

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 963 043**

51 Int. Cl.:

**G01T 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.07.2018 PCT/IL2018/050849**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.03.2019 WO19043684**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2018 E 18755926 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023 EP 3571526**

54 Título: **Dosímetro de radiación y método de funcionamiento**

30 Prioridad:

**30.08.2017 US 201762551808 P**  
**19.12.2017 US 201715846219**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.03.2024**

73 Titular/es:

**ROTEM IND. LTD. (100.0%)**  
**Rotem Industrial Park D.N. Arava**  
**8680600 Mishor Yamin, IL**

72 Inventor/es:

**GINZBURG, DMITRY**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 963 043 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

Dosímetro de radiación y método de funcionamiento

## 5 CAMPO Y ANTECEDENTES DE LA INVENCION

**[0001]** La invención se refiere a dosímetros de radiación y específicamente a aquellos que tienen un sensor de radiación pasivo, que es capaz de mantener un registro de una dosis de radiación absorbida, sin utilizar una fuente de energía y sin utilizar mecanismos de registro externos.

10

**[0002]** Los dosímetros de radiación tienen una amplia aplicación en una variedad de industrias, incluidas instalaciones médicas de rayos X y de imágenes nucleares, plantas de energía nuclear, eliminación de combustible nuclear gastado, monitoreo de radiación de seguridad nacional y sistemas de irradiación de alimentos.

15

**[0003]** La publicación de solicitud de patente de EE. UU. US2015/0162369 A1, titulada "Single-poly floating gate solid state direct radiation sensor using STI dielectric and isolated Pwells", describe un sensor de radiación pasivo que utiliza tecnología MOSFET de puerta flotante (es decir, transistor de efecto de campo de óxido metálico y silicio). En dicho sensor, el voltaje de puerta de un transistor precargado disminuye en respuesta a la radiación absorbida por el sensor. Por medio de curvas de calibración predeterminadas, una disminución medida en el voltaje de la puerta se puede convertir en absorción de radiación, expresada en unidades físicas de Grays, donde un Gray equivale a un julio de energía de radiación absorbida por kilogramo de masa expuesta. En algunas aplicaciones, la absorción de radiación se puede convertir a una dosis personal equivalente, expresada en unidades de Sieverts, que tiene en cuenta los efectos relativos sobre la salud de los diferentes tipos de radiación ionizante y las diferentes energías de las partículas incidentes. Un Sievert equivale a la cantidad de absorción de radiación necesaria para producir el mismo efecto en el tejido vivo que un Gray de rayos X de alta penetración.

20

25

**[0004]** Los sensores de radiación MOSFET de puerta flotante pueden estar sujetos a pérdidas o ganancias de carga como resultado de mecanismos de diferente naturaleza, como el estrés térmico, que se producen en ausencia de radiación incidente y que reducen la tensión de puerta del MOSFET. Este fenómeno, conocido como "pérdida de retención de voltaje", depende del diseño del circuito, así como de varios factores ambientales, como la temperatura del sensor durante el funcionamiento. La pérdida de retención de voltaje, si no se compensa, producirá lecturas falsas de la absorción de radiación.

30

**[0005]** En la literatura se han descrito varios métodos para tener en cuenta el efecto de la pérdida de retención de voltaje. Por ejemplo, el documento US 6.172.368 concedido a Tarr el 9 de enero de 2001, describe el uso de dos transistores de puerta flotante sensibles a la radiación, que preferiblemente tienen cargas de polaridad opuesta, y miden la diferencia entre los voltajes umbral de los dos transistores. Una dificultad con este enfoque es que ambos transistores deben coincidir en su sensibilidad a la radiación absorbida en un amplio rango de energías de partículas incidentes y deben coincidir en su pérdida de retención de voltaje en un amplio rango de temperaturas ambiente. Esto es difícil de lograr en la práctica.

35

40

**[0006]** El documento US9213112 describe un MOSFET sensible a los neutrones y su emparejamiento con componentes de un circuito insensible a los neutrones para medir procesos físicos que pueden alterar las propiedades electrónicas del MOSFET.

45

**[0007]** El documento US4757202 describe el uso de un diodo pin para la detección de neutrones y un sensor MOSFET para la detección gamma. Cambiar el espesor de la capa de óxido de la puerta del sensor gamma proporciona una sensibilidad óptima teniendo en cuenta el tipo de radiación, neutrones o gamma.

50

J

## RESUMEN DE LA INVENCION

**[0008]** La presente invención es un dosímetro de radiación y un método de operación. El dosímetro de la presente invención supera las limitaciones y dificultades anteriores al utilizar un sensor de radiación pasivo y un lector, en el que el sensor de radiación pasivo consta de uno o más elementos sensibles a la radiación, denominados en lo sucesivo RSE, junto con un elemento insensible a la radiación, denominado en adelante RIE.

55

**[0009]** El dosímetro de la presente invención se puede utilizar para muchos tipos de radiación ionizante y para una variedad de energías de partículas incidentes. Por ejemplo, la radiación ionizante puede ser rayos X producidos por bremsstrahlung o partículas producidas por desintegración radiactiva, como partículas alfa, partículas beta y fotones gamma. Normalmente, las energías de las partículas incidentes pueden extenderse en un amplio rango; por ejemplo, de 20 kiloelectrones voltios (KeV) a 3 megaelectrones voltios (MeV).

60

65

**[0010]** En el dosímetro de la presente invención, el acto de leer los voltajes del sensor de radiación pasivo no los altera. Así, si la dosis de radiación absorbida en un único intervalo de tiempo de exposición es pequeña, es posible leer el sensor muchas veces después de una única operación de precarga.

5 **[0011]** El dosímetro de radiación de la presente invención tiene un sensor de radiación pasivo, según la reivindicación 1.

**[0012]** La invención comprende además un método de funcionamiento según la reivindicación 12. En las reivindicaciones dependientes se proporcionan formas de realización adicionales.

10

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0013]** La invención se describe en el presente documento, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

15

FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de dosimetría de radiación según una forma de realización de la invención.

FIG. 2 es un diagrama de un primer RSE, que tiene capas metálicas para controlar la dependencia de la sensibilidad a la radiación de la energía de las partículas incidentes.

20

FIG. 3 es un diagrama de un segundo RSE, que tiene un espesor de óxido de puerta variable para controlar la dependencia de la sensibilidad a la radiación de la energía de las partículas incidentes.

FIG. 4 es un diagrama de dos RSE y un RIE montados sobre un único sustrato.

FIG. 5 muestra una matriz de conmutación ejemplar para cambiar el modo operativo de un RSE.

25

FIG. 6 es un gráfico que muestra la tensión de un RSE y un RIE, en función del tiempo, a dos valores de temperatura ambiente, en ausencia de radiación incidente.

