciones de extremo inferior y superior 96, 98 que se extienden de manera sustancialmente perpendicular al eje D. La porción de extremo inferior 96 se extiende bajo la corona de aspiración 54 y se fija a la misma mediante un tornillo, no visible en las figuras 1 y 2, y la porción de extremo superior 98 se extiende de manera sustancialmente paralela a la porción anular exterior 14 de la cubierta 12 a la que se atornilla mediante el tornillo 92 correspondiente.

65 Un ejemplo de procedimiento de purificación consiste en alimentar el crisol 30 con trozos de silicio, pudiendo estar el crisol 30, para ello, alejado de la corona de aspiración 54 y en fundir los trozos de silicio en el crisol 30 mediante el

sistema de calentamiento. Entonces se desplaza el crisol 30 hasta llegar a la proximidad de la corona de aspiración 54, siendo el borde superior del crisol 30, por ejemplo, sustancialmente tangente a la cara inferior 65 de la corona de aspiración 54. El crisol 30, la corona de aspiración 54, el deflector 58 y el elemento de inserción 56 definen entonces el volumen de confinamiento 69 por encima de la superficie libre 46 del baño de silicio 44. Entonces se activa la antorcha de plasma 40 para purificar el silicio fundido. Los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del silicio, y las partículas formadas mediante condensación de esos compuestos, se aspiran mediante las aberturas 70 de la corona de aspiración 54, renovándose la atmósfera mediante gas neutro procedente del resto del recinto y que penetra, por ejemplo, por el intersticio 100 que separa el crisol 30 de la corona de aspiración 54. La aspiración de gas en el volumen de confinamiento crea una ligera depresión en el mismo, lo que limita los escapes de compuestos gaseosos procedentes de la purificación de silicio, y de partículas formadas mediante condensación de esos compuestos, fuera del volumen de confinamiento 69 en el resto del recinto. Según una variante, la fusión de los trozos de silicio en el crisol 30 puede realizarse directamente mediante la antorcha de plasma 40. Según otra variante, las fases de alimentación con trozos de silicio y de fusión del silicio se realizan mientras que el crisol 30 se mantiene en una posición fija en la proximidad de la corona de aspiración 54, tal como se representa en la figura 1.

La figura 3 es una vista desde abajo esquemática de un ejemplo de realización de la corona de aspiración 54. La figura 4 es una sección de la figura 3 según la línea A-A y las figuras 5, 6 y 7 son respectivamente una sección según un plano que contiene los ejes D y D', una sección según un plano perpendicular al eje D y una vista en perspectiva ampliadas de la corona de aspiración 54 a nivel de una de las aberturas 70. Tal como aparece en la figura 3, la corona de aspiración 54 comprende una pared lateral externa 102 cuya forma es compleja y responde a limitaciones de las dimensiones, de la resistencia mecánica de la corona de aspiración 54, etc. En el presente ejemplo de realización, el cuerpo 54 comprende únicamente dos aberturas de aspiración 70 dispuestas de manera diametralmente opuesta. No obstante, resulta evidente que el cuerpo 54 puede comprender más de dos aberturas de aspiración. A modo de ejemplo, la corona de aspiración 54 es de grafito o de un material compuesto de tipo carbono-carbono, o de acero inoxidable macizo.

La corona de aspiración 54 comprende huecos 104, o muescas, en su cara inferior 65 que desembocan en la pared lateral externa 102. Cada hueco 104 forma un alojamiento destinado a recibir la porción inferior 96 de una de las garras 90. Una abertura 106, que se extiende en paralelo al eje D, atraviesa la corona de aspiración 54 en todo su espesor y desemboca a nivel de cada hueco 104. El tornillo de fijación de la porción inferior 96 de la garra 90 se dispone en la abertura 106, agarrándose la porción inferior 96 de la garra 90 de manera intercalada entre la cabeza del tornillo y la corona de aspiración 54. El extremo libre del tornillo supera la abertura 106 en el lado de la corona de aspiración 54 opuesto a la porción inferior 96 de la garra 90 y se mantiene en este extremo sobresaliendo por un perno. La profundidad de cada hueco 104 según el eje D es superior al espesor de la porción inferior 96 de la garra 90 correspondiente de manera que la garra 90 no se proyecta, según el eje D, sobresaliendo desde la cara inferior 65 de la corona de aspiración 54. Esto permite reducir las dimensiones del conjunto de la estructura constituida por la corona de aspiración 54 y por las garras 90.

