

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 679**

51 Int. Cl.:

G11C 11/56 (2006.01)

G11C 16/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.07.2014 PCT/EP2014/065393**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2015 WO15007847**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2014 E 14741854 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 3022739**

54 Título: **Procedimiento para el borrado de una memoria de semiconductor no volátil con radiación ionizante**

30 Prioridad:

19.07.2013 DE 102013214214

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

19.03.2019

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastraße 27C
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**HÖFFGEN, STEFAN;
JÖSTER, MICHAEL;
KUHNHENN, JOCHEN;
KÜNDGEN, TOBIAS y
METZGER, STEFAN**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 704 679 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

Procedimiento para el borrado de una memoria de semiconductor no volátil con radiación ionizante

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el borrado de información en una unidad de semiconductor con una pluralidad de elementos de memoria no volátil, mediante irradiación de la misma con una radiación de borrado que penetra a través de la unidad de semiconductor. La presente invención se refiere además a un dispositivo para el borrado de información en una unidad de semiconductor electrónica con una pluralidad de elementos de memoria no volátil con un dispositivo de irradiación que está configurado para exponer la unidad de semiconductor a una radiación de borrado, la invención se refiere en particular a un procedimiento y a un dispositivo para la destrucción total y permanente de información guardada en portadores de datos mediante radiación ionizante directa o indirecta.

15 Una gran cantidad de datos o archivos, por ejemplo documentos secretos, datos personales, datos sensibles de empresas, etc. se tiene que borrar o destruir de manera fiable una vez vencido el plazo de resguardo o antes de desechar el portador de datos, para cumplir los requisitos legales o para impedir una distribución indeseable de los datos.

20 Para la destrucción segura de información y datos guardados electrónicamente existen, aparte de un borrado frecuentemente insuficiente de la información o de los datos por software, tres procedimientos que tienen aplicación comercial. Además de la así llamada desmagnetización de portadores de datos magnéticos y una destrucción térmica de la información o de los datos al rebasar la temperatura Curie del portador de datos, solo se puede considerar para memorias electrónicas de la clase E según la norma DIN 66399 una trituración mecánica de los portadores de datos. Variantes de la trituración mecánica se distinguen en cuanto a diferentes niveles de seguridad en el tamaño de las partículas generadas por la trituración.

30 Se pueden distinguir tres etapas de la limpieza de un portador de datos y, por consiguiente, del borrado o de la destrucción de la información y de los datos presentes en el portador de datos. En una limpieza lógica, una primera etapa, no existe, después de la limpieza, ningún acceso a los datos a través interfaces estándar del portador de datos. En una limpieza digital, una segunda etapa, después de la limpieza se impide el acceso a los datos en cualquier forma digital aun saltando la interfaz estándar. En una limpieza analógica, una tercera etapa, se degrada la señal analógica que codifica los datos físicamente después de la limpieza a tal grado que ya no es legible ni siquiera con los procedimientos análogos más avanzados.

35 Estas tres etapas representan, en la secuencia, limpieza lógica, limpieza digital y limpieza analógica una creciente seguridad de borrado de los datos o de los portadores de datos contra acceso no autorizado. En discos duros magnéticos, la representación de las tres etapas se puede realizar de la siguiente manera: una limpieza lógica en el sentido de un borrado del archivo conlleva la eliminación del archivo de la tabla de asignación de archivo (FAT, por sus siglas en inglés) del disco duro, pero el archivo mismo sigue estando presentes en el disco duro. El acceso al archivo mediante simple consulta del archivo queda impedido a causa del registro borrado en la FAT, el interfaz estándar. La limpieza digital mediante la sobreescritura del archivo que ha de borrarse conlleva una nueva magnetización del disco duro, pudiendo quedar eventualmente vestigios de la magnetización original. Mediante la limpieza analógica mediante la destrucción total de la magnetización del disco duro por un campo magnético fuerte externo por desmagnetización o rebasamiento de la temperatura de Curie por el calentamiento del disco duro. Alternativamente a esto se puede llevar a cabo una limpieza casi analógica también mediante trituración mecánica. Dependiendo del tamaño de partícula obtenido en la trituración mecánica y de la dimensión física de un bit en la memoria de datos se da el número de bits que posiblemente pueden restaurarse o leerse.

50 Las memorias basadas en flash, no volátiles, por ejemplo memorias solo de lectura eléctricamente borrable programable de flash (EEPROM, por sus siglas en inglés) obtienen cada vez mayor importancia, ya sea como memoria USB o como tarjeta de memoria, como memoria permanente instalada en teléfonos inteligentes o PC de tableta, o como reemplazo de discos duros magnéticos en forma de dispositivos de estado sólido (SSD, por sus siglas en inglés). Memorias no volátiles requieren procedimientos confiables para la destrucción de datos sensibles. Existen estándares reconocidos y verificados para medios ópticos y magnéticos. En caso de memorias electrónicas, por ejemplo en memorias de flash, se conoce solo la trituración mecánica del portador de datos para lograr una limpieza analógica.

60 Las memorias de flash representan el tipo más común de memorias no volátiles que está basado en el principio del almacenamiento de información mediante puertas flotantes (FG, por sus siglas en inglés). Para memorias de flash existen en principio dos tecnologías de dirección diferentes: NOR y NAND. En el caso de memorias de flash NOR es posible una escritura o lectura directamente en o de células individuales de memoria. Es posible, por consiguiente, consultar programas directamente de una memoria de flash NOR. En cambio, el borrado y la programación de la memoria son muy lentos; las memorias resisten solo aproximadamente 10% de los ciclos de escritura/lectura de una memoria NAND en el sentido de su vida útil antes de volverse inservibles. Un campo de aplicación típico de

memorias de flash NOR es el almacenamiento de firmware.

En memorias de flash NAND varias células están conectadas en serie formando una PAGE, similar a una puerta NAND, que le da su nombre. Las células de una PAGE solo se pueden leer y escribir juntos. Memorias NAND tienen en general una densidad celular mayor y permiten una programación más rápida de las células, así como un número mayor de ciclos de escritura y lectura dentro de la vida útil en comparación con memorias NOR. Memorias NAND se usan para el almacenamiento masivo y son, desde el punto de vista económico, la tecnología que más crecimiento tiene actualmente. Todas las memorias de flash tienen en común que el borrado de células de memoria y, por consiguiente, de datos es posible al mismo tiempo únicamente para un bloque mayor de células de memoria.

Una destrucción segura de datos mediante sobreescritura no es posible puesto que en memorias de flash NAND, tales como se emplean principalmente para el almacenamiento masivo, la escritura y, con ello, la programación de una célula de memoria del estado 1 al estado 0 solo se puede hacer por PAGE y el borrado mediante el cambio de los bits de los elementos de memoria guardados en los elementos de memoria no volátil del estado lógico 0 al estado 1 solo por bloques, es decir, se puede hacer solo para un bloque de elementos de memoria. Modificaciones de los datos se realizan usualmente no escribiendo encima de las células de memoria físicas, sino escribiendo los datos en otro lugar de la memoria de datos y liberando el lugar original de la memoria de datos. Los datos que han de borrarse permanecen de esta manera en la memoria. Los controladores de la memoria de datos usan para esto preferentemente lugares para la escritura de datos nuevos que hasta ahora no tenían escritura para compensar la desventaja de las posibilidades de escritura finita de las memorias flash. Esto conlleva una efectividad reducida de borrados de memoria a través de sobreescritura. Existen en parte áreas en la memoria de datos que están accesibles solo al controlador de la memoria de datos para fines de optimización y que son inaccesibles para el usuario. Esto tiene la consecuencia de que la única opción de limpieza analógica, conocida o discutida hasta ahora, sea la trituración mecánica de la memoria de datos.

El documento de patente estadounidense US-A-439349 desvela un procedimiento para borrar una memoria no volátil con radiación ionizante, en el que las células de memoria antes del borrado se programan en un potencial uniforme. De este modo se alcanza un potencial lo más uniforme posible tras la operación de borrado, lo que respalda la reprogramación. Una destrucción permanente de la memoria no volátil mediante la operación de borrado no está prevista.

Sería deseable tener una posibilidad de limpiar de manera permanente medios electrónicos de memoria de datos sensibles de una manera tan efectiva como sea posible, es decir, confiable y sin complicaciones.

Partiendo del presente estado de la técnica el objetivo de la presente invención consiste en crear un procedimiento y un dispositivo para la destrucción total y permanente de información guardada en memorias de datos electrónicas.

Este objetivo se logra mediante procedimientos según las reivindicaciones 1 y mediante un dispositivo según la reivindicación 11.

Un descubrimiento de la presente invención consiste en que información guardada en una unidad de semiconductor o en un portador de datos en elementos de memoria no volátil (por ejemplo, estados lógicos guardados) se puede borrar o destruir total y permanentemente si la unidad de semiconductor provista con los elementos de memoria se expone durante tanto tiempo a una irradiación (directa o indirecta) de borrado ionizante hasta que la unidad de semiconductor haya absorbido una dosis nominal de radiación de borrado; provocándose al llegar a la dosis nominal mediante la radiación de borrado ionizante activa que se influya o se modifique la concentración (o la distribución o densidad) de los portadores de carga guardados en los elementos de memoria de tal modo que la concentración obtenida después de la operación de borrado de portadores de carga guardados en los elementos de memoria sea independiente del estado inicial antes de la operación de borrado. Mediante la irradiación de una memoria de datos con una radiación de borrado se puede influir en una concentración de portadores de carga guardados en los elementos de memoria del portador de datos de tal modo que la distribución estadística de las tensiones críticas de los elementos de memoria forma una región continua después de la irradiación y los datos o la información estén confiablemente borrados de esta manera.

Unos ejemplos de realización muestran un procedimiento para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica en una pluralidad de elementos de memoria no volátil. Mediante la irradiación de la unidad de semiconductor con una radiación de borrado que penetra a través de la unidad de semiconductor se presenta un efecto de ionización dentro de la unidad de semiconductor que influye en la concentración de los portadores de carga guardados en los elementos de memoria. Al mantener la irradiación hasta que la unidad de semiconductor haya absorbido la dosis nominal de la radiación de borrado se influye de manera tal en la distribución estadística de las tensiones críticas de los elementos de memoria que la distribución estadística forma una región continua.

Ventajoso es en esta forma de realización que los elementos de memoria poseen un estado lógico uniforme, gracias

a la región continua teniendo una distribución estadística de la tensión crítica, que es independiente de un estado lógico de los elementos de memoria antes de la irradiación.

5 Otro ejemplo de realización muestra un procedimiento para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica en una pluralidad de elementos de memoria no volátil. Se influye en los estados de memoria de los respectivos elementos de memoria durante una irradiación de la unidad de semiconductor con una radiación de borrado de manera tal que el estado de memoria respectivo después de la operación de irradiación es independiente del estado de memoria antes de la operación de irradiación. En esta forma de realización es ventajoso que también las, así llamadas, células de estados múltiples, cuyos estados de memoria 10 pueden representarse por más de un bit, se pueden trasladar independientemente de un estado inicial a un estado uniforme.

15 Otro ejemplo de realización de la presente invención muestra un dispositivo para el borrado de información que está almacenado en una unidad de semiconductor electrónica en una pluralidad de elementos de memoria no volátil. El dispositivo comprende una unidad de irradiación que está diseñada para exponer la unidad de semiconductor a una radiación de borrado hasta alcanzar una dosis nominal.

20 Ventajoso en esta forma de realización es que el dispositivo deja la unidad de semiconductor sin daño mecánico en el sentido de que la unidad de semiconductor o un objeto de borrado (aparato) que presenta la unidad de semiconductor puede identificarse a continuación o puede verificarse la aplicación del procedimiento en el aparato, por ejemplo, por parte de su propietario. La unidad de semiconductor o el objeto de borrado, o, el aparato que presenta la unidad de semiconductor puede protegerse alternativa o adicionalmente de un acceso no autorizado de terceros en un contenedor que se puede cerrar o que se puede asegurar con un sello o mediante otra envoltura.

25 A continuación se detalla a modo de explicación las propiedades de memorias de semiconductor electrónicas, en particular a memorias de flash, enfatizando además los descubrimientos y conclusiones de acuerdo con la invención considerando el objetivo en que se basa la invención.

30 Posibles ejemplos de realización de la presente invención se explican a continuación con más detalle con referencia a las Figuras anexas. Estas muestran:

- Figura 1 un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento para el borrado de información en una memoria electrónica mediante irradiación;
- 35 Figura 2 un diagrama de flujo esquemático de otro procedimiento para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica;
- Figura 3a una representación esquemática de distribuciones estadísticas de tensiones críticas de una pluralidad de elementos de memoria de células de nivel simple (SLC, por sus siglas en inglés);
- 40 Fig.3b y 3c distribuciones estadísticas de los elementos de memoria partiendo de la Figura 3a, después de que los elementos de memoria absorbieron una dosis nominal;
- Figura 4a la distribución estadística de elementos de memoria no programados y de las distribuciones estadísticas de los elementos de memoria programados de una pluralidad de elementos de memoria de célula de nivel múltiple (MLC, por sus siglas en inglés);
- 45 Fig. 4b y 4c distribuciones estadísticas de los elementos de memoria partiendo de la Figura 4a, después de que los elementos de memoria absorbieron una dosis nominal;
- 50 Figura 5a la construcción esquemática de un elemento de memoria a modo de ejemplo en forma de un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET, por sus siglas en inglés) en un estado no programado;
- 55 Figura 5b la representación esquemática del MOSFET análoga a la Figura 5a en un estado programado;
- Figura 6 el curso gráfico esquemático con curvas de tensión-corriente de una célula de memoria sin programar y programada de un MOSFET;
- 60 Figura 7 una representación esquemática de los efectos de radiación ionizante en un elemento de memoria flash de una unidad de semiconductor;
- Figura 8 una representación de principio de un dispositivo para el posicionamiento automático de una unidad de semiconductor dispuesta en un contenedor;

- Figura 9 una representación esquemática de un dispositivo para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica;
- 5 Fig. 10 una vista esquemática de un dispositivo alternativo para el borrado de información en memorias de semiconductor electrónicas;
- Fig. 11 una comparación esquemática de una radiación de electrones con una energía de radiación de 5 MeV y una radiación de Co-60.
- 10 Antes de explicar detalladamente algunos ejemplos de realización de la presente invención mediante los dibujos se señala que elementos, objetos y/o estructuras idénticas, con la misma función o el mismo efecto, se proveen en las diferentes figuras con los mismos signos de referencia, de manera que la descripción de estos elementos representada en diferentes ejemplos de realización se puede intercambiar o aplicar entre sí.
- 15 Los ejemplos y explicaciones siguientes, no obstante se refieren en parte a elementos de memoria con una puerta flotante para el almacenamiento de portadores de carga negativa, los siguientes ejemplos de realización y explicaciones pueden aplicarse igualmente a otros elementos de memoria electrónicos, por ejemplo, con una puerta flotante para el almacenamiento de portadores de carga positiva.
- 20 A continuación se explica, tomando como referencia la Figura 1, un procedimiento para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica en una pluralidad de elementos de memoria no volátil, con referencia a las Figuras 3a, 3b, 4b, 5b, 6 y 7. La Figura 3a muestra una representación esquemática de distribuciones estadísticas de tensiones críticas de una pluralidad de elementos de memoria de células de nivel simple (SLC); la Figura 3b muestra las distribuciones estadísticas de los elementos de memoria de manera análoga a la figura 3a después de que los elementos de memoria hayan absorbido una dosis nominal. La Figura 4b muestra la distribución estadística de los elementos de memoria sin programar y de la distribución estadística de los elementos de memoria programados de una pluralidad de elementos de memoria de células de nivel múltiple (MLC) después de la irradiación. La Figura 5b muestra la representación esquemática de un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET) en un estado programado del elemento de memoria. La Figura 6 muestra una gráfica esquemática con curvas de tensión-corriente de una célula de memoria no programada (borrada) y de una célula de memoria programada de un MOSFET, refiriéndose 'célula de memoria programada' a un estado de la célula de memoria en el que portadores de carga están guardados en la puerta flotante. Es posible, sin embargo, seleccionar también otra designación de los estados de las células de memoria, en particular si se distinguen entre sí varias concentraciones diferentes de portadores de carga como, por ejemplo, en elementos de memoria MLC. La
- 25
- 30
- 35
- La Figura 7 muestra una representación esquemática de los efectos de la radiación ionizante en un elemento de memoria flash de una unidad de semiconductor.
- La Figura 1 muestra con referencia a un procedimiento 100 para el borrado de información en una memoria electrónica con una pluralidad de elementos de memoria no volátil. El borrado puede ser por ejemplo una reposición total (es decir, el 100% de los elementos de memoria) o preponderante (por ejemplo 99.99%, 99.9999% o 99.999999%) de los elementos de memoria a un estado no programado, presentando elementos de memoria eventualmente no reposicionados una distribución no continua en la unidad de semiconductor, de manera que bits individuales no reposicionados no permiten llegar a ninguna conclusión sobre datos o información previamente almacenados. La unidad de semiconductor, por ejemplo una memoria flash, un campo de matriz de puertas programables (FPGA, por sus siglas en inglés) o una unidad de memoria no volátil de un microcontrolador, una memoria de solo lectura borrable programable (EPROM), o, una EEPROM pueden ser parte de un dispositivo de memoria o de un SSD, de una barra USB, de una tarjeta de memoria o de una tarjeta de chip. El dispositivo de memoria puede ser parte de un sistema, por ejemplo, de un ordenador personal (PC), de un teléfono celular, en particular de un teléfono inteligente, de un PC de tableta o de un ordenador portátil. Descripciones que se refieren, en lo sucesivo, a una disposición de unidades de semiconductores deberían entenderse en el sentido de que las unidades de semiconductor pueden estar dispuestas en un dispositivo de memoria y el dispositivo de memoria en cuestión formar parte de un sistema. Un Objeto de borrado se refiere a una unidad de semiconductor que puede estar dispuesta en un dispositivo de memoria, pudiendo estar dispuesto el dispositivo de memoria dispuesto en o sobre un sistema o aparato.
- 40
- 45
- 50
- 55
- En una etapa 102 se irradia una unidad de semiconductor con una pluralidad de elementos de memoria no volátil que representan, dependiendo de la realización en cuestión, uno o varios bits de información con una radiación de borrado. En los elementos de memoria, o, en los transistores con una puerta flotante se encuentra guardada la información que se debe borrar en forma de una concentración de portadores de carga eléctrica en la puerta flotante de los elementos de memoria, tal como se representa, por ejemplo, en las Figuras 3a y 5b. Se aplican portadores de carga durante una operación de programación en la una puerta flotante respectiva, que están allí presentes en cierta concentración (o densidad o distribución) y representan el estado programado. La irradiación se lleva a cabo hasta que la dosis nominal de la radiación de borrado haya quedado absorbida por la unidad de semiconductor. La absorción se puede presentar, dependiendo del tipo de la radiación de borrado usada, por ejemplo, radiación de
- 60

electrones o de protones, total o parcialmente mediante una desaceleración de una partícula de la radiación después de una interacción, por ejemplo una colisión, con la unidad de semiconductor o con uno de los elementos de memoria. La absorción puede darse alternativa o adicionalmente, total o parcialmente por una neutralización de la partícula de la radiación dentro del elemento de memoria. Alternativa o adicionalmente se puede dar la absorción