FIG. 7 es un gráfico que muestra el voltaje de un RSE y un RIE, en función del tiempo, a tres tasas de exposición a la radiación incidente.

FIG. 8 es un gráfico que muestra una curva de calibración.

FIG. 9 es un diagrama de flujo que muestra un método de operación para el dosímetro de radiación de la FIG. 1.

30

#### DESCRIPCIÓN DE FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

**[0014]** presente invención es un dosímetro de radiación y un método de operación. Los principios de la presente invención pueden entenderse mejor con referencia a los dibujos y la descripción adjunta.

35

**[0015]** Con referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un dosímetro de radiación 100 según esta invención. El sistema 100 consta de un sensor 200 en comunicación con un lector 300 a través de un canal de conmutación 270.

40

**[0016]** El sensor 200 consta de dos RSE 220 y 240, un RIE 230 y una interfaz de sensor 210. En una forma de realización preferida, el RSE 220 está diseñado para tener una alta sensibilidad a partículas incidentes de baja energía, tales como rayos X con cinética. energías por debajo de 100 KeV; y el RSE 240 está diseñado para tener una alta sensibilidad a partículas incidentes de alta energía, como rayos X o rayos gamma con energías cinéticas superiores a 100 KeV.

45

**[0017]** En la FIG. 1, el sensor 200 se muestra compuesto por dos RSE en aras de la claridad y la economía de presentación. En aplicaciones de dosimetría simples, el sensor 200 puede consistir en un solo RSE y, en aplicaciones de dosimetría más complejas, el sensor 200 puede consistir en una serie de tres o más RSE. De hecho, para lograr una sensibilidad a la radiación muy alta, el sensor 200 puede tener una serie de varios miles de RSE, o "microcélulas" de RSE. En tal caso, se necesita un procedimiento de calibración para hacer coincidir la pérdida de retención de todos los RSE con la del RIE, en un rango de temperatura de funcionamiento, como se explica en la descripción siguiente que acompaña a la FIG. 6. El procedimiento de calibración normalmente debe reducir cualquier error de coincidencia residual a un nivel menor que el de la sensibilidad deseada.

50

**[0018]** Cuando está conectado, el canal de conmutación 270 permite la transferencia de señales eléctricas entre el sensor 200 y el lector 300, y una transferencia de energía eléctrica desde el lector 300 al sensor 200. Cuando el canal de conmutación 270 está desconectado, el sensor 200 actúa como una radiación pasiva. sensor, es decir, funciona sin necesidad de energía eléctrica.

55

**[0019]** El canal de conmutación 270 se puede implementar de diversas maneras. Por ejemplo, puede consistir en un conjunto de relés electromecánicos, que brindan protección contra sobretensiones incontroladas que pueden ocurrir durante la conmutación de energía eléctrica. Alternativamente, el canal de conmutación 270 puede ser un cable de bus serie universal que conecta el sensor y el lector, que se conecta o desconecta mecánicamente. Otra alternativa más es un canal de conmutación que sea inalámbrico. Por ejemplo, la comunicación de datos y el suministro de energía eléctrica desde el lector al sensor se puede implementar mediante señales de radiofrecuencia (RF), como saben los expertos en el campo de los dispositivos de identificación por RF (RFID).

60

65

**[0020]** El sensor 200 puede incluir opcionalmente un reloj en tiempo real (RTC) y una fuente de alimentación asociada para permitir la identificación única del sensor, por ejemplo, a una interfaz de red externa mediante RFID. El RTC opcional también permitiría etiquetar con precisión el tiempo de las mediciones de dosis y calcular su tasa de cambio en el tiempo o tasa de dosis.

**[0021]** El lector 300 consta preferentemente de una interfaz de lector 310, que recibe señales eléctricas del sensor, un convertidor analógico a digital (ADC) 320, un procesador de señales digitales (DSP) 330, un controlador de interfaz de lector 340, un controlador de voltaje fuente 350 que recibe energía eléctrica a través de la fuente de energía 410 mostrada como externa al sistema 100, y una interfaz periférica 360, que permite que los datos fluyan a través del canal de datos bidireccional 420 hacia y desde dispositivos periféricos externos, tales como una computadora de uso general o un terminal de visualización. El lector 300 puede incluir opcionalmente almacenamiento de datos local, tal como memoria flash no volátil, preferiblemente colocada junto al DSP 330 o integrada dentro del mismo.

**[0022]** Todos los voltajes aplicados requeridos por el sensor 200 y el lector 300 son suministrados preferiblemente por una fuente de voltaje CC a CC regulada 350 y pueden integrarse dentro del controlador de interfaz del lector 340, o alternativamente, colocarse entre el lector controlador de interfaz 340 y interfaz de lector 310.

**[0023]** En el diagrama de bloques de la FIG. 1, algunos o todos los elementos en el sensor 200, el canal de conmutación 270 y el lector 300 pueden integrarse en una sola unidad, tal como un "sistema en un chip" o un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). Además, la fuente de energía 410 puede incorporarse dentro del sistema 100, en cuyo caso el sistema 100 es un dosímetro electrónico activo. Una ventaja de un alto nivel de integración es que facilita la lectura del sensor 200 a velocidades muy altas, tales como cientos o miles de veces por segundo. A tasas de lectura tan altas, la pérdida de retención de voltaje es esencialmente constante durante muchas mediciones consecutivas, un hecho que puede usarse para reducir la cantidad de cálculo requerido para corregir la pérdida de retención de voltaje, como se explica a continuación en la descripción que acompaña a la FIG. 9.

**[0024]** La FIG. 2 es un diagrama de un primer RSE, que tiene capas metálicas para controlar la dependencia de la sensibilidad a la radiación del tipo y la energía de las partículas incidentes. Los componentes principales del MOSFET: fuente 510, dieléctrico de aislamiento de zanjas poco profundas (STI) 520, drenaje 530, n-pozos (NW) 525, n-pozos profundos (DNW) 535, sustrato (SUB) 540, compuerta flotante (FG) 550, óxido 560 y electrodo 570 de puerta de control (CG) son conocidos por los expertos en la técnica de la tecnología MOSFET. En un RSE, el espesor del dieléctrico STI 520 suele ser de unos 3500 Angstroms.

**[0025]** La sensibilidad a la radiación del RSE se rige por la fracción de partículas incidentes (incluidos fotones) que inciden en el RSE y que forman pares electrón-hueco y descargan el voltaje FG. En la Fig. 2, las capas metálicas M1 y M2 se utilizan para controlar la absorción de partículas incidentes. Las capas de metal pueden colocarse fuera del área de óxido 560, como se muestra en la FIG. 2, o alternativamente, dentro de la zona del óxido 560, entre FG 550 y CG 570.

