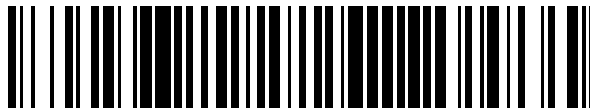


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 017**

51 Int. Cl.:

H01J 1/304 (2006.01)

H01J 35/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2015 PCT/EP2015/080990**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2016 WO16102575**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2015 E 15820149 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3238225**

54 Título: **Fuente de electrones de alta energía basada en CNT con elemento de control de onda electromagnética remota**

30 Prioridad:

23.12.2014 FR 1402973

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

26.07.2019

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**MAZELLIER, JEAN-PAUL;
LEGAGNEUX, PIERRE;
GANGLOFF, LAURENT;
ANDRIANIAZY, FLORIAN y
PONARD, PASCAL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 721 017 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

Fuente de electrones de alta energía basada en CNT con elemento de control de onda electromagnética remota

La invención se refiere a una fuente de electrones de alta energía, entre 20 y 500 kV, por ejemplo, que comprende al menos un cátodo o fuente de electrones conmutable o modulable y un elemento de control por onda electromagnética externo a la estructura del cátodo conmutable.

Se usa en el ámbito de los tubos de electrónicos que integran un cañón de electrones, y más particularmente en el ámbito de los tubos de rayos X. Se refiere a cátodos conmutables o modulables que comprenden uno o varios emisores de efecto de campo, o se basan en nanotubos/nanofibras de carbono o CNT, asociados con una fuente de corriente controlada por onda electromagnética (SCCO) que puede ser físicamente remota fuera del tubo de rayos X. Se refiere a una fuente de rayos X, RX, que suministra un flujo de RX controlado por una onda electromagnética, por ejemplo, una fuente de iluminación óptica, y que se puede conmutar entre un estado ENCENDIDO y un estado APAGADO o bien, se puede regular entre estos dos estados.

Los cátodos conmutables con una onda electromagnética propuestos actualmente son cátodos controlados ópticamente (fotocátodos). Uno de los problemas existentes en los fotocátodos de la CNT es que los fotoelementos asociados físicamente con las CNT están sujetos a rayos X y a los bombardeos ionizante dentro del recinto del tubo. Su integración por lo tanto requiere una tecnología de endurecimiento. Además, su integración en forma de una red homóloga a la red de CNT limita las posibles dimensiones de estos fotoelementos, lo que puede limitar su tensión de chisporroteo, por ejemplo, generalmente 40 V, mientras que el uso de fotoelementos más anchos permite tensiones de chisporroteo superiores hasta varios cientos de voltios.

El documento US 2006/0002514 desvela un dispositivo que comprende una red de emisores electrónicos asociados con una rejilla de extracción, un componente fotosensible conectado, por un lado, a una fuente de tensión y, por otro lado, a la rejilla de extracción, y a una resistencia conectada a tierra. En esta configuración, la rejilla está polarizada positivamente con respecto a la punta para permitir la emisión de electrones a partir de este punta. La emisión de los emisores electrónicos depende de la diferencia de tensión entre la tensión de la rejilla y la tensión de la punta. Esta diferencia de tensión depende del estado pasante o no pasante del dispositivo fotosensible. La corriente de emisión sigue entonces la ley de Fowler-Nordheim conocida por los expertos en la materia que es, como primera aproximación, un exponencial de la tensión de la rejilla. De hecho, la corriente de emisión no puede ser controlada con precisión.

La patente de Estados Unidos 5 804 833 describe una estructura que comprende un fotocátodo y un ánodo. El fotocátodo comprende una estructura emisora fabricada en una estructura detectora. La tensión de polarización es generalmente de 10 kV. Tal configuración no permite fabricar una fuente de RX (tensión de funcionamiento de 50 a 500 kV) que presenta un flujo de RX bajo en el estado de APAGADO correspondiente a la estructura detectora sin luz. Esta patente describe una segunda configuración que implica el uso de una fuente de tensión para polarizar la rejilla con respecto al contacto para activar la estructura detectora. En la configuración ideal, ánodo a tierra para facilitar enfriamiento y fotocátodo de alta tensión, la adición de una fuente de tensión al nivel del fotocátodo complica la alimentación de alta tensión del fotocátodo, por adición un transformador de aislamiento, por ejemplo. Las estructuras detectoras y emisoras se realizan en un trozo continuo de semiconductor con el elemento fotoconductor ubicado debajo del emisor. Por lo tanto, se expone a los rayos X generados en el tubo. Los fotoelementos siempre que presentan una corriente de fuga, hay una corriente de emisión de electrones que genera rayos X en el objetivo. Estos rayos X a su vez generan una corriente en el fotoconductor. Este bucle induce la aparición de un flujo residual de rayos X. Por lo tanto, en esta configuración no es posible obtener un flujo residual de rayos X extremadamente bajo en el estado APAGADO, es decir, sin iluminación del fotoelemento.

En la continuación de la descripción, en el estado "ENCENDIDO", el fotoelemento está iluminado, mientras que en el estado "APAGADO" el fotoelemento no se ilumina. Se designará un mismo elemento usando la expresión "una fuente de corriente controlada por una onda electromagnética" o "un elemento de control de corriente".

El objeto de la invención se refiere a una nueva estructura de fuente de electrones de alta energía controlable por una onda electromagnética basada en emisores de efecto de campo, por ejemplo, nanotubos/nanofibras de carbono (CNT) donde la configuración de los electrodos del cátodo conmutable permite una reconfiguración dinámica del potencial en las proximidades de los CNT. Los nanotubos o nanotubos están conectados eléctricamente a una base, todo dispuesto sobre una superficie. La reconfiguración del potencial se asegura en particular mediante el acoplamiento de los CNT con una fuente de corriente controlada por una onda electromagnética (SCCO) que se externaliza del sustrato y que, de hecho, puede ser remota físicamente desde un tubo que integra el cátodo conmutable (o modulable) como fuente electrónica. Esta integración hace posible, en particular, evitar la exposición directa del fotoelemento a los rayos X generados en el tubo y el efecto del flujo de iones de alta energía en el cátodo que puede accionar una erosión o a una modificación de las propiedades eléctricas del sustrato, por ejemplo, la hidrogenación del silicio.

La invención se refiere a una fuente de electrones de alta energía según la reivindicación 1 controlada por una onda electromagnética que comprende un recinto de vacío, un cátodo conmutable o modulable basado en emisores de

5 efecto de campo que comprende al menos un electrodo de apantallamiento, al menos un emisor de efecto de campo conectado a un electrodo de base dispuesto sobre un sustrato, un ánodo conectado a tierra, una alimentación de alta tensión, dicha alimentación de alta tensión que suministra un potencial para crear un campo de ánodo suficiente para inducir la emisión desde el emisor de efecto de campo, al menos un circuito de control para una fuente de corriente controlada por una onda electromagnética o SCCO conectada a dicho cátodo conmutable caracterizada porque:

- La SCCO se dispone fuera del recinto de vacío,
- un terminal de entrada de la SCCO se conecta a la alimentación de alta tensión y al electrodo de apantallamiento del cátodo conmutable,
- 10 • un terminal de salida de la SCCO se conecta al electrodo de base entre el emisor de efecto de campo y el sustrato,
- el potencial del terminal de salida es superior o igual al potencial del terminal de entrada, el electrodo de apantallamiento está adaptado para disminuir el campo eléctrico inducido por el ánodo en el emisor,
- 15 • el electrodo de apantallamiento que está ubicado en un plano P que comprende la superficie conductora situada debajo del pie del emisor de efecto de campo o ubicado bajo este mismo plano, existe una zona eléctricamente aislante entre el electrodo de apantallamiento y esta superficie conductora.

Según una variante de realización, el SCCO está dispuesto en un conector de alta tensión asociado con el recinto de vacío, comprendiendo dicho conector una ventana transparente a la onda electromagnética, al menos una fuente de ondas electromagnéticas controlada por el circuito de control.

20 Según un modo de realización, la fuente de ondas electromagnéticas es una fuente óptica tal como una fuente de láser, un diodo láser, un diodo electroluminiscente y la ventana es transparente a la longitud de onda de la fuente óptica.