El solicitante ha demostrado que los riesgos más elevados de condensación en las paredes del sistema de confinamiento 50 de compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor, o de deposición en las paredes del sistema de confinamiento 50 de partículas en suspensión formadas mediante condensación de esos compuestos gaseosos, existen a nivel del extremo de cada abertura 70 que desemboca en el volumen de confinamiento 69. Para reducir esos riesgos, el extremo de desembocadura de cada abertura 70 corresponde a una porción ensanchada 76. La porción ensanchada 76 puede presentar una forma relativamente compleja con radio de curvatura variable. A modo de ejemplo, en el plano de corte de la figura 5, la porción inferior 110 de la porción ensanchada 76 es rectilínea, sustancialmente en la prolongación de la abertura cilíndrica 72 y no es tangente a la pared lateral 66 (el radio de curvatura a nivel de la conexión entre la pared lateral 66 y la porción inferior 110 es sustancialmente nulo). En el plano de corte de la figura 5, la porción superior 112 de la porción ensanchada 76 presenta un radio de curvatura comprendido entre 1/3 y 4/3 del diámetro de la abertura cilíndrica 72, es tangente a la abertura cilíndrica 72 y no es tangente a la pared 66 (el radio de curvatura a nivel de la conexión entre la pared lateral 66 y la porción superior 112 es sustancialmente nulo). Más precisamente, en el plano de la figura 5, la porción superior 112 de la porción ensanchada 76 es tangente, en el extremo que desemboca en la pared 66, a la cara 60 del deflector 58. En el plano de la figura 6, perpendicular al eje D y que corta la porción ensanchada 76 de la abertura 70 sustancialmente a media altura, las porciones laterales 113, 114 de la porción ensanchada 76 son tangentes a la pared lateral 66 y presentan un radio de curvatura comprendido entre 1/3 y 4/3 del diámetro de la abertura cilíndrica 72. De manera general, la porción ensanchada 76 es en todas partes tangente a la pared lateral 66 salvo en la parte de extremo superior y la parte de extremo inferior en el plano de la figura 5 y presenta un radio de curvatura a nivel de la conexión con la pared lateral 66 que aumenta desde los extremos superior e inferior hasta los extremos laterales. Además, la porción ensanchada 76 es en todas partes tangente a la abertura cilíndrica 72.

En el presente ejemplo de realización, las aberturas 70 y 86 son rectilíneas y están alineadas según el eje D'. Además, los ejes D' están inclinados algunas decenas de grados con respecto al eje D, por ejemplo aproximadamente 45°. Esto facilita la limpieza de las aberturas 70, 86 mediante la utilización de un sistema de limpieza que comprende, por ejemplo, un vástago desplazado mediante accionadores hidráulicos o neumáticos y dotado de una contera adaptada para limpiar las paredes internas de las aberturas 70, 86, introduciéndose el

vástago por el extremo superior de la abertura 86 y desplazándose en las aberturas 86 y 70 hasta desembocar por la abertura 70. A modo de ejemplo, el vástago de limpieza es hueco de manera que permite el flujo de gas en las aberturas 86, 70 durante una operación de limpieza. Entonces puede realizarse una operación de limpieza durante el funcionamiento de la instalación. Entre dos operaciones de limpieza, el vástago de limpieza puede disponerse en un alojamiento distinto de las aberturas 70, 86 para no perturbar el flujo de los gases en las aberturas 70, 86. Por tanto la operación de limpieza puede realizarse ventajosamente sin necesitar el desmontaje del sistema de confinamiento 50. La utilización de aberturas 70, 86 rectilíneas permite, además, limitar las pérdidas de carga.