**[0026]** El número de capas metálicas, y su posición, composición del material y espesor, son parámetros de diseño que pueden variarse para controlar la fracción de partículas incidentes absorbidas en las capas metálicas, para una variedad de tipos de partículas y energías de partículas.

**[0027]** En general, la profundidad de penetración de las partículas incidentes en las capas metálicas aumenta con la energía de las partículas y disminuye con el número atómico (Z) de las capas metálicas. La capa metálica M1 puede estar compuesta, por ejemplo, de aluminio, con  $Z=13$ , y la capa metálica M2, de cobre, con  $Z=29$ .

**[0028]** FIG. 3 es un diagrama de un segundo RSE, en el que la sensibilidad a la radiación está controlada por el espesor "d" del óxido 560. Como los números de referencia en la FIG. 3 tienen el mismo significado que en la FIG. 2. De manera similar a las capas metálicas de la FIG. 2, la gruesa capa de óxido absorbe una fracción de las partículas de la radiación incidente, controlando así la formación de pares electrón-hueco cerca de FG 570 y controlando así la magnitud de la caída de voltaje RSE en respuesta a la radiación incidente.

**[0029]** Mediante el diseño adecuado de las capas metálicas en la FIG. 2 y/o el espesor de óxido "d" en la FIG. 3, es posible hacer que la respuesta de voltaje del RSE sea sustancialmente uniforme en un rango de energías de partículas incidentes, de modo que la caída de voltaje medida dependerá de la dosis de radiación absorbida pero no de la energía de las partículas incidentes. Los expertos en el campo de la dosimetría de radiación se refieren a esta característica como "aplanamiento de energía".

**[0030]** En un RIE, la arquitectura MOSFET es similar a la que se muestra en las figuras 2 y 3, excepto que las dimensiones y la composición de los componentes MOSFET son diferentes. Por ejemplo, en un RIE, el dieléctrico STI 520 se reemplaza por una fina capa de óxido de puerta, que tiene un espesor de aproximadamente 70 a 100 Angstroms. Además, el ancho del FG 520 es menor en el RIE, lo que produce una capacitancia RIE que es solo aproximadamente una décima parte de la capacitancia RSE.

**[0031]** FIG. 4 es un diagrama de dos RSE y un RIE montados sobre un único sustrato. Se utilizan los mismos números de referencia que en las figuras 1-3. El sustrato 540 es común a los RSE 220 y 240 y RIE 230. En RIE 230, el óxido de

puerta 520-1, NW 525-1, DNW 530-1 y la puerta flotante 550-1 se reducen en tamaño en comparación con las estructuras correspondientes en RSE 220 y 240.

**[0032]** FIG. 5 es una matriz de conmutación ejemplar para cambiar el modo operativo del sensor mediante voltajes que son generados por el lector y comunicados al canal de conmutación 270. Los elementos de la matriz de conmutación representan niveles de voltaje (en voltios, V) aplicados a los contactos de los sensores RSE y RIE a través del canal de conmutación 270. Normalmente, los niveles de voltaje necesarios para cambiar el modo de funcionamiento del sensor persisten durante un período de varios milisegundos. Una de las funciones clave de la matriz de conmutación y del canal de conmutación 270 es proteger el sensor de daños debidos a descargas electrostáticas (ESD) y de cargas involuntarias.

**[0033]** En los modos Descarga, Precarga y Lectura, el lector proporciona energía eléctrica al sensor a través del canal de conmutación. Una vez que el sensor está en modo inactivo, ya no necesita energía eléctrica del lector y es posible que el canal de conmutación se desconecte. El sensor continúa funcionando pasivamente y a una distancia remota del lector.

**[0034]** Antes de la exposición a la radiación y con el canal de conmutación conectado, las compuertas flotantes de los RSE y RIE se cargan a los niveles de voltaje iniciales deseados implementando el modo de descarga seguido del modo de precarga. En el modo de descarga, la carga fluye a través del óxido de compuerta desde el FG hasta el sustrato, descargando efectivamente el capacitor FG. En el modo de precarga, los voltajes aplicados generan una corriente de túnel a través del óxido de compuerta que inyecta carga al FG. Después de varios milisegundos, el condensador FG alcanza el voltaje inicial deseado. En este punto, el sensor puede cambiarse al modo inactivo y desconectarse el canal de conmutación.

**[0035]** Mientras está en modo inactivo, el sensor está expuesto a radiación incidente. El efecto de la radiación ionizante es descargar el capacitor de control FG, cuya capacitancia es aproximadamente 10 veces mayor que la de todos los demás capacitores del sensor. Según las conocidas relaciones del divisor de voltaje capacitivo, aproximadamente el 90 % del voltaje aplicado al CG se transfiere al FG. La descarga del FG mediante radiación ionizante se produce principalmente en la zona del gran condensador de control. A medida que aumenta la dosis de radiación absorbida, el condensador FG se descarga progresivamente y el voltaje FG disminuye.

**[0036]** Después de un intervalo de tiempo transcurrido, el canal de conmutación se vuelve a conectar para colocar el sensor 200 en modo de lectura. En este modo, para cada uno de los RSE y RIE, los contactos de la puerta de túnel (TG) y del sustrato (SUB) están en cortocircuito, y los contactos CG y DNW están en cortocircuito. Se suministra un voltaje de referencia ( $V_g$ ) al electrodo CG y el voltaje de drenaje ( $V_d$ ) se obtiene del electrodo de drenaje (ND) NMOS y se pasa en forma analógica al lector 300 a través del canal de conmutación 270. En el lector,  $V_d$  se convierte en un valor digital por el ADC 320 y procesado en el DSP 330. El resultado es un valor calculado del voltaje de drenaje restante para cada uno de los RSE y el RIE.

**[0037]** El acto de leer las tensiones de los sensores no las altera. Así, si la dosis de radiación absorbida en un único intervalo de tiempo de exposición es pequeña, es posible leer el sensor muchas veces después de una única operación de precarga.

**[0038]** FIG. 6 ilustra el principio de hacer coincidir la pérdida de retención de voltaje del RSE con la del RIE en un rango de temperatura de funcionamiento. El gráfico muestra el voltaje de un RSE ejemplar y un RIE ejemplar, en función del tiempo, en ausencia de radiación incidente. A medida que avanza el tiempo, la temperatura de funcionamiento cambia de  $T_1$  a  $T_2$ , donde  $T_1 < T_2$ .