5 total o parcialmente también por una reducción de una energía de una onda de radiación, mientras la onda de la radiación de borrado penetra a través de la unidad de semiconductor. La absorción de la radiación de borrado dentro de la unidad de semiconductor comprende en el curso de la radiación a través de la unidad de semiconductor una reducción de la intensidad de radiación y/o una reducción del número de partículas de la radiación.

10 La absorción de la proporción de la radiación de borrado produce en la unidad de semiconductor la aparición de un efecto de ionización que influye en la concentración de los portadores de carga guardados en los elementos de memoria. Los portadores de carga o la concentración de los portadores de carga en los elementos de carga definen un estado lógico del elemento de memoria en cuestión según se muestra en las Figuras 3b y 4b. El efecto de ionización produce, por ejemplo, una reducción de una carga eléctrica almacenada en una puerta flotante a través de diversos mecanismos que se explican más adelante con referencia a la Figura 7. Una reducción de la concentración de portadores de carga eléctrica en la puerta flotante de un elemento de memoria puede conllevar una caída de la tensión crítica del elemento de memoria en cuestión por debajo de una tensión de lectura, tal como se representa con ayuda de las Figuras 3a y 3b, de manera que un elemento de memoria, por ejemplo en un estado programado, es detectado por un aparato que lee la unidad de semiconductor o el dispositivo de memoria como "no programados" y no se puede leer o recuperar ningún código procesable, puesto que no se puede recuperar el estado original de los elementos de memoria.

20 El procedimiento 100 permite un borrado de datos o de información libre de contacto y confiable, al eliminar la información en forma de portadores de carga eléctrica de las puertas flotantes que poseen una programación correspondiente. La operación de borrado, por consiguiente, es irreversible y permanente, de manera que se puede tener un borrado confiable de datos e información. En otras palabras, el procedimiento 100 descrito en la presente memoria describe un procedimiento para la destrucción permanente de datos en medios de memoria electrónica con elementos de memoria no volátil.

30 La información o los datos sensibles en cualquier aparato que usa elementos de memoria no volátil basados en el almacenamiento de carga se pueden borrar mediante la aplicación del procedimiento. Las unidades de semiconductor, dispositivos de memoria o sistemas no tienen que abrirse con esta finalidad. Las unidades de semiconductor se exponen posiblemente como parte del dispositivo de memoria o sistema en cuestión (los aparatos provistos con las unidades de semiconductor) a la radiación de borrado, por ejemplo una radiación ionizante. Como radiación ionizante se puede emplear, por ejemplo, una radiación de ondas, por ejemplo una radiación de electrones o una radiación de fotones, o una radiación de partículas, por ejemplo, una radiación de protones o una radiación de neutrones. La irradiación se puede realizar alternativa o adicionalmente con una radiación usando iones pesados. El tipo y la energía de la radiación ionizante puede seleccionarse de manera tal que los elementos de memoria están expuestos a la radiación, eventualmente dentro de una carcasa de un dispositivo de memoria, que los elementos de memoria son penetrados por la radiación ionizante y que absorben una parte de la radiación ionizante.

40 La radiación ionizante produce a causa de los efectos de ionización, descritos más adelante en la Figura 7, una modificación de las tensiones críticas de los elementos de memoria en cuestión. La modificación de la tensión crítica puede ser causada por alguno de los tres efectos explicados a continuación o por una combinación de estos efectos. La radiación ionizante causa en un primer efecto, designado en la Figura 7 como efecto A, que se generen o liberen cargas en los aisladores que rodean la puerta flotante. Estas cargas penetran en la puerta flotante y neutralizan al menos en parte la carga almacenada en la puerta flotante. Un segundo efecto B causado conlleva que la carga de la puerta flotante sea atrapada, es decir, ligada en los aisladores en los puntos defectuosos generados por la radiación, enmascarando de esta manera los portadores de carga en la puerta flotante. Un tercer efecto C es la fotoemisión. El nivel energético de los portadores de carga en la puerta flotante se eleva tanto a causa de la radiación que los portadores de carga tienen suficiente energía para superar la barrera de potencial del aislador que rodea la puerta flotante. El efecto B es generalmente reducido (menos del 10%) en comparación con los efectos A y C.

50 En resumen, la radiación ionizante causa una descarga de la puerta flotante y, con ello, un desplazamiento de la línea característica representada en la Figura 6 de la corriente de drenaje resultante en función de una tensión aplicada en la puerta de control. Después de la absorción de la dosis nominal por el respectivo elemento de memoria la tensión crítica del elemento de memoria queda tan reducida y, por consiguiente, la línea característica 52 desplazada tanto en dirección a la línea característica 48 de la Figura 6 que una tensión de lectura 14 conservada ya no identifica una célula de memoria originalmente programada o un elemento de memoria originalmente programado como tales. El elemento de memoria se identifica como no programado.

60 En la suma de todos los elementos de memoria que muestran una distribución estadística en cuanto a sus respectivos estados, las distribuciones 12 y 16 estadísticas forman regiones respecto a las tensiones críticas de los elementos de memoria según se explica en las Figuras 3a y 3b. Una descarga de las puertas flotantes, o, una asimilación de los estados de carga (o de la densidad de carga) de las puertas flotantes causa una aproximación de

las regiones 12 y 16 estadísticas. Después de la absorción de la dosis nominal las regiones de la distribución 12 y 16 estadística forman una región 26 común. Dentro de la región 26 común no se puede definir ninguna tensión de lectura que haría posible una distinción libre de error de elementos de memoria programados y no programados y, con ello, de sus estados lógicos originales. Las distribuciones 12 y 16 estadísticas pueden deberse, por ejemplo, a pequeñas fluctuaciones de los procesos en la producción de chip. Estas pueden producir una variación de las tensiones críticas. Las tensiones críticas de los elementos de memoria pueden estar bajo la influencia de los portadores de carga en la puerta flotante y/o por variaciones. Las células de memoria o los elementos de memoria cuya tensión crítica baja de la tensión de lectura son interpretados en una célula de nivel simple (SLC) por ejemplo como estado binario 1, i.e. no programados. Si se retiran o neutralizan crecientemente portadores de carga de la puerta flotante de la unidad de memoria, conforme a la dosis de radiación creciente, absorbida por las unidades de memoria, de manera que disminuya una concentración de los portadores de carga en la puerta flotante, migrando la distribución estadística de las células originalmente programadas en dirección a la distribución estadística de las células en estado no programado. Después de la absorción de la dosis nominal de la radiación, los elementos de memoria están presentes en su estado neutral. De esta manera se puede lograr una limpieza analógica que corresponde a una analogía para la desmagnetización en discos duros magnéticos.

Después de la absorción de la dosis nominal, tanto los elementos de memoria originalmente programados como los originalmente no programados están presentes en estado no programado independientemente de su respectivo estado inicial. Se anula de esta manera toda dependencia de un estado inicial de los elementos de memoria.

La radiación empleada tiene que poseer cierta energía (i.e. suficiente) para poder penetrar totalmente en el portador de datos y garantizar así la irradiación de cada célula de memoria o de cada elemento de memoria. Una penetración total significa que los rayos pasan en sentido espacial a través de todas las regiones (i.e., todas las regiones son penetradas total o uniformemente) y que una proporción suficientemente alta (por ejemplo 99% o 99.999%) de los elementos de memoria, idealmente todos ellos (100%) estén expuestos al efecto de ionización, de manera que después de la absorción de la dosis nominal la concentración de portadores de carga almacenados sea influenciada de manera tal que la distribución estadística de las tensiones críticas de los elementos de memoria forme una región continua. Esto significa que la concentración de portadores de carga después de la operación de irradiación sea independiente de la concentración de los portadores de carga previa a la operación de irradiación, de modo que ya no sea posible detectar el estado lógico original de los elementos de memoria. Una proporción remanente de elementos de memoria (por ejemplo una proporción de menos del 1% o de menos de 0,001%) que no son expuestos o de manera insuficiente al efecto de ionización están distribuidos generalmente en la unidad de semiconductor de manera tal que no se pueden recuperar fragmentos relevantes de información guardada en la memoria de semiconductor. Para la definición de la dosis nominal se puede definir, por ejemplo, una energía de la radiación que debe ser absorbida por la unidad de semiconductor que ocasiona una penetración en lo posible total de la unidad de semiconductor.

La dosis nominal o la dosis mínima se pueden definir en función del objeto de borrado que debe borrarse o de la unidad de semiconductor. Una determinación de la dosis nominal puede realizarse alternativa o adicionalmente en función de la densidad o de los materiales de la unidad de semiconductor, del dispositivo de memoria o del sistema. Ejemplos de realización muestran procedimientos de borrado con una dosis nominal de 1 kGy para dispositivos de memoria que deben borrarse. Ejemplos de realización alternativos muestran una dosis nominal de 5 a 8 kGy. Otros ejemplos de realización muestran una dosis nominal de 10 kGy.

Alternativa o adicionalmente puede definirse un tiempo de irradiación en función de la fuente de radiación de la radiación ionizante. Para una potencia de radiación de la fuente de radiación, por ejemplo de 6 kGy/h y una energía de la radiación emitida por la fuente de radiación resulta en una unidad de semiconductor una dosis nominal, por ejemplo, de 2 kGy. De esto se puede determinar un tiempo de irradiación, por ejemplo $2\text{ kGy} / (6\text{ kGy/h}) = 0,3\text{ h} = 18\text{ min}$. Un volumen sensitivo aumentado que se debe irradiar, es decir, un volumen que se irradia para absorber la dosis nominal, por ejemplo a causa de una unidad de semiconductor mayor o porque se irradian al mismo tiempo varias unidades de semiconductor o varios aparatos, puede ocasionar una energía menor y, por consiguiente, una potencia de radiación respecto al volumen irradiado, lo que se puede traducir en una duración extendida de irradiación.

El procedimiento 100 se puede aplicar independientemente de que se fijen otros parámetros de aplicación como, por ejemplo, una potencia de dosis o una temperatura.

El procedimiento 100 se puede llevar a cabo para esto de manera tal que los aparatos y/o las unidades de semiconductor se exponen a una radiación continua hasta haberse alcanzado la dosis nominal. En ejemplos de realización alternativos la irradiación se realiza en varias etapas, pudiendo variar la intensidad o la duración de las etapas. Puede ser necesario determinar la dosis nominal de manera experimental o por simulación, por ejemplo para diferentes "clases" de objetos de borrado como, por ejemplo, PC de tableta o medios de memoria externos. En una determinación experimental se puede exponer, por ejemplo, varios objetos de borrado, para los cuales se debe definir una dosis nominal, a diferentes dosis de radiación (definidas). A continuación de la irradiación se puede llevar

a cabo una valoración, eventualmente un análisis forense, para determinar el estado de borrado en cada caso de un objeto de borrado en función de la dosis de radiación absorbida.

5 En un ejemplo concreto se pueden exponer, por ejemplo, un total de N (con N = 100) tarjetas de memoria digitales seguras (SD, tarjetas SD) a una radiación ionizante hasta que una dosis de 0,2, 2, 20 o 200 kGy haya quedado absorbida por N/4 tarjetas SD en cada caso. En un análisis forense podría ser determinable a continuación que tarjetas SD que hayan absorbido una dosis de 0,2 kGy todavía se puedan leer con un interfaz estándar, como un lector de tarjetas SD en un PC. Además podría ser determinable que tarjetas de SD que absorbieron una dosis de 2 kGy solo son legibles con una complejidad mayor sin hacer uso del interfaz estándar, lo que podría ser comparable a 10 una limpieza digital de discos duros magnéticos. Además podría ser detectable que tarjetas SD que absorbieron una dosis de 20 kGy no tienen o solo tienen cargas restantes mínimas en las respectivas puertas flotantes de las unidades de memoria de las tarjetas SD y que tarjetas que absorbieron una dosis de 200 kGy exhiben además un cambio cromático (físico o químico) de las partes de las tarjetas SD y que componentes electrónicos están destruidos, de manera que las tarjetas SD no son operante y no se pueden realizar accesos reproducibles de escritura y/o lectura. La destrucción de los componentes electrónicos se puede ocasionar por un cambio en las 15 estructuras de aislamiento de los elementos constructivos, los cuales pierden al menos en parte una propiedad de aislamiento electrónico, de manera que la funcionalidad de los componentes electrónicos se anula al menos en parte.

20 De semejante serie de ensayos a modo de ejemplo se puede deducir, por ejemplo, que basándose en los resultados para las dosis de 2 kGy, agregando un factor de seguridad de 1,5, una dosis nominal de 3 kGy permite una limpieza digital confiable. Se puede deducir además, por ejemplo, que una dosis de 10 kGy permite un borrado suficiente para una limpieza analógica de la información o de los datos guardados en las tarjetas SD, puesto que la mitad de la dosis de 20 kGy (véase arriba) ocasiona que únicamente permanecen tantos portadores de carga en las puertas 25 flotantes de las tarjetas SD que se impida una recuperación de los datos o de la información originales. La dosis nominal para las tarjetas SD del tipo investigado puede determinarse bajo las suposiciones y los resultados a modo de ejemplo precedentes con 10 kGy mediante interpolación de los resultados para las dosis absorbidas de 2 kGy y 20 kGy. Ejemplos de realización alternativos muestran una determinación de la dosis nominal con un valor de 20 kGy para las tarjetas SD precedentes, puesto que después de la absorción de esta dosis por las tarjetas SD se realiza una eliminación casi completa de los portadores de carga almacenados en la puerta flotante. 30

La dosis nominal se puede seleccionar también de la manera que la unidad de semiconductor sea inoperante después de la absorción de la dosis nominal, i.e., tienen que haber ocurrido cambios químicos o físicos en la unidad de semiconductor que impidan operaciones reproducibles de escritura o lectura. Esto corresponde en el ejemplo 35 precedente a una dosis absorbida de 200 kGy.

Se puede resumir entonces que las dosis nominales se pueden determinar por ensayos experimentales seguidos por investigaciones forenses, pudiendo deducirse los resultados experimentales mediante etapas de interpolación y pudiendo aplicarse adicionalmente factores de seguridad. 40

La dosis nominal puede determinarse también mediante simulación, llevándose a cabo la absorción de una dosis de radiación por un objeto de borrado mediante simulaciones, o, en un programa de simulación. Las simulaciones se pueden apoyar en particular en determinaciones experimentales anteriores. Se puede investigar, por ejemplo, un nuevo tipo de tarjeta SD, posiblemente con un tipo de unidad de semiconductor de nueva producción en cuanto a 45 similitudes con unidades de semiconductor ya analizadas, de manera que se pueda realizar un cálculo de una dosis nominal basado en simulaciones y/o resultados de ensayos experimentales y/o de cálculo.

