

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 075**

51 Int. Cl.:
G01R 31/28 (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)
G01R 31/311 (2006.01)
G01R 31/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08836167 .0**
96 Fecha de presentación: **05.09.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2185943**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.05.2010**

54 Título: **Procedimiento de caracterización de la sensibilidad a las interacciones energéticas de un componente electrónico**

30 Prioridad:
06.09.2007 FR 0757389

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.09.2012

73 Titular/es:
**EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND
SPACE COMPANY EADS FRANCE
37, BOULEVARD DE MONTMORENCY
75781 PARIS CEDEX 16, FR**

72 Inventor/es:
**BUARD, Nadine;
MILLER, Florent;
HEINS, Patrick y
CARRIERE, Thierry**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 387 075 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 de caracterización de la sensibilidad a las interacciones energéticas de un componente electrónico

La presente invención tiene por objeto un procedimiento de caracterización de la sensibilidad a las interacciones energéticas en un componente electrónico que permite determinar las condiciones de utilización preferibles de este componente.

El funcionamiento de los componentes electrónicos puede ser perturbado por el entorno o ambiente en el cual se desenvuelven, por ejemplo el ambiente radiactivo natural o artificial o el ambiente electromagnético. Las agresiones exteriores provocan la creación de corrientes parásitas por interacción con la materia constitutiva del componente. Estas últimas pueden estar en el origen del mal funcionamiento transitorio o permanente del componente y de la aplicación que lo utiliza.

Para el ambiente radiactivo natural, esos efectos, denominados de manera genérica efectos singulares, son creados por partículas. Por ejemplo, iones pesados y protones en el espacio afectan a los equipamientos electrónicos de los satélites y de los lanzadores. A alturas menos elevadas, en las que evolucionan los aviones, se observa sobre todo la presencia de neutrones, que crean igualmente efectos singulares. En todo el suelo terrestre, se pueden encontrar también tales agresiones y afectar a los componentes electrónicos, ya sean debidas a las partículas del ambiente natural, a las partículas radiactivas presentes en las cajas o a problemas de inmunidad, de integridad de señal o de estabíldades térmicas o de procedimiento. En lo que sigue del texto, serán más particularmente considerados los efectos de las partículas, pero la invención continúa aplicable a los mismos tipos de efectos creados por entornos diversos y variados.

Los fenómenos físicos en el origen de los fallos provocados por las agresiones exteriores son muy variados. Sin embargo, es posible identificar varias grandes familias de fallos. La invención se aplica más particularmente a una parte de los efectos provocados por los ambientes radiactivos o electromagnéticos que se producen por la acción acoplada de una creación de corrientes parásitas y de fenómenos de amplificación y/o de mantenimiento de estas corrientes parásitas.

Se puede citar a modo de ejemplo una puesta en acción de un tiristor parásito, llamado latchup (efecto tiristor) o Single Event Latchup o SEL, global o localizado en una parte del componente (se habla entonces de microlatchup), una puesta en acción de un transistor bipolar parásito, llamado snapback o SES, un fallo que pone en juego la acción acoplada de puesta en acción de una estructura bipolar parásita llamada Single Event Burnout o SEB. Estos efectos pueden ser o no destructivos para el componente.

Los documentos US 4 786 865 (Arimura et al) y GB2069152 (The Post Office) divulgan pruebas o ensayos de sensibilidad en las interacciones energéticas tales como SEL.

De manera más precisa, la interacción de una partícula o de una radiación con la materia puede dar lugar a la creación de cargas de electrones y agujeros o huecos. Bajo ciertas condiciones, estas cargas pueden provocar la puesta en acción de una o varias estructuras parásitas. Estas estructuras son calificadas de parásitas porque, si bien existen de manera intrínseca en el componente, no son nunca activadas cuando el componente está en un régimen de funcionamiento normal.

Las condiciones para que estas puestas en acción se produzcan están principalmente vinculadas a la cantidad de carga generada, a la localización y a la forma (espacial y temporal) de esta generación de carga.

