

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 206**

51 Int. Cl.:

G01T 1/29 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2011 E 11191497 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2463686**

54 Título: **Dispositivo y método para analizar la densidad de un haz de partículas cargadas**

30 Prioridad:

07.12.2010 FR 1060194

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

17.07.2018

73 Titular/es:

**TECHMETA ENGINEERING SAS (100.0%)
117 Allée des Parcs, Parc Technologique de Lyon
69800 Saint-Priest, FR**

72 Inventor/es:

OVING, PETER JOHAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 676 206 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

Dispositivo y método para analizar la densidad de un haz de partículas cargadas

5 La presente invención se refiere al campo de los aparatos de medición, particularmente aparatos para medir el diámetro y la forma de un haz de iones o de electrones, en particular en herramientas tales como un implantador de iones o un aparato para soldadura de haz de electrones.

Las máquinas de haz de electrones han encontrado diversas aplicaciones, en particular en el campo de la soldadura, la modificación de superficies, la generación de rayos X, la litografía con haz de electrones, el microscopio electrónico y en muchas otras áreas. Con estas aplicaciones surgió la necesidad de un control preciso del enfoque y la alineación del haz, así como una necesidad particular de determinar la distribución de energía en un haz de electrones.

10 La producción de haces de electrones reproducibles se puede realizar independientemente de la máquina o del operador si la distribución de energía del haz se puede controlar y conocer con precisión. Los métodos convencionales para el ajuste de la distribución de energía se basan en los conocimientos de un operador de soldadura especializado que ajusta visualmente el haz a un objetivo secundario. El operador observa la intensidad de la radiación de la luz liberada en lugar de una medición directa de la distribución de energía del haz. Este método antiguo es inherentemente impreciso, ya que requiere un operador experimentado y un juicio preciso para lograr el enfoque correcto del haz. Está claro que cada operador puede ajustar los parámetros de manera diferente dependiendo de la interpretación que cada uno pueda hacer de lo que ve.

20 La densidad de corriente en cuestión está influenciada por muchas variables, como la forma del cátodo, la configuración del enfoque, la distancia de lanzamiento, el valor actual, el voltaje de aceleración, el nivel de vacío y la alineación de electrodos. Una variación de estos parámetros puede causar una variación en la distribución de la densidad de corriente del haz, que puede tener un efecto significativo en la penetración de la soldadura, el ancho del cordón de soldadura y la calidad de la superficie de los objetos soldados por haz de electrones. Un dispositivo convencional es conocido a partir del documento US 4,628,209. Los métodos convencionales para ajustar el haz no son del todo satisfactorios. Se han desarrollado diversos aparatos para determinar diversas características de haces de electrones o iones, tales como la configuración del haz, el diámetro, la energía máxima, el ancho del haz, la densidad de corriente, etcétera. Entre los diferentes aparatos, la sonda de alambre giratorio, los dispositivos estenopeicos, la jaula de Faraday modificada, la jaula modificada y mejorada de Faraday, el escáner giratorio de doble disco.

30 Estos medios de diagnóstico cuantitativos tenían la intención de determinar mejor la distribución de la densidad de corriente y, por lo tanto, a través de esta para controlar mejor las condiciones del enfoque del haz. Para obtener la imagen más realista de la densidad de corriente del haz de electrones, el haz deberá, de forma ideal, encontrarse en reposo sin escanear sobre una herramienta de análisis (sin embargo, este escaneo se utiliza con las herramientas de alambre giratorio) y la jaula de Faraday modificada y mejorada).

35 La invención tiene por objeto proponer un dispositivo y un método para analizar un haz de partículas cargadas, en particular un haz de electrones o iones, que permite determinar la distribución de la densidad de corriente, por tanto de potencia, en una sección del haz. Además, la invención tiene por objetivo proponer una solución que no utilice la reconstrucción tomográfica.

40 Según un primer objeto de la invención, dicho dispositivo para el análisis de la densidad de corriente en un haz incidente de partículas cargadas se caracteriza tal y como se describe en la reivindicación 1. Según la invención el objetivo es móvil en giro alrededor del eje, y la trayectoria de cada agujero es un arco de círculo centrado en el eje. El objetivo comprende de forma ventajosa al menos un agujero de referencia, la sección del agujero de referencia que es en particular diferente, con preferencia el doble, de la sección del al menos un agujero. El objetivo comprende varios agujeros, los arcos de círculos atravesados por los agujeros están con preferencia separados radialmente de forma regular entre ellos. Los arcos de los círculos atravesados por los agujeros están radialmente más próximos en una zona intermedia y radialmente más alejados a ambos lados de dicha zona intermedia. Los agujeros pueden estar separados angularmente de forma regular entre ellos, o no.

Preferiblemente, los medios para medir la densidad de corriente de la fracción comprenden al menos una jaula de Faraday.

50 El dispositivo también puede incluir un objetivo de iniciación, preferiblemente enfriado. El dispositivo puede comprender por tanto medios para desviar el haz que se va a analizar, incidente, en la dirección del objetivo de iniciación.

55 Según un segundo objeto de la invención, un método para analizar la densidad de corriente en una sección de un haz incidente de partículas cargadas es tal como el descrito en la reivindicación 7. Para medir el perfil, se debe girar un objetivo perforado con varios agujeros. El objetivo es un objetivo giratorio alrededor de un eje perforado que comprende varios agujeros, los agujeros que están de forma preferible repartidos regularmente, radialmente y/o angularmente, con respecto al eje, los agujeros que tienen una sección idéntica entre ellos. El objetivo comprende ventajosamente un agujero de referencia que tiene una sección diferente de la de los otros agujeros, de modo que la trayectoria de

dicha referencia en la sección analizada provoca una anomalía en el perfil, de modo que se verifica que el análisis se completa asegurando que dos anomalías aparezcan en el perfil. La aparición de dos anomalías sucesivas se puede utilizar para determinar la velocidad de rotación real del objetivo durante el análisis.

El método según la invención puede comprender además etapas para:

- 5 - posicionar el haz (F), preferiblemente desenfocado, a una corriente baja y no desviado, sobre el objetivo (2), dicho objetivo (2) que es un objetivo giratorio; después
- desviar el haz hacia un objetivo (9) de iniciación; después,
- aumentar la potencia del haz hasta que alcance su potencia nominal y un equilibrio térmico de dicho haz; después,
- cuando la velocidad de rotación del objetivo (2) giratorio se estabiliza, detener la deflexión del haz; y,
- 10 - adquirir el perfil durante un tiempo dado, con referencia sustancialmente correspondiente a dos revoluciones del objetivo (2); después,
- desviar el haz nuevamente hacia el objetivo (9) de iniciación; después
- apagar el haz y detener la rotación del objetivo (2).

