

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 270**

51 Int. Cl.:

H01J 25/74 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2014 PCT/FR2014/053471**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15097384**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2014 E 14830991 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 3087580**

54 Título: **Dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante, de geometría axial, incluyendo al menos un reflector y un anillo magnético, configurado para ser alimentado por un generador de gran impedancia**

30 Prioridad:

23.12.2013 FR 1363456

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

24.05.2018

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D", 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CHAMPEAUX, STÉPHANIE y
GOUARD, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 669 270 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 generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante, de geometría axial, incluyendo al menos un reflector y un anillo magnético, configurado para ser alimentado por un generador de gran impedancia

5 La presente invención concierne un dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante (a menudo designado por el vocablo del tipo VIRCATOR, derivado de la expresión inglesa "VIRtual CAthode oscillaTOR").

10 El artículo de STEPANIE CHAMPEAUX Y AL: "Numerical evaluation of the role of reflectors to maximize the power efficiency o fan axial Vircator", VACUUM ELECTRONICS CONFERENCE (IVEC),2013 IEEE 14TH INTERNATIONAL, IEEE, 21 Mayo 2013 (2013-05-21), páginas 1-2, XP032445325, DOI: 10.1109/IVEC.2013.6571105ISBN: 978-1-4673-5976-4 describe dicho VIRCATOR.

Un dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante del arte anterior, o VIRCATOR, está representado esquemáticamente en la figura 1.

15 El VIRCATOR incluye un diodo constituido por un cátodo 2 y un ánodo 3+4, que emite un haz de electrones 1, así como una guía de ondas cilíndrica 5. El ánodo está constituido por una armadura espesa 3 y por una hoja delgada 4 (frecuentemente llamada en lo que sigue "ánodo delegado 4" por simplificar). Se entiende aquí por "delegado" que la hoja del ánodo 4 presente un espesor del orden del micrómetro, es decir de algunos micrómetros incluso de algunas décimas de micrómetro. La hoja delgada 4 está acoplada a la guía de ondas cilíndrica 5. En otros términos, el ánodo delegado 4 separa el cátodo 2 de la guía de ondas cilíndrica 5 estando situada en una entrada de la guía de ondas 5, en una interfaz entre la armadura espesa 3 y la guía de ondas 5; y la armadura espesa 3 rodea generalmente el cátodo 2.

20

Este tipo de dispositivo es conocido para producir unas impulsiones de microondas de gran potencia.

25 Con este fin, una diferencia de potencial es aplicada a los bornes del diodo 2+3+4 creando una emisión electrónica a nivel del cátodo 2. Cuando la densidad de corriente electrónica emitida sobrepasa la densidad de corriente límite de Child-Langmuir, el haz de electrones 1 estalla bajo el efecto de su propia carga de espacio. A nivel de la hoja delgada 4 del ánodo, los componentes transversales del campo eléctrico, respecto de un eje z que representa un eje longitudinal de la guía de ondas cilíndrica 5, se anulan. El haz de electrones 1 comienza entonces a atraparse bajo el efecto de su campo magnético. Cuando la corriente que penetra en la guía de ondas cilíndrica 5 sobrepasa la corriente límite de carga de espacio (llamada corriente "crítica", anotada como I_c , la densidad de electrones se hace tan grande que el haz ya no puede propagarse por la guía de ondas 5. Una acumulación de carga 6, comúnmente llamada "cátodo virtual 6" se forma entonces más allá de la hoja delgada 4. El cátodo virtual 6 desvía entonces numerosos electrones hasta enviar algunos hacia el cátodo 2, a través de la hoja delgada 4.

30

En régimen relativista, una estimación de la corriente crítica I_c está dada por:

$$I_c = \frac{4\pi\epsilon_0 mc^3 (\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}}{q (1 + 2 \ln(\frac{R_G}{r}))}$$

35 Con $\gamma = 1 + qV/mc^2$, donde q es la carga de un electrón, V la diferencia de potencial aplicada entre los electrodos del diodo 2+3+4, m la masa de un electrón en reposo, c la velocidad de la luz, y ϵ_0 la permitividad del vacío.

Teniendo en cuenta la fragmentación del haz en la emisión en el diodo, el radio del haz r que entra en la guía de ondas es del orden del radio de la guía de ondas cilíndrica R_G . Un orden de magnitud de la corriente crítica I_c (en kilo amperios) es entonces dado por la siguiente expresión simplificada:

$$I_c \approx 17 (\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}$$

40 mientras se aproxima del ánodo delegado 4, el cátodo virtual 6 incrementa su densidad de carga hasta el momento donde se fragmenta bajo el efecto de su propia carga de espacio y un nuevo cátodo virtual se reconstituye poco más lejos en la guía de ondas 5. Es este principio de oscilación del cátodo virtual lo que está en el origen de una emisión de una onda de microondas 7.

45 La figura 1 representa una formación de un cátodo virtual oscilante en un dispositivo del tipo VIRCATOR del arte anterior cuando la corriente del haz sobrepasa la corriente crítica en la guía de ondas 5. La figura 2 representa la firma característica, llamada "en rombo" del cátodo virtual oscilante 6 en el espacio de las fases con la aceleración y la deceleración de los electrones al paso del ánodo delegado 4 sobre el proyecto del cátodo 2 hacia el cátodo virtual

6 e inversamente, es decir la cantidad de movimiento según la dirección longitudinal y en función de la posición longitudinal.

5 El cátodo virtual 6 se desplaza alrededor de una posición media que se sitúa a una distancia del ánodo delegado 4 aproximadamente igual a la que separa el ánodo delegado 4 del cátodo emisor 2 (esta última distancia está designada por d_{AK}). Los electrones que son enviados por el cátodo virtual 6 hacia el cátodo 2 pasando a través del ánodo delgado 4 están modulados en la frecuencia de la onda microonda 7 e interactúan con el haz de electrones 1 creado en el espacio entre el cátodo 2 y el ánodo delgado 4 modulándolo ligeramente. Estos electrones retrodispersados son frenados entre el ánodo delegado 4 y el cátodo 2. Son también desviados principalmente hacia la armadura del ánodo 3.

10 Paralelamente, los electrones que atraviesan el cátodo virtual 6 retoman energía de la onda microonda 7 que se propaga por la guía de ondas 5, disminuyendo así su intensidad.

El dimensionamiento de un VIRCATOR axial según el estado del arte conocido es el siguiente:

15 La frecuencia f de la onda microonda 7 emitida (expresada en GHz) es una función de la distancia d_{AK} (expresada en cm) que separa el cátodo 2 del ánodo delgado 4, y del factor relativista γ de los electrones a nivel del ánodo delgado 4 en relación con la diferencia de potencial aplicada al diodo 2+3+4. Esta frecuencia puede estimarse por la siguiente fórmula:

$$f = \frac{4,77}{d_{AK}} \log(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})$$

20 La onda microonda 7, teniendo una simetría axial de revolución, evoluciona hacia unos modos llamados "transversos magnéticos", designados por "TM_{0n}", siendo nulo el componente axial de su campo magnético. Para que se propague por el interior de la guía de ondas cilíndrica 5 en el único modo TM₀₁, es necesario que el radio R_G de la guía de ondas cilíndrica 5 sea superior a la longitud de onda de corte del siguiente modo TM₀₂. La siguiente ecuación (y no la fórmula inversa que ha resultado ser errónea) rinde cuentas de estas condiciones de propagación:

$$\frac{k_{01} c}{2\pi f} \leq R_G \leq \frac{k_{02} c}{2\pi f}$$

Donde k_{0n} representa la raíz de la ecuación de la función de Bessel $J_0(k_{0n})=0$, con $k_{01}=2,4048$ y $k_{02}=5,5201$.