Las figuras 8 y 9 representan respectivamente una vista en perspectiva explosionada y una sección de la pantalla 52 de protección. En el presente ejemplo de realización, el elemento de inserción 56 corresponde a una pieza monobloque constituida por un material no conductor de la electricidad, resistente a las tensiones térmicas y químicamente inerte. Esto permite evitar cualquier fenómeno de acoplamiento con la antorcha de plasma 40 y un deterioro del elemento de inserción 56 debido a tensiones térmicas importantes debidas al funcionamiento de la antorcha de plasma 40. A modo de ejemplo, el elemento de inserción 56 puede ser de sílice, de alúmina recubierta de sílice, de grafito, etc. Según una variante, el elemento de inserción 56 puede estar constituido por varios sectores conectados unos a otros. El elemento de inserción 56 corresponde a una pieza anular atravesada por una abertura 118 delimitada por una primera pared cilíndrica 120, situada en la parte superior del elemento de inserción 56, cuyo diámetro es ligeramente superior al diámetro exterior de la boquilla 42 de la antorcha de plasma 40, prolongándose la pared cilíndrica 120 hacia abajo mediante un resalte 122 y después mediante una pared troncocónica 124 que se abre hacia abajo. La boquilla 42 de la antorcha de plasma 40 se extiende en la porción cilíndrica 120, estando colocado el extremo de la boquilla 42 a nivel de la pared troncocónica 124. El elemento de inserción 56 desempeña el papel de pantalla durante el funcionamiento de la antorcha de plasma 40 y protege al deflector 58 contra los fuertes gradientes de temperatura. Esto permite dar preferencia a otras propiedades para el material que constituye el deflector 58.

En el presente ejemplo de realización, el deflector 58 está constituido por dos sectores 58A, 58B. Los sectores 58A, 58B están constituidos por un material que presenta una buena resistencia mecánica con el tiempo a alta temperatura, y químicamente inerte con respecto al material semiconductor contenido en el crisol 30. Los sectores 58A, 58B son, por ejemplo, de grafito, de material compuesto de carbono-carbono o de sílice vítrea. Cuando se ensamblan los sectores 58A, 58B, el deflector 58 presenta la forma de un anillo plano 126 atravesado por una abertura 128 delimitada por una pared cilíndrica 130 que se prolonga, hacia abajo, mediante una pared troncocónica 132 que se abre hacia abajo. Un burlate anular 134 se proyecta desde la placa 126 en el lado del deflector 58 opuesto al crisol 30. El diámetro interior del burlate 134 es ligeramente superior al diámetro exterior del elemento de inserción 56. El diámetro de la pared cilíndrica 130 es inferior al diámetro exterior del elemento de inserción 56 de manera que la pared cilíndrica 130 y el burlate 134 delimitan un resalte 135. El elemento de inserción 56 descansa sobre el resalte 135, garantizando el burlate 134 el centrado del elemento de inserción 56. La separación del deflector 58 en sectores distintos facilita el montaje del deflector 58. Además, cuando el deflector 58 está constituido por un material eléctricamente conductor, los sectores 58A, 58B pueden aislarse eléctricamente unos de otros para evitar la aparición de corrientes en el deflector 58. El deflector 58 está atravesado por aberturas 140 (representándose una única abertura 140 en la figura 9) constituidas cada una por dos porciones cilíndricas 142, 144 de diámetros diferentes conectadas por un resalte 146, estando orientada la porción de mayor diámetro en el lado del baño de silicio 44. Un tornillo 148, que comprende un vástago fileteado 150 y una cabeza 152, se dispone en la abertura 140, estando orientado el vástago 150 hacia arriba de manera que la cabeza 152 haga tope contra el resalte 146. El vástago fileteado 150 se atornilla en una abertura fileteada prevista a nivel de la porción anular interna 16 de la cubierta 12. El deflector 58 descansa por tanto sobre las cabezas 152 de los tornillos 150.