Según otra variante, la fuente de ondas electromagnéticas es una fuente de radiofrecuencia que comprende un módulo de emisión y una antena de emisión de radiofrecuencia, y la SCCO comprende una antena de recepción de radiofrecuencia conectada a un módulo de recepción de radiofrecuencia, y una fuente de corriente controlada por este módulo de recepción.

25 La SCCO comprende, por ejemplo, una antena de recepción de RF conectada a un módulo de recepción de RF, dos cátodos y un microprocesador adaptado para pilotar la generación de corriente.

30 Según un modo de realización, un cátodo conmutable o modulable basado en emisores de efecto de campo comprende al menos dos zonas, cada una de estas zonas está conectada a una salida de una fuente de corriente correspondiente y una o varias fuentes de láser conectadas a un circuito de control.

El transporte de la onda óptica se puede realizar con ayuda de una fibra óptica aislante insertada en un material sólido.

35 Según un modo de realización, el sustrato comprende un electrodo de apantallamiento que presenta en una parte una abertura O_i , en la que se deposita un aislante de encapsulación, estando el electrodo de base y el emisor dispuestos con respecto a la abertura practicada en el electrodo de apantallamiento.

Según una variante, un electrodo de base que tiene un radio R, la distancia entre el electrodo de base y el electrodo de apantallamiento es del orden de R.

40 La fuente de electrones puede constar de un sustrato cubierto con una capa aislante que comprende una vía que permite el contacto del electrodo de base del transistor de efecto de campo, un electrodo de apantallamiento posicionado alrededor de un emisor de efecto de campo, una capa aislante de encapsulación depositada para cubrir el electrodo de apantallamiento y al menos parcialmente el electrodo de base del nanotubo.

La fuente también puede constar de una red de emisores de efecto de campo conectados al sustrato gracias a de la presencia de contactos pasantes.

45 Según un modo de realización, el sustrato comprende un electrodo de apantallamiento continuo, un aislante de encapsulación sobre el cual se colocan el electrodo de base y el emisor de efecto de campo asociado.

Según un modo de realización, un emisor de efecto de campo es un nanotubo de carbono o una nanofibra de carbono.

50 La invención también se refiere a una fuente de electrones donde los electrones chocan contra un ánodo para la producción de rayos X.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán mejor al leer ejemplos ilustrativos de realización dados a título ilustrativo y en ningún caso limitantes, junto con las figuras, que representan:

- la figura 1, un ejemplo de estructura según la invención,

- la figura 2, un ejemplo de estructura según la invención con el CNT,
- la figura 3, una realización ejemplar con una red de CNT,
- la figura 4, una ilustración de funcionamiento del cátodo conmutable,
- 5 • la figura 5, la diferencia de tensión entre el nanotubo y el electrodo de apantallamiento que permite una cancelación del campo en el vértice de un nanotubo,
- la figura 6, una primera variante de realización del sistema con control de fibra óptica,
- las figuras 7 y 8, dos realizaciones ejemplares con un control de radiofrecuencia,
- la figura 9, una segunda variante que comprende varias fuentes,
- 10 • la figura 10, una variante que permite suprimir las fugas de corriente en la superficie del aislante,
- la figura 11, una variante de red de CNT conectados al sustrato y diferentes electrodos surfácicos de control,
- la figura 12, una variante donde los CNT están polarizados individualmente y tienen un electrodo surfácico de control común,
- la figura 13, un ejemplo de integración a un nivel surfácico,
- 15 • la figura 14, una realización ejemplar de diferentes zonas de emisión con control individual de la corriente emitida,
- la figura 15A y la figura 15B representan dos ejemplos de estructura con electrodo de apantallamiento enterrado,
- la figura 16, esquematiza otra variante de estructura del electrodo de apantallamiento enterrada,
- la figura 17, representa un circuito electrónico de control, y
- La figura 18, un ejemplo de una red con tres conexiones.

20 Los siguientes ejemplos se dan para el uso de CNT, pero podrían implementarse para cualquier tipo de emisor de efecto de campo micrométrico, por ejemplo, micropuntas de silicio o metálicas, diamante, óxido de cinc ZnO, etc.

La figura 1 describe una primera realización ejemplar de una fuente de electrones 100 de alta energía modulable o modulable por onda electromagnética que comprende un recinto de vacío 101 conectado a tierra que comprende una ventana 102 transparente de rayos X, una alimentación de alta 103 tensión, (-30 a -500 kV), un cátodo 104 conmutable basado en emisores de efecto de campo, por ejemplo, nanotubos/nanofibras de carbono CNT, 105, que integra uno o varios electrodos 111 de apantallamiento, las capas conductoras a cada lado o alrededor del nanotubo están conectadas. El elemento de control de la corriente por onda electromagnética SCCO se dispone fuera del recinto de vacío, el cátodo conmutable y la SCCO están polarizados a la tensión negativa alta, un ánodo 106 a tierra, una fuente de ondas 107 electromagnéticas, por ejemplo, una fuente óptica tal como un láser, un diodo láser o un diodo electroluminiscente, una ventana transparente a la onda 108 electromagnética y un circuito 109 de control de esta fuente de ondas electromagnéticas, por ejemplo, una fuente óptica. La alimentación de la fuente se desacopla galvánicamente de la alimentación 103 de alta tensión. La alimentación 103 de alta tensión suministra un potencial que tiene un valor seleccionado para crear un campo de ánodo suficiente para inducir la emisión desde el emisor 105.

35 El elemento de control de corriente (SCCO) remoto del recinto, en este ejemplo, es un fototransistor o un fotodiodo iluminado por una fuente óptica a través de una ventana ópticamente transparente y un gas dieléctrico ópticamente transparente. El SCCO 120 está situado en un conector 121 de alta tensión, que comprende una envoltura 122 estanca a tierra y compuesto de aislantes 123 eléctricos y gas presurizado con alta rigidez 124 dieléctrica y ópticamente transparente.

40 El cátodo 104 conmutable (figura 2, figura 3) comprende al menos un nanotubo/nanofibra 105 de carbono multiparedes (CNT), que comprende una superficie 105s conductora situada debajo del pie del emisor, el CNT está orientado verticalmente con respecto al plano del cátodo, un electrodo 111 de apantallamiento del campo inducido por el ánodo 106 situado a cada lado o alrededor del nanotubo, estando dispuestos estos elementos sobre un sustrato 112. El aislante eléctrico 115 dispone de aberturas al nivel de los electrodos 110 de base para conectar eléctricamente los CNT 105 al sustrato 112.

Una CNT presenta una importante relación de aspecto, por ejemplo, comprendida en el intervalo [100-200], entre su longitud de cien nanómetros a varios micrones, y su diámetro en el vértice o equivalente para superficies de ápices CNT no esféricas, un nanómetro a varias decenas de nanómetros. La distancia entre el electrodo 111 de apantallamiento y el nanotubo 105 está cercano a la altura h_{CNT} del nanotubo. El electrodo 111 de apantallamiento se dispone preferentemente en un plano P que comprende la superficie conductora del pie 105p del emisor o situado debajo de este plano.

La zona 115 aislante soporta la diferencia de potencial entre el disco en la base del nanotubo y el electrodo de apantallamiento. La reducción de esta tensión permite limitar la tensión eléctrica inducida.

El electrodo conductor entre el nanotubo 105 y el sustrato 112 está conectado al terminal 131 de salida de la SCCO. El electrodo 111 de apantallamiento en la superficie del sustrato está conectado al terminal 132 de entrada de la SCCO. El terminal 132 de entrada de la SCCO se conecta a la alta tensión HT. La fuente 107 óptica ilumina la fuente de corriente SCCO con una potencia controlada por el circuito 109 electrónico de control. El potencial del terminal 131 de salida es en este ejemplo superior o igual al potencial del terminal 132 de entrada. El electrodo 111 de apantallamiento únicamente permite reducir o suprimir el campo eléctrico inducido por el ánodo 106 en el emisor 105, en funcionamiento normal.

El modelo en este ejemplo se define para las siguientes hipótesis:

- el CNT 105 presenta una relación de aspecto de 100 a 200 entre su longitud l y su diámetro en el vértice,
- V representa la tensión entre el nanotubo 105 y su electrodo 110 de base con respecto al electrodo 111 de apantallamiento,
- R es el radio de la abertura en el electrodo de apantallamiento.