25 La longitud de la guía de ondas 5 es, preferentemente, igual a varias veces la longitud de onda λ de la onda electromagnética 7 ($\lambda = c/f$).

30 Un mejor funcionamiento del acoplamiento del cátodo virtual 6 con la onda electromagnética 7 se obtiene cuando la densidad máxima del cátodo virtual 6 en su posición media está situada en la vecindad del máximo de la componente radial del campo eléctrico de la onda electromagnética. Considerando que la onda electromagnética 7 se propaga en el único modo TM₀₁ y considerando también la fragmentación del haz en la emisión, el radio R_c del cátodo 2 verifica entonces, preferentemente, la siguiente relación:

$$R_c < 1,8412 \frac{R_G}{k_{01}} \approx 0,75 \times R_G$$

35 el dispositivo descrito anteriormente es de concepción simple. Su funcionamiento es robusto y no precisa recurrir a un campo magnético externo. En cambio, su rendimiento en potencia (respecto de la potencia máxima de la onda emitida sobre la potencia eléctrica máxima inyectada en el diodo) es muy pequeña, del orden de alrededor 1%. Por otra parte, las frecuencias de la onda emitida siguen directamente las variaciones temporales de la tensión aplicada, lo que conduce a la obtención de una onda electromagnética de calidad espectral mediocre.

Para contravenir al menos una parte de estos inconvenientes mientras se conserva una geometría axial, la implantación de uno o varios reflectores en la guía de ondas cilíndrica 5 ha sido propuesta.

40 Este tipo de dispositivo ha sido por ejemplo objeto de la solicitud de patente WO2006/037918. Un ejemplo de dispositivo como el descrito en esta solicitud está representado en las figuras 3 y 4.

Los reflectores son típicamente unas paredes finas (es decir del orden del micrómetro de espesor), transparentes a los electrones y aptos para reflejar totalmente la onda microonda 7 creada por un cátodo virtual. Además, presentan una forma cilíndrica circular, es decir de disco. Están habitualmente realizados de mylar aluminizado.

45 En el ejemplo representado en la figura 3, un primer reflector 8 está posicionado en el interior de una guía de ondas 5 a una distancia $D1$ del ánodo delgado 4. Esta distancia $D1$ es igual a sensiblemente dos veces la distancia d_{AK} que

separa el ánodo delegado 4 del cátodo 2, de tal forma que se cree un cátodo virtual posicionado aproximadamente a la mitad de la distancia del ánodo delgado 4 y del primer reflector 8.

5 En este ejemplo, un reflector suplementario 9 está posicionado en la guía de ondas cilíndrica 5 más allá del primer reflector 8, de tal forma que la distancia que separa dos reflectores sucesivos sea igual a sensiblemente dos veces la distancia d_{AK} que separa el ánodo delgado 4 del cátodo 2, es decir sensiblemente la distancia $D1$.

10 Los reflectores pueden ser "cerrados" o "abiertos". Como se ilustra en las figuras 3 y 4, se dice que un reflector es "cerrado" cuando cierra completamente una sección recta de la guía de ondas cilíndrica 5 (es el caso, por ejemplo, del primer reflector 8), y se dice que un reflector es "abierto" cuando no obstruye más que una fracción centrada de sección recta de la guía de ondas cilíndrica 5, dejando una abertura sensiblemente anular 10 entre la periferia del reflector y la pared interna de la guía de ondas 5 (es el caso, en el presente ejemplo, del reflector suplementario 9).

El reflector más alejado del ánodo delgado 4 es preferentemente abierto con el fin de favorecer la propagación de la onda microonda hacia la salida de la guía de ondas cilíndrica 5, siendo la salida la extremidad de la guía de ondas cilíndrica 5 opuesta a aquella en la que está situado el ánodo delgado 4.

15 Tradicionalmente, un reflector abierto presenta un radio R superior o igual a sensiblemente 0,75 veces el radio R_G de la guía de ondas cilíndrica 5 para reflejar el máximo de la componente radial del campo eléctrico de la onda.

20 El primer reflector 8 tiene como función reflejar la onda emitida por el cátodo virtual, como el ánodo delgado 4. La onda reflejada por el primer reflector 8 interactúa de nuevo con los electrones y el cátodo virtual, amplificando la onda microonda 7. Una primera pseudo cavidad 11, cilíndrica, formada entre el ánodo delgado 4, el primer reflector 8 y una pared interna de la guía de ondas cilíndrica 5 permite reforzar la potencia de la onda creada por el cátodo virtual. Este refuerzo de la onda contribuye a mejorar la colocación en paquetes de los electrones del cátodo virtual a la frecuencia deseada.

25 Introduciendo una pluralidad de reflectores en el dispositivo (es decir en un número N), el mecanismo de refuerzo de la onda microonda 7 y de la colocación en paquetes que se realiza en la primera pseudo cavidad 11 está duplicado en unas pseudo cavidades siguientes formadas por dos reflectores sucesivos (por ejemplo, el primer reflector 8 y el reflector suplementario 9 en la figura 3) y la guía de ondas cilíndrica 5.

30 Así los electrones que atraviesan el reflector de rango (i) ($1 \leq i \leq N-1$, donde N es el número total de reflectores presentes) crean un $(i+1)$ cátodo virtual cuya frecuencia de oscilación está determinada por las pseudo cavidad formada por los reflectores del rango (i) e $(i+1)$ y la pared interna de la guía de ondas 5. Esta pseudo cavidad contribuye a reforzar la onda electromagnética 7 emitida por el $(i+1)$ cátodo virtual y la colocación en paquetes de los electrones.

Si el reflector $(i+1)$ es abierto, la onda electromagnética emitida por el $(i+1)$ cátodo virtual puede fluir por la guía de ondas 5 más allá del reflector $(i+1)$, en la dirección de la salida de la guía, a través de la abertura anular 10 presente entre la periferia del reflector $(i+1)$ y la pared interna de la guía de ondas 5.

35 Este tipo de dispositivo con reflectores permite obtener un rendimiento sensiblemente mejorado respecto de los dispositivos del arte anterior sin reflector.

Un dispositivo, emitiendo en banda S en la salida de la guía de ondas, es decir en una gama de frecuencias que van de 2 GHz a 4 GHz, con un único reflector abierto produce una mejora del rendimiento del orden de 4%. La incorporación de un segundo reflector abierto lleva a una mejora del orden del 10%.

40 Sin embargo, para dicho dispositivo incluyendo reflectores, existe un número óptimo de reflectores más allá del cual el rendimiento en potencia decrece. Por ejemplo, un dispositivo con tres reflectores abiertos muestra un óptimo de rendimiento del orden de 13%.

45 Para aumentar todavía más el rendimiento del dispositivo del tipo VIRCATOR con reflectores tal y como se han descrito anteriormente, la solicitud de patente francesa depositada con el número 12/62385, y todavía no publicada, describe un dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante que incluye una pluralidad de reflectores. Todos los reflectores son entonces abiertos con el radio de cada uno de los reflectores de la pluralidad que es inferior o igual al radio del reflector anterior, el radio del último reflector es inferior al radio del primer reflector. Dicho dispositivo está por ejemplo representado en la figura 5 según un ejemplo de realización.

50 El dispositivo de la figura 5 incluye aquí un conjunto de cinco reflectores ($N=5$), denominados comúnmente E_i y referenciados aquí como E_1 a E_5 , localizados en la guía de ondas 5, transparentes a los electrones y configurados para reflejar la onda microonda creada por un cátodo virtual. Son por ejemplo de mylar aluminizado.