No obstante, en la mayor parte del tiempo, la puesta en acción de estas solas estructuras parásitas, consecuencia de la generación de cargas, no basta para provocar el fallo del componente. Un segundo fenómeno permite mantener y/o amplificar la corriente parásita generada por el primer fenómeno. La puesta en acción de este segundo fenómeno está principalmente vinculada a las características intrínsecas del componente (nivel de dopaje, organización física del componente, ...) y a las condiciones de utilización del componente, particularmente de polarización, de frecuencia, de temperatura,

A modo de ejemplo, se puede desencadenar así un fenómeno SEB en componentes de potencia. Estos son por ejemplo transistores MOS de potencia de efecto de campo, MOSFET, transistores bipolares de rejilla aislada, IGBT, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor, diodos de potencia u otros. A modo de ejemplo, la figura 1 muestra, para un tal transistor MOSFET de potencia, del tipo N, en tecnología de silicio, polarizado (tensión drenaje-fuente positiva) e inicialmente en estado bloqueado, y con una estructura bipolar parásita, que la interacción (directa o indirecta) de una partícula del ambiente radiactivo natural con el silicio constitutivo de este transistor se traduce en la creación de un cierto número de pares de electrones-huecos en el componente. Bajo la influencia de los campos eléctricos y de los fenómenos de difusión, estas cargas se desplazan, lo que genera una corriente parásita en el seno de la estructura. Bajo ciertas condiciones, particularmente de situación de la generación de cargas y de la

cantidad de cargas generadas, la corriente parásita puede provocar el paso en directo de una unión fuente-cajón inicialmente bloqueada. En la medida en que esta unión fuente-cajón resulta pasajera, cuando la unión cajón-drenaje es polarizada a la inversa, se pone en acción un transistor bipolar parásito, fuente-cajón-drenaje. La fuente es el emisor, el cajón es la base y el drenaje el colector. En ausencia del fenómeno de amplificación y/o de mantenimiento, esta estructura parásita permanece pasajera en tanto que las cargas generadas por la interacción partícula-silicio no hayan sido todavía evacuadas todas. A continuación, se bloquea de nuevo y el componente vuelve a encontrar su funcionamiento nominal. Sin embargo, en función de ciertos parámetros, particularmente de la tensión de polarización aplicada al drenaje, de la temperatura y de la tecnología interna del componente, se pueden reunir las condiciones para que se produzca un fenómeno de ionización por impacto localizado inicialmente en la unión cajón-drenaje (fuertemente polarizada a la inversa) y permitir la amplificación y el mantenimiento de la corriente parásita de la estructura bipolar parásita fuente-cajón-drenaje. La amplificación de la corriente parásita provoca, en general en ausencia de protección, la destrucción del componente.

Este ejemplo muestra que el fenómeno SEB se desencadena bien por la acción acoplada de dos fenómenos: la puesta en acción de una estructura parásita y la amplificación-mantenimiento de la corriente parásita.

La naturaleza física del fenómeno de amplificación y/o de mantenimiento de la corriente parásita inicial varía según los tipos de efectos de las radiaciones y los tipos de componentes. En el caso del fenómeno SEB, se trata de una amplificación-mantenimiento de la corriente debido a la ionización por impacto. En el caso del fenómeno SEL, para las tecnologías CMOS, la amplificación-mantenimiento de corriente se hace por puesta en acción de una estructura bipolar parásita acoplada a la primera, y las consecuencias son o transitorias o permanentes o destructivas.

Actualmente, no existe dispositivo que permita medir la tensión de polarización, u otras características de utilización, frecuencia, temperatura, presión, valor de campo magnético, u otras, por debajo de las cuales un componente no pueda ya ser sometido a tales puestas en acción parásitas.

El objeto de la invención consiste en remediar este problema proponiendo utilizar un sistema basado en un láser, de preferencia por impulsos, que permite poner en evidencia, por una parte, si un componente electrónico es intrínsecamente sensible a los fallos que ponen en juego fenómenos de creación de corrientes parásitas así como de amplificación y/o de mantenimiento y, por otra parte, de identificar y de cuantificar la sensibilidad de este componente a estos mismos efectos cuando se modifican las condiciones de utilización del componente. En este sentido, la invención permite definir las buenas condiciones de utilización. Estas buenas condiciones de utilización, si son respetadas, minimizan la probabilidad de aparición de tales fallos en caso de interacciones energéticas, en particular las debidas al ambiente radiactivo natural.