Se comenta que el ejemplo precedente representa meramente formas de realización posibles de la determinación experimental o simulada de una dosis nominal para un tipo de objeto de borrado. 50

Dentro de una etapa de irradiación la radiación ionizante causa una reducción posiblemente continua de la carga almacenada en la puerta flotante. Después de la absorción de la dosis nominal hay presencia de esta manera de pocas o ningunas cargas almacenadas en las células de memoria o en los elementos de memoria por lo que la información está borrada. 55

Mediante el uso de una radiación ionizante el procedimiento 100 hace posible que la unidad de semiconductor, el aparato o el sistema durante la irradiación o durante toda la acción de destrucción de datos estén dispuestos en una envoltura (por ejemplo, en un contenedor o en una carcasa) que, por ejemplo, está sellada o asegurada de otra manera. Dentro de la envoltura se pueden disponer, gracias a la penetración por la radiación, una o varias unidades 60 de memoria, dispositivos de memoria o sistemas.

También la envoltura es penetrada por la radiación durante la irradiación. Cierta proporción de la radiación puede ser absorbida en esto por la carcasa. Se puede tomar en cuenta la proporción de radiación absorbida por la carcasa para la determinación de la dosis nominal tomando como referencia la fuente de radiación respectiva,

incrementando, por ejemplo, la duración de la irradiación.

Puesto que durante la irradiación no hay necesidad de un acceso físico o mecánico a los portadores de datos o las unidades de semiconductor se puede llevar a cabo una destrucción de datos en una envoltura o en un recipiente cerrados, por ejemplo sellados, mientras que durante una trituración mecánica cada portador de datos y/o dispositivos automáticos se tiene que someter a la destrucción por personas. Esto implica una colaboración de confianza con un prestador de servicios correspondiente que ejecuta el procedimiento, puesto que en particular personas pueden aprovechar los portadores de datos de manera abusiva o acceder de manera no autorizada a los portadores de datos y/o los archivos y la información guardados en ellos. Gracias a una envoltura cerrada esto se puede evitar, o se puede constatar un acceso no autorizado por estar dañados el cierre o la envoltura.

La radiación ionizante puede influir en información en medios de memoria electrónicos. Dependiendo del tipo de memoria, es decir, del tipo de la unidad de semiconductor que se ha de irradiar y del tipo, de la cantidad y de la dosis de radiación usados, partes de la memoria quedan modificadas después de la irradiación de manera tal que se impide una recuperación de los datos originales debido a la ausencia de dependencias de los estados de memoria y/o a elementos de semiconductor de los elementos de memoria defectuosos. El procedimiento describe de esta manera una destrucción total y permanente de información en medios de memoria electrónicos mediante el uso de radiación ionizante. El portador de datos, o, la unidad de semiconductor que tiene la información que debería ser destruida se expone a una cantidad suficiente de radiación hasta que la dosis nominal haya quedado absorbida por la unidad de semiconductor.

Una trituración mecánica puede causar que la identidad de la memoria de datos o del aparato eventualmente no se pueda demostrar técnicamente, por ejemplo, por ser las partículas demasiado pequeñas o por mezclar partículas de diferentes aparatos. En cambio, puesto que la unidad de semiconductor, el dispositivo de memoria o el sistema siguen mecánicamente enteros después de la destrucción de datos mediante el procedimiento 100, la verificación o identificación de la unidad de semiconductor es posible, por ejemplo, por el cliente o el propietario. La destrucción segura de los datos se puede garantizar además independientemente de los parámetros de proceso mecánicos como, por ejemplo, determinado tamaño de partículas por la trituración mecánica. La trituración mecánica requiere tamaños de partículas cada vez más reducidas y menores conforme incrementa la densidad de los elementos de memoria en la unidad de semiconductor, i.e. densidades de memoria crecientes, para mantener o reducir el número de elementos de memoria y, por consiguiente, el volumen de datos presentes por partícula. La trituración mecánica de unidades de semiconductor puede producir partículas mezcladas de diferentes materiales y, por consiguiente, desecho remanente o especial que puede estar mezclado con materias peligrosos y materias valiosas. En cambio, un portador de datos borrado mediante irradiación permite su aprovechamiento posterior, por ejemplo, un reciclaje, puesto que la mayor parte del portador de datos sigue siendo mecánicamente intacto y se puede, por ejemplo, desmontar y separar por materiales.

La destrucción de datos mediante la radiación usando el procedimiento 100 permite en su conjunto el borrado de información con un riesgo claramente menor de un comportamiento errático de personas individuales. Aunque los sistemas, los dispositivos de memoria o las unidades de semiconductor siguen estando ampliamente intactos en sentido mecánico después de la irradiación, el procedimiento 100 puede causar algunos cambios típicos e irreversibles mecánicos u ópticos, por ejemplo, en los plásticos usados en los aparatos o en las unidades de semiconductor. Dependiendo de la composición química de los plásticos, los plásticos pueden volverse quebradizos o blandos o exhibir cambios de color. Este cambio puede detectarse en un análisis forense posterior, por ejemplo, en una verificación del procedimiento 100. Además del estado de los datos destruidos, los daños por radiación ocasionados por la irradiación pueden dejar marcas características en los elementos irradiados, por ejemplo en las unidades de semiconductor, aisladores o plásticos, que demuestran en retrospectiva la aplicación del procedimiento 100. Alternativa o adicionalmente se puede detectar cambios ópticos, por ejemplo en vidrios o polímeros transparentes, por ejemplo, al hacer elementos transparentes por la irradiación primero más oscuros y finalmente totalmente opacos.

Componentes electrónicos u ópticos irradiados, por ejemplo elementos de semiconductor, lentes en cámaras o pantallas, posiblemente son dañados de manera irreparable por el procedimiento 100. Esto incrementa la seguridad de la destrucción de datos y evita el uso de los aparatos después de la destrucción de los datos, por ejemplo, por un robo no permitido de los aparatos o memorias borrados. El daño de los componentes electrónicos es el resultado del fuerte incremento en corrientes de fuga en componentes eléctricos que usan aisladores. Se pueden desplazar además líneas características de elementos de semiconductor por cargas generadas y almacenadas en los aisladores. Semejantes cambios se pueden reconocer en forma de marcas características y se pueden distinguir claramente de fenómenos de envejecimiento. El reconocimiento de las marcas características permite la verificación del procedimiento de borrado 100.

Se puede irradiar, junto con la unidad de semiconductor, dispositivo de memoria o sistema, un elemento indicador, por ejemplo en forma de una plaquita, tubito, barrita, cilindro o cubo que cambia una propiedad física o química al alcanzar la dosis nominal. Una propiedad física cambiante puede ser, por ejemplo, la tenacidad o resistencia del

vidrio o del polímero o la transparencia del material. Una propiedad química cambiante puede ser, por ejemplo, el color de un papel del elemento indicador. El elemento indicador puede estar dispuesto, por ejemplo sobre o dentro de una envoltura o recipiente correspondiente y estar formado total o parcialmente de vidrio o de un material polimérico. Los materiales poliméricos pueden ser total o parcialmente transparentes u opacos.

5 La destrucción de los datos se puede realizar mediante la irradiación de manera rápida y conveniente, ya que se pueden irradiar grandes cantidades de portadores de datos al mismo tiempo. La aplicación del procedimiento es verificable, puesto que se pueden devolver el o los portadores de datos a un mandante después de realizar la irradiación. La aplicación del procedimiento 100 se puede realizar además de manera transparente, dando a conocer los detalles del procedimiento. El procedimiento 100 se puede realizar además con menor riesgo por personal no confidencial, puesto que el procedimiento permite una cadena logística completa con envoltura sellada.

15 En algunos ejemplos de realización la irradiación se realiza de manera tal que una o varias unidades de semiconductor, dispositivos de memoria y/o sistemas son irradiados desde diferentes ángulos hasta que se haya absorbido la dosis nominal por las unidades de semiconductor. La o las unidades de semiconductor pueden pasarse junto a una fuente de radiación estacionaria mediante una instalación de transporte, por ejemplo, en una banda transportadora. Alternativa o adicionalmente pueden girarse la o las unidades de semiconductor, por ejemplo encerradas en una envoltura sellada, frente a una fuente de radiación estacionaria para facilitar la irradiación de la o de las unidades de semiconductor por varios lados. Esto hace posible una reducción de las eventuales fluctuaciones de intensidad dentro de la región irradiada que pueden ser ocasionadas, por ejemplo, por absorción de radiación en las unidades de semiconductor.

25 La unidad de semiconductor o las unidades de semiconductor pueden moverse con respecto a la fuente de radiación a una y/o a través de una zona de irradiación con cierta velocidad de transporte y exponerse durante el movimiento a la irradiación. La velocidad de transporte se puede ajustar a la dosis nominal que es absorbida por las unidades de semiconductor. Una velocidad de transporte reducida puede conllevar un paso más lento a través de la zona de irradiación y una mayor dosis de radiación absorbida en comparación con una velocidad de transporte más alta. Esto permite un transporte continuo de las unidades de semiconductor. Alternativa o adicionalmente se puede mover la unidad de semiconductor o las unidades de semiconductor a la zona de irradiación y depositarse allí, y retirarla de la zona de irradiación después de la absorción de la dosis nominal (operación de "parada y arranque"). Tanto en la operación de "parada y arranque" como también en el movimiento de las unidades de semiconductor con movimiento relativo pueden girarse las unidades de semiconductor o los contenedores en los cuales las unidades de semiconductor están dispuestas, una o varias veces, eventualmente en forma continua, con respecto a la fuente de irradiación para que sean irradiados desde diferentes ángulos con la radiación ionizante.

35 La Figura 2 muestra, con referencia a las Figuras 4a y 4b, un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento 200 para el borrado de información que se encuentra guardada en una unidad de semiconductor electrónica en una pluralidad de elementos de memoria no volátil en cada caso como estado de memoria. Un estado de memoria comprende, por ejemplo, en una SLC la distinción de un estado de un bit en cero y uno. En el caso de una célula de niveles múltiples (MLC) se pueden realizar en un elemento de memoria también varios estados de memoria, por ejemplo cuatro, que se pueden interpretar como cuatro estados lógicos, por ejemplo una combinación de bit de '00', '01', '10' y '11'.

45 La Figura 4a muestra a modo de ejemplo una representación esquemática de distribuciones estadísticas de elementos de memoria de una unidad de semiconductor con MLC cuyo estado de memoria respectivo representa en cada caso dos bits y, por consiguiente, cuatro estados. La Figura 4b muestra esquemáticamente la distribución estadística de los elementos de memoria después de la irradiación según la etapa 102 o según una etapa 202.

50 En la etapa 202 se irradia la unidad de semiconductor con una radiación de borrado hasta que la unidad de semiconductor haya absorbido la dosis nominal. La radiación de borrado penetra a través de la unidad de semiconductor de manera tal que al menos una parte de la radiación de borrado es absorbida por la unidad de semiconductor. La absorción de la parte de la radiación de borrado causa la aparición de un efecto de ionización en la unidad de semiconductor o en los elementos de memoria. El efecto de ionización causa que los estados de memoria de los elementos de memoria sean influenciados de manera tal que los estados de memoria después de la operación de irradiación sean independientes de los estados de memoria antes de la operación de irradiación tan pronto se haya absorbido la dosis nominal.

60 El procedimiento describe un procedimiento para la destrucción total y permanente de información guardada en portadores de datos mediante radiación ionizante directa o indirecta. El procedimiento puede aprovechar sin interrupción infraestructuras existentes, establecidos durante muchos años, de empresas existentes que actualmente usan eventualmente otros procedimientos. Esto incluye cadenas logísticas certificadas como seguras de un cliente al lugar de destrucción, relaciones de clientes con autoridades, instituciones y empresas, así como procedimientos de verificación usuales para inspeccionar la efectividad. El procedimiento puede encontrar aplicación a nivel mundial, en particular allí donde se debería destruir información en portadores de datos.

Los procedimientos 100 y 200 se pueden usar en principio para todas las tecnologías de memoria basadas en puertas flotantes, las respectivas explicaciones son mutuamente aplicables e intercambiables.

5 La Figura 3a muestra una representación esquemática de distribuciones estadísticas de tensiones críticas de una pluralidad de elementos de memoria SLC. En la abscisa se representa en subida la tensión crítica en una puerta de control del elemento de memoria correspondiente. La ordenada muestra cualitativamente un número de elementos de memoria que comprenden una tensión crítica indicada en la abscisa. Elementos de memoria en estado no programado se designan a continuación con el estado binario 1, mientras que los elementos de memoria en un estado programado se designan con el estado binario 0. La designación binaria de los elementos de memoria se puede realizar también de manera alternativa, por ejemplo, con el estado 1 para elementos de memoria programados y con el estado 0 para no programados.

15 Los elementos de memoria en el estado binario 1 tienen una tensión crítica con una distribución estadística dentro de una región 12, situándose las tensiones críticas comprendidas en la región 12 por debajo de una tensión de lectura 14. La tensión de lectura 14 se aplica a los elementos de memoria por un dispositivo, por ejemplo un dispositivo de memoria que accede a los elementos de memoria, para consultar en cada caso el estado del elemento de memoria en cuestión. Elementos de memoria en un estado programado comprenden una tensión crítica dentro de una distribución 16 estadística, siendo la tensión de lectura 14 menor que las tensiones críticas de la distribución estadística 16.

25 Al aplicar la tensión de lectura 14 a un elemento de memoria en cuestión se reconocen elementos de memoria con una tensión crítica dentro de la distribución 12 estadística como no programados y los elementos de memoria con una tensión crítica dentro de la distribución 16 estadística como programados, y de esta manera se lee la información guardada. Exponer los elementos de memoria a la radiación ionizante según la etapa 102 del procedimiento 100 o la etapa 202 del procedimiento 200 produce un desplazamiento de la distribución 16 estadística en dirección a la distribución 12 estadística. Se señala mediante la flecha 18 que esto se realiza inicialmente sin detección de defectos de cada uno de los elementos de memoria, mientras la distribución estadística 16 o todas las tensiones críticas de la distribución 16 estadística sean mayores que la tensión de lectura 14.

30 En la continuación de la irradiación que resulta en un incremento de la dosis de radiación absorbida por los elementos de memoria y en una concentración reducida de los portadores de carga almacenados en las puertas flotantes en cuestión. Esto desplaza la distribución 16 estadística más en dirección a la distribución 12 estadística. A causa de esto se reduce la tensión crítica de una parte o de todos los elementos de memoria originalmente programados de manera que ésta sea más baja que la tensión de lectura 14, según se señala mediante la flecha 22. Si se reduce la tensión crítica de un elemento de memoria originalmente programado a un valor debajo de la tensión de lectura 14, entonces se identifica este elemento de memoria como no programado, a pesar del estado originalmente programado. Un ajuste (por ejemplo una reducción) de la tensión de lectura 14 puede proporcionar, sin embargo, resultados confiables, mientras la región de la distribución 12 estadística esté "separada" de la región de distribución 16 estadística y la tensión de lectura 14 se puede aplicar entre las regiones de las distribuciones 12 y 16 estadísticas.

45 Una destrucción de datos en este estado puede identificarse con un análisis forense más profundo, por ejemplo al reducirse la tensión de lectura. El estado de la unidad de semiconductor puede corresponder a aquel de una limpieza digital. Con un acceso analógico a las unidades de semiconductor programadas se pueden leer señales analógicas que señalan una programación de las células a través de valores críticos más altos de posibles cargas restantes en la puerta flotante. La continuación de la radiación tiene la consecuencia de que las distribuciones 12 y 16 estadísticas forman una región común.

50 La Figura 3b muestra las distribuciones estadísticas de los elementos de memoria de manera análoga a la figura 3a después de que los elementos de memoria absorbieron la dosis nominal. La distribución 16 estadística de las tensiones críticas se redujo tanto a causa de la irradiación, por ejemplo a causa del efecto de ionización ocasionado, que se interseca con la distribución 12 estadística de las células no programadas y tiene una región de solape 24, por ejemplo en un volumen de al menos 20%, 30%, 50% u 80% de la respectiva distribución estadística o de la suma de los elementos de memoria originalmente programados y no programados. La distribución 26 estadística resultante de las tensiones críticas de todos los elementos de memoria forma una región continua. La distribución 26 estadística resultante tiene en el lugar de la región 24, es decir, en el lugar donde se intersecan las distribuciones 12 y 16 estadísticas, dos máximos locales o dos puntos de cresta. A causa de la formación de una región 24 común ya no se puede distinguir confiablemente entre elementos de memoria programados y no programados aún con una modificación de la tensión de lectura 14 puesto que se impide la aplicación de una tensión de lectura 14 a los elementos de memoria para separar las regiones 12 y 16 estadísticas.