Todos los reflectores E_i son "abiertos" para facilitar la propagación de la onda emitida por los diferentes cátodos virtuales hacia la salida de la guía de ondas 5.

El radio del primer reflector E_1 localizado después del ánodo delgado 4 en la guía de ondas 5 es preferentemente superior o igual a $0,75R_G$. Refleja así el máximo de la componente radial del campo eléctrico de la onda y refuerza

así la onda microonda emitida por el primer cátodo virtual, es decir el cátodo virtual formado justo después del ánodo delgado 4, entre el ánodo delgado 4 y el primer reflector E_1 .

El radio de los reflectores E_i siguientes se reduce progresivamente sin límite inferior. El tamaño del radio de cada reflector es posiblemente elegido inferior a $0,75R_G$. Las modalidades de reducción del tamaño del radio de los reflectores abiertos son por ejemplo las siguientes:

-el radio del reflector de rango $(i+1)$ es inferior o igual al radio del reflector de rango i , es decir del reflector directamente anterior;

-el radio del último reflector (aquí E_5 , o denominado de forma más general E_N , cualquiera que sea N) es inferior al radio del primer reflector E_1 .

En el ejemplo de realización de la figura 5, los reflectores E_1 a E_4 tienen un mismo radio mientras que el último reflector, E_5 es de menor radio.

Un dispositivo según la invención descrita en la solicitud de patente francesa depositada con el número 12/62385, y no publicada todavía, permite incrementar considerablemente el rendimiento de un VIRCATOR axial clásico del arte anterior, y en particular de un VIRCATOR axial con reflectores del arte anterior como se describe en la solicitud WO2006/037918. Por ejemplo, un dispositivo con cinco reflectores de radios no constantes (con el radio de cada reflector inferior igual al del reflector directamente anterior), emitiendo en banda S (es decir en una gama de frecuencias que van de 2 GHz a 4 GHz), muestra un rendimiento de un 21%.

El funcionamiento de los dispositivos del tipo VIRCATOR del arte anterior, descritos anteriormente, está sin embargo limitado a unos generadores de alimentación cuya impedancia Z es inferior a una impedancia llamada "crítica", anotada como Z_c . Esta impedancia crítica Z_c esta definida como la relación de la tensión de alimentación V sobre la corriente crítica I_c definida anteriormente, es decir $Z_c=V/I_c$.

La figura 6 representa una propagación de un haz de electrones en la guía de ondas 5 en régimen cuasi laminar cuando la impedancia Z del generador es superior a la impedancia crítica Z_c . Esto tiene como efecto que no se forma ningún cátodo virtual. La figura 7 representa, a título ilustrativo, la ausencia de formación del cátodo virtual oscilante en el espacio de las fases. Ningún electrón puede entonces ser reenviado en la dirección del cátodo 2 a través del ánodo delgado 4.

El objeto de la presente solicitud es solucionar al menos en parte los inconvenientes anteriormente citados, y conducir además a otras ventajas.

El objeto de la presente solicitud se fija más particularmente en permitir que un dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual del tipo VIRCATOR axial, con reflectores, pueda funcionar estando acoplado a un generador cuya impedancia Z sobrepase la impedancia crítica Z_c .

A este efecto, se propone, según un primer aspecto, un dispositivo generador de ondas microondas de cátodo virtual oscilante, de geometría axial, incluyendo un cátodo, un ánodo delgado y una guía de ondas cilíndrica, de eje longitudinal z y de radio R_G , que presenta una primera extremidad que forma una entrada de la guía de ondas cilíndrica y una segunda extremidad que forma una salida de la guía de ondas cilíndrica, estando posicionado el cátodo aguas arriba de la entrada de la guía de ondas cilíndrica y configurado para emitir electrones, y el ánodo delgado está posicionado a la entrada de la guía de ondas cilíndrica, entre el cátodo y la guía de ondas cilíndrica, y el dispositivo incluye además al menos un primer reflector localizado en la guía de ondas, transparente a los electrones y configurado para reflejar una onda microonda creada por al menos un cátodo virtual generado en la guía de ondas, el dispositivo está caracterizado por que incluye además un anillo magnético estrecho de anchura L_M según el eje longitudinal z , posicionado exteriormente alrededor de la guía de ondas cilíndrica a una distancia d_{AM} del ánodo delgado y con el primer reflector posicionado a una distancia del ánodo delgado más allá del anillo magnético de manera que el anillo magnético este localizado entre el ánodo delgado y el primer reflector, el anillo magnético está configurado para generar un campo magnético apto para frenar los electrones y para crear una acumulación de cargas en el origen de un cátodo virtual no oscilante posicionado entre el ánodo delgado y el primer reflector otra parte se entiende aquí por estrecho que el anillo magnético presente una anchura L_M comprendida entre alrededor de d_{AK} y alrededor de una mitad del radio de la guía de ondas R_G . Es por ejemplo igual a aproximadamente d_{AK} .

El anillo magnético presenta además un radio interno R_M que es superior a R_G con el fin de que el anillo magnético rodee la guía de ondas. El anillo magnético rodea por ejemplo la bahía de ondas a distancia de esta.

Sin embargo, según las alternativas de realización, el anillo magnético está unido a la guía de ondas, incluso en contacto con esta.

Finalmente, el anillo magnético presenta un espesor por ejemplo elegido por un usuario en función de otros parámetros de dimensionamiento del dispositivo. El anillo magnético es por ejemplo una bobina de corriente o un imán permanente de manera que es entonces posible prescindir de la alimentación eléctrica.

Por ejemplo, la distancia d_{AM} que separa el anillo magnético del ánodo delgado a lo largo del eje z es igual o superior a una distancia d_{AK} que separa el cátodo del ánodo delgado.

Según otro ejemplo, la distancia d_{AF1} que separa el primer reflector del ánodo delgado es igual o superior a una suma de la distancia d_{AM} , que separa el anillo magnético del ánodo delgado, y de la anchura L_M del anillo magnético.

- 5 Según también otro ejemplo, la distancia d_{AF1} que separa el primer reflector del ánodo delgado es igual o superior a alrededor de dos veces la distancia d_{AK} que separa el cátodo del ánodo delgado.

Ventajosamente, al menos el primer reflector localizado en la guía de ondas es un reflector abierto, es decir que únicamente obstruye una fracción centrada de sección recta de la guía de ondas cilíndrica, dejando una abertura sensiblemente anular entre una periferia del reflector y una pared interna de guía de ondas.

- 10 Según un ejemplo de realización particular, el primer reflector, abierto, presenta posiblemente un radio igual o inferior a $0,75R_G$, el radio de la guía de ondas.

Según un modo de realización interesante, el dispositivo incluye una pluralidad de reflectores sucesivos posicionados en la guía de ondas cilíndrica.

- 15 Dos reflectores sucesivos de la pluralidad de reflectores están por ejemplo separados uno del otro por una distancia d_{Fi-1Fi} igual o inferior a aproximadamente dos veces una distancia d_{AK} que separa al cátodo del ánodo delgado.

O por ejemplo, dos reflectores sucesivos de la pluralidad de reflectores están separados uno del otro por una distancia d_{Fi-1Fi} igual o superior a aproximadamente una vez la distancia d_{AK} que separa el cátodo del ánodo delgado.

Cada distancia está por ejemplo comprendida entre una a dos veces la distancia d_{AK} .