Preferentemente, el material que constituye el deflector 58 es poco conductor térmicamente. Esto facilita la elevación de la temperatura de la cara 60 del deflector 58 opuesta a la superficie libre 46 del baño de silicio 44 durante la etapa de purificación. A modo de ejemplo, cuando el deflector 58 es de grafito, para una temperatura del baño de silicio 44 del orden de 1500°C, la cara 60 puede alcanzar temperaturas del orden de 1200°C a 1300°C. Cuando el deflector 58 es de material compuesto, la cara 60 del deflector 58 puede alcanzar temperaturas más elevadas. Al estar la cara 60 del deflector 58 en contacto con los compuestos gaseosos procedentes de la purificación del material semiconductor, el hecho de que esté a temperaturas elevadas permite reducir los riesgos de condensación de los compuestos gaseosos en la cara 60 y hace más difícil el agarre de partículas en suspensión en esta pared.

Se han descrito modos de realización particulares de la presente invención. Diversas variantes y modificaciones resultarán evidentes para el experto en la materia. En particular, el deflector 58, o al menos una parte del mismo, y la corona de aspiración 54 pueden corresponder a una misma pieza.

REIVINDICACIONES

1. Instalación (10) de purificación de un material semiconductor (44) que comprende al menos un recinto que contiene una atmósfera de al menos un gas neutro, y que comprende, en el recinto:
- 5 un crisol (30) destinado a contener el material semiconductor en estado fundido;
- una antorcha de plasma (40) destinada a eliminar impurezas del material semiconductor fundido en el crisol; y
- 10 un sistema de confinamiento (50) destinado a delimitar un volumen de confinamiento (69) entre el crisol y la antorcha de plasma, comprendiendo el sistema de confinamiento un sistema de evacuación (54) de compuestos gaseosos y/o de partículas procedentes de la purificación del silicio fundido,
- 15 caracterizada porque el sistema de evacuación comprende al menos una abertura de aspiración (70) que presenta una porción cilíndrica (72) que se prolonga mediante una porción ensanchada (76) que desemboca en el volumen de confinamiento.
2. Instalación de purificación según la reivindicación 1, que comprende un sistema de limpieza de la abertura de aspiración (70) adaptado para realizar una operación de limpieza de la abertura durante el funcionamiento de la antorcha de plasma (40).
- 20 3. Instalación de purificación según la reivindicación 1 ó 2, en la que el sistema de confinamiento (50) comprende una primera porción anular (54) en la periferia del volumen de confinamiento (69) que comprende una pared lateral interna (66), desembocando la porción ensanchada (76) a nivel de la pared lateral interna.
- 25 4. Instalación de purificación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un tubo (80) hueco que prolonga la abertura (70) en el lado opuesto a la porción ensanchada (76), siendo la longitud del tubo superior al diámetro de la porción anular.
- 30 5. Instalación de purificación según la reivindicación 4, en la que la antorcha de plasma (40) está orientada según una primera dirección (D), siendo el tubo (80) rectilíneo y extendiéndose según una segunda dirección (D') inclinada con respecto a la primera dirección en un ángulo comprendido entre 20° y 90°.
- 35 6. Instalación de purificación según la reivindicación 3, en la que el recinto comprende una cubierta (12), presentando la primera porción anular (54) una cara (65) en el lado opuesto a la cubierta, comprendiendo la instalación unas garras (90) distribuidas en la periferia externa de la primera porción anular (54), estando cada garra fijada a dicha cara y a la cubierta.
- 40 7. Instalación de purificación según la reivindicación 3, en la que el sistema de confinamiento (50) comprende además:
- una segunda porción anular (56) de un primer material que rodea a la antorcha de plasma (40); y
- 45 una tercera porción anular (58) de un segundo material diferente del primer material, que rodea a la segunda porción anular y que comprende una pared (60) destinada a estar enfrentada al material semiconductor (44), rodeando la primera porción anular (54) la tercera porción anular.
- 50 8. Instalación de purificación según la reivindicación 7, en la que la tercera porción anular (58) está constituida por al menos dos sectores (58A, 58B) conectados uno al otro.
9. Instalación de purificación según la reivindicación 7 u 8, en la que la porción ensanchada (76) es tangente al plano que contiene la pared (60) de la tercera porción anular (58).
- 55 10. Instalación de purificación según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en la que la porción ensanchada (76) es en todas partes tangente a la pared interna (66) de la primera porción anular (54) excepto por la parte más próxima y por la parte más alejada de la pared (60) de la tercera porción anular (58).