La Figura 3c muestra la distribución estadística de los elementos de memoria según las Figuras 3a y 3b después de continuar la irradiación de los elementos de memoria. La región de solape 24 comprende las regiones 12

- estadísticas de los elementos de memoria originalmente no programados y casi por completo de los elementos de memoria originalmente programados, de manera que la distribución 26 estadística resultante de los elementos de memoria corresponde aproximadamente a un estado en el cual todos los elementos de memoria están presentes en un estado no programado. Para obtener después de la irradiación una región de solape casi completa se puede
- 5 determinar, por ejemplo, una dosis nominal incrementada con relación a la dosis nominal de la Figura 3b que es absorbida por la unidad de semiconductor. La Figura 3c muestra un estado de los elementos de memoria que se puede ajustar si el objeto de borrado se irradia más allá de la dosis nominal para alcanzar el estado representado en la Figura 3b.
- 10 Alternativa o adicionalmente puede constatarse basándose en diferentes efectos de ionización que se describen a continuación en la Figura 7 también un desplazamiento de las regiones 12 estadísticas en dirección de tensiones críticas más altas o más bajas. Un exceso de agujeros causado por efectos de ionización en materiales de aislamiento puede producir, por ejemplo, un desplazamiento de la región 12 estadística y, por consiguiente, la distribución 26 estadística resultante en dirección a tensiones críticas más altas.
- 15 A continuación se describe una representación esquemática del borrado de información en los elementos de memoria que pueden representar una cantidad mayor de información gracias a la presencia de más de dos estados de memoria, por ejemplo, elementos de memoria MLC que pueden adoptar cuatro estados lógicos que se pueden representar por las combinaciones de bit '11', '10', '01' y '00'.
- 20 A continuación se explica con referencia a la Figura 7 la influencia de la irradiación en elementos de memoria de una unidad de semiconductor MLC. La Figura 7 muestra una representación esquemática de los efectos de la radiación ionizante en un elemento de memoria flash de una unidad de semiconductor. Un efecto A de la Figura 7 describe la neutralización de los portadores de carga en la puerta flotante respectiva del elemento de memoria en cuestión. El efecto B describe la captura de portadores de carga en capas de aislamiento que rodean la respectiva puerta flotante. La captura produce un enmascaramiento de portadores de carga guardadas en la puerta flotante. El efecto C describe una fotoemisión por excitación de portadores de carga guardados en la respectiva puerta flotante por la radiación ionizante.
- 25 La Figura 4a muestra la distribución 12 estadística de los elementos de memoria no programados y de las distribuciones 16-1, 16-2 y 16-3 estadísticas de los elementos de memoria programados que se pueden distinguir entre sí en cada caso por las tensiones de lectura 14-1, 14-2 y 14-3. Las distribuciones estadísticas están presentes, a modo de ejemplo, con distribución uniforme en el estado '11' no programado y los estados '10', '01' y '00' programados, pudiendo presentar las distribuciones estadísticas una distribución arbitraria, dependiendo de los datos guardados.
- 30 La Figura 4b muestra esquemáticamente la presencia de todos los elementos de memoria en el estado '11' después de la realización de una irradiación, de manera que de un elemento de memoria después de la irradiación del estado '11' no se puede deducir cuál era el estado que el elemento de memoria en cuestión presentaba antes de la irradiación. Después de alcanzar la dosis nominal mediante la irradiación se influye de manera tal en los estados de memoria de los elementos de memoria a causa del efecto de ionización que los estados de memoria después de la operación de irradiación son independientes de los estados de memoria antes del estado de irradiación. Al destruir esta relación se impide la reconstrucción de los datos originales. La región 26 común presenta en cuanto a las tensiones críticas de los elementos de memoria una anchura ΔV_{SW} en la cual las tensiones críticas de los elementos de memoria están distribuidas. La anchura ΔV_{SW} puede estar influenciada por varios factores como, por ejemplo, el volumen o la distribución de efectos de ionización individuales que se presentan durante la irradiación y que se explicarán en la Figura 7. Si se presentan los efectos A y C con una distribución fuerte de todos los efectos de ionización, entonces la anchura ΔV_{SW} puede ser menor de que si se presentan los efectos A y C con una distribución menor. Con una ponderación mayor se neutralizan posiblemente casi todos los portadores de carga en las puertas flotantes de los elementos de memoria, de modo que los elementos de memoria exhiben pocas desviaciones entre sí respecto a los portadores de carga remanentes, y por consiguiente la región de la distribución 26 estadística resultante exhibe una anchura ΔV_{SW} pequeña. La altura X de la distribución 26 estadística resultante puede depender del número de los elementos de memoria y de la anchura ΔV_{SW} , de manera que una anchura ΔV_{SW} mayor puede conllevar una altura X menor y viceversa, permaneciendo constante la superficie de la distribución 26 estadística.
- 35 La Figura 4c muestra esquemáticamente la presencia de tensiones críticas de todos los elementos de memoria en la distribución 26 estadística común. El efecto B, explicado en la Figura 7, conlleva un desplazamiento de la distribución 26 estadística en dirección a tensiones críticas más altas. Los agujeros generados por el efecto B producen cargas positivas en forma de agujeros frente a las cargas negativas de los portadores de carga almacenados en la puerta flotante. Un excedente de agujeros puede conllevar un desplazamiento de la tensión crítica que va a aplicarse.
- 40 La distribución 26 estadística resultante puede tener también otra forma con uno o varios máximos locales, tal como
- 45
- 50
- 55
- 60

se muestra en la Figura 3b. Una “formación de cresta” se puede dar, por ejemplo, durante la irradiación cuando las distribuciones estadísticas 12, 16-1, 16-2 y 16-3 “migran” unas hacia otras y forman la distribución 26 estadística común.

5 Dependiendo de la influencia de los efectos de ionización individuales puede variar en principio la altura, la anchura y/o la posición de la distribución 26 estadística resultante en el eje de las tensiones de valor crítico. Una dependencia de la influencia puede consistir, por ejemplo en cuanto al procedimiento de irradiación usado o de la fuente de radiación usada. Una radiación de electrones de una fuente correspondiente puede por ejemplo producir una distribución diferente de los efectos individuales A, B y/o C en comparación con una radiación de protones o una radiación de iones pesados.

15 La Figura 5a muestra una construcción esquemática de un elemento de memoria a modo de ejemplo en forma de un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET) que está ampliado en una puerta 32 flotante, de manera que el MOSFET posee, además de una puerta de control 34, una fuente 36 y un drenaje 38, cuatro componentes conductores en forma de un elemento semiconductor. La puerta 32 flotante está aislada contra los demás elementos conductores 34, 36 y 38 mediante aisladores 42a y 42b. En estado no programado del elemento de memoria se encuentra guardada una concentración baja de portadores de carga en la puerta 32 flotante, de manera que en estado eléctricamente no contactado del elemento de memoria se forma una curva de potencia relativamente homogénea a lo largo del elemento de memoria, lo que se indica mediante la línea 44 discontinua.

20 La Figura 5b muestra la representación esquemática del MOSFET de manera análoga a la figura 5a en un estado programado del elemento de memoria, con referencia a la Figura 6. La Figura 6 muestra una representación esquemática de la curva de la corriente de drenaje en un MOSFET con relación a una tensión aplicada a la puerta de control. En la puerta 32 flotante se encuentran almacenados unos portadores de carga 46. Estos producen una diferencia de potencial en la región de la puerta 32 flotante, según se indica por la curva de la línea 44 discontinua. Los portadores de carga 32 causan un desplazamiento de la línea característica de la corriente de drenaje respecto a una tensión aplicada en la puerta 28 de control, tal como se muestra en la Figura 6.

30 La puerta flotante está rodeada totalmente por material aislante 42a y 42b lo que es el origen del nombre ‘puerta flotante’. Si se aplican, por ejemplo, electrones en la puerta 32 flotante, entonces estos protegen el campo eléctrico presente en la puerta 34 de control y se produce un desplazamiento de la línea característica del elemento de memoria, tal como lo muestra la Figura 6. La introducción de portadores de carga 46, por ejemplo en forma de electrones, y por consiguiente una programación de los elementos de memoria se puede realizar, por ejemplo, de manera tal que los electrones saltan sobre una barrera de potencial del aislador 42a, 42b, lo que se designa como inyección de canal caliente y que se aplica, por ejemplo, en memorias de flash NOR. Alternativa o adicionalmente los electrones pueden penetrar la barrera de potencial mediante el, así llamado, túnel de Fowler-Nordheim, según se aplica por ejemplo en memorias de flash NAND, aplicando en cada caso tensiones apropiadamente fuertes a los elementos de memoria. El borrado de las células se realiza eléctricamente en general a través del túnel de Fowler-Nordheim. Si no se aplica tensión a la célula de memoria, entonces la carga queda atrapada en la puerta flotante, lo que significa que se queda “almacenada” hasta que escapa a través de corrientes de fuga mínimas en el aislador durante un período de, por ejemplo, 10 a 100 años.

45 La Figura 6 muestra una gráfica esquemática con curvas de tensión-corriente de una célula de memoria no programada y una programada de un MOSFET. La abscisa de la gráfica muestra una tensión de puerta de control aplicada a una célula de memoria, o, a un elemento de memoria. La ordenada de la gráfica muestra una corriente de fuente-drenaje como función de la tensión de puerta de control aplicada. Una línea característica 48 de un elemento de memoria no programado muestra que una corriente de fuente-drenaje del elemento de memoria puede fluir al aplicar la tensión de lectura 14 en la puerta de control del elemento de memoria. Si se aplica la tensión de lectura 14 en un elemento de memoria programado, entonces una línea característica 52 del elemento de memoria programado muestra que la lectura de tensión 14 es menor que una tensión crítica por encima de la cual el transistor del elemento de memoria se convierte en conductor y por encima de la cual fluye una corriente fuente-drenaje. La línea característica 48 del elemento de memoria no programado discurre con un desplazamiento 54 aproximadamente paralela a la línea característica 52 del elemento de memoria programado. El desplazamiento 54 corresponde a una diferencia de las tensiones críticas, representable por una delta en cuanto a la tensión crítica, entre los elementos de memoria programados y no programados. Si se aplica una tensión de lectura 14 definida a la puerta de control, entonces no fluye en una célula programada ninguna corriente entre la fuente y el drenaje, mientras que una corriente detectable fluye en una célula borrada.

60 La Figura 7 muestra una representación esquemática de los efectos de la radiación ionizante en un elemento de memoria flash de una unidad de semiconductor en un modelo de bandas. Aisladores 42a y 42b separan como hueco entre bandas las bandas de valencia de la puerta 34 de control, puerta 36 de fuente y puerta 38 de drenaje de la puerta 32 flotante. La radiación 56 ionizante tiene la consecuencia de que en un efecto A 58 en los aisladores 42a y 42 b que rodean la puerta 32 flotante se generan unas cargas que penetran en la puerta 32 flotante y neutralizan allí los portadores de carga 46. En un efecto B se genera por la radiación 56 ionizante una carga en los aisladores, por

ejemplo en forma de agujeros que tienen una carga opuesta a los portadores de carga 46 allí "atrapada" (*trapped*) y que enmascara con el potencial generado una parte de los portadores de carga o del potencial de los portadores de carga en la puerta flotante, lo que puede conllevar la neutralización de una parte de los portadores de carga almacenados en la puerta 32 flotante. Las influencias del efecto B pueden ser temporales al menos en parte o totalmente. Estas influencias se pueden reducir (aclamar) por ejemplo mediante el calentamiento de los elementos de memoria al menos en parte de manera que agujeros atrapados se recombinan y neutralizan con electrones bajo la influencia de la temperatura. En un efecto C la radiación 56 ionizante excita las cargas 46 energéticamente de manera que las cargas 46 tengan suficiente energía para superar la barrera de potencial del aislador 42a o 42b y la concentración de los portadores de carga 46 baja en la puerta 32 flotante. El efecto B puede ser pequeño con grosores reducidos de las capas de aislamiento 42a y 42b en comparación con los efectos A y C. Si se eliminan todos o casi todos los portadores de carga 46 por los efectos A y C de la puerta 32 flotante, o neutralizados por los efectos A-C, y por consiguiente la concentración de los portadores de carga en la puerta flotante suficientemente reducida, entonces se alcanza un estado de borrado que corresponde a un borrado o una limpieza analógica.

La Figura 8 muestra una representación esquemática de un dispositivo 80 para el posicionamiento automático de una unidad de semiconductor 64 dispuesta por ejemplo en un contenedor 68. El dispositivo de borrado 80 tiene una unidad de radiación 69 con una fuente de radiación 71 para la emisión de una radiación 56 ionizante para irradiar una región de radiación 75. La radiación ionizante puede ser, en principio, de cualquier tipo de radiación ionizante, por ejemplo una radiación de fotones, una radiación de electrones, una radiación de neutrones, una radiación de partículas como por ejemplo una radiación de protones o una radiación de iones pesados.

El dispositivo 80 tiene además una instalación de transporte 86 que está configurada para desplazar la unidad de semiconductor 64 o el contenedor 68 con una velocidad de transporte (promedio) de una posición inicial a una posición final con relación a la operación de irradiación. La velocidad de transporte puede ser, por ejemplo, constante al menos por secciones o también variable por secciones. El desplazamiento se puede también detener, por ejemplo, temporalmente, para mantener la unidad de semiconductor 64 o el contenedor 68 en una posición de irradiación seleccionada. La instalación de transporte 86 puede ser, por ejemplo, una banda sinfín o de transporte en la cual la unidad de semiconductor 64 pasa junto a la fuente de radiación 69 y es irradiada.

La instalación de transporte 86 está configurada además para mover o desviar la unidad de semiconductor mediante un movimiento relativo respecto a la fuente de radiación 69. El movimiento relativo puede comprender, por ejemplo, una rotación del contenedor 68 o un desplazamiento horizontal y/o vertical como, por ejemplo, con un equipo de grúa. Se pueden encontrar, por ejemplo, una pluralidad de unidades de semiconductor 64 por irradiar en una pluralidad de contenedores 68 en una instalación de transporte 86 que mueve las unidades de semiconductor por irradiar a las(s) región/regiones de borrado en cuestión. Cada contenedor puede depositarse en la región de borrado o la instalación de transporte 86 puede detenerse hasta que la dosis nominal haya quedado absorbida por las unidades de semiconductor y puedan retirarse a continuación de la región de irradiación (operación de 'parada y arranque'). Un contenedor puede pasar también alternativamente con una velocidad de transporte constante o variable en una operación continua a través de la región de irradiación.

Por ejemplo, el contenedor puede girarse frente a la fuente de radiación 69 para reducir eventuales "sombras" de absorción de la radiación ionizante o de la radiación de borrado 56 en el contenedor 68 en cuestión y lograr una penetración completa de las unidades de semiconductor con la radiación de borrado 56. La instalación de transporte 86 puede comprender alternativamente por ejemplo un brazo de agarre que está dispuesto y configurado móvil en un sistema de rieles para asir el contenedor 68 y pasar con la velocidad de transporte junto a la fuente de radiación 69 y girar con el movimiento relativo frente a la fuente de radiación 69 (es decir, desviarlo en al menos un eje del espacio).

Alternativa o adicionalmente el contenedor 68 también en la instalación de transporte 86 con la velocidad de transporte puede guiarse pasando junto a la fuente de radiación 69 para exponer las unidades de semiconductor a una irradiación continua.

Si se pasa la unidad de semiconductor 64 o el contenedor 68 a través de la región de irradiación 75 entonces la velocidad de transporte puede ajustarse de manera tal que el tiempo requerido para atravesar la región de borrado sea al menos tan largo que la unidad de semiconductor absorbe la dosis nominal de la radiación 56 ionizante.

El contenedor 68 se puede también depositar alternativamente en la región de irradiación 75 y retirarse de la región de irradiación 75 después de un tiempo de irradiación durante el cual el contenedor 68 o la unidad de semiconductor 64 es irradiada con la radiación 56 ionizante y después de la cual la dosis nominal haya quedado absorbida. Alternativa o adicionalmente un contenedor 68, puede girarse por ejemplo por la instalación de transporte 86 y exponerse a continuación a la radiación ionizante 56 hasta que una parte de la dosis nominal haya quedado absorbida por la unidad de semiconductor 64. Después de que la parte de la dosis nominal haya quedado absorbida se puede rotar o mover el contenedor 68 más para irradiarse a continuación a otro ángulo o con otra orientación respecto a la fuente de radiación 69 y absorber de esta manera otra parte de la dosis nominal. Alternativa o

adicionalmente se puede exponer el contenedor 68 a la radiación 56 ionizante también durante el movimiento o durante la rotación.

Una unidad de control 77 está configurada para controlar la instalación de transporte 86 y la fuente de radiación 69.
 5 La unidad de control 77, por ejemplo, la velocidad de transporte y/o la velocidad de rotación con la cual se realiza el movimiento relativo, puede ajustarse dependiendo del objeto de borrado en cuestión con la unidad de semiconductor 64 que ha de ser borrada, para lograr en cada caso una absorción de la dosis nominal respectiva con una intensidad de radiación constante de la radiación de borrado 56 y con grados de absorción variables de los objetos de borrado con velocidades de transporte variables o con períodos de tiempo variables durante los cuales el objeto de borrado
 10 está depositado en la región de borrado.

Con el dispositivo 80 puede realizarse un proceso de borrado continuo, es decir, que puede depositarse una pluralidad de contenedores 68 en la instalación de transporte 86 e irradiarse uno tras otro.