- 15 El método también puede comprender al menos una etapa para calcular al menos un parámetro del haz entre el ancho a media altura, el ancho a la altura $1/e^2$, la densidad de flujo de potencia máxima.

Dicho método puede usarse en un método para determinar el desgaste de un electrodo de un generador de haz de partículas cargadas.

Dicho método también se puede usar en un método para determinar la desalineación de un electrodo de un generador de haz de partículas cargadas.

- 20 Dicho método también se puede usar para determinar un enfoque óptimo del haz.

Varios modos de realización de la invención se describirán a continuación, a modo de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25 - la figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de un primer modo de realización para un dispositivo, según la invención para medir intensidades de un haz de partículas cargadas a través de una sección de este haz, el dispositivo que comprende una placa giratoria provisto de "agujeros de agujas";
- la figura 2 es una semisección parcial y esquemática del dispositivo de la figura 1, a la derecha de una jaula de Faraday, mostrándose en la a través de uno de los agujeros de la aguja;
- la figura 3 ilustra los valores de una señal medida con el dispositivo de la figura 1, durante dos revoluciones de la placa;
- 30 - la figura 4 ilustra valores, extraídos de los de la figura 3, correspondientes a una sola revolución de la placa;
- la figura 5 ilustra valores corregidos extraídos de los valores de la figura 4;
- la figura 6 es una representación de los valores de la figura 5 en función de su posición con respecto a la sección del haz;
- 35 - la figura 7 ilustra una reconstrucción espacial, tridimensional y contorneada de la distribución de la intensidad del haz según su sección, deducida de la de la figura 6;
- la figura 8 es una vista similar a la de la figura 1, de un segundo modo de realización de un dispositivo según la invención, que comprende dos jaulas de Faraday;
- las figuras 9 y 10 ilustran trayectorias a la derecha de cada una de las jaulas de Faraday del dispositivo de la figura 8;
- 40 - la figura 11 ilustra una superposición de las trayectorias de las figuras 9 y 10; y,
- la figura 12 ilustra una reconstrucción espacial a partir de mediciones realizadas con el dispositivo de la figura 8.

La figura 1 ilustra un dispositivo 1 según la invención, destinado al análisis de un haz F de partículas cargadas. En el ejemplo ilustrado, el haz F es un haz de electrones.

- 45 En el ejemplo ilustrado en las figuras 1 y 2, se supone que el haz F se lanza verticalmente de arriba hacia abajo. Por lo tanto, las posiciones relativas de los elementos del dispositivo se dan en función de esta hipótesis. Por supuesto, el

mismo dispositivo puede tomar otras posiciones, funciones de las direcciones de lanzamiento del haz que se va a analizar.

En el ejemplo ilustrado, el dispositivo 1 comprende un objetivo 2 motorizado, y un motor 3 para mover este objetivo. El dispositivo comprende además una ventana 4, a través de una abertura 6 desde la que se lanza el haz, una jaula 8 de Faraday para recibir una parte filtrada dF del haz F, y un objetivo 9 de iniciación secundario.

El objetivo 2 motorizado consiste esencialmente en una placa 2 en forma de disco. El disco 2 está montado de forma giratoria alrededor de un eje X2 de revolución. El eje X2 es sustancialmente coincidente con el eje geométrico del disco. El eje X2 está dispuesto sustancialmente de forma paralela a la dirección de lanzamiento del haz F, es decir sustancialmente vertical. El motor 3 está diseñado para impulsar el disco 2 en rotación alrededor del eje X2. El motor 3 está provisto además para una rotación del objetivo 2 a una velocidad constante durante el análisis del haz F.

La ventana 4 forma una abertura 6, por encima del objetivo 2, en las proximidades de la periferia del disco. La ventana 4 forma alrededor de la abertura 6 una protección para el objetivo 2 cuando el haz no está en posición de ser analizado, es decir cuando el haz no está dirigido verticalmente en el espacio delimitado por la abertura 6.

El objetivo se perfora con "agujeros de aguja" 7, es decir, se perfora con agujeros 7 pasantes de pequeñas dimensiones con relación al diámetro del haz F a analizar. En el ejemplo mostrado, los agujeros 7 están dispuestos regularmente, de modo que durante una rotación completa del objetivo 2, cada uno atraviesa la abertura 6 en un arco circular propio, siendo los arcos de círculos radialmente separados entre ellos, de manera regular, es decir que la distancia entre dos arcos adyacentes es constante. En el ejemplo ilustrado, las dimensiones de la abertura son tales que los arcos de círculo pueden asimilarse a segmentos de línea recta si la precisión requerida no es demasiado importante. Los agujeros también están separados angularmente de forma regular, es decir que el ángulo, con respecto al eje X2, entre dos agujeros sucesivos es constante. Preferiblemente, los agujeros se distribuyen regularmente en 360 grados alrededor del eje X2. Por lo tanto, los agujeros 7 están dispuestos según una forma de espiral. Los agujeros están dispuestos ventajosamente de modo que no más de un agujero 7 atraviese la abertura 6 simultáneamente. En particular, el tamaño de la abertura 6 se elige de modo que el haz analizado no vea más que un único agujero en rotación a la vez.

Todos los agujeros 7 son de secciones horizontales circulares y sustancialmente idénticas entre sí, excepto un orificio 7A. El orificio 7A es un agujero de referencia. Tiene dimensiones diferentes de las de los otros agujeros, de modo que proporciona una indicación de la posición relativa del objetivo 2 con respecto al haz, cada vez que este agujero 7A atraviesa la abertura 6. Por lo tanto, si la referencia 7A tiene una sección significativamente mayor que los otros agujeros 7, también recibirá una cantidad significativamente mayor de electrones. Por ejemplo, si la referencia tiene una sección de entrada el doble que la de los otros agujeros, recibirá una cantidad de electrones sustancialmente el doble de lo esperado. En el ejemplo ilustrado, las dimensiones de la referencia 7A difieren de las de los otros agujeros en que se duplican en la dirección del arco correspondiente. Preferiblemente, la referencia está dispuesta de modo que atraviesa una región central de la ventana. Se evita por tanto que atraviese una región periférica, insignificante, de baja intensidad o ausente del haz analizado.

La rotación del objetivo 2 hace posible distribuir en un área grande la energía transmitida al objetivo por el haz F durante las mediciones. Sin embargo, el material utilizado para el disco es muy ventajosamente del tipo refractario. En particular, puede estar hecho de tungsteno, molibdeno o grafito. Si es grafito, puede contener solo grafito o incluir en su superficie superior una incrustación o una proyección de un metal refractario como el tungsteno o el molibdeno. La incrustación o la proyección de un metal refractario conduce a un aumento en el número de electrones secundarios ("electrones de rebote" en la superficie), lo que reduce la carga térmica del disco, lo que permite el uso del dispositivo 1 para analizar haces F de potencias más elevadas.