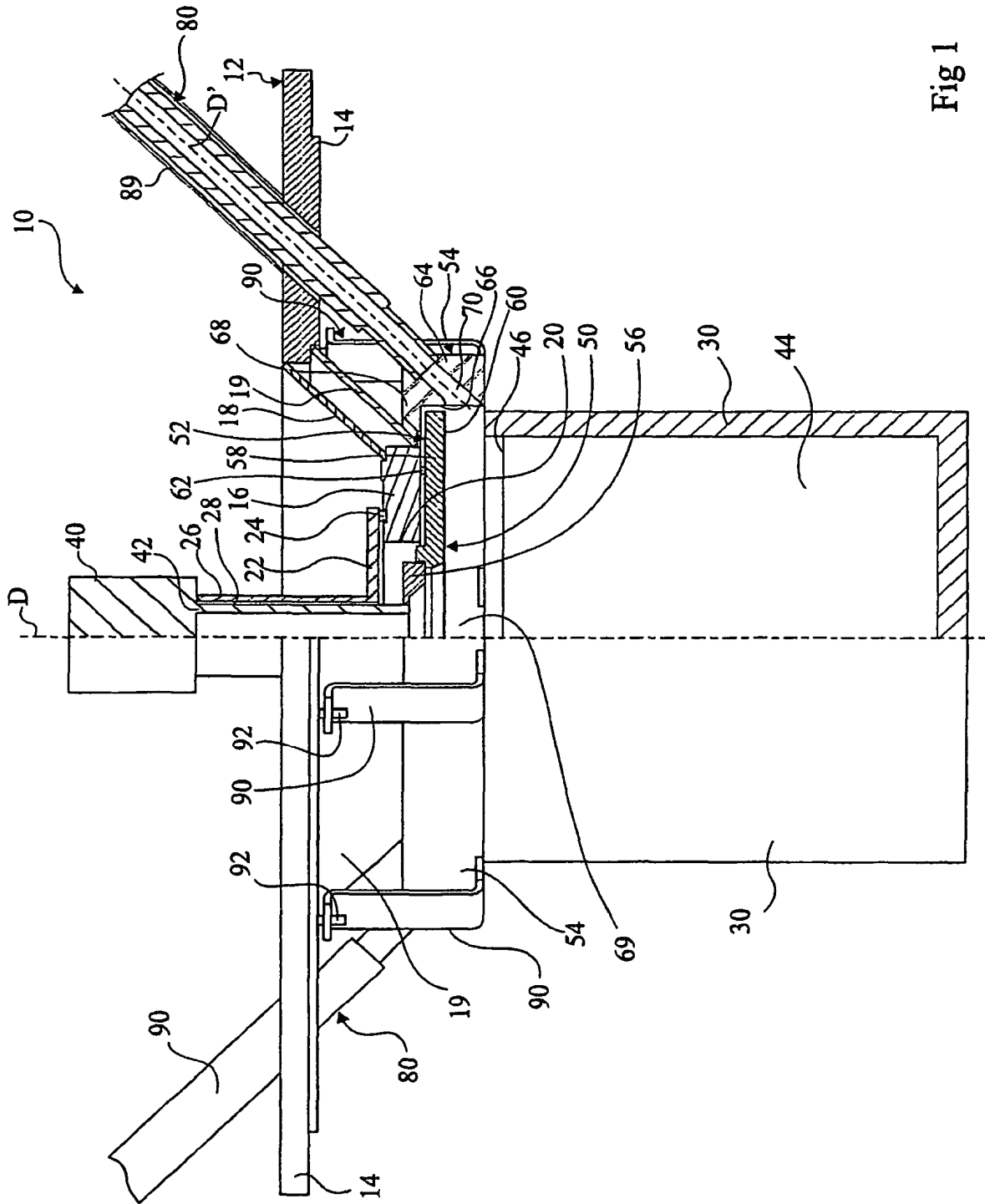


Fig 1

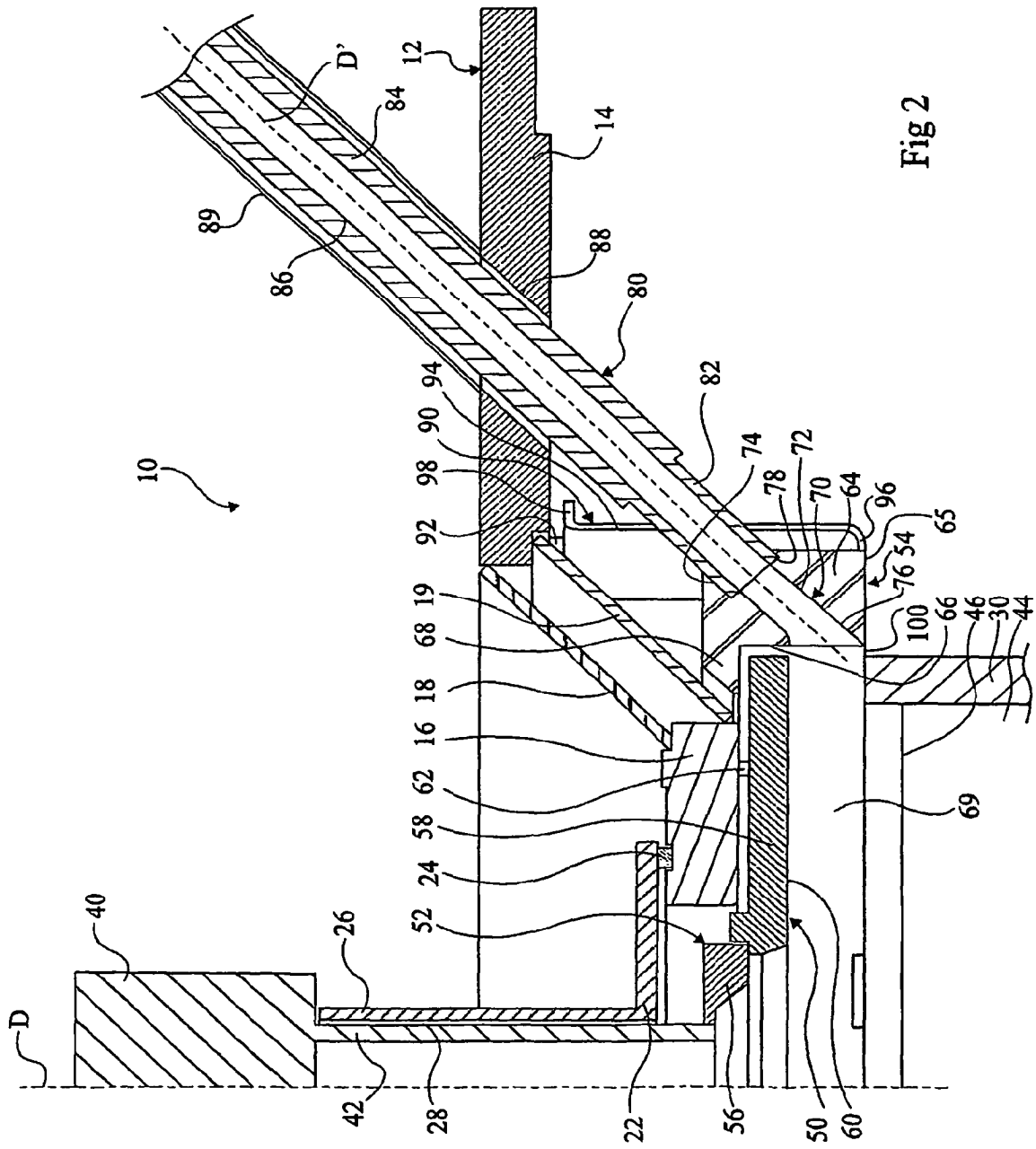


Fig 2