**[0039]** Antes de la exposición a la radiación, el RSE y el RIE se precargan y sus voltajes se registran en el lector. Estos voltajes iniciales se denotan por  $V_{s1}$  y  $V_{r1}$ , respectivamente. Al final del intervalo de tiempo de medición, el lector mide y registra las tensiones finales correspondientes,  $V_{s2}$  y  $V_{r2}$ . Si la pérdida de retención de voltaje del RSE y el RIE coinciden, o más generalmente son proporcionales, entonces la caída de voltaje del RSE,  $V_{s12} = V_{s1} - V_{s2}$ , es aproximadamente igual a la caída de voltaje del RIE,  $V_{r12} = V_{r1} - V_{r2}$ . Esto es una consecuencia del hecho de que la tasa de cambio, o pendiente, del voltaje RSE es la misma que la del voltaje RIE en el rango de temperatura de funcionamiento de  $T_1$  a  $T_2$ .

**[0040]** FIG. 7 es un gráfico que muestra el voltaje de un RSE y un RIE, en función del tiempo, cuando se exponen a radiación incidente. La tasa de exposición a la radiación aumenta de 0 a  $E_1$  en el momento  $t_1$ , y aumenta nuevamente de  $E_1$  a  $E_2$ , en el momento  $t_2$ . La pendiente de la línea continua denominada RIE es la misma en todas partes, porque el RIE es insensible a la radiación incidente. La pendiente de la línea discontinua denominada RSE es inicialmente la misma que la del RIE, cuando  $E=0$ . Sin embargo, a medida que la tasa de exposición a la radiación aumenta por encima de cero, la pendiente RSE se vuelve más pronunciada. La pendiente es una indicación de la sensibilidad del RSE a la radiación.

**[0041]** Al final del intervalo de tiempo de medición, el lector mide y registra las tensiones finales,  $V_{s2}$  y  $V_{r2}$ , y, como antes, calcula la caída de tensión RSE,  $V_{s12} = V_{s1} - V_{s2}$ , y la caída de tensión RIE,  $V_{r12} = V_{r1} - V_{r2}$ . La caída de tensión corregida por la pérdida de retención de tensión, que se atribuye únicamente a la radiación incidente, viene dada por  $V_{s12}' = V_{s12} - V_{r12}$ .

**[0042]** Se utiliza una curva de calibración predeterminada, que normalmente se almacena en el DSP, para convertir Vs12' en una medida de radiación absorbida, indicada por Mgray. FIG. 8 muestra una curva de calibración ejemplar. En la figura, la curva 810 muestra la relación funcional entre Mgray, en el eje horizontal, y Vs12', en el eje vertical. El punto 820 muestra un punto de medición de muestra en la curva.

**[0043]** El efecto de los errores de medición se ilustra por medio de los segmentos de línea 830 y 840. Las mediciones de voltaje físico realizadas por el lector son generalmente de precisión limitada. Como resultado, el valor calculado de Vs12' es de hecho una variable aleatoria que tiene una distribución de valores. Esta distribución se extiende sobre un intervalo de ancho ΔV, que se ilustra mediante el segmento de línea 830, y puede corresponder, por ejemplo, a ±1 desviación estándar del valor calculado de Vs12'. Mediante la construcción gráfica mostrada en líneas de puntos y rayas, se puede determinar como intervalo asociado de ancho ΔM y segmento de línea 840 para el valor aleatorio Mgray. Valores ejemplares de ΔV y ΔM son 10 microvoltios y 100 microgrises.

**[0044]** FIG. 9 es un diagrama de flujo que muestra un método de operación 900 para el sistema de dosimetría de radiación de la FIG. 1. En el diagrama de flujo, los voltajes del sensor, Vs1 y Vs2, y la medición de la radiación absorbida, Mgray, son vectores cuya dimensión es igual al número de RSE en el sensor. Los pasos 910-980 se explican por sí solos. En el paso 990, el vector de caída de voltaje del sensor corregido por pérdida de retención de voltaje Vs12' se convierte en un vector de medición de absorción de radiación, Mgray. Luego, Mgray puede almacenarse en un almacenamiento de datos local dentro del lector 300 y/o pasarse a dispositivos periféricos externos a través de la interfaz periférica 360.

**[0045]** En el paso 995, los voltajes del sensor se comparan con un valor de corte, para ver si queda suficiente carga en el RIE y en cada uno de los RSE para continuar con las mediciones de radiación. Si todos los voltajes del sensor están por encima del límite, entonces se toma el camino "Sí". Si alguno de los voltajes del sensor está por debajo del corte, entonces se toma la ruta "No" y el sensor se precarga.

**[0046]** Normalmente, los sensores con múltiples RSE están diseñados para cubrir varias bandas diferentes de energía de partículas incidentes. N denotará el número de RSE y E(n), n=1, 2, ... N, el centro de la banda de energía correspondiente a la selectividad energética del n-ésimo RSE. Utilizando una función de ponderación de energía, W(E), se puede calcular una dosis personal equivalente:

$$M\text{sievert} = \sum W(E(n)) \times M\text{gray}(n) / \sum W(E(n))$$

donde las sumatorias Σ son superiores a n = 1, 2, ... N. Por lo tanto, el paso 990 puede incluir opcionalmente calcular Msievert, almacenar su valor en un almacenamiento de datos local dentro del lector 300 y/o comunicar su valor a dispositivos periféricos externos a través de la interfaz periférica 360.

**[0047]** La Comisión Internacional de Protección Radiológica ha publicado recomendaciones para la función de ponderación de energía W(E) para uso de profesionales en el campo de la dosimetría de radiación.

**[0048]** Se apreciará que las descripciones anteriores pretenden servir únicamente como ejemplos, y que son posibles muchas otras formas de realización dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un dosímetro de radiación (100) con un sensor de radiación pasivo (200) que comprende:

- 5 (a) un elemento sensible a la radiación (220), en adelante RSE, configurado para cargarse a un primer voltaje ( $V_{s1}$ ) que responde a la radiación incidente y a una primera pérdida de retención de voltaje;
- (b) un elemento insensible a la radiación (230), en adelante RIE, configurado para cargarse a un segundo voltaje ( $V_{r1}$ ) que responde a una segunda pérdida de retención de voltaje; y
- 10 (c) una interfaz de sensor (210) asociada tanto con dicho RSE como con dicho RIE para permitir la comunicación con un lector externo (300);

**caracterizado en que**

15 dicho RIE y dicho RSE están precalibrados para hacer coincidir la pérdida de retención del RSE con el RIE, de modo que dicha primera pérdida de retención de voltaje sea proporcional a dicha segunda pérdida de retención de voltaje en un rango operativo de temperatura; comprendiendo dicho RSE además una capa de óxido y al menos dos capas metálicas en las que las capas metálicas están configuradas para proporcionar una respuesta energética plana a la radiación incidente que se extiende sobre un rango de energías de partículas de radiación incidente desde 20 kiloelectrones voltios (KeV) hasta 3 megaelectrones-voltios (MeV), y

20 dicho dosímetro de radiación (100) está configurado para proporcionar un valor de medición equivalente a la dosis de radiación personal, en unidades de Sievert, y su tasa de cambio en el tiempo, sobre dicho rango de energías de partículas de radiación incidentes.