- 20 En el marco de la presente solicitud, el dispositivo incluye un reflector o una pluralidad de reflectores, el primer reflector es el que está posicionado lo más próximo del ánodo delgado. Es decir, cuando el dispositivo incluye una pluralidad de reflectores, el primer reflector es el que está posicionado lo más cerca del ánodo delgado, de manera que los otros reflectores de la pluralidad están posicionados aguas abajo del primer reflector.

- 25 En un ejemplo de realización en el que el dispositivo incluye una pluralidad de reflectores sucesivos, todos los reflectores son entonces ventajosamente abiertos.

Y por ejemplo, el primer reflector, abierto, presenta posiblemente un radio igual o inferior a $0,75R_G$, el radio de la guía de ondas.

Además, cuando el dispositivo incluye una pluralidad de reflectores, todos los reflectores presentan posiblemente un mismo radio R_{Fi} .

- 30 Sin embargo, según una alternativa de realización, cada reflector puede tener un radio igual o inferior al del reflector directamente anterior en la guía de ondas cilíndrica de manera que favorezca un guiado de las ondas hacia la salida de la guía de ondas. Los reflectores son así sucesivamente decrecientes sin límite inferior, es decir que un último reflector en la guía de ondas, incluso un segundo reflector (es decir el que está posicionado justo después del primer reflector), puede tener un radio inferior al del primer reflector.

- 35 Según un ejemplo de realización privilegiado, el dispositivo incluye tres reflectores posicionados en la guía de ondas.

Dicho anillo permite hacer funcionar un VIRGATOR en configuración axial, con al menos un reflector, y un generador de fuerte impedancia. El dispositivo gana además en compacidad, ya que un generador de fuerte impedancia presenta generalmente una congestión menor que un generador de baja impedancia.

El dispositivo según la invención permite generar una emisión microonda monocromática.

- 40 El dispositivo según la invención permite también emitir a una frecuencia específica un máximo de potencia microonda sobre el eje según un modo único.

El dispositivo según la invención permite adaptar una guía de ondas en configuración axial con reflectores a la impedancia del generador mientras se conserva la frecuencia de microondas emitida, así como la geometría de la guía de ondas.

- 45 El dispositivo según la invención permite así alcanzar unos rendimientos superiores al 15% con unos generadores de fuerte impedancia en configuración axial con reflectores.

Lista de figuras

La invención según un ejemplo de realización se comprenderá mejor y sus ventajas aparecerán con la lectura de la siguiente descripción detallada, dado a título indicativo y nulamente limitativo, y haciendo referencia a los dibujos adjuntos presentados a continuación.

5 La figura 1 representa esquemáticamente un VIRCATOR axial clásico del arte anterior según un ejemplo de realización, según una vista longitudinal, ilustrando una creación de cátodo virtual oscilante;

La figura 2 presenta un ejemplo de esquema instantáneo de la posición de los electrones en el espacio de las fases asociada a la formación de un cátodo virtual oscilante;

La figura 3 representa esquemáticamente un VIRCATOR axial con reflectores del arte anterior según un ejemplo de realización tal y como se describe en el documento WO2006/037918, según una vista longitudinal;

10 La figura 4 representa, en vista transversal del VIRCATOR de la figura 3, un reflector cerrado y un reflector abierto según un ejemplo de realización;

La figura 5 representa un ejemplo de realización del VIRCATOR axial con unos reflectores abiertos tal y como se describe en la solicitud depositada con el número 12/62385, y todavía no publicada, según una vista longitudinal;

15 La figura 6 ilustra esquemáticamente la dinámica de un haz de electrones en un VIRCATOR axial del arte anterior, por ejemplo, sin reflectores, según una vista longitudinal, cuando la impedancia de alimentación es superior a la impedancia crítica, induciendo un régimen cuasi laminar y ninguna formación de cátodo virtual;

La figura 7 presenta un ejemplo de esquema instantáneo de la posición de los electrones en el espacio de las fases en régimen cuasi laminar, en ausencia de formación de cátodo virtual;

20 La figura 8 presenta, según una vista longitudinal, un ejemplo de realización de un VIRCATOR axial con una guía magnética según la invención, incluyendo aquí unos reflectores abiertos;

La figura 9 presenta una vista transversal del VIRCATOR de la figura 8;

La figura 10 presenta un ejemplo de esquema instantáneo de la posición de los electrones en el espacio de las fases en el VIRCATOR de la figura 8;

25 La figura 11 presenta esquemáticamente unos iso-contornos de la intensidad del campo magnético según una dirección longitudinal del VIRCATOR de la figura 8;

La figura 12 es una tabla recapitulativa de la distancia entre el ánodo y el primer reflector y las distancias entre dos reflectores sucesivos para unas simulaciones numéricas realizadas sobre unos dispositivos según unos modos de realización de la presente invención; y

30 La figura 13 es una tabla que presenta un rendimiento en potencia (en porcentaje) de un dispositivo según algunos modos de realización de la presente invención en función del número de reflectores.

Un dispositivo según un modo de realización de la invención está representado por ejemplo aquí en la figura 8.

35 Al igual que para un dispositivo tradicional (ver principalmente las figuras 1 a 7), el dispositivo de la figura 8 incluye un diodo compuesto por un cátodo 102 y un ánodo, en sí mismo formado por una hoja delgada llamada ánodo delgado 104 y por una armadura espesa 103. El cátodo 102 presenta un radio R_c y el ánodo delgado 104 presenta típicamente un espesor del orden del micrómetro, es decir de algunos micrómetros incluso de algunas décimas de micrómetros.

El dispositivo incluye además una guía de ondas cilíndrica 105 de radio interno R_G y de longitud L_G . La guía de ondas cilíndrica 105 incluye un eje z según una dirección longitudinal, formando el eje longitudinal del dispositivo.

40 La armadura espesa 103 rodea al cátodo 102, y la armadura espesa 103 y el cátodo 102 están posicionados en una entrada de la guía de ondas cilíndrica 105 (a la izquierda en la figura).

El ánodo delgado 104 está aquí posicionado en una entrada de la guía de ondas cilíndrica 105, entre la guía de ondas cilíndrica 105 y la armadura espesa 103. El ánodo delgado 104 y el cátodo 102 están distantes uno del otro por una distancia denominada d_{AK} .

45 El cátodo 102, el ánodo delgado 104, la armadura de espesor 103 y la guía de ondas cilíndrica 105 están posicionadas una respecto de otras alineadas y centradas sobre el eje z. Presentan generalmente unas secciones circulares.

Para emitir una radiación microondas sobre el eje, el radio R_G de la guía de ondas 105 es ventajosamente tal que la frecuencia de emisión microonda f es superior a la frecuencia de corte del modo fundamental TE_{11} e inferior a la del modo según TM_{01} :

$$\frac{k'_{11}c}{2\pi f} \leq R_G \leq \frac{k_{01}c}{2\pi f}$$

Donde k'_{11} representa la raíz de la ecuación de la función de Bessel $J'_1(k'_{11})=0$ ($k'_{11}=1,8412$).

El dispositivo según la invención incluye un anillo magnético 112.

5 El anillo magnético 112 es ventajosamente estrecho, de anchura L_M y de radio interno R_M , superior a R_G . En un ejemplo de ejecución en el que el anillo es una bobina, el anillo presenta entonces por ejemplo un espesor que corresponde a un espesor del hilo conductor que forma la bobina. Según un modo de realización particularmente cómodo, la anchura L_M es aproximadamente igual a d_{AK} . De forma general, un anillo es por ejemplo considerado estrecho si L_M es aproximadamente igual a una mitad del radio de la guía de ondas R_G .