Si sus propiedades son bien elegidas, un láser permite, a la manera de las partículas, ionizar localmente y de manera transitoria el semiconductor que constituye componentes electrónicos, induciendo en consecuencia corrientes parásitas. Para ello, el láser debe poseer una longitud de onda que permita la generación de cargas (por fenómeno de absorción lineal o no lineal) en el material constitutivo del componente. Por ejemplo, en el caso de la absorción lineal en el silicio, la longitud de onda del láser debe ser inferior a $1,1\mu\text{m}$ (la energía del fotón de láser de la fuente de láser es superior al valor de la banda prohibida del componente semiconductor). El láser es utilizado preferentemente en mono impulsión o sincronizado con respecto a una señal del componente bajo ensayo. Un sistema de óptica es utilizado para focalizar el rayo láser al nivel de las zonas activas del componente. Finalmente, existe en el camino óptico del haz láser un sistema que permite modificar la energía del láser. Este sistema posee una interfaz que permite su control desde un ordenador.

Un sistema de motores permite el desplazamiento relativo del haz láser con respecto al componente electrónico según los tres ejes del espacio.

La caja del componente electrónico ensayado o probado está de preferencia abierta por una de sus dos caras de manera que permite al haz láser excitar las zonas de sensibilidad. De preferencia, esta abertura es practicada en la cara trasera del componente.

El componente ensayado se sitúa en un ambiente que recrea sus condiciones de utilización, particularmente su frecuencia de funcionamiento, su polarización, su temperatura y el componente realiza, si ha lugar, la función que le ha sido asignada. Un sistema de prueba permite detectar el fallo y, dado el caso, desactivarlo para evitar la pérdida definitiva de funcionalidad del componente.

La invención tiene por tanto por objeto un procedimiento de caracterización de la sensibilidad a las interacciones energéticas en un componente electrónico, en el cual,

- se pone en servicio el componente electrónico,
- se excita el componente electrónico puesto en servicio de ese modo, con la ayuda de un rayo láser;

- se mide un defecto de funcionamiento del componente electrónico puesto en servicio, correspondiente a un valor de esta excitación,

caracterizado porque

- 5 - se cambian las condiciones de utilización del componente, a saber, de polarización, y/o de señales de entrada y/o de señales de comando y/o de frecuencia y/o de temperatura y/o de carga en salida,
- se miden, a título de característica, las condiciones cambiadas de utilización para las cuales el componente deja aparecer o no un tal fenómeno de puesta en acción.

10 La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que sigue y el examen de las figuras que la acompañan. Estas se presentan sólo a título indicativo y en ningún sentido limitativo de la invención. Las figuras muestran:

Figura 1: ya citado, un fenómeno SEB desencadenado en componentes de potencia;

Figura 2: un dispositivo utilizable para poner en práctica el procedimiento de la invención;

Figura 3: la descripción de un sistema que permite la identificación y la desactivación para un fenómeno SEL;

Figura 4: la descripción de un sistema que permite la identificación y la desactivación para un fenómeno SEB;

15 Figura 5: una cartografía de sensibilidad al SEB de un transistor MOS de potencia en función de la tensión de polarización drenaje-fuente;

Figura 6: una evolución de la amplitud máxima de la corriente, para una energía láser dada, en función de la tensión de polarización drenaje-fuente.

20 La figura 2 muestra un dispositivo utilizable para poner en práctica el procedimiento de la invención. El objetivo de la invención es medir los efectos de interacción energéticos en un componente electrónico 1, por ejemplo del tipo del de la figura 1. El componente electrónico 1 comprende de ese modo, de una manera conocida, y presentado en el anverso, un cristal semiconductor 2 en el cual se han realizado diversas implantaciones: cajones y zonas implantadas por impurezas, incluso de zonas epitaxiales. Conexiones, típicamente metálicas, tales como 3, desembocan en una interfaz 4 de conexión del componente electrónico 1. A veces existe un soporte y/o una protección 5 situada sobre las caras superiores y/o inferiores del cristal 2.

25 En la invención, para medir los defectos de funcionamiento de un componente electrónico 1 que será sometido a interacciones energéticas, se monta este componente 1 sobre una carta electrónica de prueba 6 del tipo de circuito impreso, monocapa o multicapas. La carta puede comprender a este respecto otros componentes tales como 7 y 8, del tipo de pasadores 9 de conexión que atraviesa la carta 6, o del tipo de bolas de soldadura tales como 10 para componentes montados en la superficie. Estos otros componentes pueden servir para modificar las condiciones de funcionamiento del componente 1. Por ejemplo, el componente 7 puede ser una resistencia de calentamiento con termostato para llevar el componente 1 a una temperatura deseada. Por ejemplo, el componente 8 puede ser un reloj de frecuencia controlada para gobernar el componente 1 con una frecuencia deseada. Estos otros componentes pueden servir también para la protección del componente 1.