25 2. El dosímetro de radiación de la reivindicación 1, en el que dicho sensor comprende uno o más RSE adicionales (240).

3. El dosímetro de radiación de la reivindicación 1, en el que dicho RSE y dicho RIE comprenden MOSFET de puerta flotante.

30 4. El dosímetro de radiación de la reivindicación 1, que comprende un lector (300) que además comprende una fuente de voltaje eléctrico (350), un procesador de señal digital (330) y una interfaz de lector (310).

5. El dosímetro de radiación de la reivindicación 4, en el que dicho procesador de señal digital está configurado para calcular una pérdida de retención de voltaje de caída de tensión corregida ( $V_{s12}$ ).

35 6. El dosímetro de radiación de la reivindicación 5, en el que dicho procesador de señal digital comprende una curva de calibración predeterminada que relaciona dicha caída de voltaje corregida por pérdida de retención de voltaje con una cantidad de radiación absorbida.

40 7. El dosímetro de radiación de la reivindicación 4, que comprende un canal conmutable (270) configurado para transferir señales eléctricas y energía eléctrica entre dicho sensor y dicho lector.

8. El dosímetro de radiación de la reivindicación 7, en el que dichas señales eléctricas comprenden voltajes de dicho RSE y dicho RIE.

45 9. El dosímetro de radiación de la reivindicación 7, en el que dicho canal conmutable comprende al menos un relé electromecánico.

10. El dosímetro de radiación de la reivindicación 7, en el que dicho canal conmutable comprende un enlace de comunicación inalámbrica.

50 11. El dosímetro de radiación de la reivindicación 7, en el que dicho sensor, dicho lector y dicho canal conmutable están integrados en una sola unidad.

55 12. Un método para operar un dosímetro de radiación (100) **caracterizado por** los pasos de:

- (a) Proporcionar un sensor pasivo (200) que tiene al menos un elemento sensible a la radiación (220), en adelante RSE, un elemento insensible a la radiación (230), en adelante RIE, y una interfaz de sensor (210) asociada con dicho al menos un RSE y dicho RIE;
- 60 (b) proporcionar un lector (300) que comprende una fuente de voltaje eléctrico (350), un procesador de señales digitales (330) y una interfaz de lector (310);
- (c) proporcionar un canal conmutable (270) en comunicación con dicho lector y dicho sensor;
- (d) permitir una transferencia de señales eléctricas y energía eléctrica entre dicho lector y dicho sensor;
- (e) precargar dicho al menos un RSE y dicho RIE;
- 65 (f) Medir un vector sensor de preexposición,  $V_{s1}$ , cuyos componentes corresponden al voltaje(s) de dicho al menos un RSE.
- (g) medir un valor de referencia previo a la exposición,  $V_{r1}$ , correspondiente al voltaje de dicho RIE;

- 5 (h) Deshabilitar la transferencia de señales eléctricas y energía eléctrica entre dicho lector y dicho sensor;  
(i) exponer dicho sensor a radiación incidente durante un intervalo de tiempo;  
(j) volver a habilitar la transferencia de señales eléctricas y energía eléctrica entre dicho sensor y dicho lector;  
(k) medir un vector sensor post-exposición,  $V_{s2}$ , cuyos componentes corresponden al voltaje(s) de dicho al menos un RSE;
- 10 (l) Medir un valor de referencia post-exposición,  $V_{r2}$ , correspondiente al voltaje de dicho RIE;  
(m) Calcular un vector de caída de tensión del sensor,  $V_{s12}$ , igual a  $V_{s1}-V_{s2}$ ;  
(n) Calcular un valor de caída de voltaje de referencia,  $V_{r12}$ , igual a  $V_{r1}-V_{r2}$ ;  
(o) Calcular un vector de caída de voltaje del sensor corregido por pérdida de retención de voltaje,  $V_{s12}'$ ;  
(p) Convertir dicho  $V_{s12}'$  en un vector de medición de absorción de radiación,  $M_{gray}$ ; y  
(q) calcular un valor de medición de dosis equivalente de radiación personal,  $M_{sievert}$ ;

donde

- 15 dicho RIE y dicho RSE están precalibrados para hacer coincidir una pérdida de retención de RSE con una pérdida de retención de RIE, de modo que una pérdida de retención de voltaje de dicho RIE es proporcional a una pérdida de retención de voltaje de dicho RSE en un rango operativo de temperatura;
- 20 dicho RSE comprende además una capa de óxido y al menos dos capas metálicas en las que las capas metálicas están configuradas para proporcionar una respuesta energética plana a la radiación incidente que se extiende sobre un rango de energías de partículas de radiación incidente desde 20 kiloelectrones voltios (KeV) hasta 3 megaelectrones voltios (MeV); y  
el acto de medir en los pasos (k) y (l) no altera los valores de  $V_{s2}$  y  $V_{r2}$ .

- 25 13. El método según la reivindicación 12, en el que los pasos (d) a (q) se repiten para determinar una secuencia de tiempo de vectores de medición de absorción de radiación y valores de medición de dosis equivalente de radiación personal.