10 Está posicionado alrededor de la guía de ondas cilíndrica 105, aguas abajo del ánodo 104, a una distancia d_{AM} del ánodo 104 a lo largo del eje z. De forma ventajosa, la distancia d_{AM} es aproximadamente igual a la distancia d_{AK} que separa el cátodo 102 y el ánodo 104.

15 La estrechez (según la dirección longitudinal de la guía de ondas cilíndrica 105 representada por el eje z) del anillo magnético 112 asegura así una configuración de campo magnético dominada por los campos de fuga. Dicho de otro modo, por el hecho de que el anillo magnético 112 es estrecho, permite generar campos de fuga configurados para formar una concentración de electrones entre el ánodo delgado 104 y un primer reflector. Los electrones, enrollándose a lo largo de las líneas de los campos magnéticos, están focalizados sobre el eje z y están, de hecho frenados a lo largo del eje z. La corriente de lazo termina por sobrepasar localmente la corriente crítica I_c . Resulta una acumulación local de cargas, que está en el origen de la formación de un cátodo virtual llamado "no oscilante". El cátodo virtual es aquí "no oscilante" en el sentido de que pocos electrones son rechazados hacia el ánodo delgado 104. El campo magnético producido por el anillo 112 induce un estancamiento de los electrones en la proximidad del eje z.

El anillo magnético 112 es por ejemplo una bobina de corriente o un imán permanente de manera que es entonces posible prescindir de la alimentación eléctrica.

25 Según un modo particularmente ventajoso de la presente invención, el dispositivo incluye al menos un primer reflector F_1 . El primer reflector F_1 está situado a una distancia d_{AF1} del ánodo delgado 104 de manera que d_{AF1} es igual o superior a la suma de d_{AM} y L_M , y preferentemente igual.

Dicho de otro modo, el anillo únicamente se extiende hasta el primer reflector y no más allá, como en los dispositivos que recurren a un campo magnético de guiado. El anillo está posicionado aguas abajo del ánodo, lo que difiere de los dispositivos donde el diodo está sumergido o semi sumergido por ejemplo.

30 Y según un modo de realización privilegiado, el dispositivo incluye una pluralidad de N reflectores F_i .

35 En el presente ejemplo de realización ilustrado en la figura 8, el dispositivo incluye un conjunto de tres reflectores F_i (es decir con $N=3$ e i tomando el valor de 1 a N), que son aquí todos abiertos en su periferia. Los reflectores F_i están localizados aguas abajo del ánodo delgado 104 y del anillo magnético 112 en la guía de ondas cilíndrica 105. Los reflectores F_i son transparentes a los electrones y aptos para reflejar totalmente las ondas electromagnéticas. Los reflectores están por ejemplo realizados de mylar aluminizado. En funcionamiento, todos los reflectores están ventajosamente puestos al mismo potencial que el ánodo delgado 104.

Cada reflector tiene un radio R_{Fi} y dos reflectores sucesivos están distantes uno del otro por una distancia d_{Fi-1Fi} .

40 El posicionamiento de los reflectores F_i en la guía de ondas 105 es tal que la potencia de microondas es máxima en la salida de la guía de ondas 105. Además, los reflectores F_i están por ejemplo situados a distancias variables unos respecto de otros, es decir la distancia d_{AF1} y cada distancia d_{Fi-1Fi} puede ser todas diferentes unas de otras. Dicho de otro modo, todos los reflectores del dispositivo están fijados en la guía de ondas cilíndrica 105, pero las distancias que separan dos reflectores sucesivos pueden ser diferentes unas de otras y diferentes de la distancia d_{AF1} que separa el primer reflector F_1 del ánodo delgado 104.

45 Ventajosamente, la distancia d_{AF1} es igual o superior a dos veces la distancia d_{AK} , y cada distancia d_{Fi-1Fi} está por ejemplo comprendida entre una a dos veces la distancia d_{AK} . En efecto, como los electrones están en rotación azimutal tal en la guía de ondas cilíndrica 105 por el campo magnético del anillo 112, la distancia d_{AF1} que separa el primer reflector F_1 del ánodo 104 es posiblemente sensiblemente superior a la de los dispositivos del tipo VIRCATOR del arte anterior conocidos y la distancia entre los reflectores de rangos i e $i+1$ es también posiblemente inferior a la de los dispositivos del tipo VIRCATOR conocidos del arte anterior.

50 Si la corriente de lazo es suficiente a nivel de un reflector de rango i , un cátodo virtual oscilante es iniciado detrás de él, es decir aguas abajo del reflector de rango i .

5 La rotación de los electrones por el campo magnético del anillo 112 conjugada con el efecto de la fuerza centrífuga conduce a la dispersión del haz después del último reflector F_N (aquí F_3). Una gran parte de los electrones es absorbida por la pared interna de la guía de ondas cilíndrica 105, los electrones restantes son alejados del centro de la guía de ondas cilíndrica 105, es decir del eje z, lo que minimiza cualquier interacción posible entre los electrones y las ondas magnéticas en el centro de la guía de ondas cilíndrica 105 donde se sitúa el máximo de la potencia microondas del modo TE_{11} .

Ejemplos detallados de modos de realización

El comportamiento de un VIRCATOR axial que emite en banda S e incluye N reflectores F_i y un anillo magnético 112 ha sido simulado numéricamente.

10 En los dispositivos simulados, la guía de ondas cilíndrica 105 tiene aquí una longitud $L_G = 500$ mm.

Incluye 1 a 3 reflectores, es decir $N=1,2$ o 3, abiertos en su periferia, de radio constante R_{Fi} inferior a R_G .

La distancia que separa el reflector F_1 del ánodo y las distancias que separan cada reflector F_i del reflector anterior, en función del número de reflectores F_i dispuestos en la guía de ondas están recapituladas en la tabla de la figura 12.

15 Todos los dispositivos considerados aquí permiten generar una emisión de microondas mono-frecuencia en banda S sobre el eje Z según el modo TE_{11} .

El generador consideraba que suministra una tensión de 500 kV.

La corriente crítica I_c más allá de la cual una de electrones no se propaga más en la guía de ondas cilíndrica 105 es del orden de 7,4 kA. La impedancia "crítica" Z_c para este dispositivo es así de 67,5Ω (ohm).

20 El generador de alimentación considerado aquí tiene una impedancia de 70Ω, es decir superior al impedancia "crítica".

El flujo de lazo en la guía es por tanto cuasi laminar. El proceso clásico de formación del cátodo virtual oscilante no puede por tanto desencadenarse en un VIRCATOR axial que estuviera desprovisto del anillo.

25 La fórmula que relaciona la frecuencia emitida con la distancia d_{AK} y la tensión aplicada V indica que la distancia d_{AK} es ventajosamente elegida entre aproximadamente 15,6 mm y aproximadamente 31 mm para que la radiación electromagnética de microondas sea emitida en la banda S. La distancia ánodo-cátodo d_{AK} retenida aquí es de alrededor de 22 mm.

30 Para que la corriente emitida por el cátodo Este adaptada a una impedancia de 70Ω con una alimentación de 500 kV y una distancia ánodo-cátodo d_{AK} de aproximadamente 22 mm, el radio del cátodo R_c es entonces de aproximadamente 22,5 mm.

Con la finalidad de que la emisión microondas en la banda S se realice según el modo fundamental TE_{11} de la guía de ondas cilíndrica 105, la frecuencia de corte del modo, $f_{11} = 1,8412c/(2\pi R_G)$, es ventajosamente inferior o igual a 2 GHz. Este induce un radio de la guía R_G superior a aproximadamente con 44 mm.

El radio R_G retenido aquí es por tanto de alrededor de 50 mm.