30 La carta 6 posee un conector 11 para ser unido a un aparato 12 de ensayo para medir la sensibilidad del componente 1 a las partículas energéticas. Con este aparato 12, se excita el componente 1 por medio de una fuente de láser 13. Esta fuente de láser 13 emite un rayo 14 que agrede al componente electrónico 1. Para que se favorezca esta agresión, de preferencia, el componente 1 es sometido a esta agresión por su base 5. Con el fin de favorecer esta agresión, de preferencia el soporte y/o la protección 5 son abiertos (particularmente por un proceso químico o mecánico) en una ventana 15 por la cual puede penetrar el rayo 14 del láser 13. En un ejemplo, la fuente de láser provoca una absorción simultánea de varios fotones en el material semiconductor.

35 En el momento de la prueba, el componente electrónico 1 está unido por su interfaz 11 al dispositivo 12 que puede proporcionar su alimentación y su mando. El dispositivo 12 comprende, de una manera esquemática, un microprocesador 16 unido por un bus 17 de comandos, de direcciones y de datos a una memoria programa 18, a una memoria de datos 19, a una interfaz 11, a la fuente de láser 13 y a un sistema 20 de atenuación de la energía láser. El dispositivo 12 comprende por otra parte, esquemáticamente representado, un comparador 21 que recibe por una parte, en su entrada de referencia 22, una magnitud eléctrica prevista y en una entrada de medición 23 señales eléctricas tomadas por la interfaz 11 en el componente 1, cuando este último sufre las interacciones y las excitaciones del láser 13.