FIG. 1

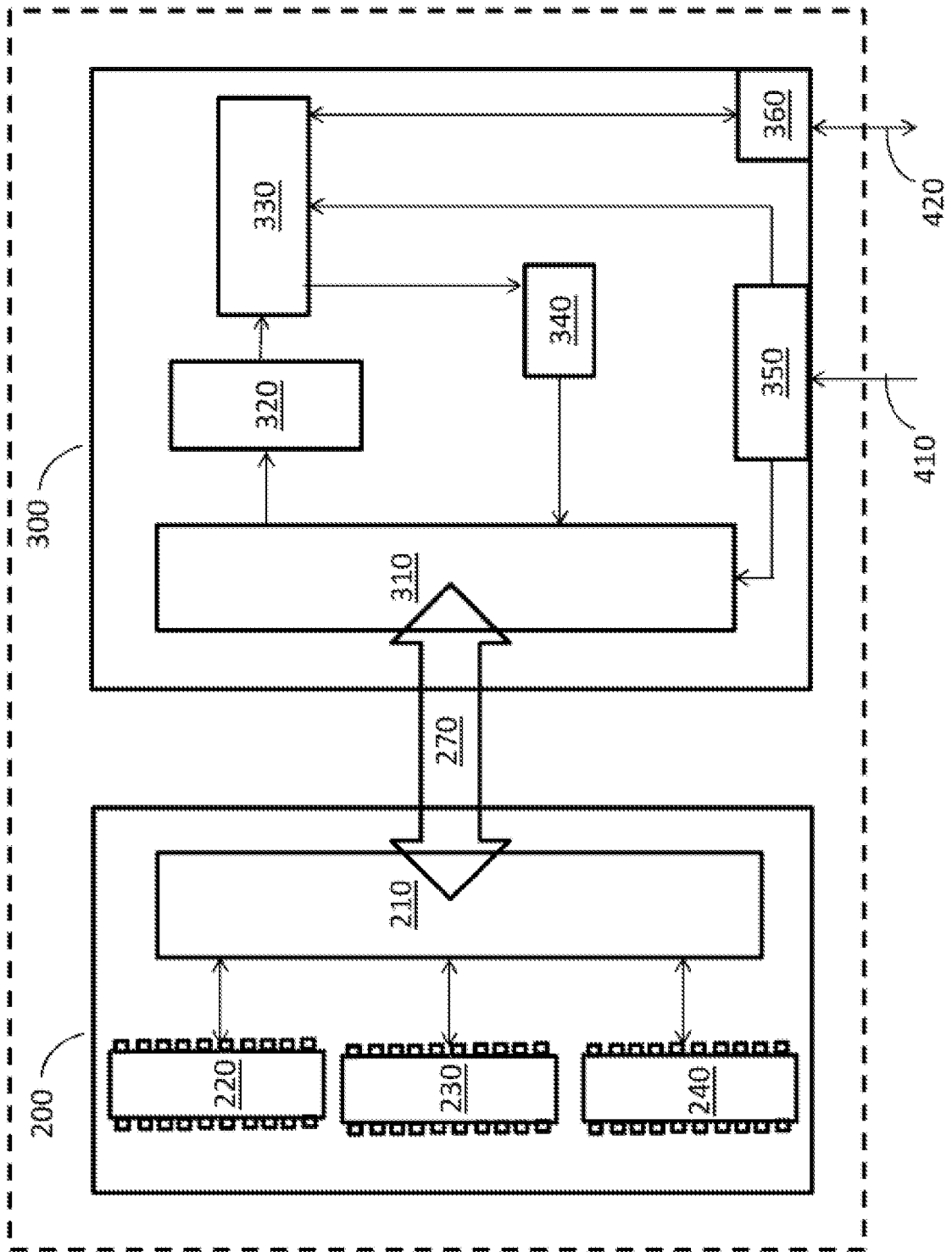


FIG. 2

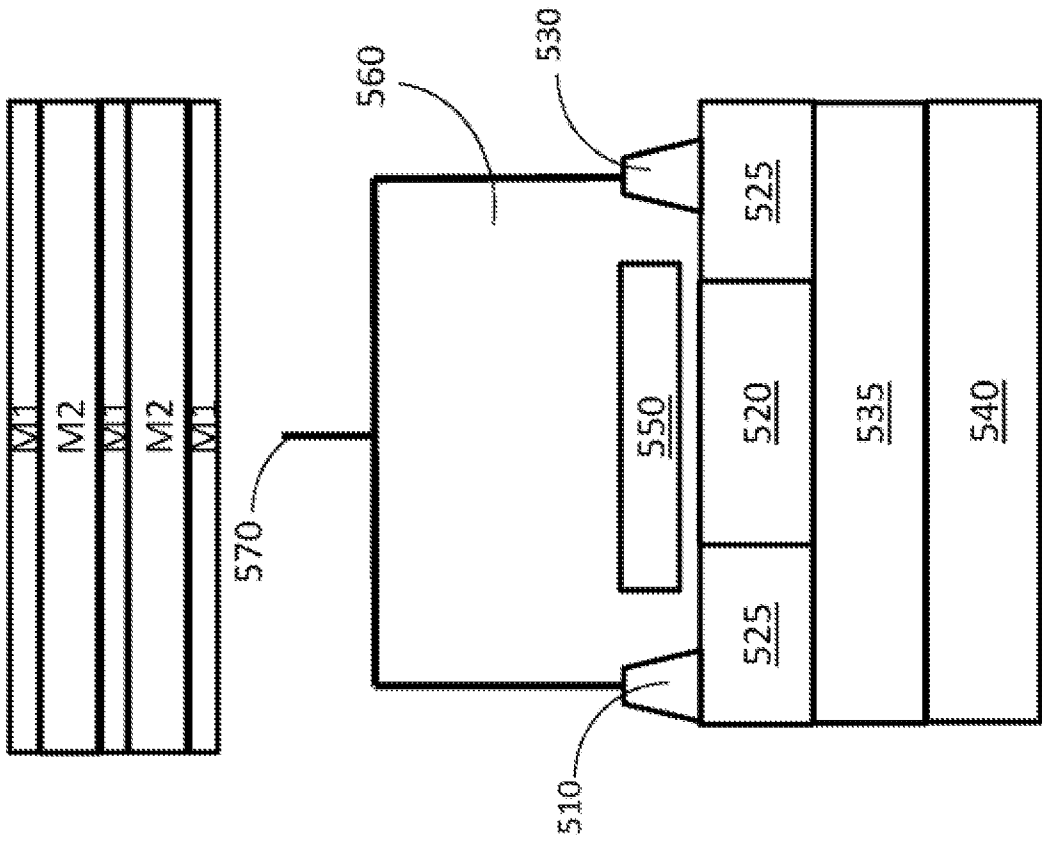


FIG. 3

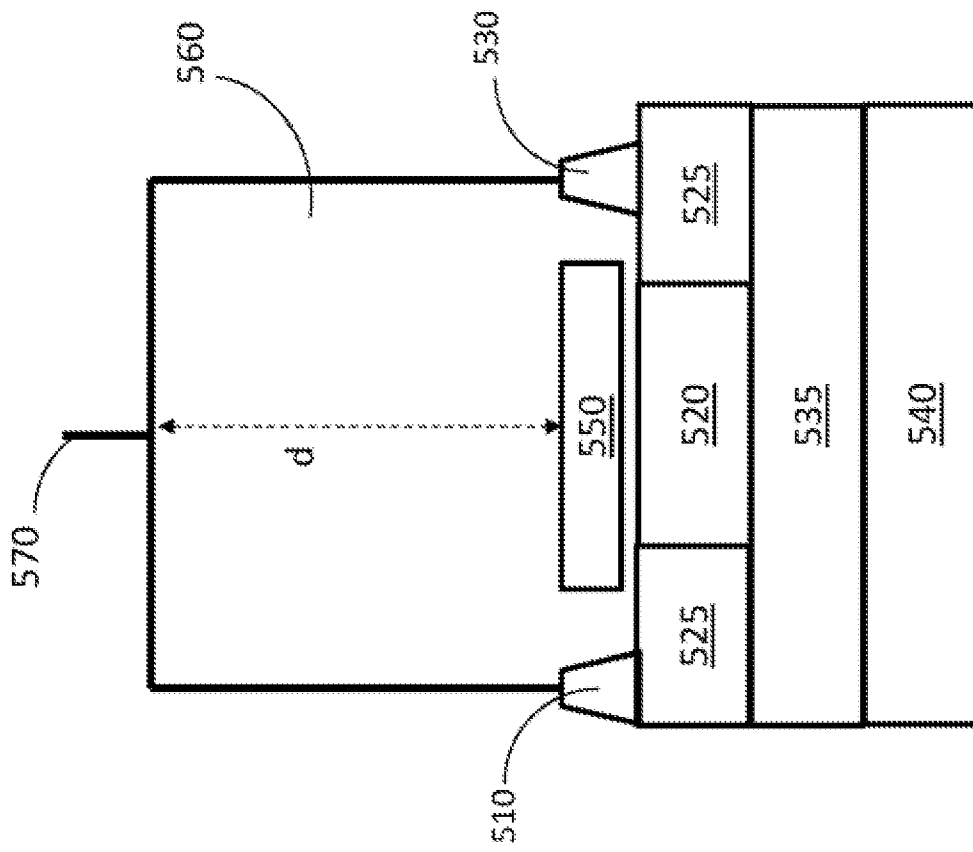


FIG. 4

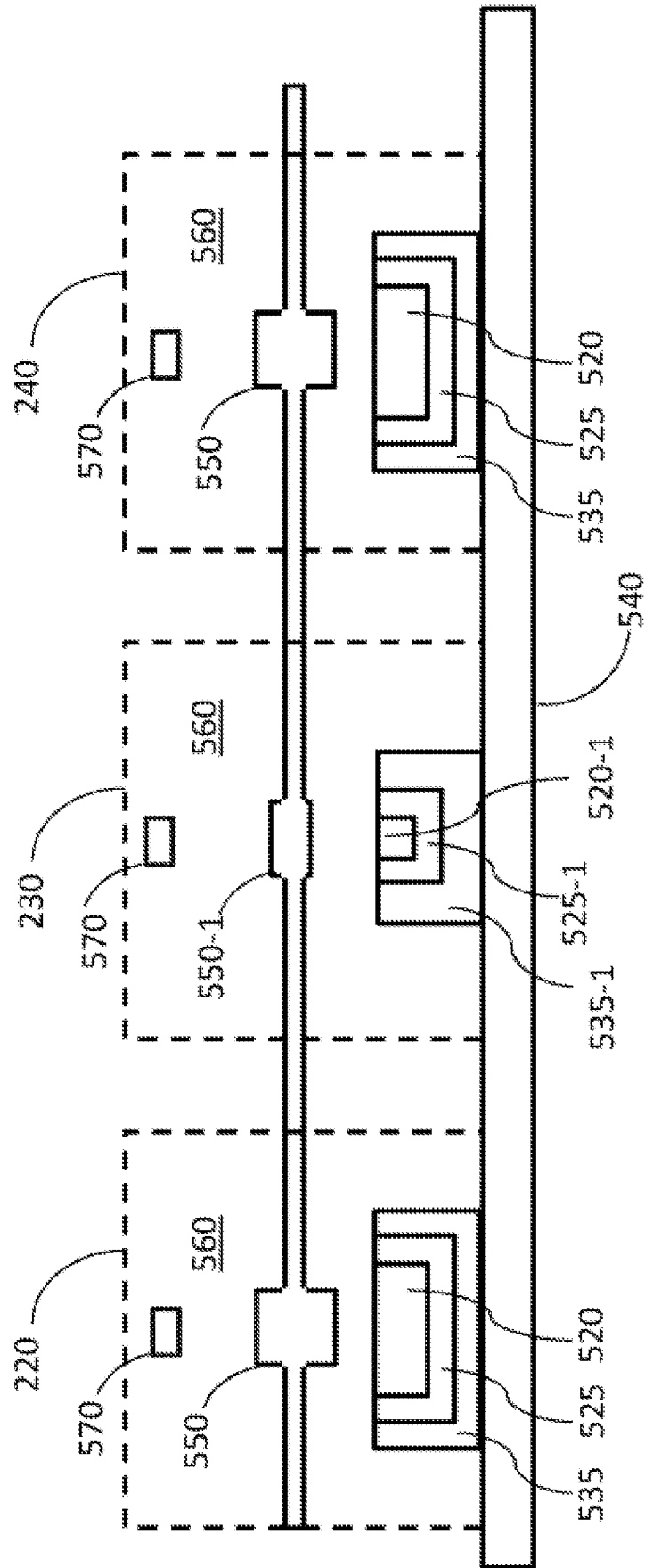


FIG. 5

Contact	Modo de Reposo	Modo de Lectura	Modo de Precarga	Modo de Descarga
CG	=SUB	Vg	8 V	-4 V
TG	=SUB	=SUB	-4 V	8 V
DNW	=SUB	=CG	8 V	8 V
ND	=SUB	Vd	=SUB	=SUB
SUB		0	0	0