35 La configuración del campo magnético conduce localmente a un aumento de la corriente del haz en la guía de ondas para sobrepasar la corriente crítica. Bajo el efecto de los campos de fuga, los electrones son focalizados sobre el eje y de hecho frenados a lo largo del eje. Resulta una acumulación local de cargas en el origen de la formación de un cátodo virtual. Este cátodo virtual es no oscilante, pocos electrones son rechazados hacia el ánodo, la mayoría de los electrones son re acelerados hacia la salida de la guía. El campo magnético induce un estancamiento de los electrones en la vecindad del eje.

40 La configuración magnética es asegurada por el anillo magnético posicionado aquí a una distancia d_{AM} del ánodo de alrededor de 29 mm.

En los ejemplos de realización considerados aquí, el anillo que crea el campo magnético es aquí una bobina de corriente de 12.750A.vuelta (amperio-vuelta) con cómo dimensiones $L_M = 25$ mm y $R_M = 60,5$ mm.

45 El primer reflector abierto de radio $R_{F1} = 35$ mm está posicionado a nivel de la cara trasera del anillo magnético, a una distancia del ánodo $d_{AF1} = 54$ mm, como se indica en la figura 12. El primer reflector, acoplado al anillo magnético, permite crear el primer cátodo virtual oscilante detrás del primer reflector, es decir aguas abajo del primer reflector.

50 El posicionamiento de los reflectores siguientes, para los ejemplos de ejecución que incluye en dos o tres reflectores, de radio $R_{Fi} = 35$ mm, optimiza la potencia de microondas emitida en la banda S.

Según la figura 12, en una configuración de dos reflectores, el segundo reflector F_2 está posicionado a una distancia $d_{F_1-F_2}$ de 25 mm del primer reflector F_1 ; y en una configuración de tres reflectores, el segundo reflector F_2 está posicionado a una distancia $d_{F_1-F_2}$ de 29 mm del primer reflector F_1 , y el tercer reflector está posicionado a una distancia $d_{F_2-F_3}$ de 25 mm del segundo reflector F_2 .

- 5 La figura 11 representa los iso-contornos de la intensidad del campo magnético según un corte longitudinal de un dispositivo según la invención incluyendo aquí un reflector. La intensidad máxima del campo magnético en la guía es del orden de 0,1 T (Tesla) en una sección de guía de ondas recta del anillo magnético 112, es decir en una sección posicionada alrededor a la mitad de la anchura L_M del anillo magnético.

- 10 La figura 13 resume los rendimientos obtenidos mediante la simulación de un VIRCATOR axial según la invención incluyendo uno, dos o tres reflectores.

La figura 13 permite constatar que la potencia emitida aumenta con el número de reflectores. El rendimiento alcanzado es del orden de 2,5% con un único reflector y de 17,4% con tres reflectores. Un óptimo de rendimiento se obtiene con tres reflectores. Añadir un cuarto reflector es poco útil para mejorar el rendimiento ya que el número de electrones decrece y se vuelve insuficiente en la guía de ondas o en la proximidad del eje Z.

- 15 Así, un dispositivo según la invención alimentado por un generador de alta impedancia permite emitir una potencia de microonda en banda S con un rendimiento próximo del obtenido con un dispositivo en configuración axial con reflectores del arte anterior conocido, alimentado con un generador de baja impedancia.

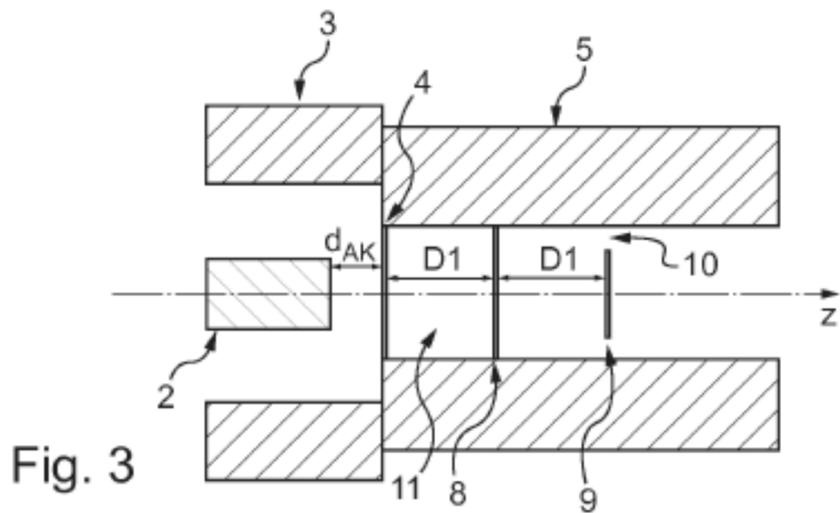
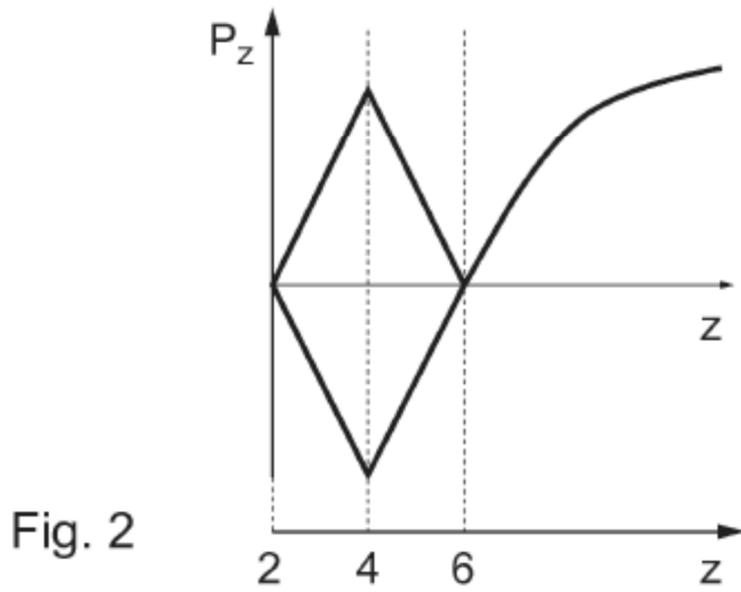
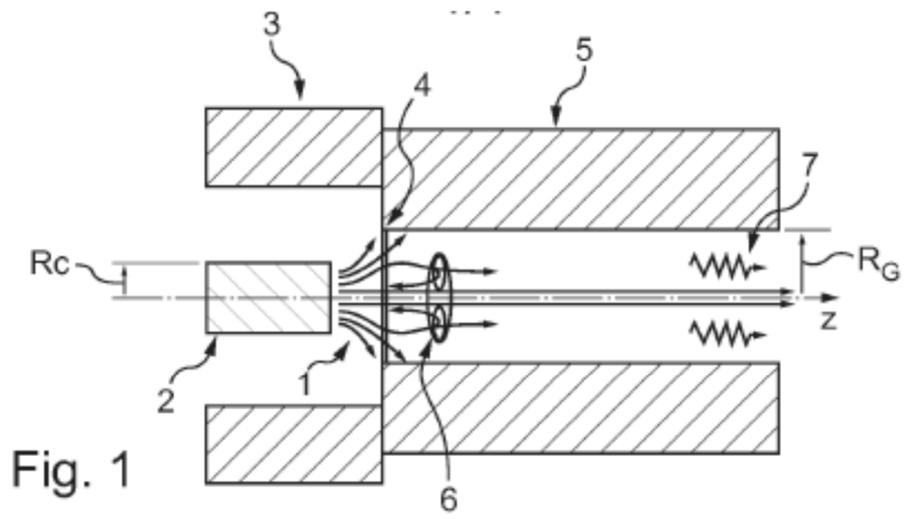
- 20 La configuración con tres reflectores asegura un rendimiento mínimo de 13,8% para una distancia $d_{F_2-F_3}$ entre un segundo reflector y un tercer reflector comprendida entre aproximadamente 25 mm y aproximadamente 31 mm, mientras se conserva la frecuencia de emisión de microondas.