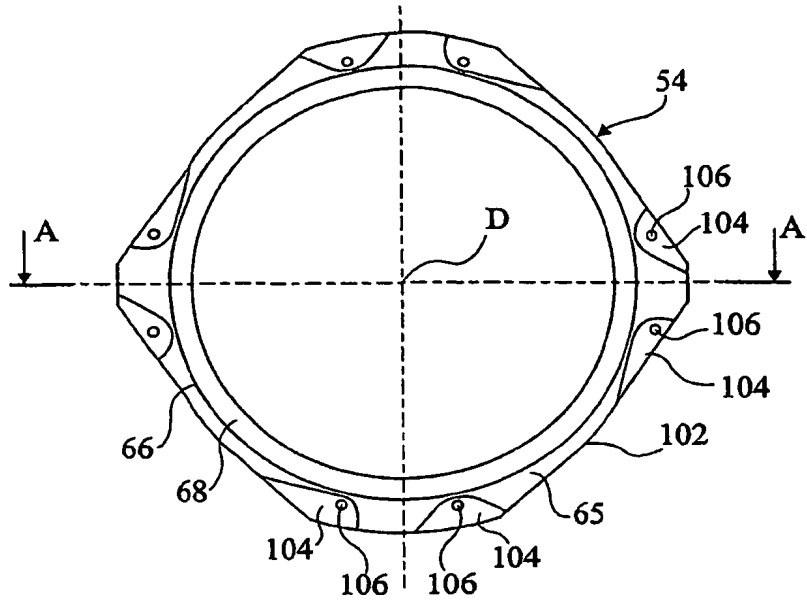


Fig 3

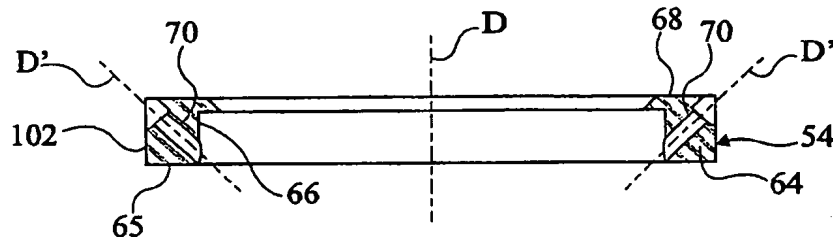


Fig 4

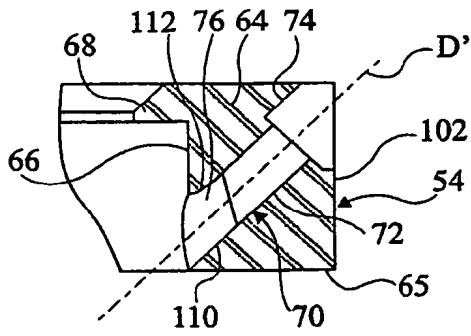