10 Cuando el tubo RX está en tensión, se aplica una tensión negativa al cátodo 104 conmutable y al SCCO 120 en relación con el ánodo 106. Esta diferencia de potencial induce un campo eléctrico al nivel del cátodo 104. Luego se aplica un campo eléctrico al CNT 105 que puede inducir la emisión de electrones. La corriente I_{CNT} suministrada por el nanotubo de carbono es igual a la corriente I_{SCCO} suministrada por la fuente corriente SCCO, se ajusta a la corriente. Este punto de funcionamiento conduce a un fenómeno de autopolarización del CNT 105: cuando la corriente I_{SCCO} suministrada por la fuente de corriente SCCO disminuye, esto aumenta la tensión positiva en el nanotubo 105 con respecto al electrodo 111 de apantallamiento. El electrodo de apantallamiento luego selecciona el campo del ánodo aplicado localmente al nanotubo, lo que reduce automáticamente la corriente de emisión I_{CNT} del CNT, hasta que la corriente I_{CNT} suministrada por el CNT sea igual a la corriente I_{SCCO} suministrada por la fuente corriente SCCO. La corriente I_{CNT} suministrada por el o los nanotubos se ajusta automáticamente a la corriente I_{SCCO} suministrada por la SCCO. Este modo de funcionamiento permite un control de la corriente de emisión del nanotubo según una ley casi lineal de la potencia óptica, en esta realización ejemplar (siendo la SCCO un fotodiodo o un fototransistor).

20 La posición de la SCCO 120 fuera del recinto de vacío permite evitar su exposición a los rayos X generados. El flujo residual de rayos X emitido cuando la fuente de corriente no está iluminada, estado APAGADO, es entonces muy bajo. Esta configuración no requiere una fuente de tensión activa para gestionar la tensión del electrodo de apantallamiento o para activar la SCCO. En consecuencia, la alimentación de alta tensión genera solo una señal para polarizar el cátodo conmutable y la SCCO con respecto al ánodo. Por lo tanto, es posible concebir una fuente de alimentación de alta tensión muy compacta que no requiera un transformador de aislamiento en funcionamiento normal.

Debido a la disposición de la SCCO fuera del recinto, es posible obtener una corriente de oscuridad I_{obs} igual a la corriente de oscuridad intrínseca (<1 nA) de la SCCO y, por lo tanto, una corriente de emisión de nanotubos extremadamente baja (<1 nA), que es esencial para aplicaciones médicas, por ejemplo.

30 El ánodo 106 está conectado a tierra, lo que facilita su enfriamiento. Según un modo de realización, el ánodo 106 puede constar de una abertura que permite el paso de electrones, estando conectado el ánodo 106 a un recinto de vacío según un esquema conocido por los expertos en la materia. La fuente según la invención es una fuente de electrones de alta energía, de 20 a 500 kV, por ejemplo.

La figura 3 ilustra una realización ejemplar de la invención con una red de CNT, 105i. Los elementos a los que se hace referencia en esta figura se han descrito anteriormente.

35 La figura 4 ilustra esquemáticamente el funcionamiento del cátodo controlado por la SCCO. Incluye la corriente de emisión I_{CNT} de un CNT en función de la diferencia de potencial entre el nanotubo 105 y el electrodo 111 de apantallamiento, y esto para un campo de ánodo constante. También incluye la corriente suministrada I_{SCCO} por la SCCO en función de la tensión de polarización de esta SCCO y en función de la potencia óptica P_{opt} recibida por la SCCO.

40 En la configuración representada, la diferencia de tensión entre el nanotubo y el electrodo de apantallamiento no está controlada, lo que es igual a la diferencia de tensión entre el terminal de salida y el terminal de entrada de la fuente SCCO.

45 Como la corriente suministrada I_{CNT} por los nanotubos es igual a la corriente suministrada I_{SCCO} por la SCCO, el valor de corriente es la intersección, I_s , entre la curva 200 de la corriente suministrada por la SCCO y la curva 201 de la corriente de emisión del nanotubo. Para una potencia óptica P_{opt1} de iluminación de la SCCO correspondiente a una corriente suministrada por esta fuente de SCCO de $10 \mu A$, la corriente de emisión CNT es igual a esta corriente de $10 \mu A$.

50 Cuando la potencia de emisión de la fuente de SCCO disminuye, curva P_{opt2} , la corriente I_{SCCO} suministrada por la SCCO disminuye, en el ejemplo, $5 \mu A$. Los electrones inicialmente acumulados en el vértice de la CNT serán parcialmente emitidos por efecto de campo, reduciendo así el campo de extracción en su vértice. Se reducirá la corriente de emisión I_{CNT} . Este proceso se detiene cuando la corriente de emisión se vuelve igual a $5 \mu A$. Es posible modular temporalmente la potencia de iluminación de la fuente SCCO y, por lo tanto, la corriente de emisión I_{CNT} de los nanotubos y, por lo tanto, el flujo de RX emitido en el objeto a examinar.

55 Cuando la SCCO ya no está iluminada, estado APAGADO, la corriente suministrada I_{SCCO} por la fuente es igual al valor de corriente correspondiente a la intersección de la curva que describe la corriente de oscuridad I_{obs} y de la curva de emisión del nanotubo. Para obtener una corriente en el estado APAGADO extremadamente baja, la corriente de oscuridad de la fuente SCCO debe ser extremadamente baja y la tensión en los terminales de la fuente

de corriente SCCO debe ser inferior a la tensión de avalancha SCCO.

La figura 5 representa la diferencia de tensión entre un CNT y un electrodo de apantallamiento que permite una cancelación del campo en el vértice del CNT. Para un CNT de altura de 5 μm y un radio de abertura en el electrodo de apantallamiento de 1 μm , esta tensión es de 110 V. En esta configuración, se seleccionará una SCCO que presenta una tensión de avalancha superior a 110 V y que presenta una corriente de oscuridad extremadamente baja. Existen fotodiodos que presentan tensiones de avalancha de 200 V con una corriente de oscuridad inferior a 1 nA. Por lo tanto, con esta configuración es posible realizar un tubo RX con una corriente de electrones en el estado APAGADO inferior a 1 nA. La fuente de corriente SCCO también puede alimentar una red de nanotubos, como será esquematizado más adelante. La corriente en el estado ENCENDIDO, fuente de corriente iluminada, puede alcanzar, por ejemplo, 1 mA. Entonces se obtiene una relación ENCENDIDO/APAGADO de 10^6 . Es particularmente ventajoso usar CNT cortos y finos, por ejemplo, de 2 μm de altura y 20 nm de diámetro en el vértice. Para el mismo radio de electrodo de 1 μm , la tensión que permite cancelar el campo en el vértice del nanotubo es del orden de 50 V. Es posible entonces usar SCCO que tengan una tensión de avalancha más baja.

Para un electrodo apantallamiento enterrado, el espesor del aislamiento se ajustará en función de las tensiones a mantener y el material aislante. Por ejemplo, 1 μm de sílice térmica puede contener una tensión de 200 V y, en teoría, 1000 V. El principio de funcionamiento del cátodo conmutable expuesto anteriormente sigue siendo el mismo para esta variante de realización.

La figura 6 representa una variante de realización que usa una fibra óptica aislante eléctrica para la propagación de la señal de control. Los elementos de esta variante idénticos a los descritos en la figura 1 llevan las mismas referencias. Una fibra 140 óptica aislante permite la propagación de la señal que proviene de la fuente 107. Esta fibra pasa a través de un sólido 141 dieléctrico, tal como un polímero, una cerámica, un epóxido, para excitar la SCCO 120. El conjunto se dispone en un aislante 142 eléctrico. Como en el ejemplo de la figura 1, existe un enlace óptico directo entre la fuente óptica y la fuente SCCO remota.

La figura 7 ilustra una fuente 180 de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia para controlar la SCCO. La fuente de radiofrecuencia comprende un módulo 181 de emisión y una antena 182 de emisión de RF. La SCCO comprende una antena 183 de recepción de radiofrecuencia conectada a un módulo 184 de recepción de radiofrecuencia, y una fuente de corriente controlada por este módulo de recepción. La SCCO es, por lo tanto, una fuente de corriente controlada por la fuente 180 de ondas electromagnéticas. Tal dispositivo no requiere ningún enlace directo entre la fuente de RF y la SCCO. Este dispositivo está particularmente adaptado para el pilotaje muchos cátodos conmutables transportados a alta tensión por una onda electromagnética que tiene diferentes modulaciones y, por lo tanto, permite la multiplexación y demultiplexación de la emisión al recibir cada canal, cátodo de la CNT. El control puede ser todo o nada (Encendido/Apagado) o bien, permitir un control preciso de la intensidad de corriente de los CNT por la modulación de ancho de pulso o PWM en inglés Pulse Width Modulation.