- 25 Según otro ejemplo, un dispositivo según la invención tal y como se ha descrito anteriormente, está acoplado a un generador de impedancia más elevado, mientras emite a la misma frecuencia de microondas según el modo TE_{11} . Por ejemplo, conservando una tensión de alimentación de 500 kV, un aumento de la distancia ánodo-cátodo d_{AK} a 30 mm induce una disminución del campo acelerador en el diodo y por tanto una corriente emitida más baja, del orden de alrededor de 4 kA. En consecuencia, el diodo está adaptado a una impedancia de alimentación más elevada, por ejemplo de alrededor de 125Ω . Siendo menor la densidad del haz emitido, aumentar ligeramente la intensidad de la corriente del anillo magnético a 14.250A.vuelta, permite generar una emisión de microondas monofrecuencia a 2,31 GHz en el modo TE_{11} con un rendimiento de un 12%. Este rendimiento puede por ejemplo ser mejorado ajustando el posicionamiento de los reflectores en la guía.

- 30 Por supuesto, la presente invención no se limita únicamente a la descripción anterior, sino que se extiende a cualquier variante en el marco de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1- Dispositivo generador de ondas microonda de cátodo virtual oscilante, de geometría axial, que incluye un cátodo, un ánodo delgado y una guía de ondas cilíndrica (105), de eje longitudinal Z y de radio R_G , que presenta una primera extremidad que forma una entrada de guía de ondas cilíndrica (105) y una segunda extremidad que forma una salida de guía de ondas cilíndrica (105), el cátodo (102) está posicionado aguas arriba de la entrada de la guía de ondas cilíndrica y configurado para emitir unos electrones, y el ánodo delgado (104) está posicionado a la entrada de la guía de ondas cilíndrica (105), entre el cátodo (102) y la guía de ondas cilíndrica (105), y el dispositivo incluye además al menos un primer reflector (F_1) localizado en la guía de ondas (105), transparente a los electrones y configurado para reflejar una onda microonda creada por al menos un cátodo virtual generado en la guía de ondas (105),
- 5 el dispositivo está caracterizado por que incluye además un anillo magnético (112) estrecho de anchura (L_M) según el eje longitudinal z, posicionado exteriormente alrededor de la guía de ondas cilíndrica (105) a una distancia (d_{AM}) del ánodo delgado (104) y con el primer reflector (F_1) posicionado a una distancia (d_{AF1}) del ánodo delgado (104) más allá del anillo magnético (112) de manera que el anillo magnético (112) este localizado entre el ánodo delgado (104) y el primer reflector (F_1), el anillo magnético (112) está configurado para generar un campo magnético apto para frenar los electrones y para crear una acumulación de cargas en el origen de un cátodo virtual no oscilante posicionado entre el ánodo delgado (104) y el primer reflector (F_1).
- 15 2- Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que la distancia (d_{AM}) que separa el anillo magnético (112) del ánodo delgado (104) a lo largo del eje z es igual o superior a una distancia (d_{AK}) que separa el cátodo (102) del ánodo delgado (104).
- 20 3- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que la distancia (d_{AF1}) que separa el primer reflector (F_1) del ánodo delgado (104) es igual o superior a una suma de la distancia (d_{AM}), que separa el anillo magnético (112) del ánodo delgado (104), y de la anchura (L_M) del anillo magnético (112).
- 25 4- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la distancia (d_{AF1}) que separa el primer reflector (F_1) del ánodo delgado (104) es igual o superior a alrededor dos veces la distancia (d_{AK}) que separa el cátodo (102) del ánodo delgado (104).
- 5- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que al menos el primer reflector (F_1), localizado en la guía de ondas (105), es un reflector abierto.
- 30 6- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que incluye una pluralidad de reflectores sucesivos (F_i) posicionados en la guía de ondas cilíndrica (105).
- 7- Dispositivo según la reivindicación 6, caracterizado por que los reflectores sucesivos de la pluralidad de reflectores (F_i) están separados uno del otro una distancia ($d_{F_i-1F_i}$) igual o inferior a dos veces una distancia (d_{AK}) que separa el cátodo (102) del ánodo delgado (104).
- 35 8- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, caracterizado por que dos reflectores sucesivos de la pluralidad de reflectores (F_i) están separados uno del otro por una distancia ($d_{F_i-1F_i}$) igual o superior a una distancia (d_{AK}) que separa el cátodo (102) del ánodo delgado (104).
- 9- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que todos los reflectores (F_i) son abiertos y presentan un mismo radio R_{Ri} .
- 40 10- Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que incluye tres reflectores (F_i) posicionados en la guía de ondas (105).



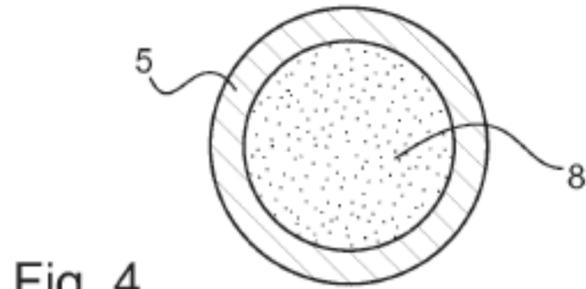


Fig. 4

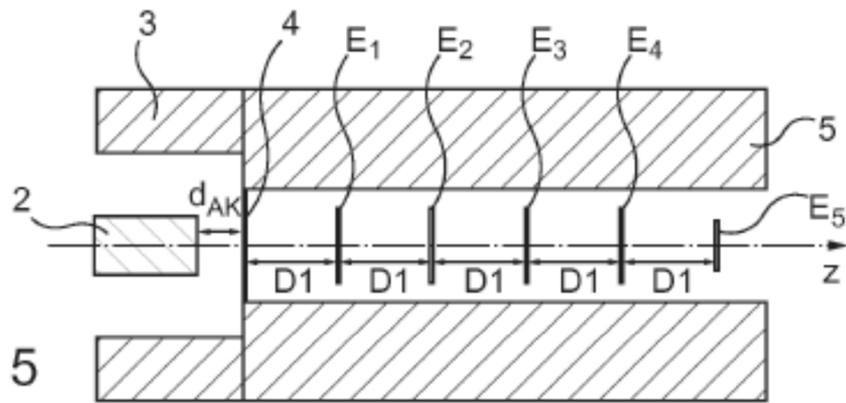
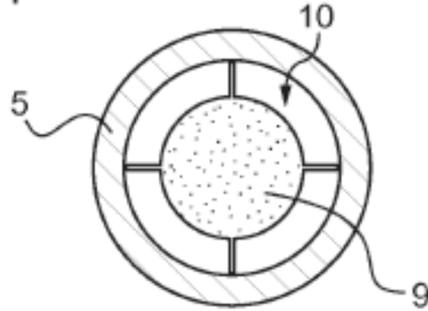