Ventajosamente, el dispositivo está equipado con un colector de corriente de tipo carbón (no representado en las figuras) en contacto con el objetivo, para evacuar continuamente la corriente interceptada durante el análisis.

Tal y como se ilustra particularmente en la figura 2, el objetivo 2 está fijado en un árbol 11 del eje X2 a través de un buje 12. La temperatura del objetivo aumenta bruscamente durante las mediciones, una medición en la que absorbe una porción de la energía transmitida al mismo por el haz F. Por lo tanto, el buje 12 está diseñado ventajosamente para limitar la disipación de calor a los otros elementos del dispositivo 1. En el ejemplo ilustrado, el buje 12 comprende medios 13 de centrado y medios 14, 15 de sujeción. Los medios de sujeción comprenden una pinza 14 inferior y una pinza 15 superior, las tres montadas en el árbol 11. La pinza 14 inferior está montada para girar con el árbol 11, de modo que transmita integral y rígidamente al objetivo 2 el movimiento de rotación del árbol 11. Las pinzas 14, 15 inferior y superior se apoyan respectivamente en una cara inferior y una cara superior del objetivo a lo largo de un borde 17 interior. La pinza 15 superior está dispuesta para hacer, mediante un pinzado, el objetivo 2 fijado a la pinza 14 inferior, en rotación y en traslación.

Los medios de centrado están formados por una pieza 13 ajustada en el árbol, entre las piezas 14, 15. La pieza comprende una porción 18 anular de espesor reducido que se apoya contra el borde 16 interno del objetivo 2.

La pinza 15 superior y la pieza 13 de centrado son desmontables del árbol 11, en particular para permitir el cambio del objetivo 2.

Preferiblemente, el contacto de las pinzas y la pieza de centrado no son continuos a lo largo del borde 16 interior, de modo que esto limita la transmisión térmica. Para el mismo propósito, también se prevén a ambos lados de la zona 18 anular, entre este último y cada una de las pinzas 14, 15.

5 Tal y como se muestra particularmente en la figura 2, cuando el haz incidente F golpea el objetivo 2 en la ubicación de un agujero 7, el objetivo actúa como un filtro, de modo que solo se dispersa una parte filtrada dF del haz F a través del objetivo 2 a través del agujero 7. De arriba hacia abajo, el agujero ilustrado en la figura 2 tiene una parte cilíndrica primero, luego una parte troncocónica que se ensancha abruptamente hacia abajo. Tal disposición es particularmente ventajosa para evitar una intercepción significativa de los electrones por las paredes del agujero 7.

10 La jaula 8 de Faraday está dispuesta debajo del objetivo 2, enfrentada a la abertura 6, de modo que, cualquiera que sea el agujero 7 que atraviesa la abertura, la parte filtrada dF que se difunde siempre se absorbe por la jaula de Faraday. La jaula 8 de Faraday tiene una configuración interior en forma de perforaciones 8A cónicas de modo que los electrones quedan atrapados en ella. En el ejemplo ilustrado en la figura 8, las superficies interiores inclinadas de la jaula de Faraday permiten minimizar las pérdidas de electrones secundarias y retro-dispersadas. Por lo tanto, la jaula de Faraday está construida para recolectar toda la corriente del haz transmitida a través de los agujeros de aguja al mismo tiempo evitando al máximo la pérdida de electrones retro-dispersados o secundarios.

15 Tal y como se ilustra en la figura 1, el dispositivo 1 comprende una salida S para una señal eléctrica sustancialmente proporcional al flujo de electrones instantáneo absorbido por la jaula de Faraday.

20 En el ejemplo ilustrado, el objetivo 9 es un objetivo enfriado. Durante su iniciación, el haz se desvía allí el tiempo para estabilizarse, luego, después de la medición, en el momento de su extinción. Por lo tanto, el tiempo de exposición del objetivo giratorio se limita al tiempo requerido para las mediciones.

25 El dispositivo 1, en particular formado por el objetivo 2 motorizado, el motor 3, la ventana 4, la jaula 8 de Faraday y el objetivo 9 de encendido, constituye por lo tanto un escáner para el haz de electrones F. Se pueden proporcionar medios en el dispositivo 1 para desviar el haz incidente F hacia el objetivo de encendido. También es posible usar medios de desviación provistos en la fuente del haz F. Los medios de desviación pueden ser medios de campo magnético.

30 Aunque no se representa en las figuras, el dispositivo 1 según la invención puede comprender ventajosamente medios de adquisición para la señal procedente de la salida S y medios de procesamiento para esta señal; en particular, estos medios pueden comprender, respectivamente, un programa informático de adquisición y un programa informático de procesamiento de señal específico. Dicho dispositivo 1 puede comprender además medios de control para el motor y, si es necesario, medios de control para los medios de deflexión del haz incidente F. Preferiblemente, el conjunto de las operaciones: rotación del disco, que activa la adquisición, arranca y apaga el haz, desvía el haz, etcétera, son controladas por un autómata programable.

El dispositivo también puede comprender medios para ser desplazado a lo largo de varios ejes, de manera que se posiciona con relación al haz F.

35 Ahora se describirán etapas sucesivas del análisis del haz F con la ayuda del dispositivo ilustrado.

En un primer momento, cuando el objetivo 2 está en rotación, el haz se mantiene sin desviar y con poca potencia, hacia el objetivo 2. El centrado de la abertura 6 de la ventana 4, en el haz no desviado, se verifica y después posiblemente se corrige.

40 A continuación, el haz F se desvía hacia el objetivo 9 enfriado, el tiempo de su iniciación, es decir, el tiempo que el haz ha alcanzado su potencia nominal y un equilibrio térmico.

45 A continuación, la deflexión del haz F se detiene, de modo que golpea el objetivo 2 giratorio, en un área definida por la ventana 4, dentro de la abertura 6, tal y como se ilustra en las figuras 1 y 2; la adquisición de la señal S se desencadena de forma sustancialmente simultánea. El haz así dirigido se deja durante el tiempo necesario para que el objetivo 2 realice dos revoluciones; se recoge la señal S que proviene de la jaula 8 de Faraday durante estas dos revoluciones.

Finalmente, el haz F se desvía nuevamente hacia el objetivo 9 enfriado, en el momento de su extinción.

La señal S se puede procesar a medida que se adquiere o difiere después de un registro previo. Las figuras 3 a 5 ilustran un modo de tratamiento proporcionado para la señal S. Se señalará que las figuras 3, 4 y 5 no están en las mismas escalas.