La figura 8 esquematiza una variante para el pilotaje de dos cátodos C_1 , C_2 por multiplexación Mix. Este dispositivo permite, por ejemplo, el pilotaje por RF y la generación de señales PWM para controlar la corriente a partir de un segundo microprocesador 185. La comunicación entre los dos microprocesadores de RF se puede hacer usando el protocolo SPI, por ejemplo.

La figura 9 representa una variante para la cual el cátodo conmutable comprende al menos dos zonas 81, 82, incluso más de dos zonas. Cada zona comprende uno o varios CNT 105 y cada zona se conecta a una salida 83s, 84s, una fuente 83, 84 de corriente correspondiente a ella. Cada CNT 105 se asocia con un electrodo de apantallamiento colocado en cualquier lado o alrededor del nanotubo como se describió anteriormente. Una o varias fuentes 85, 86 de láser se conectan a un circuito de control. El funcionamiento de esta variante es similar al descrito para las figuras anteriores con una mayor posibilidad en la modulación.

La figura 10 es una vista en sección de un ejemplo de una solución que permite suprimir las fugas de corriente que pueden existir en la superficie del aislante 1001. En este ejemplo, el sustrato 1000 está cubierto con una capa aislante 1001 que comprende una vía 1002 que permite el contacto del electrodo de base del nanotubo, un electrodo 111 de apantallamiento posicionado alrededor del nanotubo 105 (figura 2). Una capa 1004 aislante de encapsulación se deposita para cubrir el electrodo de apantallamiento y al menos parcialmente el electrodo de base del nanotubo. Esta disposición permite ventajosamente disminuir o incluso cancelar las corrientes de fuga.

La figura 11 representa una red de nanotubos 105 conectados al sustrato gracias a la presencia de contactos 1100 pasantes, conocidos por la abreviatura anglosajona TSV (through silicon vias). La presencia de estos TSV hace posible transferir contactos desde la cara 1101 posterior a la cara 1102 frontal. Además, estando ellos mismos aislados del sustrato, permiten controlar eléctricamente diferentes zonas de la superficie del chip. De este modo, todas las CNT 105 están conectadas al sustrato 91. Los electrodos de apantallamiento aislados eléctricamente se pueden agregar a diferentes zonas de CNT, controlando así independientemente sus corrientes de emisión.

La figura 12 esquematiza un ejemplo de nanotubos 105 polarizados individualmente gracias a la presencia de contactos 1100 pasantes TSV y la presencia de un electrodo 1200 surfácico de control común a los diferentes nanotubos CNT.

La figura 13, describe un ejemplo de integración a un nivel surfácico. Sobre el sustrato 1300 se deposita una capa 1301 aislante. Luego se corta una capa conductora en dos zonas conductoras separadas, 1303, 1304, pero entrelazadas para obtener una estructura interdigitada. Uno de los electrodos sirve como electrodo de base 110 en el CNT 105 (figura 2), el otro electrodo desempeña el papel de electrodo 111 de apantallamiento. Aquí el sustrato ya no tiene un papel eléctrico, únicamente un papel de soporte mecánico.

La figura 14, da una realización ejemplar de diferentes zonas 1401, 1402, 1403, 1404, 1405 de emisión con control individual de la corriente emitida. Cada una de las zonas presenta una estructura tal como la que se describe en la figura 12. Las diferentes zonas se posicionan una junto a la otra en función de las especificaciones de la aplicación prevista. Es posible realizar una transferencia de los contactos en la cara posterior sin cambiar el principio de funcionamiento.

La figura 15A y la figura 15B, dos ejemplos de estructura multicapa aislante. La figura 15A representa una primera variante de realización que permite, en particular, evitar el riesgo de fuga de corriente en la superficie del aislante. Se deposita sobre un sustrato aislante un electrodo 151 de apantallamiento que presenta en una parte una abertura O, en la que se deposita un aislante 152 de encapsulación. El electrodo de base y el nanotubo se disponen con respecto a la abertura practicada en el electrodo de apantallamiento. La figura 15B esquematiza una segunda variante en la que se dispone sobre el sustrato aislante, un electrodo de apantallamiento continuo, un aislante 154 de encapsulación sobre el cual se va a posicionar el electrodo 110 de base y el nanotubo 105 asociado.

En estas dos configuraciones, la red conductora en el potencial de los nanotubos se separa del electrodo de apantallamiento de control por una capa dieléctrica aislante. El aislamiento galvánico entre los dos elementos conductores ya no es, por lo tanto, surfácico sino intrínseco. Este dispositivo es interesante con respecto a los fenómenos de arco eléctrico, a los depósitos parcialmente conductores que pueden aparecer en los tubos electrónicos de vacío y, más particularmente, en los tubos RX. El electrodo de apantallamiento de control funciona preferentemente en autopolarización, asegurando así el apantallamiento electrostático del campo principal creado por el ánodo que se transporta a alta tensión.

La figura 16 esquematiza un ejemplo de estructura de electrodo apantallamiento enterrado optimizada para reducir tanto como sea posible los condensadores de acoplamiento entre el electrodo 110 de base que conecta los CNT 105 y el electrodo 111 de apantallamiento enterrado representado en líneas discontinuas, puede tomar la forma de un anillo plano y consta de una cierta superficie que se extiende en el exterior de la superficie del electrodo de base. Esta estructura hace posible prever frecuencias de funcionamiento más altas que las frecuencias usadas en un electrodo de apantallamiento enterrado continuo que exhibe un acoplamiento capacitivo más fuerte con los electrodos de base.

La figura 17 representa un ejemplo de un circuito electrónico para controlar la corriente de los nanotubos mediante una fuente de corriente controlada ópticamente. El electrodo 111 de apantallamiento es controlado en tensión usando un fototransistor, iluminado este es pasante. El electrodo 111 de apantallamiento, en líneas discontinuas, está polarizado a alta tensión HT (referencia de potencial del sistema). Si el fototransistor 171 está no está iluminado, se vuelve bloqueador: el electrodo 111 de apantallamiento se encuentra polarizado negativamente con respecto a la alta tensión HT por medio de una pila 172 (polarización típica 40 V). Esto hace posible controlar el nivel de tensión del electrodo de apantallamiento con respecto a la referencia de potencial. El electrodo 110 de base está conectado a la alta tensión HT a través de un fototransistor 175 que actúa como un interruptor controlado ópticamente. Iluminado bajo flujo fuerte, el fototransistor 175 es totalmente pasante, realizando así una conexión directa del electrodo 110 de base a la alta tensión HT. En ausencia de flujo luminoso, el fototransistor 175 es bloqueador y la corriente emitida por los nanotubos 105 es igual a la corriente de oscuridad del fototransistor (generalmente <1 nA). Con iluminaciones intermedias, el nivel de corriente del fototransistor se puede regular con precisión: la corriente emitida por los CNT 105 es igual a esta corriente por punto de funcionamiento (véase la figura 2). El nivel de iluminación del fototransistor permite controlar el nivel de emisión electrónica de los CNT. Un diodo Zener 176 colocado en paralelo con el fototransistor 175 hace posible evitar sobretensiones en el fototransistor 175 y evita su destrucción durante eventos no controlados, como las averías en el tubo de RX.

La figura 18 esquematiza un ejemplo de una red de tres conexiones que permite el uso de emisores individuales y que requiere simetría electrostática alrededor del eje de emisión de un nanotubo para minimizar las aberraciones de óptica electrónica. De hecho, el campo eléctrico generado posee la simetría de los electrodos que lo forman (cerca del CNT). De este modo, se obtiene una alta simetría al hacer una conexión de electrodo de apantallamiento y un electrodo de base conectados por tres canales 191, 192, 193 distribuidos a 120 °.

El desplazamiento del SCCO fuera del tubo ofrece un mayor margen de maniobra en la elección de la SCCO (elemento fotográfico, por ejemplo), dimensiones, características eléctricas, mantenimiento en tensión, etc. La SCCO ya no está sujeta al entorno directo del tubo, rayos X, bombardeo e implantación de iones, etc. La configuración de los electrodos permite, en particular, una reconfiguración dinámica del potencial en las proximidades de los nanotubos.