FIG. 6

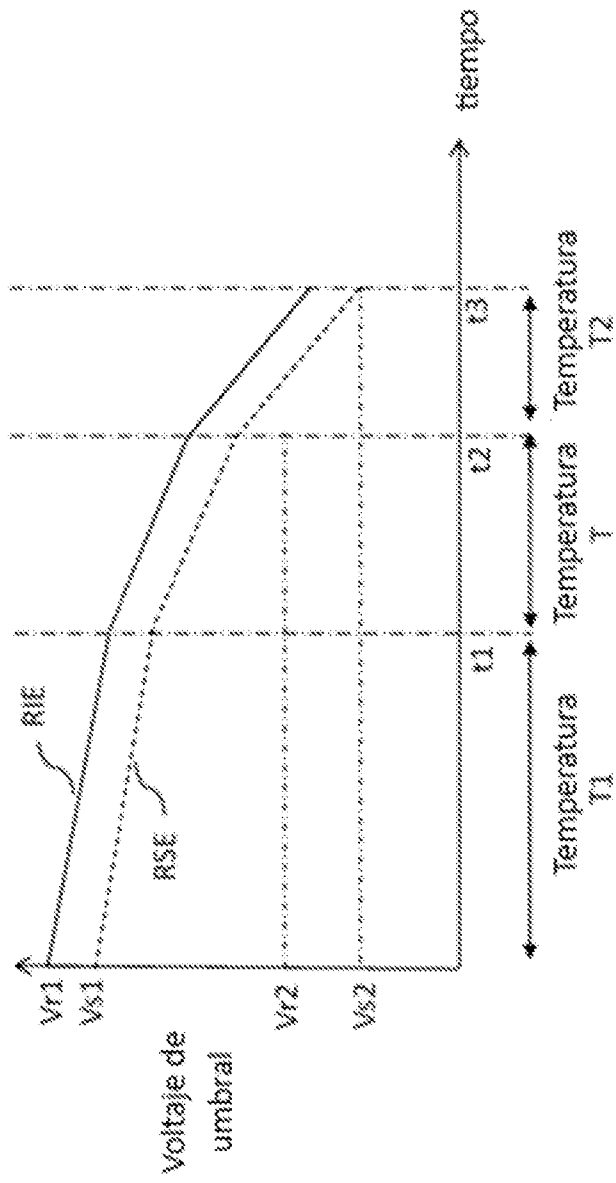


FIG. 7

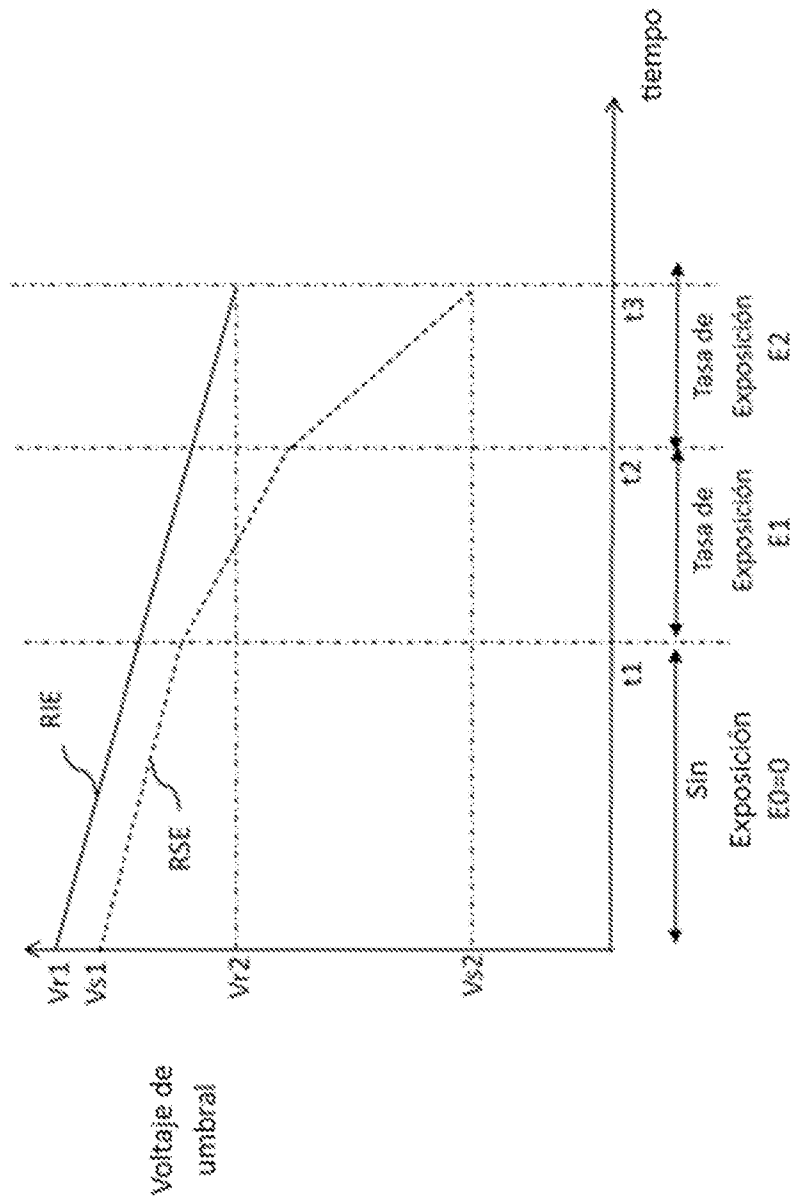


FIG. 8

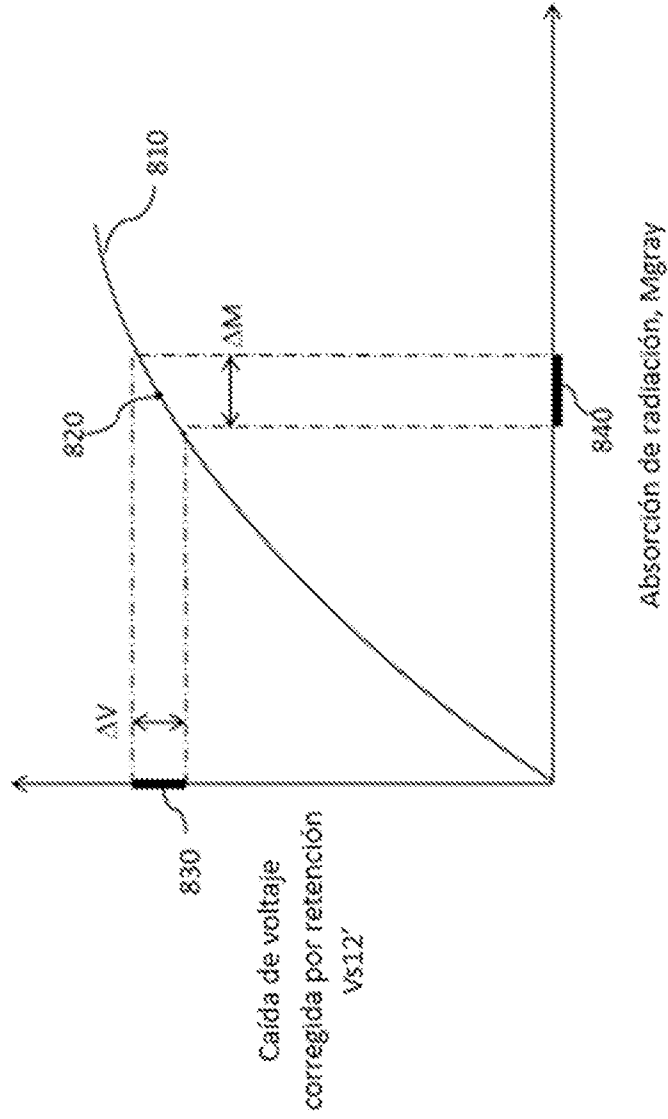


FIG. 9