15 La Figura 9 muestra una vista en planta esquemática de un dispositivo 90 para la irradiación de una unidad de semiconductor 64 con la fuente de radiación 69 que emite por ejemplo en un plano de irradiación la radiación 56 ionizante e irradia la región de irradiación 75. La radiación 56 ionizante tiene una dirección preferente 87 en el plano de irradiación en el cual la intensidad de la radiación 56 ionizante es mayor que en las demás direcciones, de manera que la región de irradiación 75 efectiva (respecto a la distancia seleccionable de la fuente de radiación 69 a
 20 la unidad de semiconductor 64) es incrementada en la dirección preferente 87 (la dirección x). El dispositivo 90 presenta una instalación de transporte 86 con una primera sección 86', una segunda sección 86" y una tercera sección 86'''. Las secciones 86' y 86''' están dispuestas alrededor del lugar de acoplamiento 93 en parte, i.e. en secciones, dentro de la región de irradiación 75, de manera que las secciones 86' y 86''' están expuestas en parte a la radiación 56 ionizante. Una unidad de semiconductor que se mueve o posiciona en las secciones expuestas a la
 25 radiación 56 ionizante puede absorber una parte de la radiación 56. La instalación de transporte 86 está configurada para mover la unidad de semiconductor 64, o, el contenedor 68 con la unidad de semiconductor 64 de la posición inicial o la región de recepción 89, por ejemplo una zona de entrega, a la posición final o la región de descarga 91, por ejemplo una zona de descarga del dispositivo 90, a lo largo de las secciones 86', 86''' y eventualmente 86''. La unidad de semiconductor 64 absorbe durante el movimiento dentro de la región de irradiación 75 la dosis nominal,
 30 por ejemplo, al moverse la unidad de semiconductor 64 en la sección 86" alrededor de la fuente de radiación 69. Alternativamente la unidad de semiconductor 64 puede pasar junto a la fuente de radiación 69 en las partes de las secciones 86' y 86" donde la unidad de semiconductor está expuesta a la radiación 56 ionizante, y absorber la dosis nominal.

35 La instalación de transporte 86 está realizada por ejemplo como sistema de rieles y configurada para mover en una primera etapa 1 el contenedor 68 de la región inicial 89 en dirección a la fuente de radiación 69. Dentro de la región de irradiación 75 influenciada por la dirección predominante 87 la unidad de semiconductor se expone a la radiación 56 ionizante. Un lugar de desacoplamiento 93, por ejemplo una desviación de la instalación de transporte 86' está configurado para llevar el contenedor 68 eventualmente a la sección 86''. En una segunda etapa 2 opcional la unidad
 40 de semiconductor 64 en la sección 86" se mueve alrededor de la fuente de radiación 69 hasta que la dosis nominal haya quedado absorbida casi o totalmente por la unidad de semiconductor 64. Se puede variar para esto, por ejemplo, la velocidad de la unidad de semiconductor 64 en la sección 86" o un número de vueltas de la unidad de semiconductor 64 con respecto a la fuente de radiación 69 en la sección 86". En una etapa 3 que sigue a la etapa 1 o eventualmente a la etapa opcional 2 se desvía la unidad de semiconductor 64 en el lugar de desacoplamiento 93 a
 45 la sección 86''' y se mueve saliendo de la región de irradiación 75 en dirección a la región final 91, de manera que al llegar a la región final 91 la dosis nominal haya quedado absorbida.

La instalación de transporte 86 puede estar configurada de manera tal que la unidad de semiconductor 64 se mueve en la sección 86" con una velocidad que varía con el tiempo y/o que quede inmóvil por lugares y/o momentos. La
 50 instalación de transporte 86 puede estar configurada alternativa o adicionalmente de manera tal que la unidad de semiconductor 64 se mueva con una velocidad constante pasando junto a la fuente de radiación 69 o alrededor de la fuente de radiación 69.

El dispositivo 90 hace posible una irradiación de contenedores o unidades de semiconductor u objetos de borrado con dosis nominales variables que han de absorberse. De esta manera un contenedor 69 por ejemplo en la etapa 2 en la sección 86" puede guiarse una vez alrededor de la fuente de radiación 69 para absorber una primera dosis nominal. Un contenedor 68 siguiente puede guiarse en la etapa 2 dos o más veces alrededor de la fuente de radiación 69, por ejemplo con motivo de un número mayor de objetos de borrado en el contenedor, para absorber una segunda dosis nominal. Otro contenedor puede pasar por ejemplo únicamente por las etapas 1 y 3, puesto que
 60 una tercera dosis nominal se absorbe ya durante el movimiento del contenedor a lo largo de las secciones 86' y 86" por la unidad de semiconductor.

Para llevar un contenedor 68 una vez o varias veces alrededor de la fuente de radiación 69 la sección 86" y/o las secciones 86' o 86''' pueden comprender varios planos o pisos. Es imaginable, por ejemplo, que la instalación de

transporte 86 tenga un primer y un segundo piso, estando dispuesta la sección 86' en el primer piso y la sección 86'' en el segundo piso. El lugar de acoplamiento 93 está configurado para desacoplar un contenedor 68 de la sección 86 en una primera llegada, de manera que el contenedor 68 pasa en el primer piso en una primera dirección alrededor de la fuente de radiación 69. El lugar de acoplamiento 93 está realizado además para mover el contenedor 5 68 en una segunda llegada que sigue a la primera llegada al segundo piso, por ejemplo mediante un elevador, de manera que el contenedor 68, por ejemplo se lleva en una segunda dirección que es opuesta a la primera dirección alrededor de la fuente de radiación 69. El lugar de acoplamiento 93 está configurado además, por ejemplo, para mover el contenedor 68 en una tercera llegada al lugar de acoplamiento nuevamente al primer piso para, o bien, llevar el contenedor nuevamente alrededor de la fuente de radiación 69 y para repetir las etapas que se ejecutaron 10 después de la primera llegada al lugar de acoplamiento 93, o para mover el contenedor en la tercera llegada a la sección 86'' cuando la dosis nominal necesaria haya quedado absorbida.

La instalación de transporte 86 puede comprender en general un número arbitrario de pisos, por ejemplo, uno, dos o 15 más pisos.

El dispositivo puede comprender opcionalmente una tina de absorción que contiene una sustancia absorbente, por ejemplo agua, y que está dispuesta adyacente a la fuente de radiación. El dispositivo está configurado, por ejemplo, de manera que se pueda mover eventualmente hacia la tina de absorción, por ejemplo durante una parada de 20 mantenimiento, y cubrirse o envolverse por la sustancia absorbente, de manera que la región de irradiación se reduce sustancialmente o esté dispuesta dentro del absorbedor.

La instalación de transporte 86 puede tener como alternativa al sistema de rieles también otro sistema de transporte, por ejemplo una grúa móvil.

Como alternativa es imaginable que la fuente de radiación 69 no tenga ninguna dirección predominante o que tenga 25 varias, por ejemplo dos direcciones predominantes 87. Si la fuente de radiación 69 no tiene ninguna dirección predominante 87, entonces la fuente de radiación 69 irradia una región redonda o aproximadamente redonda. Varias direcciones predominantes 87 se pueden aprovechar, por ejemplo, de manera que las unidades de semiconductor 64 o contenedores 68 que deberían ser irradiados se desaceleren o detengan temporalmente en la instalación de 30 transporte 86 con relación a la fuente de radiación 69 en lugares en o una dirección preferente. Esto puede hacer posible una absorción mayor de una dosis de la radiación 56 ionizante en estos lugares y reducir, por ejemplo, un número de pasos de la etapa 2, de manera que se puede lograr un incremento con respecto al ciclo a través del dispositivo 90 de los objetos de borrado que deberían ser irradiados. Ninguna dirección predominante significa que la región de irradiación 75 sea circular o concéntrica y la dosis de radiación pueda absorberse continuamente por la 35 unidad de semiconductor.

La Figura 10 muestra una representación esquemática de un dispositivo 95 para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónico con una pluralidad de elementos de memoria no volátil. El dispositivo 95 comprende una unidad de irradiación o una fuente de radiación 69 que está configurada para irradiar 40 una unidad de semiconductor 64. La unidad de semiconductor 64 comprende una pluralidad de elementos de memoria 66a y 66b. La unidad de semiconductor 64 está dispuesta en un contenedor 68-1 que es permeable para la radiación 56 ionizante, de manera tal que la dosis nominal de la radiación 56 ionizante es absorbida por la unidad de semiconductor 64 durante la irradiación. La fuente de radiación 69 está realizada aquí a modo de ejemplo para irradiar la unidad de semiconductor 64 con una radiación de electrones. En un cátodo 72 se aceleran electrones a 45 través de un tubo acelerador 76 al aplicar una tensión alta que es generada por una generación de tensión alta 74. Una unidad de barrido 78 del dispositivo 95 está realizada para desviar los electrones irradiados del cátodo 72. El cátodo 72 y el tubo acelerador 76 están dispuestos para esto en un tanque de presión 82 que está configurado para bloquear la radiación 56 ionizante en forma de electrones. La fuente de radiación 69 está separada de una región donde se irradia la unidad de semiconductor 64 por un blindaje 84, por ejemplo en forma de una estructura de hormigón. La radiación 56 ionizante puede penetrar el contenedor 68-1 y la unidad de semiconductor 64, presentándose los efectos de ionización precedentemente descritos, de manera que las cargas en la unidad de semiconductor 64 se reducen a causa de la radiación 56 ionizante y se borran datos o información. 50

La unidad de barrido 78 está configurada para desviar la radiación 56 ionizante. De esta manera se puede irradiar a 55 la unidad de semiconductor 64 desde diferentes ángulos con la radiación 56 ionizante. De esta manera se pueden irradiar eventuales regiones de la unidad de semiconductor 64 que son irradiadas a causa de los efectos de blindaje temporales con una proporción baja de radiación 56 ionizante, adicionalmente de otra dirección para absorber así la dosis nominal. En el contenedor 68-1 pueden estar dispuestas, por ejemplo, varias unidades de semiconductor 64, dispositivos de memoria o sistemas, de manera que una intensidad de radiación de la radiación 56 ionizante 60 disminuye en una dirección de radiación de la radiación 56 ionizante, en particular si se penetra a lo largo de la dirección de radiación varias unidades de semiconductor 64 por una radiación 56. Una radiación de las unidades de semiconductor siguientes en la dirección de radiación desde otra dirección puede conllevar, por consiguiente, una absorción optimada de la dosis de radiación. El contenedor 68-1 está dispuesto en una instalación de transporte 68-1, por ejemplo una banda sinfín, que está configurada para llevar el contenedor 68-1 y los sistemas, dispositivos de

memoria y/o unidades de semiconductor dispuestos en él junto a la radiación 56 ionizante. En la instalación de transporte 86 están dispuestos otros contenedores 68-2 y 68-3, de manera que con el dispositivo 95 se pueden irradiar sucesivamente varios contenedores 68-1, 68-2 y 68-3 y puede realizarse un proceso de borrado continuo.

- 5 Los contenedores 68-1, 68-2 y 68-3 pueden girarse alternativa o adicionalmente en la banda sinfín 86 para dar la opción de una variación adicional de la dirección de irradiación y del ángulo de irradiación.

- 10 Se puede realizar alternativa o adicionalmente también un posicionamiento automático de los contenedores 68-1, 68-2 o 68-3 mediante la instalación de transporte 86 con relación a la unidad de irradiación 69, es decir, respecto a la fuente de radiación. El posicionamiento se puede realizar, por ejemplo, con base a una entrada de un operador de la instalación o puede estar previamente definido, de manera que la instalación está configurada para realizar un posicionamiento automático de los contenedores 68-1, 68-2 o 68-3. Un posicionamiento automático o determinado por una entrada de usuario puede aprovecharse, por ejemplo, para ajustar en caso de contenido cambiante de diferentes contenedores siempre una dispersión apropiada de la radiación o una distancia apropiada entre la fuente de radiación y las unidades de semiconductor que se deberían irradiar.

- 15 Ejemplos de realización alternativos muestran unidades de irradiación que están configuradas para irradiar la unidad de semiconductor con una radiación de fotones, radiación de neutrones, radiación de protones o con una radiación de iones pesados. Diferentes tipos de radiación poseen diferentes ventajas en cuanto a costos, energía de irradiación o capacidad de penetración. Una radiación de fotones puede generarse, por ejemplo, por las transiciones de núcleos de átomos excitados o mediante el frenado de partículas cargadas, por ejemplo rayos X. Los fotones pueden formar una radiación ionizante indirecta con alta penetración. Las energías de una radiación de fotones pueden ubicarse entre 200 keV y 1,500 keV, entre 300 keV y 1,500 keV, entre 1,000 keV y 1,500 keV, entre 600 keV y 1,400 keV o entre 1,000 keV y 8,000 keV. Instalaciones para la generación de radiación de fotones pueden realizarse de forma relativamente económica.

- 20 Una radiación de electrones puede generarse mediante aceleradores de partículas. La radiación de electrones forma una radiación directamente ionizante con una capacidad mediana de penetración, pudiendo ubicarse las energías de la radiación de electrones cerca de por ejemplo al menos 100 keV hasta 10,000 keV, entre 1,000 y 8,000, entre 3,000 y 6,000 keV o entre 4,000 keV y 5,000 keV. La radiación de electrones se puede generar económicamente. Una radiación de protones se puede generar por un acelerador de partículas y forma una radiación directamente ionizante con baja capacidad de penetración. Una radiación de protones puede tener energías de por ejemplo al menos 10 keV hasta 600 MeV, entre 1 MeV y 600 MeV o entre 100 MeV y 500 MeV; pudiendo ser costosas las instalaciones para la generación de radiación de protones en comparación con otros tipos de radiación. Materiales irradiados con radiación de protones pueden volverse radioactivos, lo que puede tener la consecuencia de que los materiales irradiados permanezcan durante un tiempo prolongado hasta indefinido en la instalación de irradiación.

- 30 Una radiación de neutrones puede generarse de manera análoga a la radiación de protones en un acelerador de partículas o alternativamente en reactores nucleares y forma una radiación indirectamente ionizante con alta capacidad de penetración. Las instalaciones para la generación de una radiación de neutrones pueden ser costosas en comparación con otros tipos de radiación. Energías típicas de la radiación de neutrones pueden ubicarse por ejemplo en pocos hasta algunos 100 MeV, entre 10 MeV y 100 MeV o entre 40 MeV y 80 MeV; los materiales irradiados pueden volverse radioactivos de manera análoga a la radiación de protones, lo que puede conllevar la permanencia de los materiales en la instalación de irradiación durante tiempo prolongado hasta indefinido.

- 45 Una radiación de iones pesados puede generarse en un acelerador de partículas y tiene una capacidad muy baja de penetración; pudiendo situarse el rango de energías aprovechables para el procedimiento por ejemplo en varios 100 hasta 1,000 MeV, entre 200 MeV y 800 MeV, 400 MeV y 700 MeV o 500 MeV hasta 600 MeV. En comparación con otros tipos de radiación, una instalación para la generación de una radiación de iones pesados puede ser muy costosa.

En general, todos los tipos de radiación descritos en lo precedente pueden usarse para el procedimiento presentemente descrito, dependiendo de los elementos que deben irradiarse en cada caso.

- 55 Posiblemente pueden usarse instalaciones de irradiación comerciales que ofrecen aceleradores de electrones o cobalto 60 (Co-60) para la esterilización y para el procesamiento de materiales para un procedimiento para el borrado de información y datos. Se tiene que comentar en general que Co-60 ofrece una potencia de dosis reducida con alta penetración, mientras que electrones ofrecen una alta potencia de dosis con poca penetración.

- 60 La Figura 11 muestra una comparación esquemática de una radiación de electrones con una energía de radiación de 5 MeV, representada en la línea 97 discontinua, con una radiación de Co-60 que forma una radiación y se representa como línea 99 continua. La abscisa de la gráfica muestra un peso por área de los objetos por irradiar. En la ordenada se representa en porcentaje, i.e. en forma relativa, la dosis de la radiación en cada caso. En caso de un peso por área cerca de cero, es decir, con objetos con una densidad muy baja, la radiación de electrones y la

radiación gama 97 y 99 tienen una capacidad relativa de penetración de 100%, o entregan una dosis de 100% al objeto irradiado. La curva 97 de la radiación de electrones sube primeramente al incrementar el peso por área hasta alcanzar un valor de aproximadamente 150% de la dosis, para descender a continuación rápidamente a una dosis de 0%. conforme incrementa el peso por área. En cambio, la curva 99 muestra una caída continua de la dosis conforme incrementa el peso por área, lo que señala poca capacidad de penetración.