REIVINDICACIONES

1. Fuente de electrones de alta energía adaptada para ser controlada por una onda electromagnética que comprende un recinto (101) de vacío, un cátodo conmutable o modulable (104) basado en emisores de efecto de campo (105) que comprende al menos un electrodo (111) de apantallamiento, al menos un emisor de efecto de campo (105) conectado a un electrodo (110) de base dispuesto sobre un sustrato (112), un ánodo (106) conectado a tierra, una alimentación de alta (103) tensión, estando dicha alimentación (103) de alta tensión adaptada para suministrar un potencial para crear un campo de ánodo suficiente para inducir la emisión desde el emisor (105) de efecto de campo, al menos un circuito (109) de control para una fuente de corriente adaptada para ser controlada por una onda (120) electromagnética llamada SCCO conectada a dicho cátodo (104) conmutable o modulable **caracterizada porque**:
- la SCCO (120) se dispone fuera del recinto de vacío,
 - un terminal (132) de entrada de la SCCO se conecta a la alimentación de alta tensión y al electrodo (111) de apantallamiento del cátodo (104) conmutable o modulable,
 - un terminal (131) de salida de la SCCO se conecta al electrodo (110) de base entre el emisor de efecto de campo y el sustrato (112),
 - el potencial del terminal (131) de salida está adaptado para ser superior o igual al potencial del terminal (132) de entrada, el electrodo (111) de apantallamiento está adaptado para disminuir el campo eléctrico inducido por el ánodo (106) en el emisor (105),
 - el electrodo (111) de apantallamiento está ubicado en un plano P que comprende la superficie (105p) conductora situada debajo del pie del emisor de efecto (105) de campo o ubicado bajo este mismo plano, existe una zona (115) eléctricamente aislante entre el electrodo de apantallamiento y esta superficie conductora.
2. Fuente de electrones según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la SCCO (120) se dispone en un conector (121) de alta tensión asociado con el recinto de vacío, comprendiendo dicho conector (121) una ventana transparente a la onda electromagnética, al menos una fuente de ondas electromagnéticas (107) adaptada para ser controlada por el circuito (109) de control.
3. Fuente de electrones según la reivindicación 2, **caracterizada porque** la fuente de ondas electromagnéticas es una fuente óptica tal como una fuente de láser, un diodo láser, un diodo (107) electroluminiscente y la ventana (108) es transparente a la longitud de onda de la fuente óptica.
4. Fuente de electrones según la reivindicación 2, **caracterizada porque** la fuente de ondas electromagnéticas es una fuente de radiofrecuencia que comprende un módulo (181) de emisión y una antena (182) de emisión de radiofrecuencia, y **porque** la SCCO (120) comprende una antena (183) de recepción de radiofrecuencia conectada a un módulo (184) de recepción de radiofrecuencia, y una fuente de corriente controlada por este módulo de recepción.
5. Fuente de electrones según la reivindicación 4, **caracterizada porque** la SCCO (120) comprende una antena (183) de recepción de radiofrecuencia conectada a un módulo (184) de recepción de radiofrecuencia, dos cátodos C₁, C₂, un microprocesador (185) adaptado para pilotar la generación de corriente.
6. Fuente de electrones según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el cátodo conmutable (104) o modulable basado en emisores de efecto de campo (105) comprende al menos dos zonas (81, 82), cada una de estas zonas se conecta a una salida (83s, 84s) de una fuente (83, 84) de corriente correspondiente a la misma y **porque** una o varias fuentes (85, 86) de láser se conectan a un circuito (109) de control.
7. Fuente de electrones según la reivindicación 3, **caracterizada porque** el transporte de la onda óptica se realiza con ayuda de una fibra (140) óptica aislante insertada en un material (141) sólido.
8. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el sustrato comprende el electrodo (151) de apantallamiento que presenta en una parte una abertura O_i, en la que se deposita un aislante (152) de encapsulación, estando el electrodo de base y el emisor dispuestos con respecto a la abertura practicada en el electrodo de apantallamiento.
9. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el electrodo (110) de base tiene un radio R, siendo la distancia entre el electrodo (110) de base y el electrodo (111) de apantallamiento es del orden del radio R.
10. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el sustrato (1000) está cubierto con una capa aislante (1001) que comprende una vía (1002) que permite el contacto del electrodo de base del transistor con efecto de campo, el electrodo (111) de apantallamiento se posiciona alrededor del emisor (105) de efecto de campo, una capa (1004) aislante de encapsulación se deposita para cubrir el electrodo (111) de apantallamiento y al menos parcialmente el electrodo (110) de base del nanotubo.
11. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** consta de una red de emisores de efecto de campo conectados al sustrato gracias a de la presencia de contactos (1100) pasantes.

12. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el sustrato comprende el electrodo de apantallamiento continuo, un aislante (154) de encapsulación sobre el cual se colocan el electrodo (110) de base y el emisor de efecto (105) de campo asociado.

5 13. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el emisor de efecto de campo es un nanotubo (105) o una nanofibra de carbono.

14. Fuente de electrones según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** los electrones chocan contra un ánodo para la producción de rayos X.