50 El comparador 21 puede, por su parte, ser sustituido por un subprograma 24 de medición de la señal recibida del

- 5 componente electrónico 1. El funcionamiento de la medición puede ser estático: se prueban en este caso únicamente valores de potenciales y de corrientes disponibles sobre bornes de la interfaz 11. Puede ser dinámico. El microprocesador 16 comprende además un reloj que desgrana ciertas operaciones cuyo desarrollo debe sufrir una historia conocida, por ejemplo un aumento a una disminución de la energía láser. Se mide si una respuesta a esta historia se produce de una manera prevista o si presenta anomalías.
- 10 La memoria programa 18 comprende a este fin un programa 25 de mando de la fuente de láser 13, de sus desplazamientos XYZ con respecto al componente 1 y de su potencia. La memoria 18 comprende finalmente, de preferencia, un programa 26 de cambio de modo de funcionamiento del componente 1. Tales cambios se dirigen a la frecuencia del reloj 8, a las señales de entrada y/o de mando, a la carga de salida, a la o las tensiones de polarización del componente 1 disponibles por otra parte en el bus 17 y a la interfaz 11, y a la temperatura impuesta por ejemplo por el radiador 7. Si se contemplan otras condiciones de funcionamiento, la carta 6 puede incluir los componentes, particularmente magnéticos que las provocan. Estos otros componentes son también controlados por el microprocesador 16.
- 15 En el ejemplo de la figura 3, el sistema de prueba o ensayo vigila el consumo de corriente I_{conso} del componente 1. Cuando se detecta un exceso de consumo, I_{conso} superior a un cierto umbral, la corriente es limitada, para evitar la destrucción del componente, y mantenida durante un cierto tiempo 27, de manera que se asegura que se trate bien de un fenómeno de SEL, después es cortada la alimentación y finalmente el componente 1 es puesto otra vez bajo tensión. El fenómeno de SEL ha sido de ese modo detectado y a continuación desactivado con el fin de no destruir el componente 1.
- 20 En un ejemplo, la carta 6 está provista de los componentes mostrados en el esquema de la figura 4. Con la misma finalidad de protección, una resistencia 28, situada en serie en la alimentación 29 del componente 1, permite limitar la corriente suministrada. Cuando se desencadena un fenómeno de SEB, un transistor del componente 1 se convierte en pasajero transitoriamente. La corriente, al no poder ser suministrada por la alimentación 29 (debido a la resistencia 28), se descarga una capacidad 30 en paralelo en el componente 1. Esta descarga produce la duración 27. Cuando la capacidad 30 está totalmente descargada, ya no se suministra la corriente necesaria para el mantenimiento del fallo. El componente 1 retorna entonces a su estado nominal. El fallo ha sido desactivado. Este sistema permite pues observar el fallo, midiendo, por ejemplo con un osciloscopio, la descarga de la capacidad, pero también evitar que este fallo sea destructivo.
- 25 Los disparos láser están sincronizados o no con respecto a una señal del componente bajo prueba y, por cada disparo, se efectúa una verificación sobre el sistema de prueba para ver si han tenido lugar uno o varios fallos.
- 30 Para una posición de interés en X e Y, se ajusta la focalización del haz láser de manera que se identifique la posición para la cual el componente presenta una sensibilidad máxima frente a un impulso de láser. Esta sensibilidad máxima es obtenida cuando es mínima la energía de láser necesaria para provocar el fallo. Esta operación es efectuada para una posición de interés y las condiciones de utilización dadas pero puede igualmente ser repetida de manera sistemática en todas las posiciones de la cartografía de láser. Por otra parte, se determina una focalización óptima en profundidad Z, o bien se realiza una cartografía de sensibilidad en 3 dimensiones.
- 35 Las posiciones e instantes de los disparos de láser pueden ser elegidos aleatoriamente para reproducir el impacto de partículas del ambiente radiactivo natural o no, o bien, al contrario, cuidadosamente ajustadas con el fin de localizar las posiciones espaciales y temporales que ponen en fallo el componente.
- 40 A continuación, para una energía de láser superior a esta energía mínima, para las diferentes posiciones, uno de los parámetros de condición de utilización del componente es ajustado de manera que se detecte el umbral de este parámetro más allá del cual se desencadena el fallo. Para esta condición de utilización, se determina así el dominio de funcionamiento preferible del componente frente a interacciones energéticas.
- 45 Puede ser por tanto realizada una cartografía espacial de sensibilidad del componente en función de las condiciones de utilización del componente tan bien como en función de la energía láser.
- 50 La figura 5 presenta a este respecto un ejemplo de influencia de la tensión de polarización drenaje-fuente sobre la puesta en acción del fenómeno SEB en un componente de potencia. Aquella muestra que si la tensión de polarización es inferior a 95 voltios (0,95 E+2), el componente 1 resiste a las agresiones en todos los puntos: el fenómeno de SEB no se produce. Ello revela también que, para lugares muy localizados en algunas manchas visibles, la agresión de láser no produce un fenómeno de SEB más que si la tensión de polarización es superior a 480 voltios.
- Para una posición de la cartografía de la figura 5, puede ser extraída la curva de la figura 6. Aquella presenta, por ejemplo para una energía de láser dada, la evolución de la amplitud de corriente máxima en función de la tensión de polarización drenaje-fuente. Son identificadas dos zonas. Más allá de 95 voltios, el componente es sensible al fallo.

Por debajo de 95 voltios, el fallo no se desencadena para esta posición. Ello muestra igualmente el carácter justificado de la aproximación láser comparando las agresiones de láser (curva con los pequeños círculos) y las agresiones a los iones pesados (curvas con los pequeños cuadrados) que dan un mismo resultado en términos de umbral más allá del cual se produce el fenómeno SEB o no, y valida de ese modo el método frente al entorno considerado.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de caracterización de la sensibilidad a las interacciones energéticas en un componente electrónico (1), en el cual,
 - se pone en servicio (6, 11, 19) el componente electrónico,
- 5
 - se excita (12) el componente electrónico puesto así en servicio con la ayuda (13) de un rayo (14) de láser,
 - se mide (24) un defecto de funcionamiento del componente electrónico puesto en servicio, correspondiente a un valor de esta excitación,