50 La figura 3 ilustra un primer gráfico ST1 que representa un perfil de intensidad I medida en función del tiempo t. El gráfico ST1 puede provenir de un primer procesamiento de los valores de la señal S medida durante las dos revoluciones. Se ha de señalar que el gráfico ST1 reproduce dos patrones M1, M2, respectivamente correspondientes a la primera y segunda revoluciones. Cada uno de los patrones comprende una sucesión de picos C7 de duración d7 correspondientes a la trayectoria de un agujero 7 respectivo a través del haz F. La duración d7 es más larga a medida

- que el arco de círculo atraviesa el agujero 7 en el haz F está más cerca del centro del haz F. Se observa que el pico C7A, que corresponde a la referencia 7A, se presenta como una anomalía entre otros picos. De hecho, la sección del agujero de referencia 7A es sustancialmente el doble que la de los otros agujeros 7, el número de electrones que se cruzan, por lo que la intensidad medida I es sustancialmente doble. La presencia de dos anomalías C7A en el gráfico ST1 asegura que la medición correspondiente se haya realizado en al menos una revolución, es decir, que el conjunto de los agujeros hayan pasado a través de la abertura 6 y que el haz ha sido completamente escaneado. Para mayor claridad, el gráfico ST1 está formado por dos patrones M1, M2 completos. Sin embargo, en un caso general, el gráfico ST1, si corresponde a dos revoluciones, está formada por un primer patrón parcial, un segundo patrón completo y un tercer patrón parcial, complementario al primero.
- La figura 4 ilustra un segundo gráfico ST2. El gráfico ST2 se deriva de un segundo tratamiento, aplicado a los valores del primer gráfico ST1, de manera que solo se conservan los valores (t, I) representativos de una sola revolución. Estos valores representativos pueden ser, por ejemplo, los valores exactos entre dos anomalías C7A sucesivas, los promedios de los valores de los dos patrones M1, M2 o los valores exactos de uno de los patrones M1 o M2. El gráfico ST2 comprende toda la información necesaria para un análisis de distribución de intensidad dentro de la sección escaneada del haz F, excepto que la anomalía C7A debe corregirse. El número de adquisiciones, es decir, el número de picos que aparecen, cuyo número de agujeros 7 que han cruzado el haz se determina utilizando los picos sucesivos C7A; esto hace que el procedimiento sea menos dependiente de la velocidad de rotación del objetivo 2.
- La figura 5 ilustra un tercer gráfico ST3. El gráfico ST3 proviene de un tercer tratamiento durante el cual los valores de la anomalía C7A están normalizados, debido a que corresponden a los que se habrían medido por un agujero 7 de la sección actual. En el presente caso, los valores pico de C7A se dividieron por 2. Por lo tanto, en el gráfico ST3, la anomalía C7A se reemplaza por un pico C7AN correspondiente, cuyos valores se normalizan con respecto a los de la anomalía C7A.
- La figura 6 ilustra una primera reconstrucción espacial, es decir, una imagen tridimensional, de intensidades I del gráfico ST3 con respecto a la posición de las medidas relativas a una parte del plano XY, en la que la porción XY representa la abertura 6 de la ventana 4. Por lo tanto, la figura 6 es una reconstrucción de la sección analizada del haz F, y, para cada medición realizada, de la intensidad medida y la ubicación de la sección donde se midió esta intensidad, con respecto a la ventana 4. En esta primera reconstrucción espacial, cada pico C7 PARR46 está representado de tal manera que su proyección en la parte plana XY es un arco A7 del círculo correspondiente a la trayectoria del agujero 7 respectivo, enfrenteado a la abertura 6. La representación de cada pico se discretiza en forma de puntos P, luego se reconstituye por ordenador a partir de estos puntos P.
- La figura 7 es una segunda reconstrucción espacial de las intensidades I del gráfico ST3, sustancialmente idéntica a la representación de la figura 6, excepto que los valores de intensidad se han interpolado entre las curvas de los picos C7; por tanto, los valores de intensidad están representados por una superficie continua y referenciados por curvas de nivel N. La figura 7 es por lo tanto una imagen de la distribución de la densidad de corriente, y por lo tanto de la distribución de la potencia, en la sección analizada del haz F; la sección analizada que es la que está en contacto con la superficie superior del objetivo 2. Preferiblemente, la sección analizada está al menos cerca de una sección activa del haz F cuando se usa, por ejemplo, para la soldadura.
- Las etapas de adquisición y procesamiento de la señal S, en particular las etapas ilustradas en las figuras 3 a 5, son ventajosamente automatizadas. Una etapa posterior de ajuste de la máquina emisora de haz F también puede ser ventajosamente automatizada. Este puede ser el caso si la máquina está diseñada para soldar dos piezas juntas; por lo tanto, la trayectoria del haz F se puede definir, en función de un análisis de densidad de corriente realizado previamente, de modo que la soldadura se optimice.
- Ahora se describirá un segundo modo de realización para un dispositivo 1 según la invención, con referencia a las figuras 8 a 12, en la medida en que difiere del dispositivo descrito anteriormente con referencia a las figuras 1 a 7.
- En este modo de realización, hay dos dispositivos de detección, en este caso dos jaulas 8 de Faraday, la segunda jaula 82 de Faraday está dispuesta a 90 grados, con respecto al eje X2, de la primera jaula 81 de Faraday, tal y como se ha ilustrado en la Figura 1. La primera y la segunda jaulas de Faraday están dispuestas enfrenteadas a una primera ventana 61 y una segunda ventana 62, respectivamente.
- Además, en este segundo modo de realización, y como se ilustra particularmente en las figuras 9 y 10, la separación radial entre cada agujero 7 del objetivo 2, y por lo tanto entre cada trayectoria en forma de arco A7 correspondiente, varía. En el ejemplo ilustrado, los arcos A7 están más estrechamente cerrados entre sí que cerca del centro de una ventana 6. Esta disposición es particularmente ventajosa ya que hace posible analizar indiferentemente, con el mismo objetivo giratorio y con suficiente precisión, haces F1 de pequeño diámetro (véanse las figuras 9, 11 y 12), de diámetro medio F2 o de un diámetro más grande F3, sin aumentar excesivamente el número de agujeros y medidas, especialmente en el caso de haces de un diámetro grande F3. Por lo tanto, particularmente, el dispositivo 1 se posiciona ventajosamente de manera que se analiza un haz delgado, de tipo F1, por los agujeros 7 situados en el área del objetivo donde su trayectoria A7 es la más estrecha.