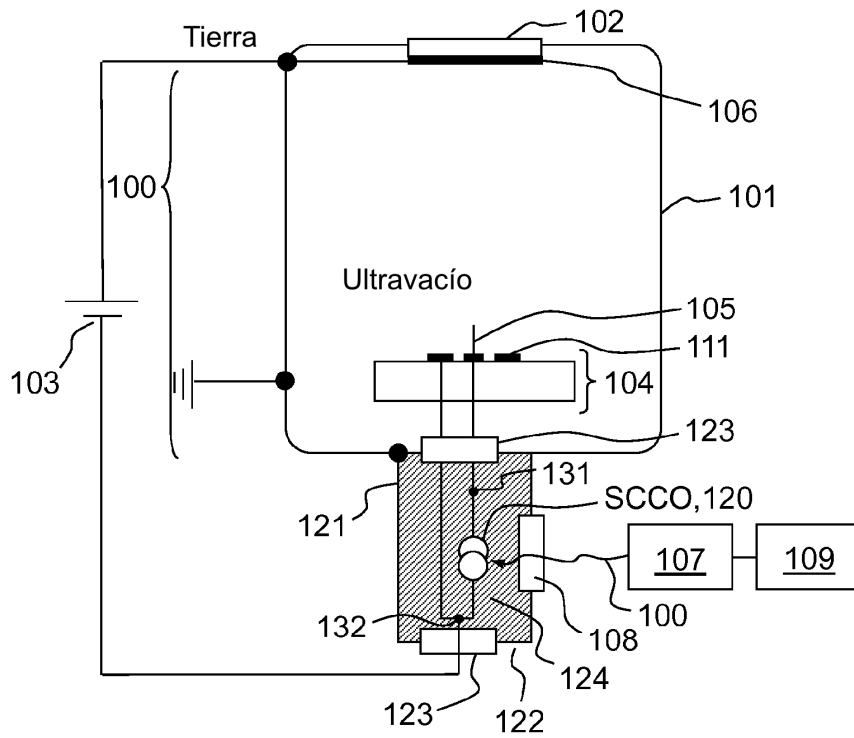


FIG.1

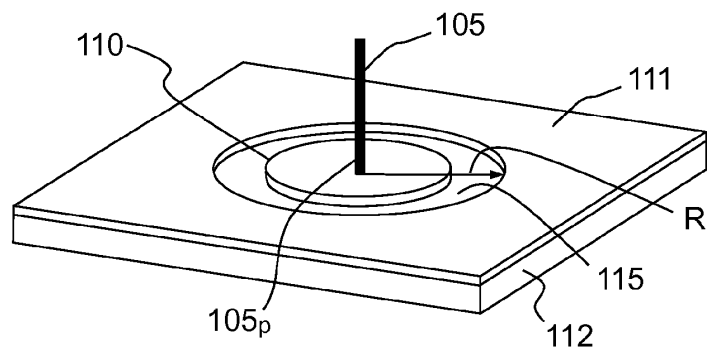
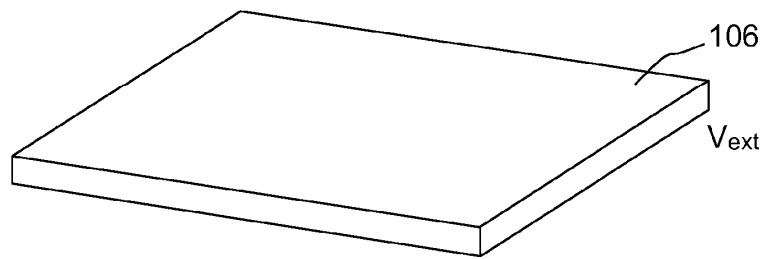
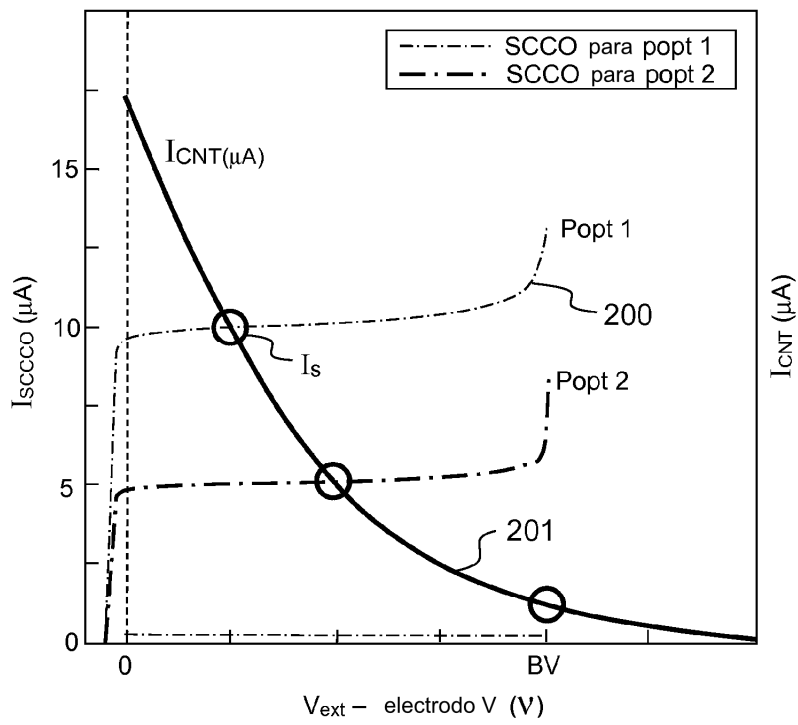
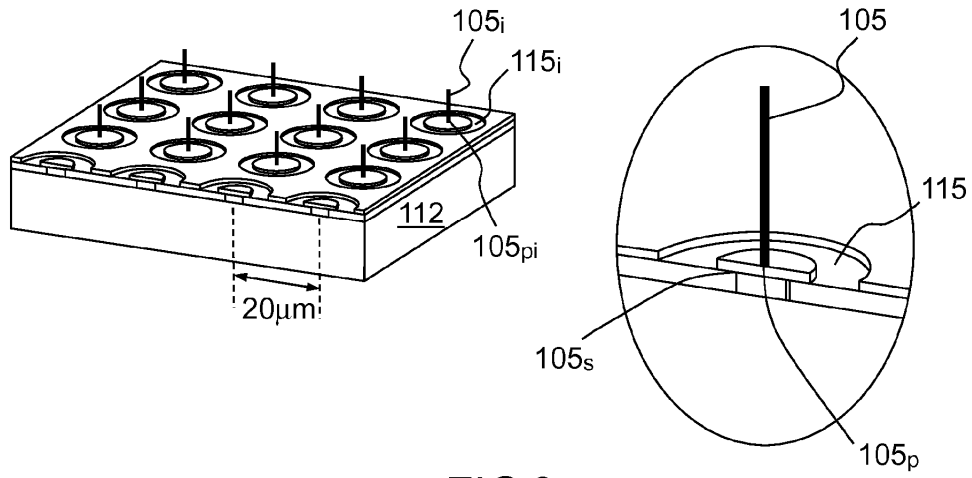