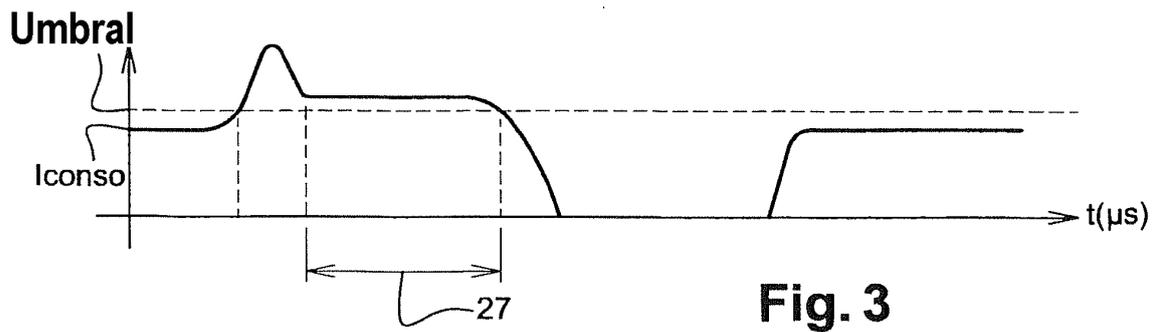
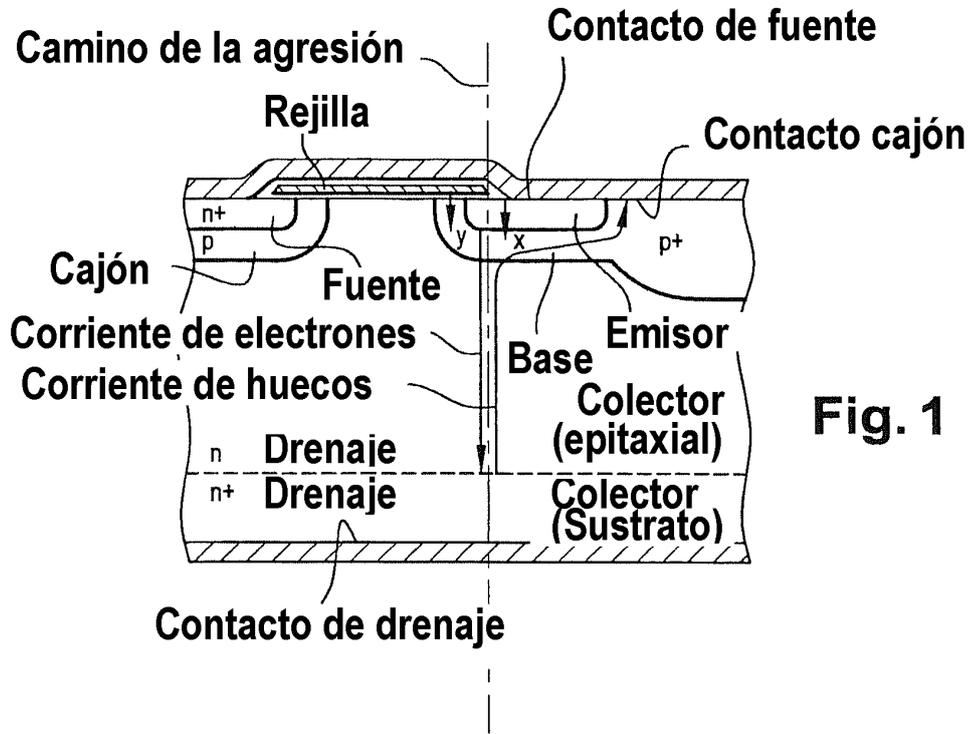
caracterizado porque

 - se cambian (26) condiciones de utilización del componente, dicho de otro modo, de polarización drenaje-fuente del componente, y/o de señales de entrada y/o de señales de mando y/o de frecuencia y/o de temperatura y/o de carga en la salida,
 - se mide (figura 6), a título de característica, condiciones cambiadas de utilización para las cuales el componente deja aparecer o no un defecto de funcionamiento por un fenómeno de puesta en acción.
- 10
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque
 - un límite de la condición así cambiada representa una condición límite en el caso de interacciones energéticas.
- 15
3. Procedimiento según una de las reivindicación 1 a 2, caracterizado porque
 - los fenómenos de puesta en acción estudiados son los de la SEB o del SEL o del microlatchup o del SES o de cualquier otro fenómeno que ponga en juego la puesta en acción de una estructura bipolar parásita acoplada a un mecanismo de mantenimiento y/o de amplificación de la corriente.
- 20
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque
 - se abre una ventana (15) en un soporte o una protección (5) de la placa del componente,
 - se excita el componente por una cara de la placa (2) de ese componente.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque
 - se focaliza el rayo de láser a diferentes profundidades en el componente, de preferencia para una localización del interés.
- 25
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque
 - se protege (28, 30) el componente durante esta excitación,
 - de preferencia, la protección comprende la puesta en posición de un circuito de protección en un circuito de polarización del componente.
- 30
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque
 - se establece una carta (figura 5) de localización de interés en el componente en el que estas interacciones son las más fuertes.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque
 - se hace variar, de preferencia por pasos, una potencia del láser.
- 35
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque
 - la energía del fotón de láser de la fuente de láser es superior al valor de la banda prohibida del componente semiconductor.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque
 - para una posición de interés, la focalización del haz de láser es ajustada a un valor de energía mínima de
- 40

manera que se identifique la posición para la cual el componente presenta una sensibilidad máxima frente a un impulso de láser,