- En particular, cuando dicho objetivo 2, con un paso radial variable, se usa con un dispositivo 1 del primer modo de realización, tal y como se ilustra en la figura 1, el análisis presenta un desequilibrio particularmente pronunciado, entre un número de mediciones radiales correspondientes a los números de arcos NA y un número de puntos de medición NP en cada arco, posibles a través de una ventana 6. Por ejemplo, uno puede tener típicamente, en los ejemplos ilustrados en las Figuras 9 a 11, $NA=17$ y $150 < NP < 200$.
- Gracias al segundo modo de realización, y al uso de las dos jaulas 81, 82 de Faraday dispuestas a 90 grados entre sí, el haz F pueden de este modo escanearse, es decir, analizarse dos direcciones sustancialmente perpendiculares entre sí. Cada análisis corresponde a las trayectorias A7 ilustradas respectivamente por las figuras 9 y 10. Estas trayectorias se pueden superponer para formar una cuadrícula de la sección del haz F analizado; tal y como se muestra en la figura 11.
- La figura 12 ilustra la reconstrucción de una distribución de las intensidades en el caso de un haz de diámetro medio de tipo F2, a partir de las señales S, respectivamente S1, S2 que provienen de la primera y segunda jaulas 81, 82 de Faraday.
- En el ejemplo ilustrado en la figura 8, está previsto un objetivo 9 de iniciación asociado con cada una de las jaulas de Faraday. Sin embargo, solo se puede proporcionar un objetivo 9 de iniciación, por ejemplo, dispuesto angularmente entre las dos jaulas 81, 82 de Faraday.
- Preferiblemente, se proporcionan medios (no mostrados en las figuras) para posicionar el dispositivo 1, con suficiente precisión con respecto a la precisión buscada para el análisis, de modo que el análisis siempre se realiza cuando el haz F no es desviado, ya sea con la primera o segunda jaula de Faraday. Por lo tanto, la primera ventana 61 se coloca en el eje del haz F no desviado, luego, se realiza una primera serie de mediciones, el dispositivo se mueve para colocar la segunda ventana en el mismo eje del haz no desviado, antes de realizar una segunda serie de medidas.
- El posicionamiento es preferiblemente suficientemente preciso para superponer directamente las dos series de mediciones. Sin embargo, se puede proporcionar una corrección, por ejemplo, comparando medidas que deberían haber sido sustancialmente idénticas, en particular en las intersecciones de los cursos, durante la superposición.
- Por supuesto, la invención no está limitada a los ejemplos que se acaban de describir.
- En particular, si en el ejemplo ilustrado las mediciones se realizan en dos revoluciones completas, también es posible detectar una primera y una segunda aparición del pico de medición correspondiente a la referencia, e inmediatamente interrumpir la medición después de la aparición del segundo pico. De este modo, es posible limitar la exposición del objetivo al haz.
- En el ejemplo ilustrado, la referencia marca una región del haz F que es específica para el mismo, es decir que las mediciones que se realizan a través de dicho agujero participan, después de la normalización, en el análisis. Sin embargo, la referencia también se puede proporcionar para atravesar una región ya atravesada, o no, por otro agujero, de modo que la referencia ya no participe en el análisis, sino que solo asegure su función de referencia.
- El dispositivo también puede comprender medios para medir las variaciones de velocidad del disco durante un análisis, de modo que las mediciones pueden corregirse según estas variaciones de velocidad.
- Los agujeros pueden ser de forma únicamente troncocónica, es decir, no incluyen una porción cilíndrica.
- El objetivo giratorio puede incluir varias series de agujeros y cada serie formar una espiral respectiva. Cada una de estas espirales puede estar desplazada radialmente y tener agujeros de diferentes dimensiones en comparación con otra. En este caso, la jaula de Faraday puede ser de dimensiones suficientes para ser utilizada en todas las espirales. También se puede proporcionar una jaula de Faraday específica para cada una de las espirales. Cada una de las espirales puede tener un uso dedicado, por ejemplo, a un tipo de diámetro de haz o intensidades específicas, o en función de la precisión deseada.
- Las separaciones angulares entre los agujeros con respecto al eje pueden ser regulares o no. La distancia radial entre los agujeros puede aumentar o disminuir con respecto al eje.
- Una separación radial o angular irregular puede permitir, en particular, tratar haces de diferentes características con el mismo objetivo y la misma espiral; por ejemplo, una parte de la espiral que tiene una separación amplia para analizar haces grandes, como haces naturales o desenfocados, y otra parte de la espiral que tiene una separación reducido para analizar haces finos. Por lo tanto, el intervalo entre los agujeros puede ser, pero no de forma limitativa, mayor al comienzo y al final de la espiral, y más pequeño en una parte intermedia de la espiral, como se ilustra en el segundo modo de realización.
- Se usa ventajosamente una mesa de separación de agujeros para la reconstrucción de las intensidades del haz, de modo que la separación irregular no afecte al resultado. Si la totalidad o parte de la irregularidad resulta de la tolerancia durante el mecanizado del objetivo, puede ser compensada por una medición geométrica precisa, cuya tabla es el reflejo.