Fig 5

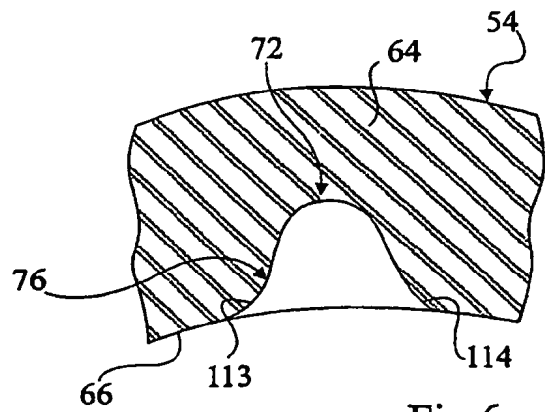


Fig 6

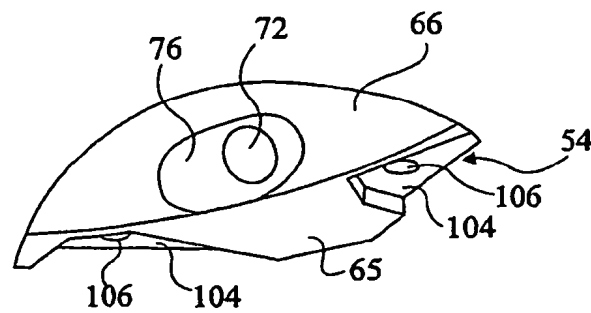