Formas de realización alternativas muestran una instalación de irradiación usando radiación gama, tal como se emplea comercialmente. Semejante instalación podría aprovecharse para un procedimiento para el borrado de información en unidades de semiconductor. Los objetos de borrado que han de irradiarse, por ejemplo, dispositivos de memoria, unidades de semiconductor o sistemas se pueden apilar en tarimas y/o estar rodeados por una jaula sellada, y moverse en este estado alrededor de la fuente de Co-60. Para garantizar una homogeneidad buena hasta óptima de la acción de la radiación la tarima puede girarse y se puede irradiar de varios lados. El tiempo de irradiación se puede seleccionar de manera tal que los aparatos en el interior de los contenedores absorben una dosis nominal necesaria, por ejemplo, 1 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 15, kGy, 20 kGy o 25 kGy, mientras se mueven alrededor de la fuente de radiación. La dosis alcanzada se puede verificar, por ejemplo, mediante un elemento indicador apropiado o por un dosímetro. A diferencia de las aplicaciones de esterilización, un procedimiento realizado con el dispositivo no exige ningún límite superior de dosis, lo que significa, por ejemplo, que aparatos dispuestos dentro de un contenedor afuera pueden absorber una dosis arbitrariamente alta, puesto que solo se define una dosis nominal que tiene el significado de una dosis mínima que ha de absorberse para cada aparato. Hasta que esta dosis nominal haya quedado absorbida por un aparato en el centro del contenedor puede haberse absorbido una dosis más alta por un aparato que se ubica más afuera con respecto a l centro del contenedor.

A causa de la poca penetración y la alta potencia de dosis de hasta 10 MGy/h se puede aprovechar en aceleradores de electrones en general una instalación de transporte, como una disposición de banda sinfín. A causa de la baja penetración puede ser ventajoso diseñar los contenedores delgados, eventualmente solo con una altura de un aparato, y sellarlos. Los paquetes sellados pueden pasar entonces en una banda sinfín debajo del rayo de electrones ampliado, por ejemplo, mediante una unidad de barrido. Si un paquete se gira y se irradia también del otro lado, entonces podría resultar, por ejemplo, en un rayo de electrones de 10 MeV y una densidad de los aparatos de 1,4 g/cm³ un grosor de proceso de aproximadamente 5,8 cm.

En otras palabras, instalaciones que se usan hasta ahora, por ejemplo, para la esterilización de productos medicinales o de alimentos o para la reticulación de plásticos, se pueden aprovechar o modernizar para la finalidad del presente procedimiento.

Aunque en los ejemplos de realización precedentes se describen puertas flotantes en elementos de memoria y aparatos en los cuales se guardan portadores de carga negativa para representar información o datos, pueden guardarse también otros portadores de carga, por ejemplo positivos, en las puertas flotantes para la representación de información o datos. Un borrado de portadores de carga en la puerta flotante comprende entonces una reducción de portadores de carga, por ejemplo, positiva o de sus concentraciones en la puerta flotante. La descripción precedente, por consiguiente, puede aplicarse de manera correspondiente.

Aunque algunos aspectos se describieron en el contexto de un dispositivo, se entiende que estos aspectos representan también una descripción del procedimiento correspondiente, de manera que un bloque o un elemento constructivo de un dispositivo también debería entenderse como una etapa de procedimiento correspondiente o como característica de una etapa del procedimiento. Análogamente, aspectos que se describieron en el contexto de una o a manera de una etapa de procedimiento, representan también una descripción de un bloque o detalle o característica correspondiente de un dispositivo correspondiente.

Otros ejemplos de realización comprenden el programa informático para la ejecución de uno de los procedimientos presentemente descritos, estando guardado el programa informático en un portador legible para máquina.

En otras palabras, un ejemplo de realización del procedimiento de acuerdo con la invención es, por consiguiente, un programa informático que posee un código de programa para la ejecución de uno de los procedimientos descritos en la presente memoria cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador. Otro ejemplo de realización de los procedimientos de acuerdo con la invención es, por consiguiente, un portador de datos (o un medio de memoria digital o un medio legible para computadora) en el cual se encuentra grabado el programa informático para la ejecución de un procedimiento descrito en la presente memoria.

Otro ejemplo de realización comprende una instalación de procesamiento, por ejemplo un ordenador o un elemento constructivo lógico programable, que está configurada o ajustada para llevar a cabo uno de los procedimientos descritos en la presente memoria.

Otro ejemplo de realización comprende un ordenador en el cual se encuentra instalado el programa informático para llevar a cabo uno de los procedimientos descritos en la presente memoria.

5 Los ejemplos de realización descritos con anterioridad representan meramente una ilustración de los principios de la presente invención. Se entiende que modificaciones y variaciones de las disposiciones y detalles descritos en la presente memoria serán evidentes para otros especialistas. Por consiguiente se pretende que la invención esté restringida meramente por el alcance de protección de las reivindicaciones siguientes y no por los detalles específicos que se presentaron en esta solicitud mediante la descripción y la explicación de los ejemplos de realización.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor electrónica (64) en una pluralidad de elementos de memoria no volátil (66) que presentan una puerta flotante con la siguiente etapa:
- 5 irradiación (102) de la unidad de semiconductor (64) con una radiación de borrado (56) hasta que la unidad de semiconductor (64) haya absorbido una dosis nominal de la radiación de borrado (56);
penetrando la radiación de borrado (56) a través de la unidad de semiconductor (64) y absorbiéndose al menos
10 una parte de la radiación de borrado (56) en la unidad de semiconductor (64) apareciendo un efecto de ionización (A; B; C), influyéndose en la concentración de portadores de carga (46) guardados en los elementos de memoria (66) al alcanzar la dosis nominal mediante el efecto de ionización (A; B; C), de manera tal que la distribución estadística (12; 16; 16-1; 16-2; 16-3) de las tensiones críticas de los elementos de memoria (66) forma una región continua (26) común, de manera que también en caso de modificación de una tensión de
15 lectura ya no puede diferenciarse entre células de memoria programadas y no programadas;
seleccionando la dosis nominal de la radiación de borrado (56) de manera tal que la distribución estadística (12) forme la región continua (26) de manera permanente e irreversible; y
modificándose la concentración de los portadores de carga (46) en los elementos de memoria es modificada por
20 el efecto de ionización (A; B; C) de manera tal que la concentración de los portadores de carga (46) en los elementos de memoria (66) después del proceso de irradiación es independiente de la concentración de los portadores de carga (46) antes del proceso de irradiación.
2. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de la irradiación (102; 202) presenta varias etapas individuales para alcanzar por etapas la dosis nominal.
- 25 3. Procedimiento (100; 200) según la reivindicación 2 en el que la dosis nominal asciende al menos a 1 kGy.
4. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, en el que región continua (26) de la distribución estadística de las tensiones críticas presenta una región de solape (24) respecto a un primero y un
30 segundo estado lógico original de al menos 30%.
5. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la siguiente etapa:
irradiación de un elemento indicador junto con la unidad de semiconductor (64), estando configurado el elemento
35 indicador para modificar una propiedad física o química al llegar a la dosis nominal.
6. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad de semiconductor (64) se encuentra en un contenedor (68; 68-1; 68-2; 68-3) permeable para la radiación de borrado (56), y en el que en la etapa de la irradiación (102; 202) el contenedor (68; 68-1; 68-2; 68-3) con la unidad de semiconductor (64) dispuesto en él está expuesto a la radiación de borrado (56).
- 40 7. Procedimiento (100; 200) según la reivindicación 6, en el que se encuentra una pluralidad de unidades de semiconductor (64) o de aparatos que presentan las unidades de semiconductor (64) en el contenedor (68; 68-1; 68-2; 68-3).
- 45 8. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de la irradiación (102; 202) se realiza con diferentes ángulos de incidencia de la radiación de borrado (56) en la unidad de semiconductor (64).
- 50 9. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, en el que comprende además la siguiente etapa:
mover la unidad de semiconductor (64) mediante una instalación de transporte (86) con respecto a una fuente de radiación (71) hacia una región de irradiación, en el que la unidad de semiconductor (64) en la región de irradiación el tiempo necesario hasta que la dosis nominal sea absorbida por la unidad de semiconductor (64).
- 55 10. Procedimiento (100; 200) según una de las reivindicaciones precedentes, en el que los elementos de memoria (66) están realizados como elementos de memoria flash y presentan una puerta flotante (32) y un material aislante (42a; 42b) que rodea la puerta flotante (32), en el que una carga eléctrica guardada en la puerta flotante (32) define alguno de los estados lógicos de memoria posibles del elemento de memoria (66) respectivo.
- 60 11. Dispositivo (80; 90; 95) para el borrado de información que está guardada en una unidad de semiconductor (64) electrónica en una pluralidad de elementos de memoria (66) no volátil, que presentan una puerta flotante con la característica siguiente:

- una unidad de irradiación (69) que está configurada para exponer la unidad de semiconductor a una radiación de borrado (56) hasta que una dosis nominal se haya absorbido por la unidad de semiconductor (64); penetrando la radiación de borrado (56) a través de la unidad de semiconductor (64) y absorbiéndose al menos una parte de la radiación de borrado (56) en la unidad de semiconductor (64) apareciendo un efecto de ionización (A; B; C), influyendo el efecto de ionización (A; B; C) en la cantidad de portadores de carga (46) guardados en los elementos de memoria (66) de manera tal que la distribución estadística (12; 16; 16-1; 16-2; 16-3) de las tensiones críticas forma una región continua (26) común, de manera que también en caso de modificación de una tensión de lectura ya no puede diferenciarse entre células de memoria programadas y no programadas;
- 5 estando seleccionada la dosis nominal de la radiación de borrado (56) de manera que la distribución estadística (12; 16; 16-1; 16-2; 16-3) forme la región continua (26) de manera permanente e irreversible; y modificándose la concentración de los portadores de carga (46) en los elementos de memoria (66) por el efecto de ionización (A; B; C) de manera que la concentración de portadores de carga (46) en los elementos de memoria (66) después de la operación de irradiación sea independiente de la concentración de portadores de carga (46) antes de la operación de irradiación.
- 10
- 15
12. Dispositivo (80; 90; 95) según la reivindicación 11, en el que la unidad de irradiación (69) está configurada además para irradiar un contenedor (68; 68-1; 68-2; 68-3) permeable para la radiación de borrado (56) en el cual se encuentra la unidad de semiconductor (64), de manera que el contenedor con las unidades de semiconductor (64) dispuestas en él se exponga a la radiación de borrado (56).
- 20
13. Dispositivo (80; 90; 95) según la reivindicación 11 o 12, en el que la unidad de irradiación (69) está configurada además para irradiar la unidad de semiconductor (64) en diferentes ángulos de incidencia con la radiación de borrado (56).
- 25
14. Dispositivo (80; 90; 95) según una de las reivindicaciones 11 a 13, además con una instalación de transporte (86) que está configurada para mover la unidad de semiconductor (64) mediante la instalación de transporte (86) con respecto a una fuente de irradiación (71) hacia una zona de radiación y mantener la unidad de semiconductor (64) en la región de irradiación el tiempo necesario hasta que la dosis nominal sea absorbida por la unidad de semiconductor (64).
- 30
15. Dispositivo con una unidad de semiconductor borrada de manera irreversible que se ha borrado mediante un procedimiento de borrado según una de las reivindicaciones 1 a 10.

100

Irradiación de la unidad de semiconductor con una radiación de borrado hasta que se haya absorbido una dosis nominal, formando una distribución estadística de las tensines críticas de los elementos de memoria una región continua.

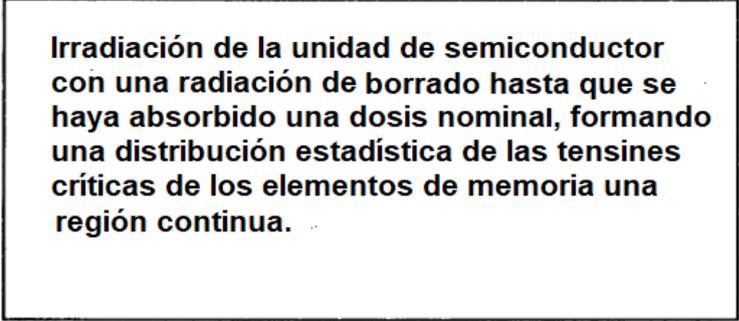


FIGURA 1

200

Irradiación de la unidad de semiconductor con una radiación de borrado hasta que se haya absorbido una dosis nominal, siendo los estados de memoria después de la operación de irradiación independiente de los estados de memoria antes de la irradiación.