Fig. 5

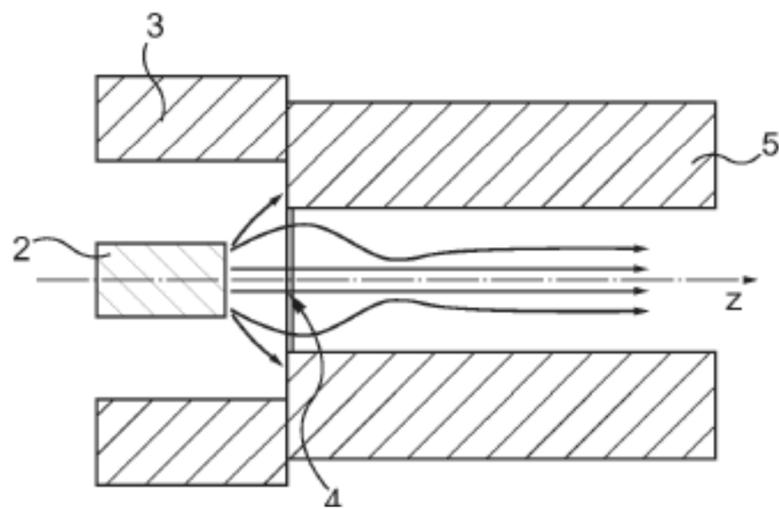


Fig. 6

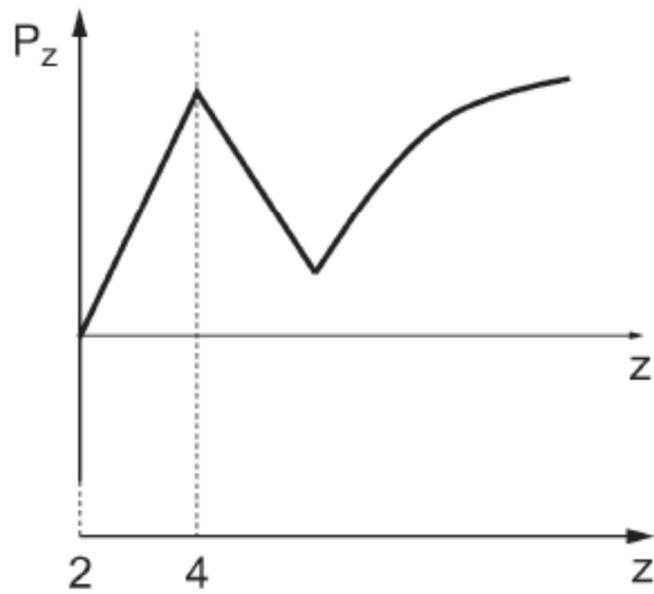


Fig. 7

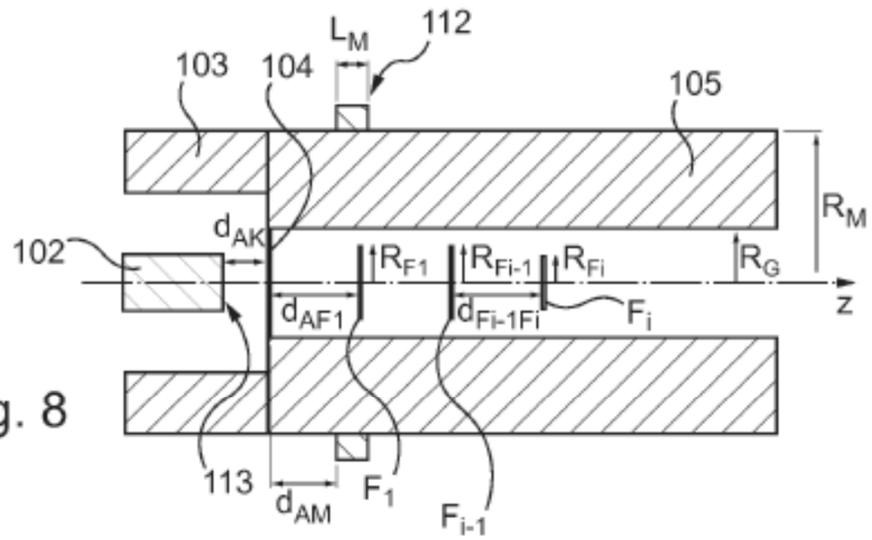


Fig. 8

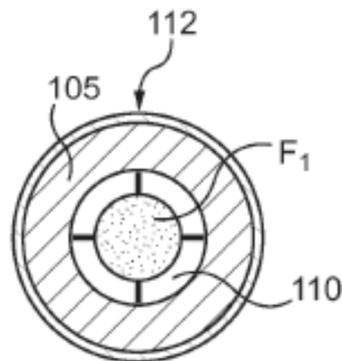


Fig. 9

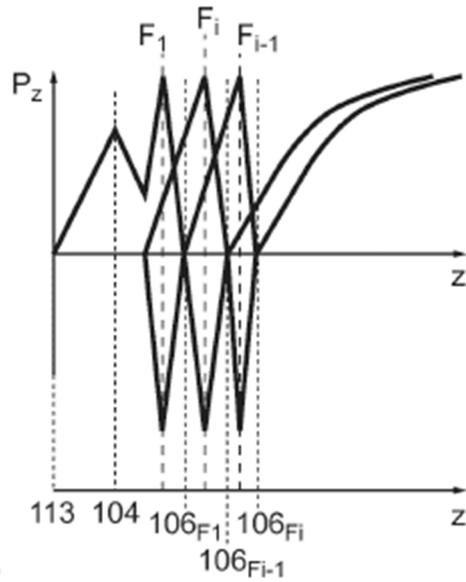


Fig. 10

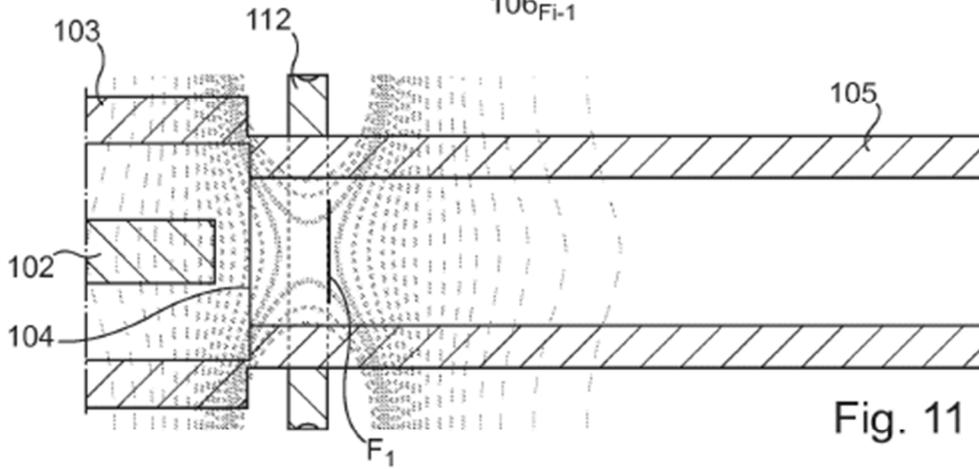


Fig. 11

Vircator axial con reflectores "abiertos" y anillo magnético			
Número de reflectores	d_{AF1} [mm]	d_{F1F2} [mm]	d_{F2F3} [mm]
1	54		
2	54	25	
3	54	29	25

Fig. 12

Vircator axial con reflectores "abiertos" y anillo magnético	Frecuencia (GHz)	Modo	Potencia (MW)	Rendimiento (%)
1 reflector + 1 anillo	2,09	TE ₁₁	88,05	2,5
2 reflectores + 1 anillo	1,99	TE ₁₁	301,65	8,6
3 reflectores + 1 anillo	2,33	TE ₁₁	607,76	17,4

Fig. 13