Ventajosamente, el objetivo giratorio es intercambiable, por ejemplo, para poder usar objetivos cuyos agujeros tengan una separación, radial o angular, y/o, diámetros, diferentes según cada objetivo, en función de la precisión deseada y/o dimensiones transversales del haz a analizar.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo (1) para analizar la densidad de corriente en un haz (F) incidente de partículas cargadas, que comprende un objetivo (2) móvil que gira alrededor de un eje (X2), dicho objetivo que está dispuesto para proyectar el haz (F) en el mismo durante el análisis, varios agujeros (7) que atraviesan dicho objetivo (2) móvil y dispuestos de modo que cada agujero (7) atraviesa una sección de dicho haz según un camino respectivo cuando dicho objetivo (2) se desplaza (7) y medios (8) para medir la densidad de corriente de una fracción (dF) del haz (F) incidente que atraviesa dicho objetivo por dicho agujero,
- caracterizado porque los arcos de círculo atravesados por los agujeros (7) están radialmente más próximos que una zona intermedia y radialmente más alejados a ambos lados de dicha zona intermedia.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende al menos un agujero (7A) de referencia, siendo la sección de dicho agujero (7A) de referencia significativamente diferente, preferiblemente el doble, de la sección del al menos un agujero (7).
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque los agujeros (7) están separados angularmente de forma regular entre sí.
- 15 4. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque los medios para medir la densidad de la corriente de la fracción (dF) comprenden al menos una jaula (8) de Faraday.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque comprende un objetivo (9) de iniciación, preferiblemente enfriado.
- 20 6. Dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado porque comprende medios para desviar el haz incidente en la dirección del objetivo (9) de iniciación.
7. Método para analizar la densidad de corriente en una sección de un haz incidente (F) de partículas cargadas, que comprende etapas para:
- 25 - medir un perfil (ST1) de densidad de corriente en fracciones (dF) del haz incidente haciendo girar un objetivo (2), perforado por varios agujeros (7), alrededor de un eje (X2), entre el haz (F) y medios (8) para medir la densidad de corriente en fracciones (dF) instantáneas de dicho haz que atraviesa uno de dichos agujeros (7);
- y
- reconstruir la distribución de corriente en dicha sección a partir de dicho perfil (ST1).
- caracterizado porque los arcos de círculos (A7) atravesados por los agujeros (7) están radialmente más próximos a una zona intermedia y radialmente más alejados a ambos lados de dicha zona intermedia.
- 30 8. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque los agujeros (7) están repartidos angularmente de forma regular alrededor del eje (X2), los agujeros (7) que tienen una sección idéntica entre sí.
9. Método según la reivindicación 8, caracterizado porque el objetivo comprende un agujero (7A) de referencia que tiene una sección diferente de la de los otros agujeros (7), de manera que la trayectoria de dicha (7A) referencia en la sección analizada provoca una anomalía (C7A) en el perfil (ST1), y porque se verifica que el análisis está completo
- 35 asegurando que dos anomalías aparecen en el perfil (ST1).
10. Método según la reivindicación 9, caracterizado porque la aparición de dos anomalías (C7A) sucesivas permite determinar la velocidad de rotación real del objetivo (2).
11. Método según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado porque comprende además etapas para:
- 40 - posicionar el haz (F), preferiblemente desenfocado, a una corriente baja y no desviado, en el objetivo (2) rotatorio, después
- desviar el haz hacia un objetivo (9) de iniciación; después,
- aumentar la potencia del haz hasta alcanzar su potencia nominal y un equilibrio térmico de dicho haz ; después,
- cuando la velocidad de rotación del objetivo (2) giratorio se estabiliza, detener la deflexión del haz; y
- 45 - adquirir el perfil durante un tiempo dado, preferiblemente correspondiente sustancialmente a dos revoluciones del objetivo (2); después,
- desviar el haz nuevamente hacia el objetivo (9) de iniciación; después,
- apagar el haz y detener la rotación del objetivo (2).

12. Método según una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado porque comprende al menos una etapa para calcular al menos un parámetro del haz entre el ancho a media altura, el ancho a la altura $1/e^2$, la densidad de flujo de potencia máxima.
- 5 13. Método para determinar el desgaste de un electrodo de un generador de haz de partículas cargadas, caracterizado porque se usa un método según una de las reivindicaciones 7 a 11.
14. Método para determinar un defecto de alineación de un electrodo de un generador de haz de partículas cargadas, caracterizado porque se usa un método según una de las reivindicaciones 7 a 11.
15. Método para determinar una focalización óptima para un haz de partículas cargadas, caracterizado porque se usa un método según una de las reivindicaciones 7 a 11.