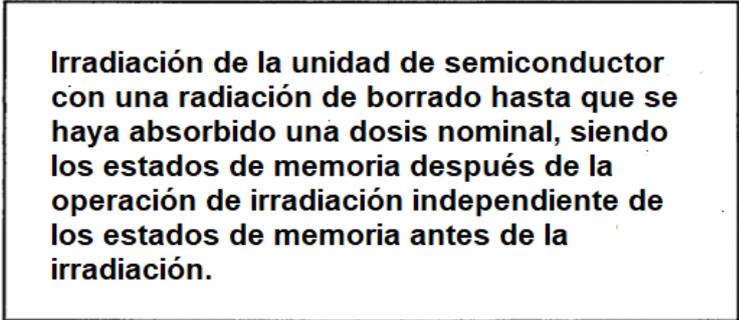


FIGURA 2

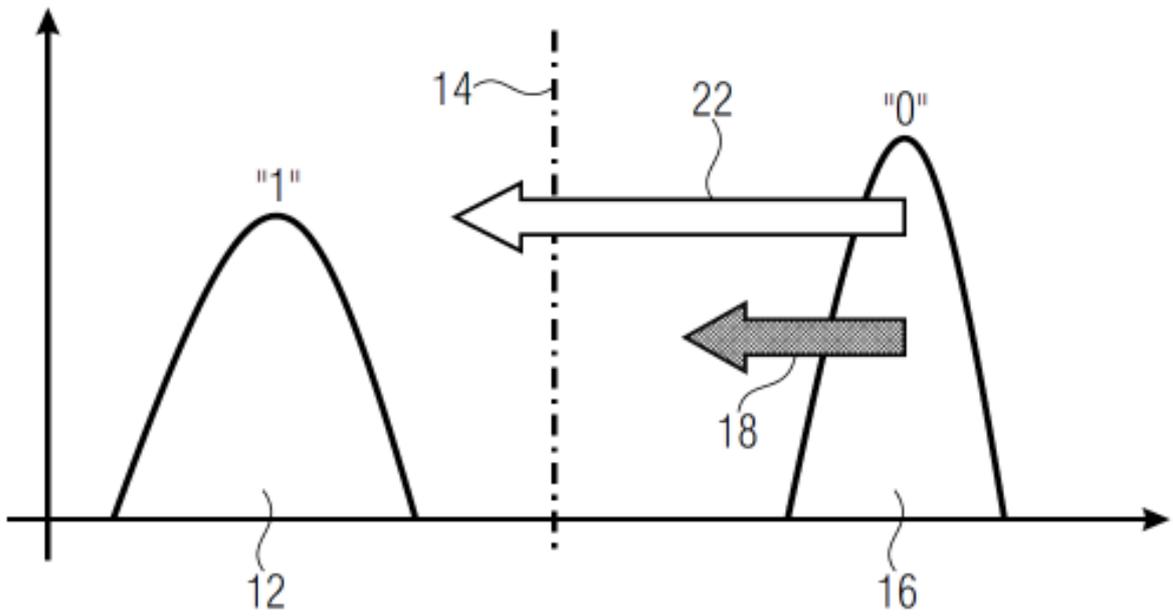


FIGURA 3A

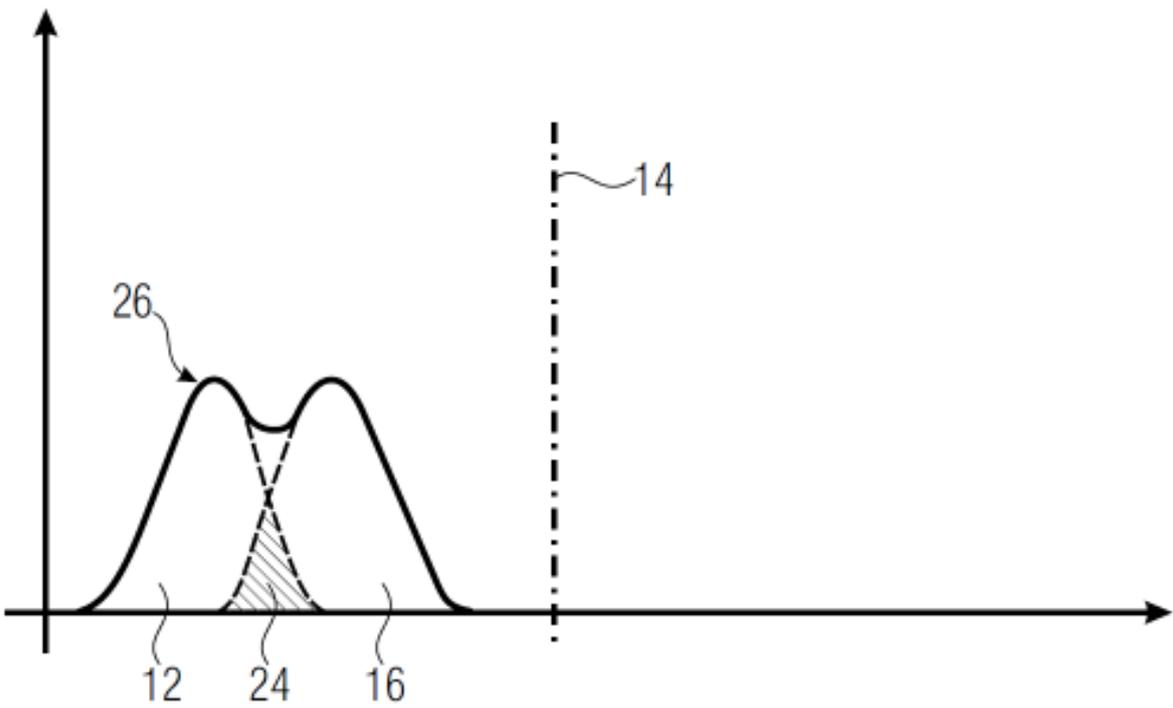


FIGURA 3B

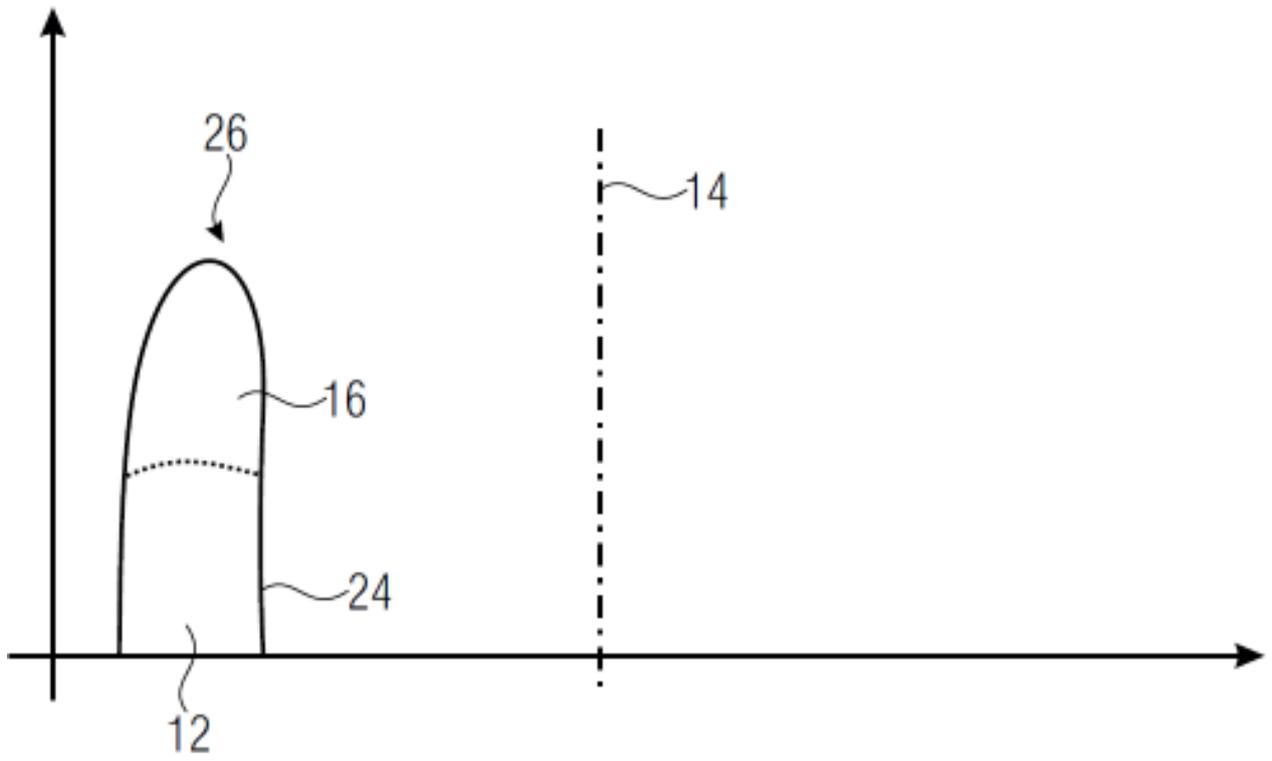


FIGURA 3C

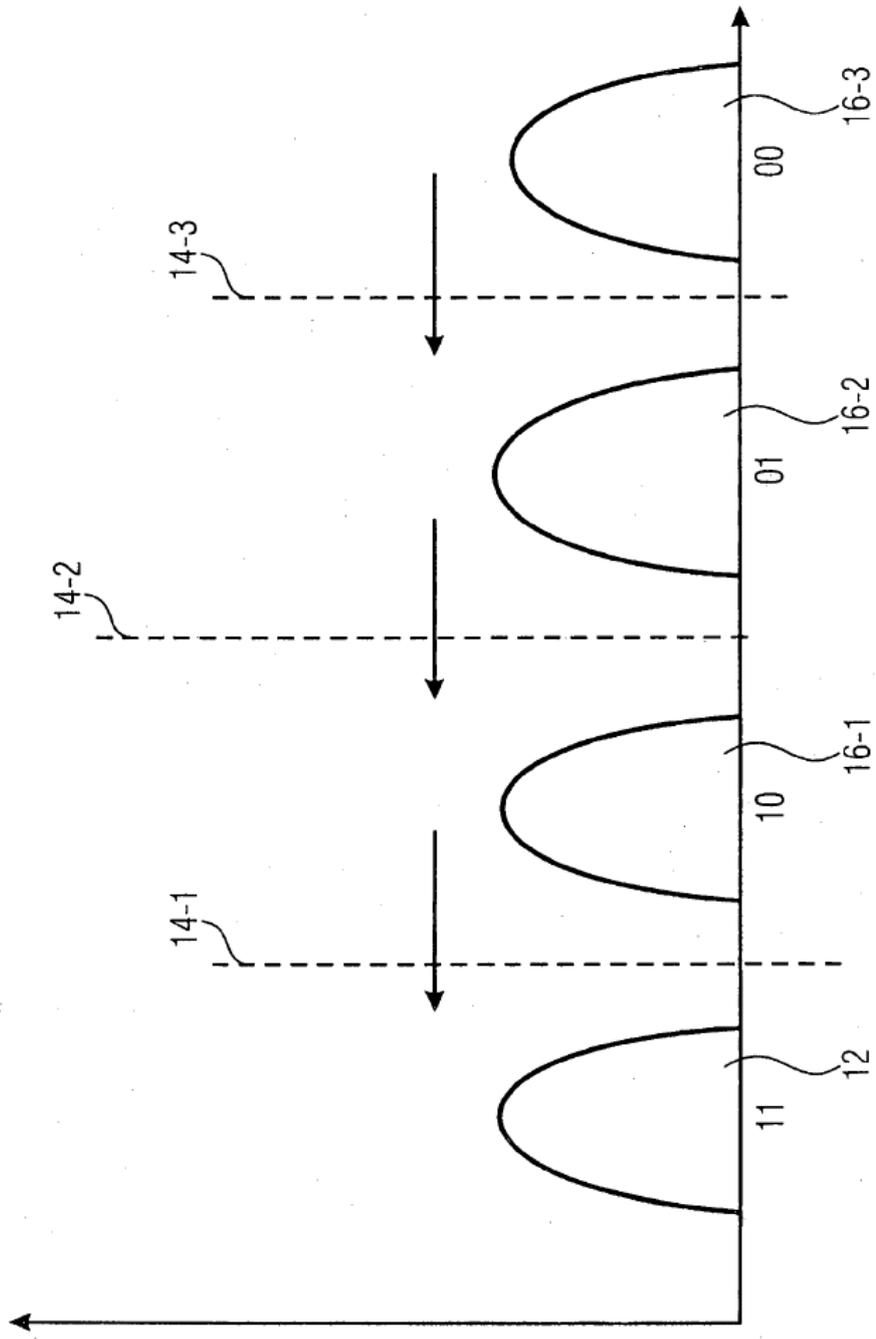


FIGURA 4A

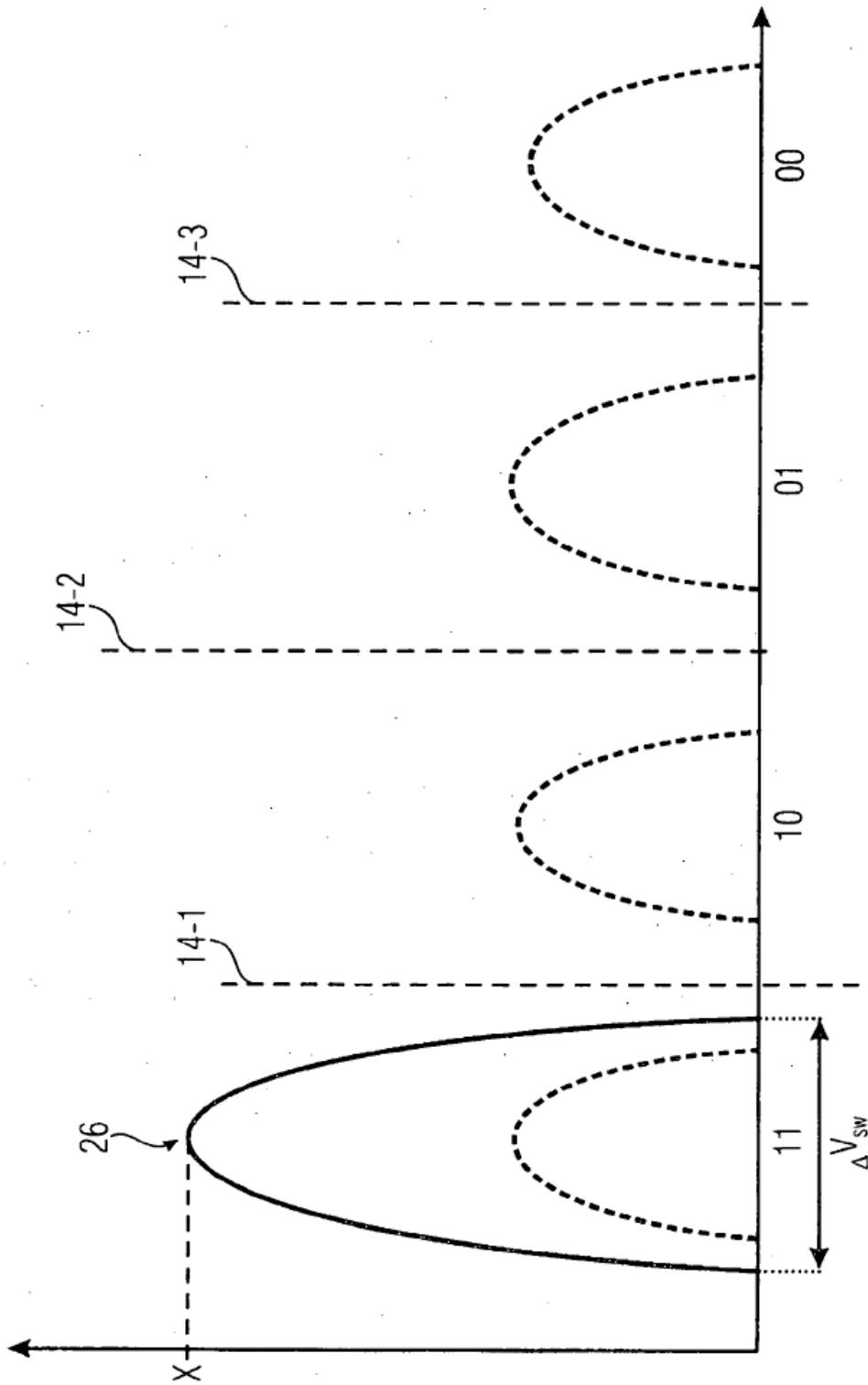


FIGURA 4B

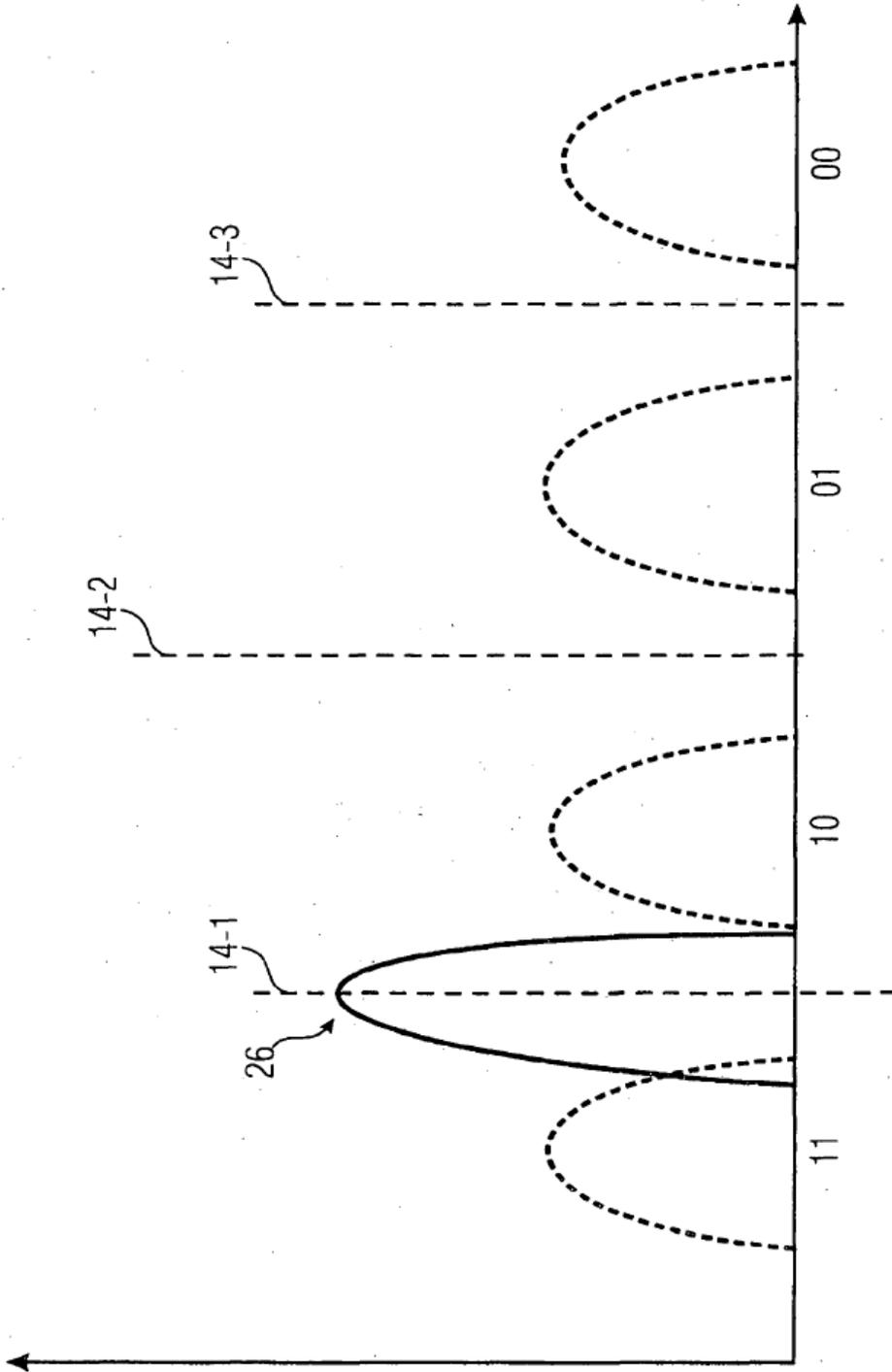


FIGURA 4C

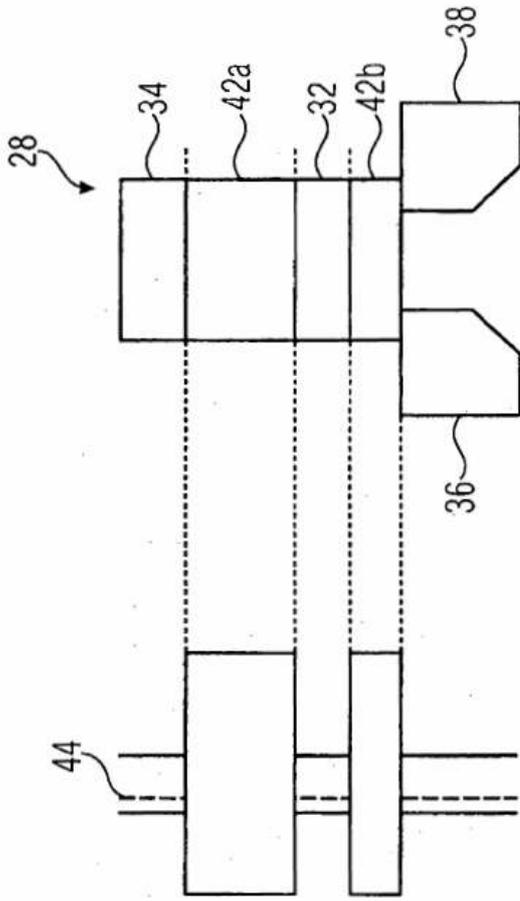