- para una energía de láser superior a esta energía mínima, se modifica uno de los parámetros de condición de utilización del componente de manera que se detecte el umbral de este parámetro más allá del cual se dispara el fallo.

5



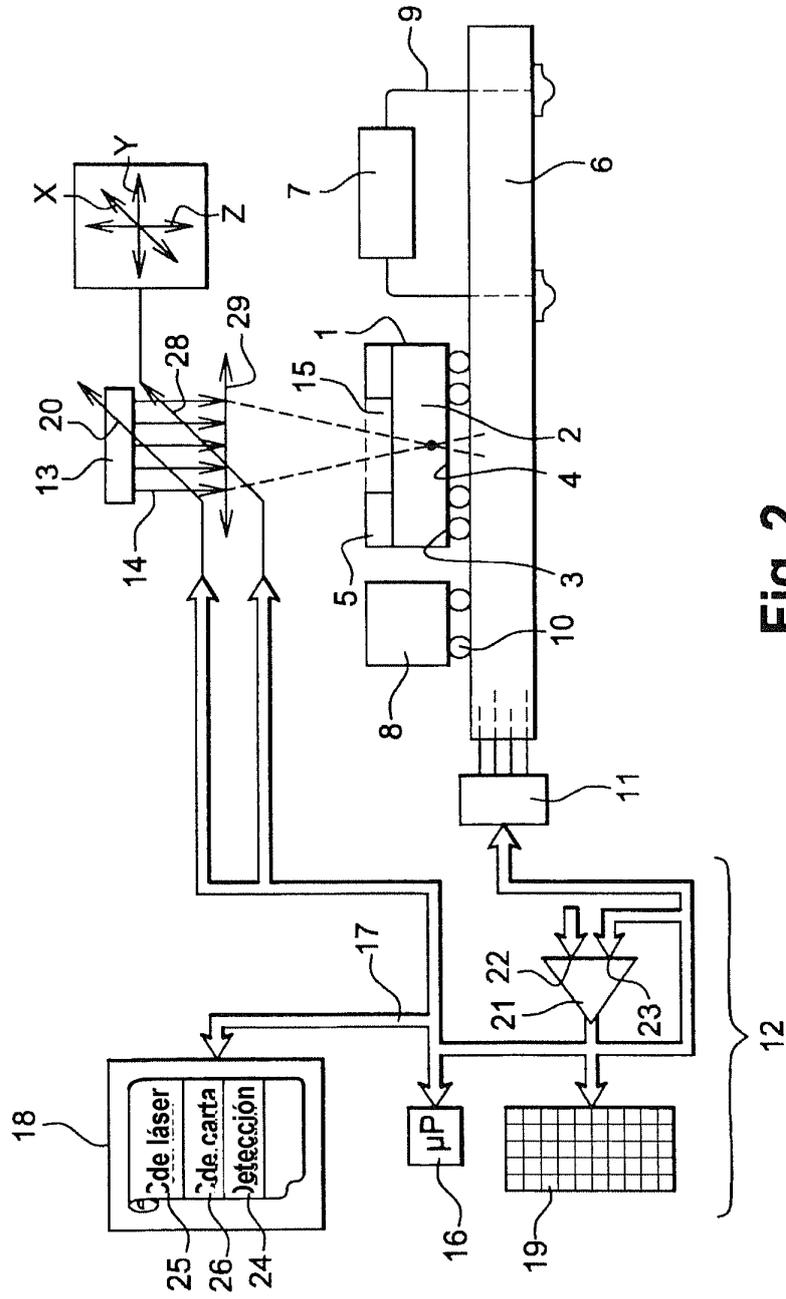


Fig. 2

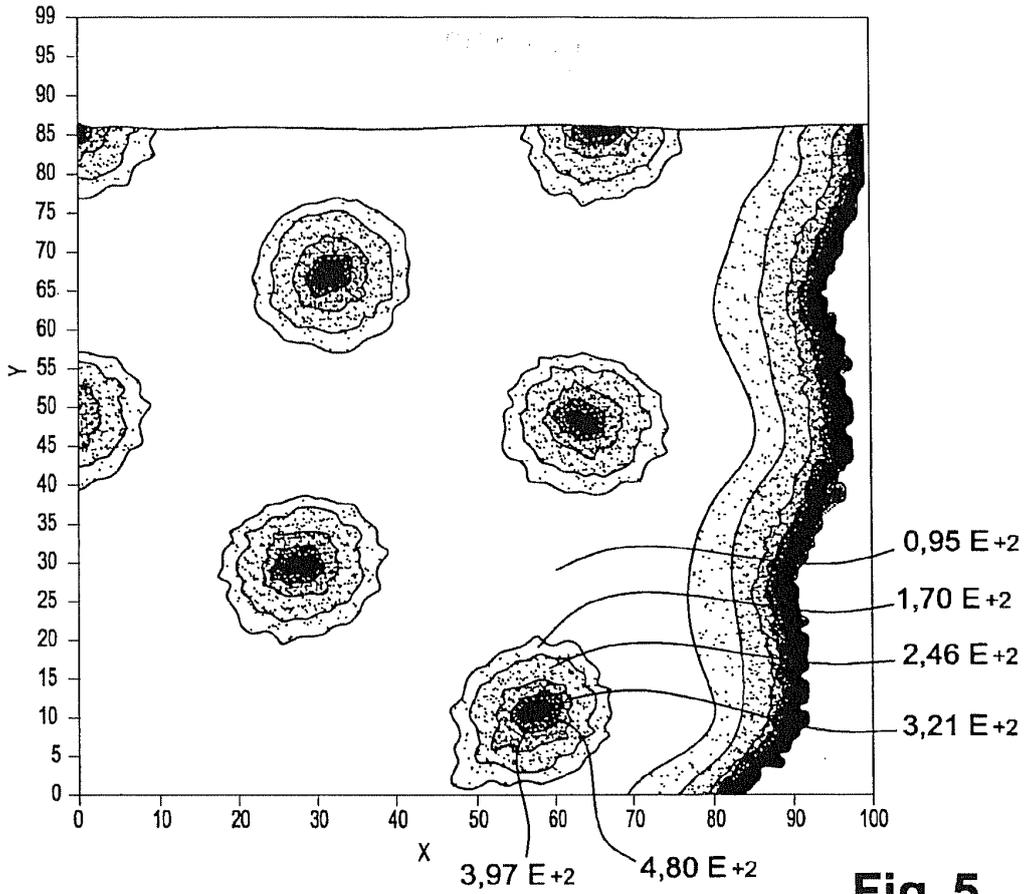


Fig. 5

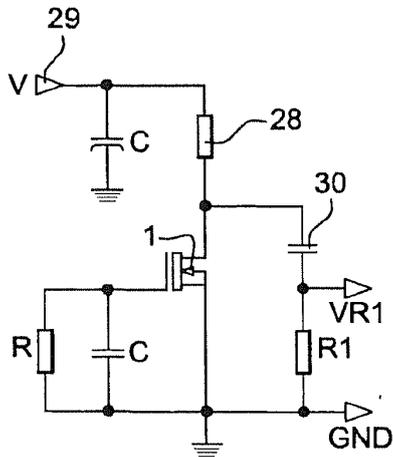


Fig. 4

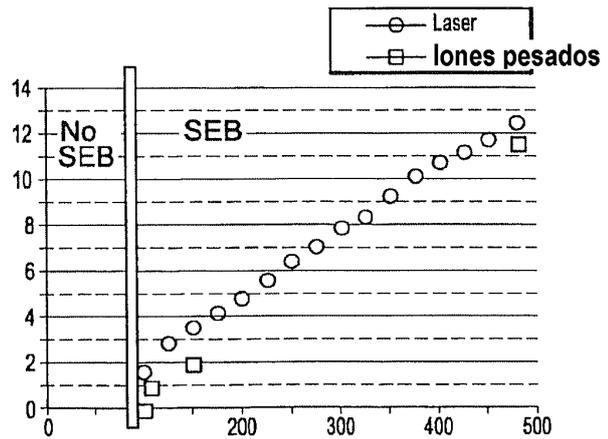


Fig. 6