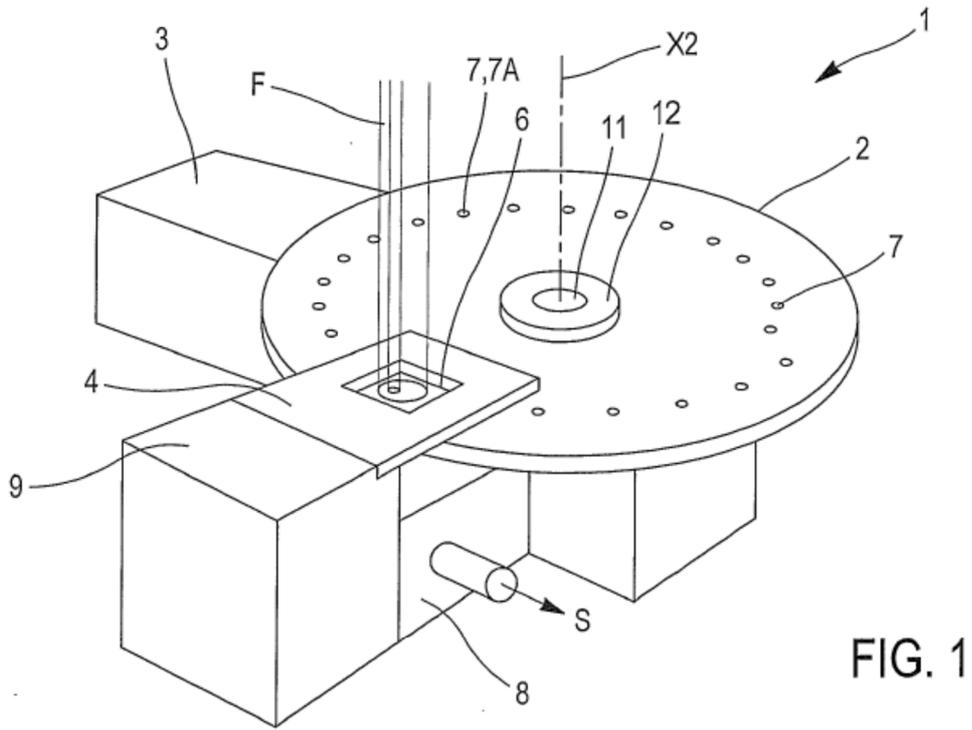


FIG. 1

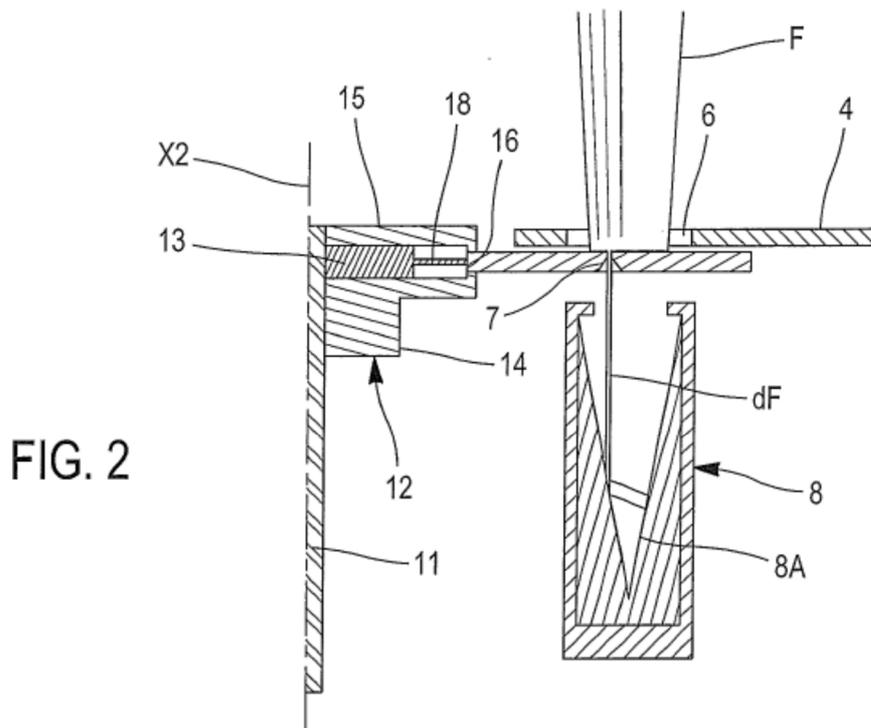


FIG. 2

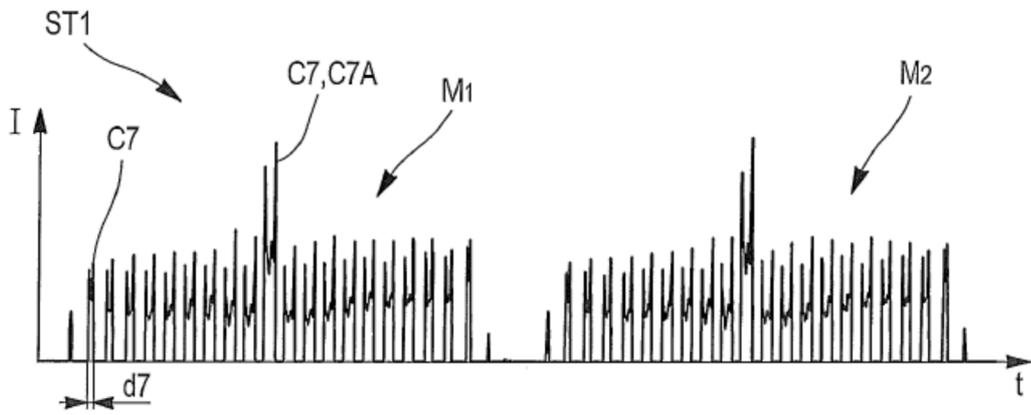


FIG. 3

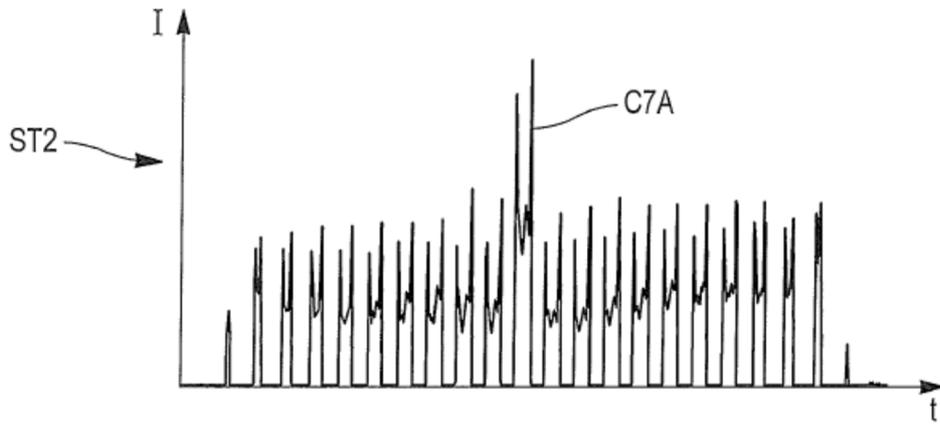


FIG. 4

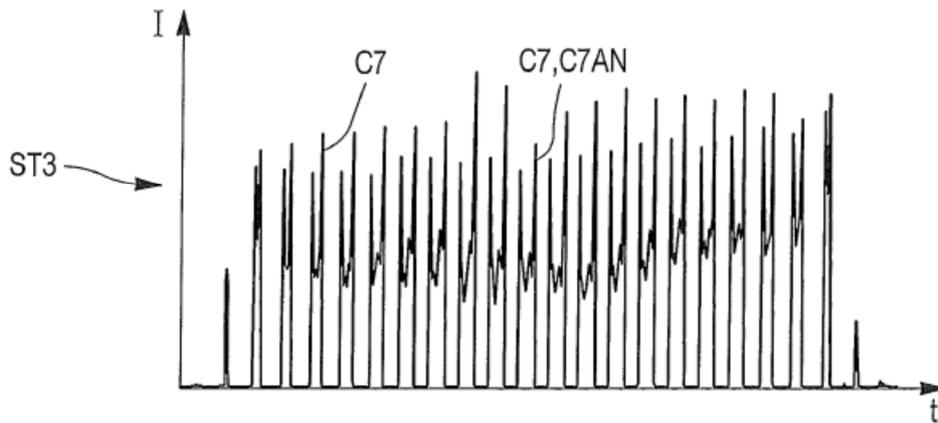


FIG. 5

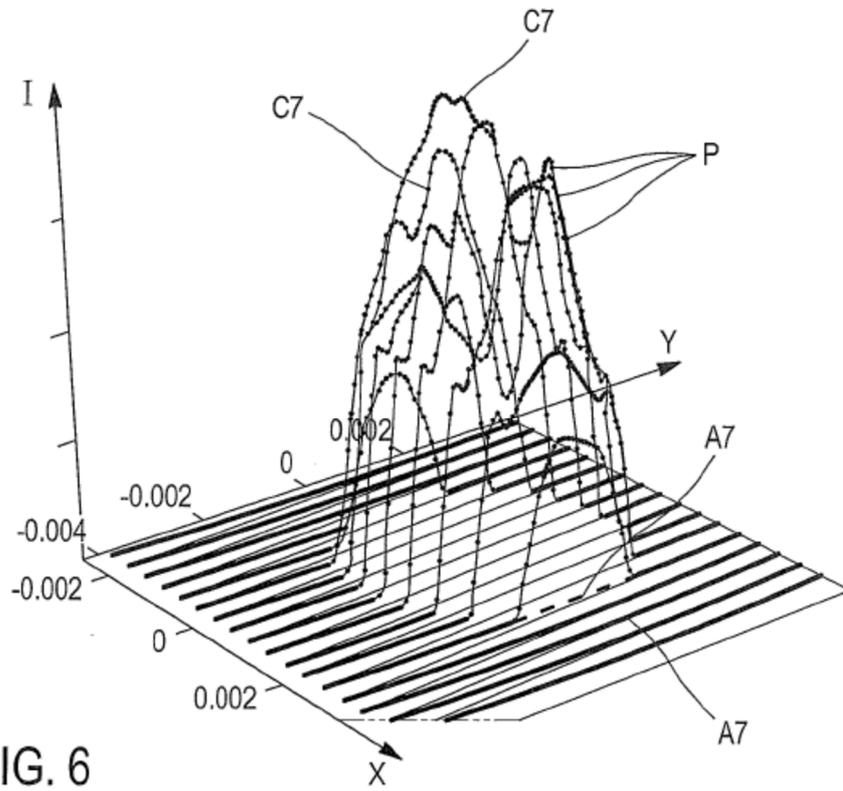


FIG. 6