FIG.2



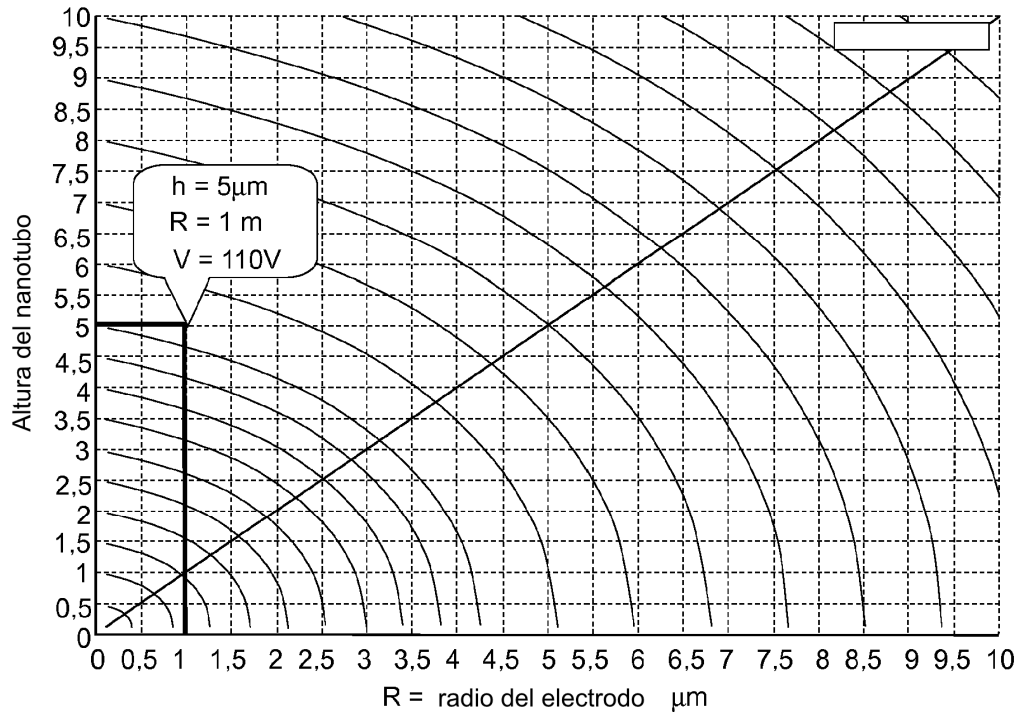


FIG.5

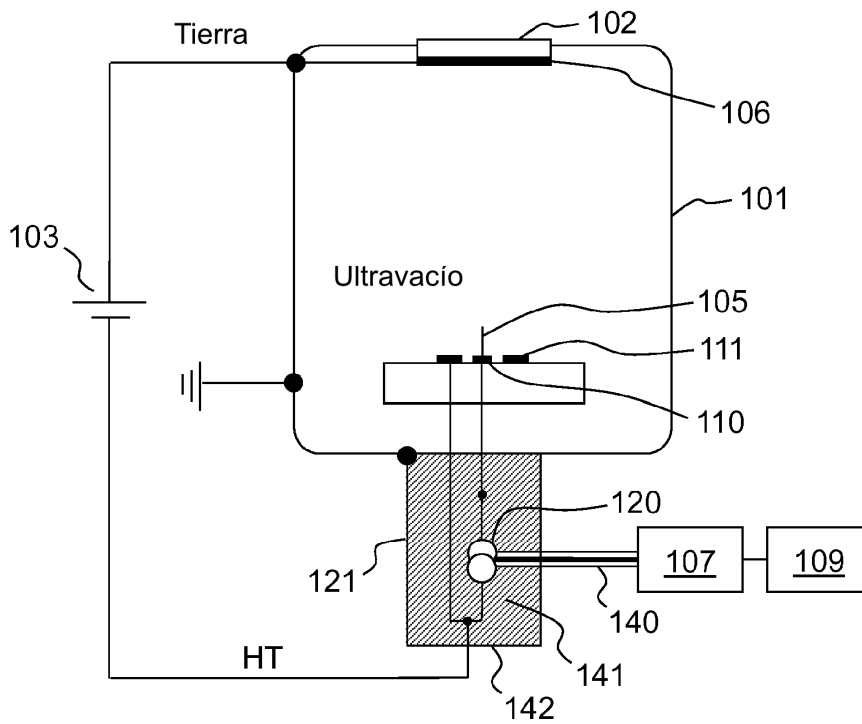


FIG.6

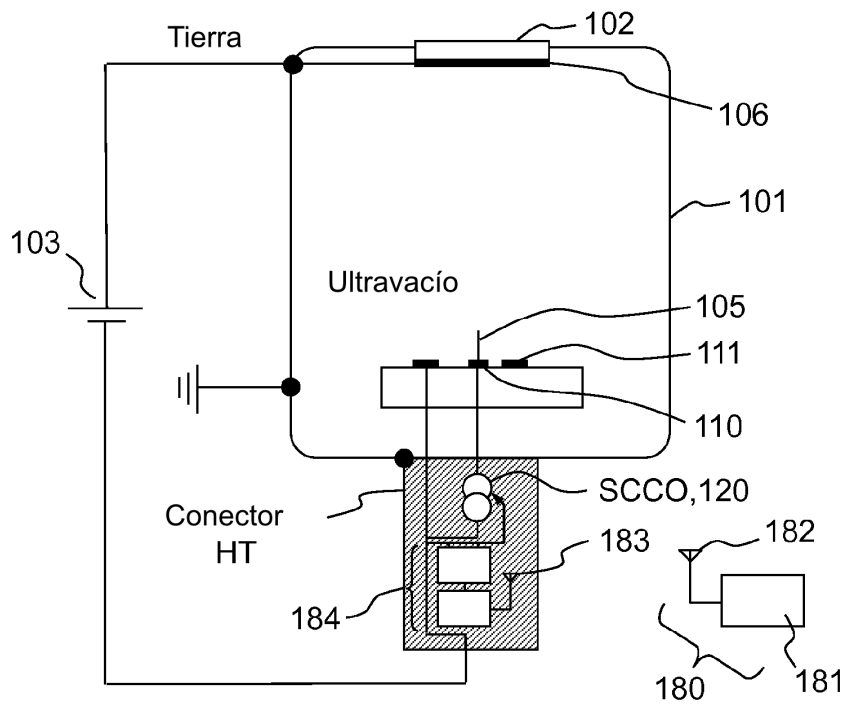


FIG.7

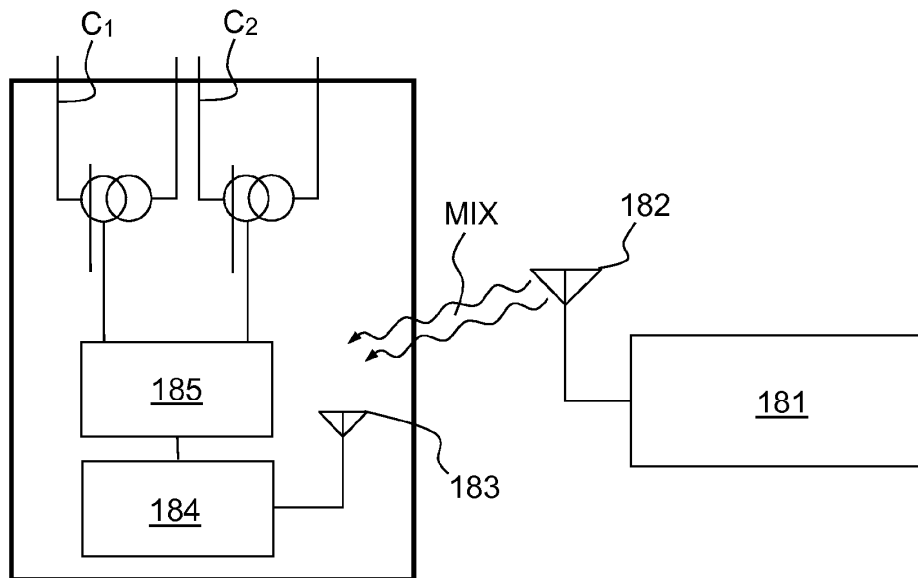


FIG.8

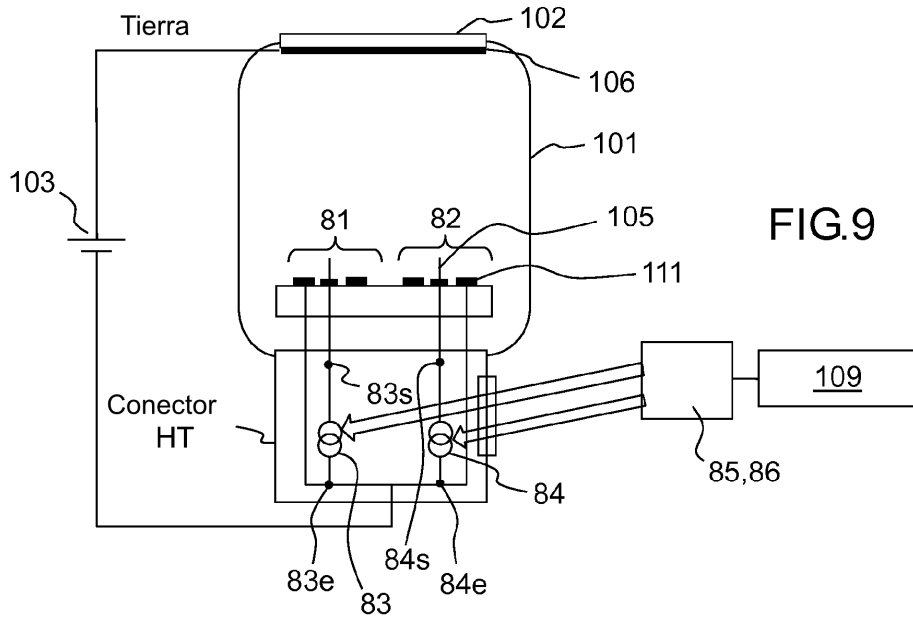


FIG.9

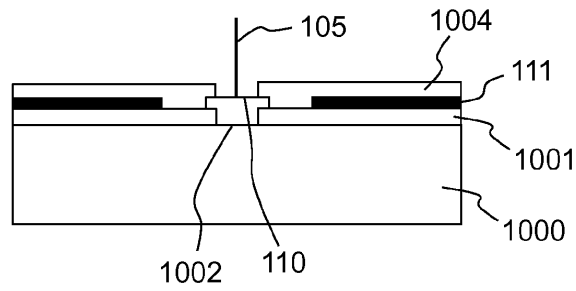


FIG.10

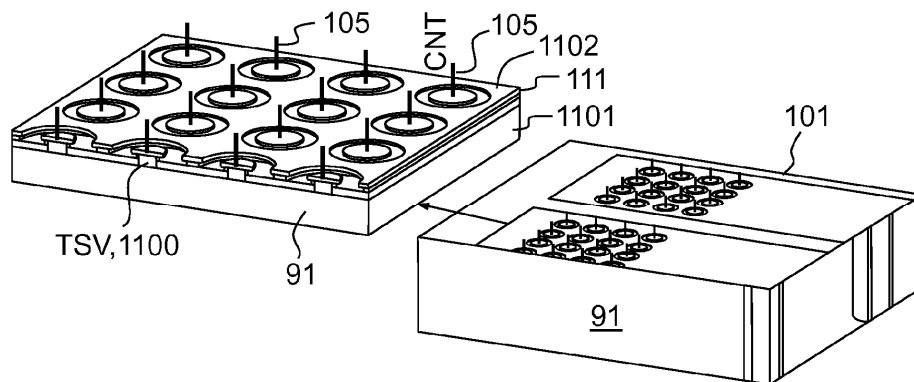
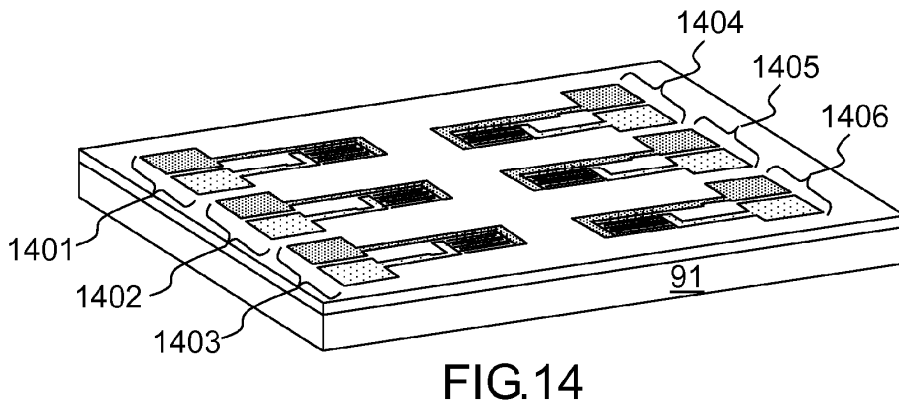