FIGURE 5A

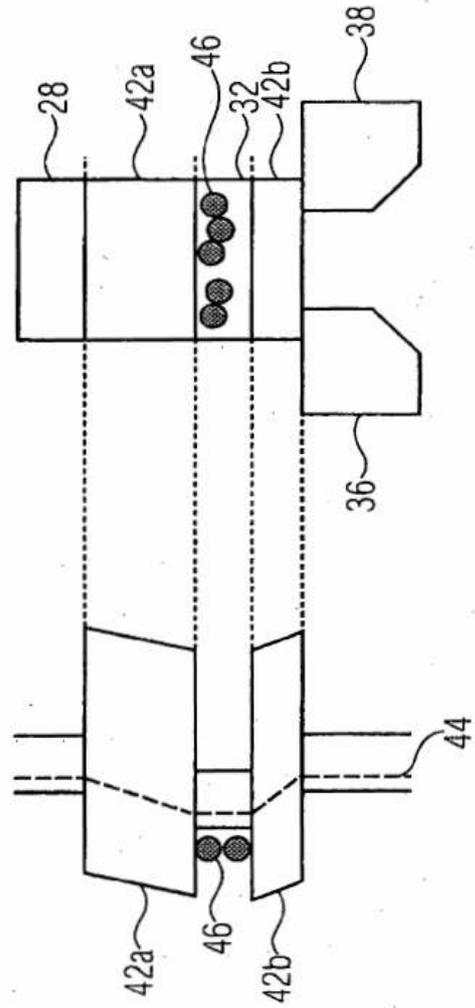


FIGURE 5B

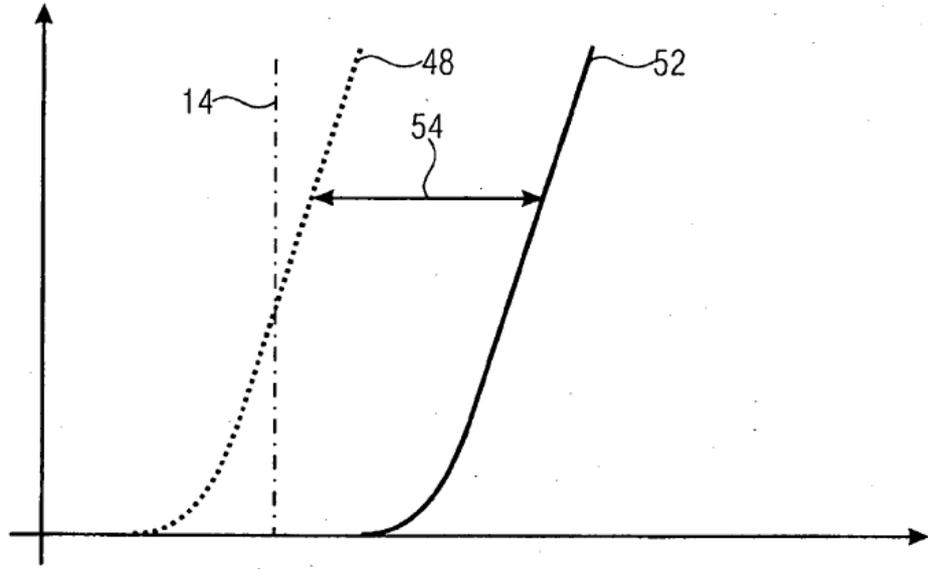


FIGURA 6

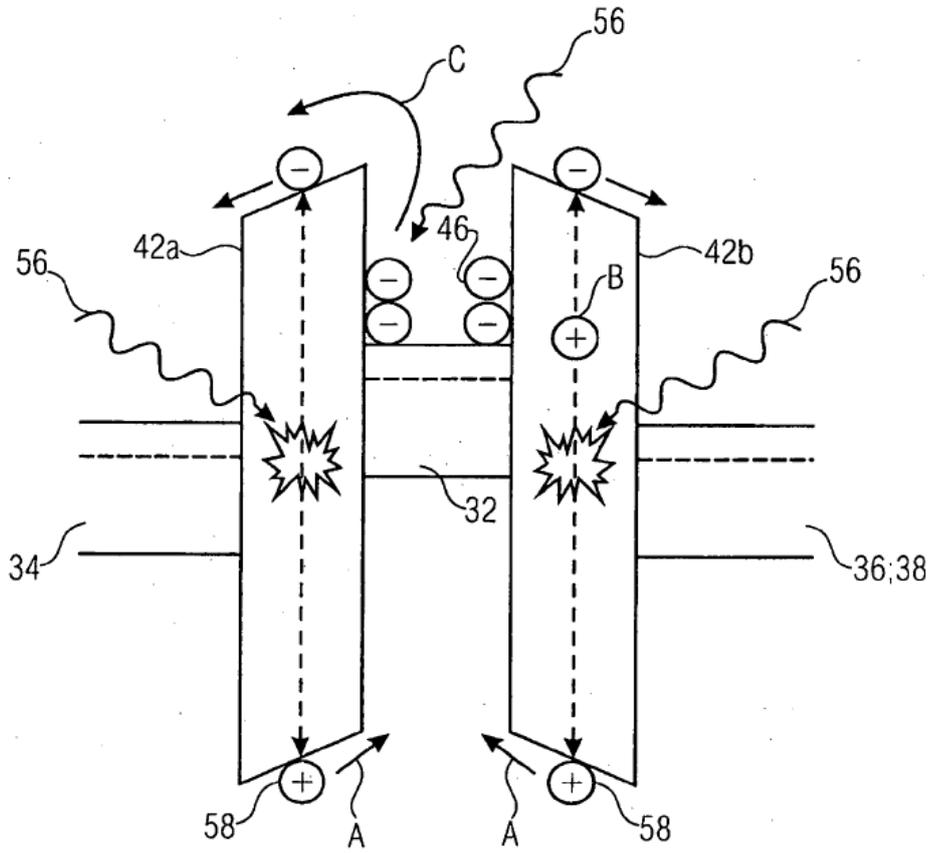


FIGURA 7

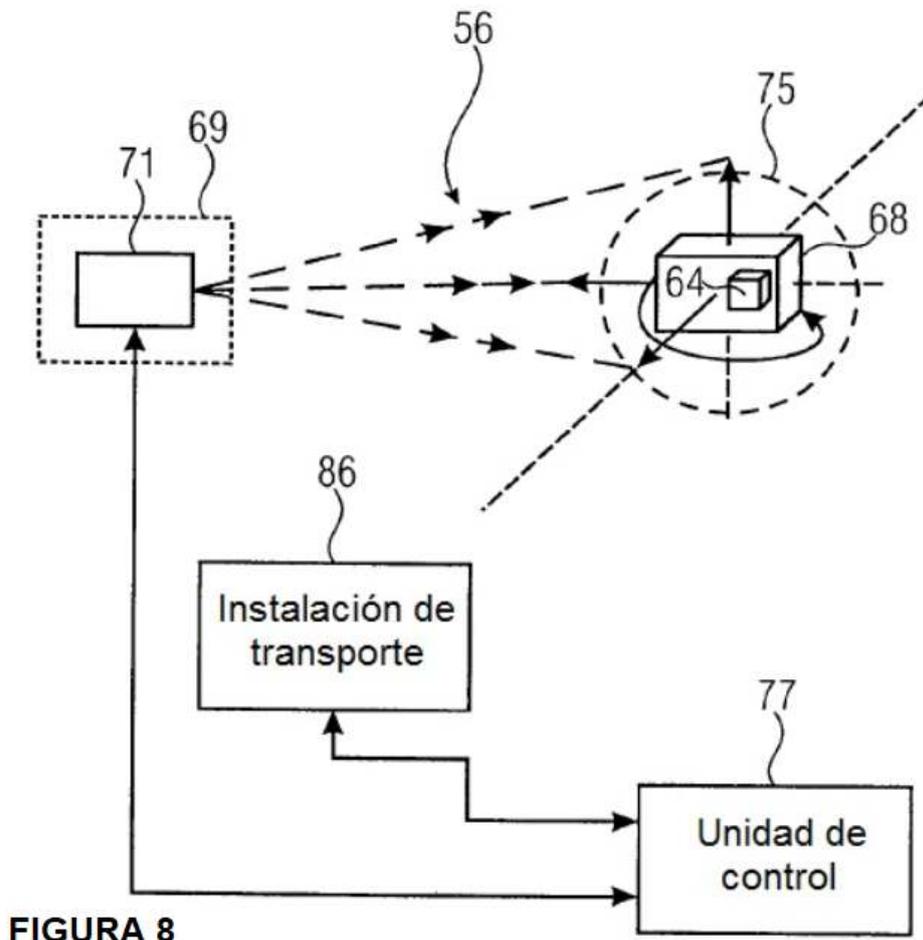


FIGURA 8

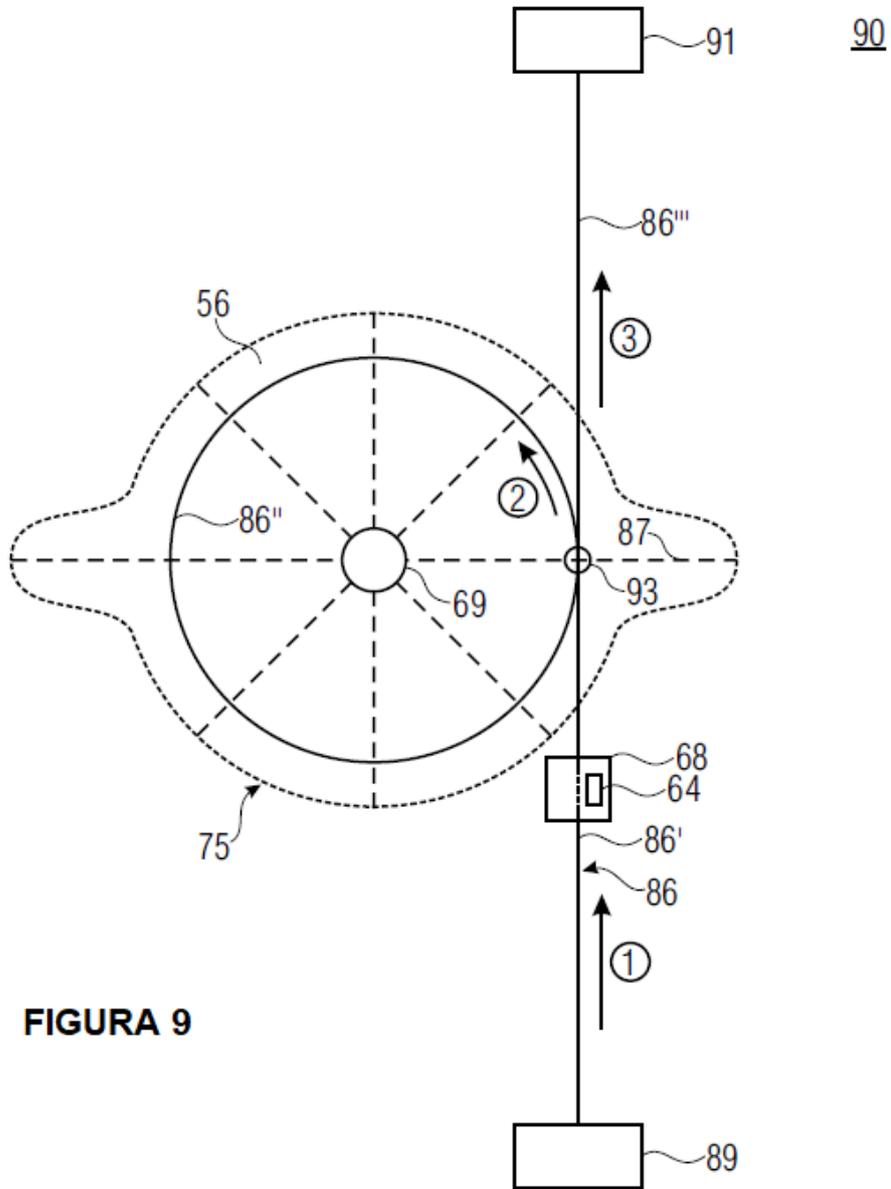


FIGURA 9

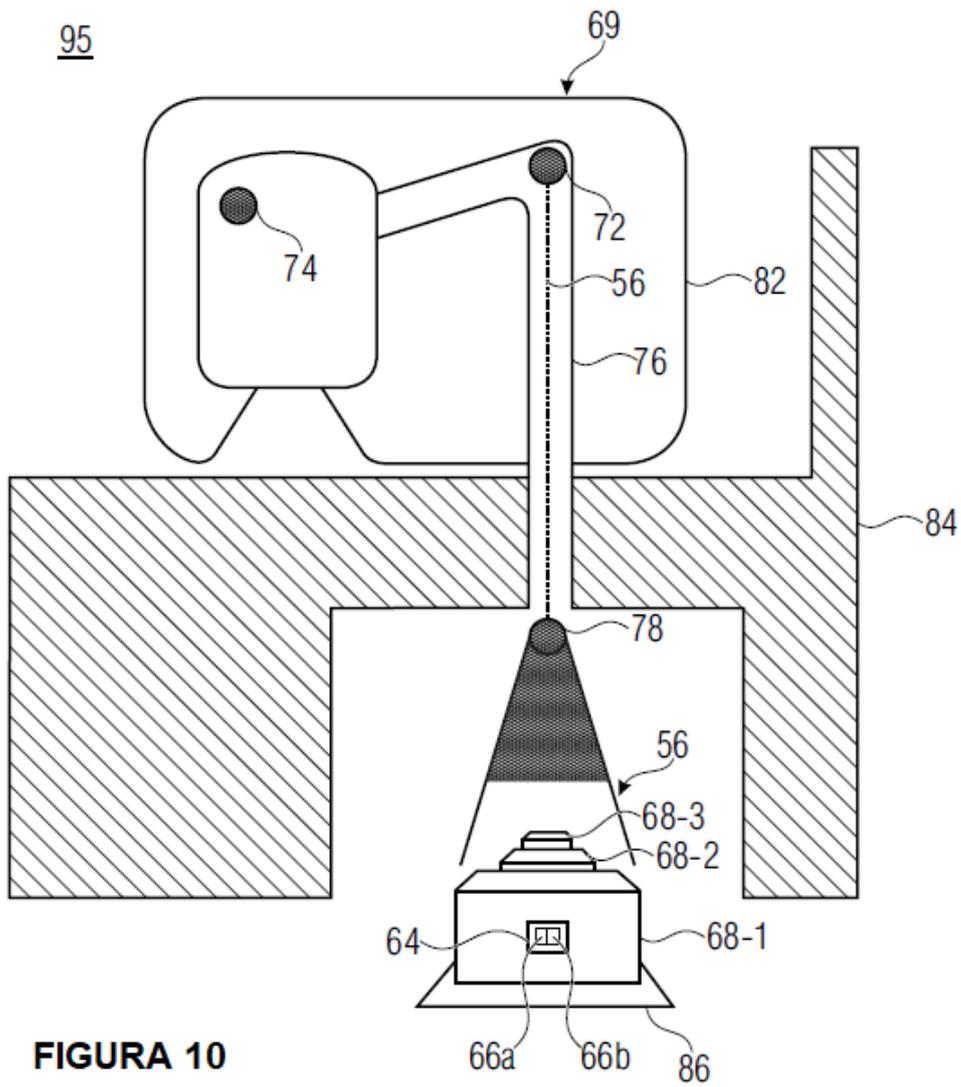


FIGURA 10

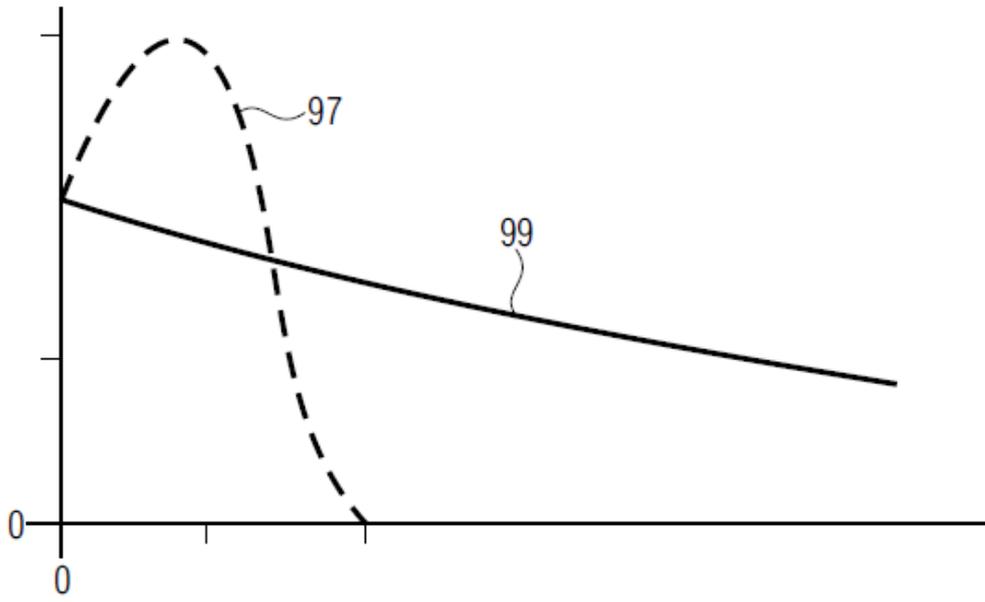


FIGURA 11