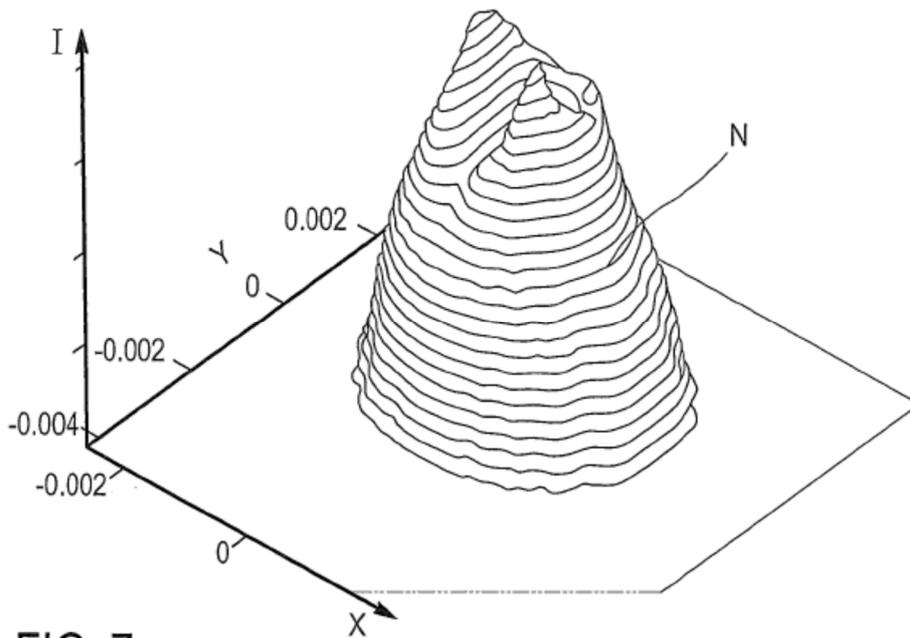


FIG. 7

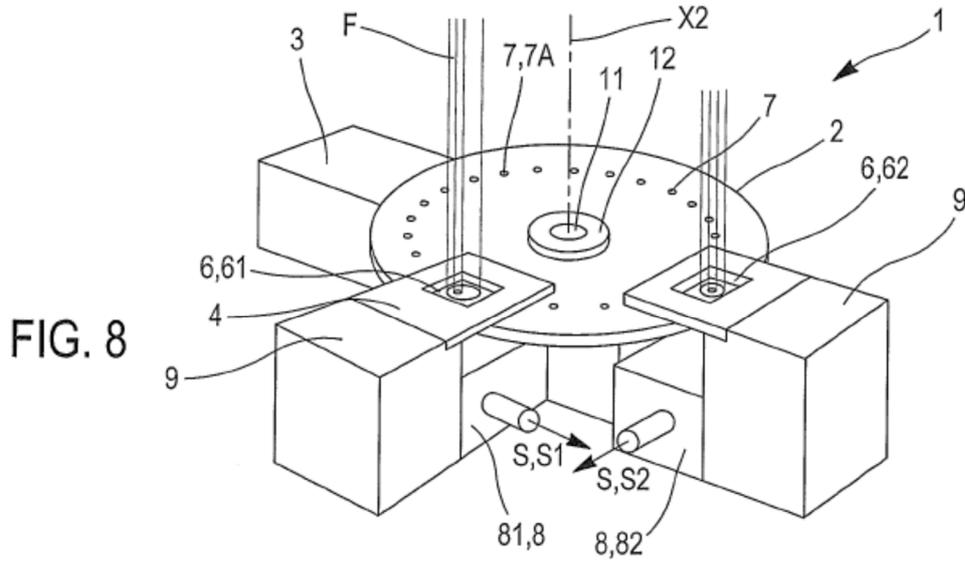


FIG. 8

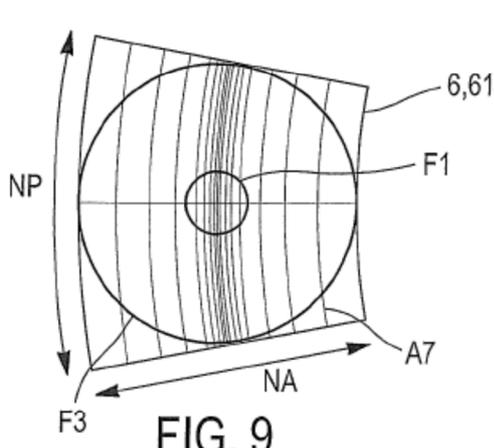


FIG. 9

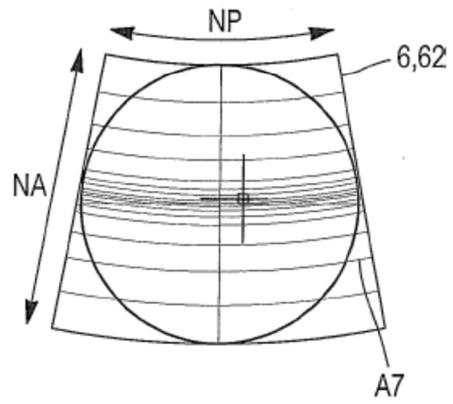


FIG. 10

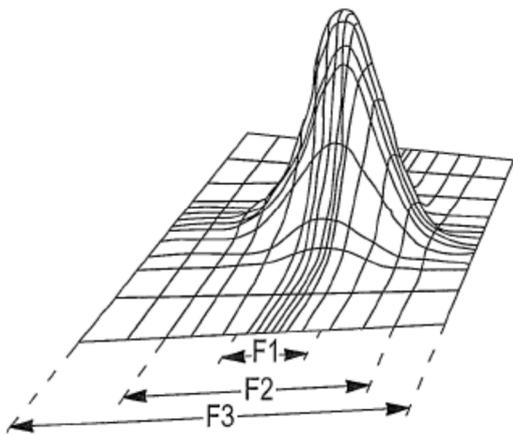


FIG. 12

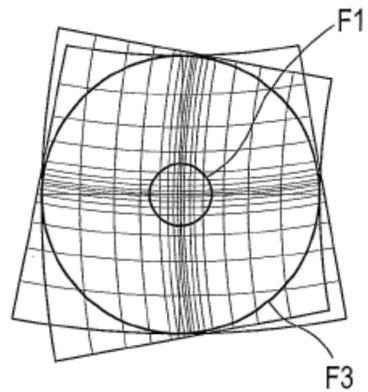


FIG. 11