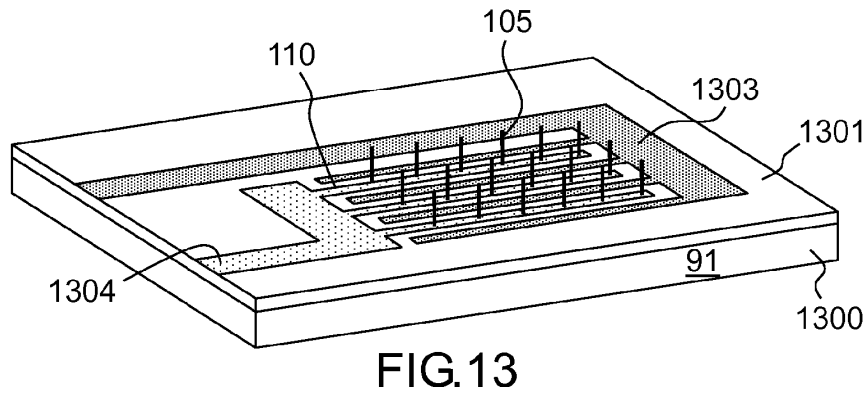
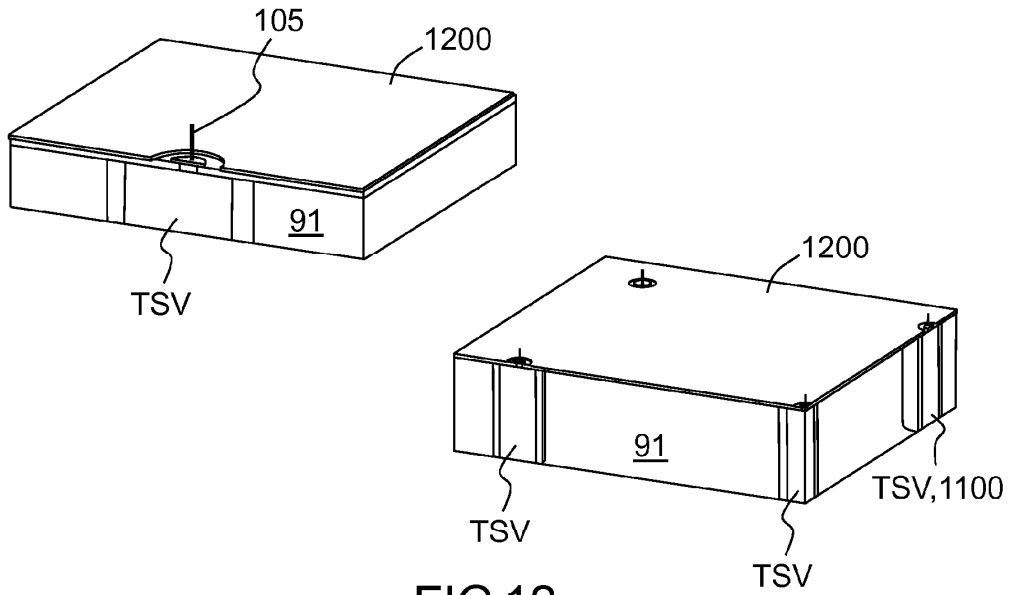


FIG.11



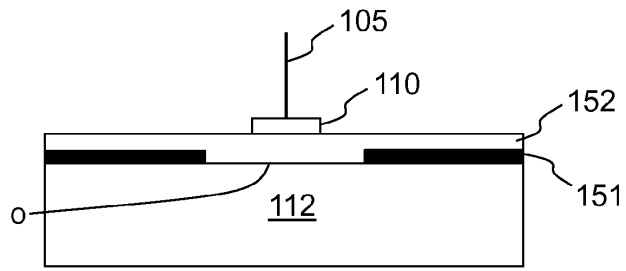


FIG. 15A

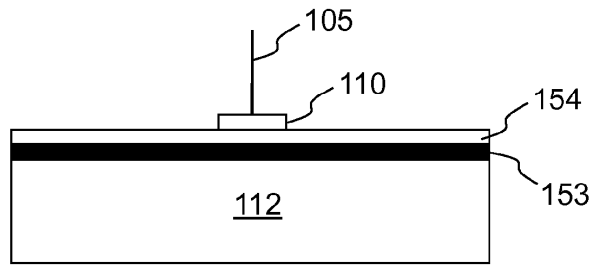


FIG. 15B

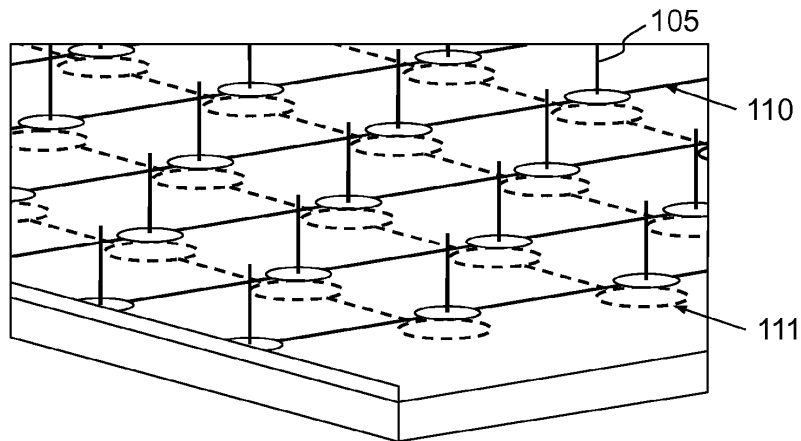


FIG. 16

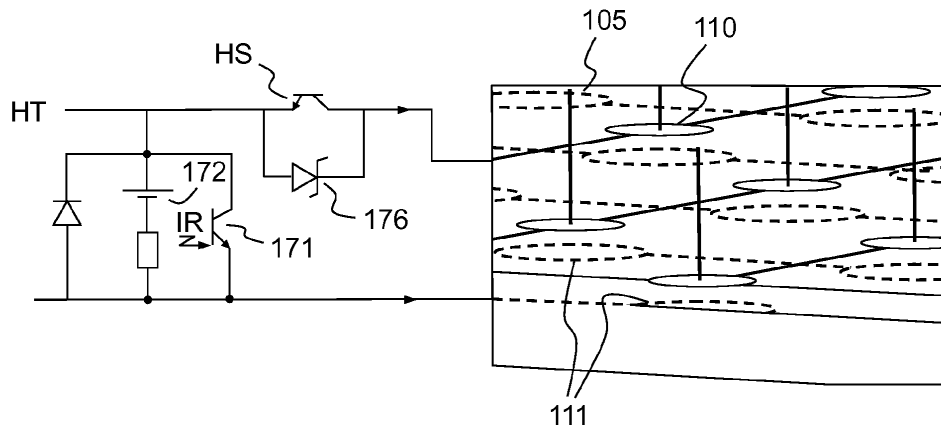


FIG.17

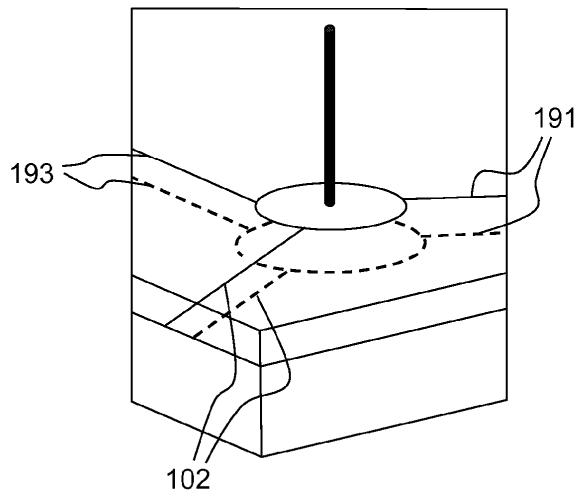


FIG.18