Fig 7

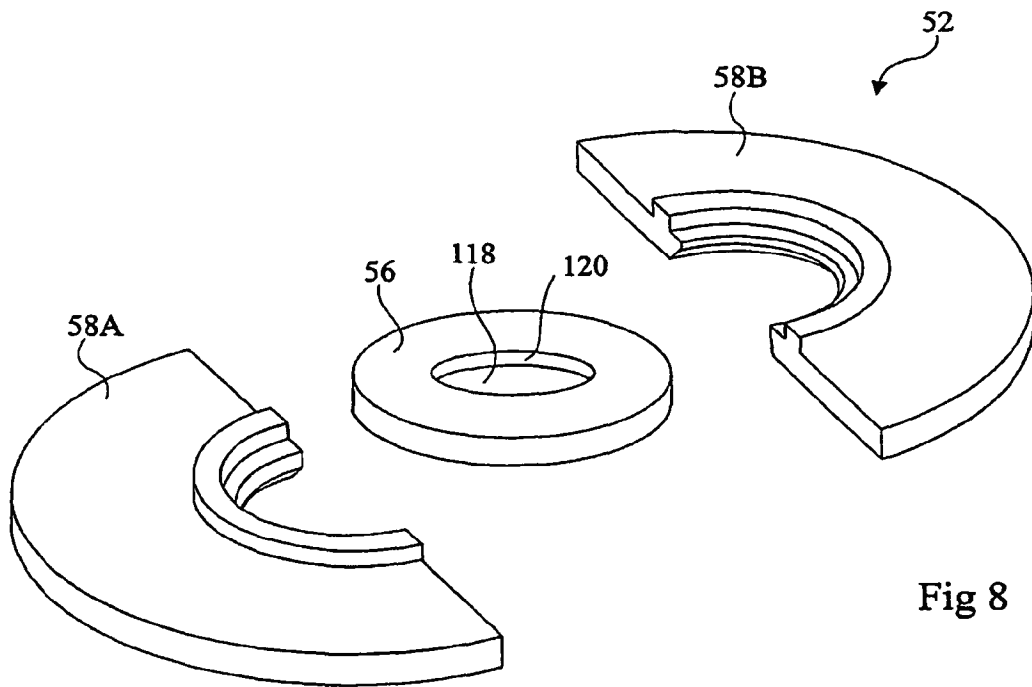


Fig 8

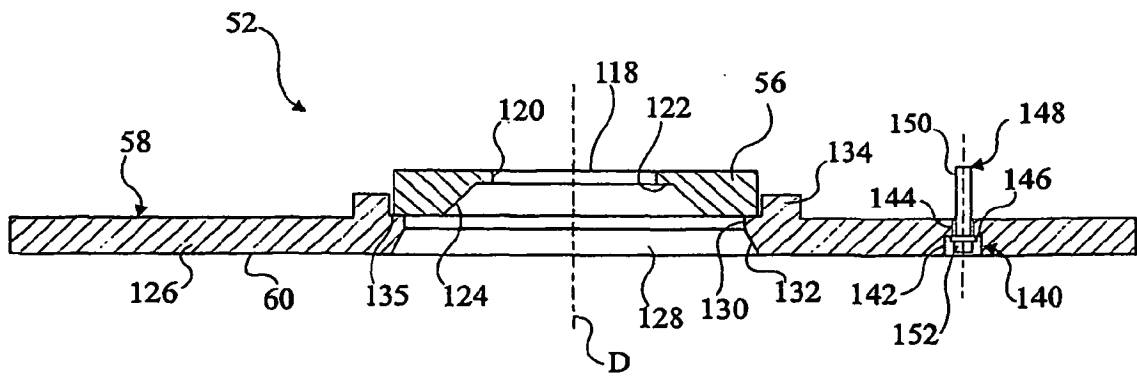


Fig 9