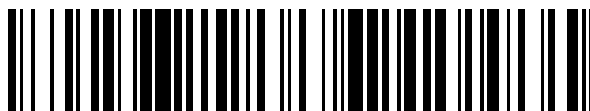


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 753**

51 Int. Cl.:

G05B 19/41 (2006.01)

G05B 19/418 (2006.01)

G01R 31/308 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.10.2011** **PCT/EP2011/067509**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.04.2012** **WO12049074**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2011** **E 11766998 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020** **EP 2628061**

54 Título: **Método y aparato de colocación de pieza de trabajo**

30 Prioridad:

23.03.2011 EP 11275045
13.10.2010 GB 201017412

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.08.2020

73 Titular/es:

MBDA UK LIMITED (100.0%)
Six Hills Way
Stevenage, Hertfordshire SG1 2DA, GB

72 Inventor/es:

CHUGG, ANDREW, MICHAEL;
WARD, JONATHAN, JAMES y
MCINTOSH, JAMES, ROBERT

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 778 753 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

Método y aparato de colocación de pieza de trabajo

5 La presente invención se refiere a un método y un aparato para colocar relativamente una pieza de trabajo y un eje de referencia. Puede aplicarse especialmente, pero no exclusivamente, a la presentación precisa de un circuito integrado (microchip) a un láser pulsado, para realizar un mapeo de sensibilidad de efecto de evento único (SEE).

10 La colocación de motores paso a paso convencionales para el escaneo SEE láser impone restricciones en la trayectoria y la reproducibilidad de las rutas de escaneo. En particular, el patrón de escaneo genera aceleraciones y desaceleraciones no deseadas, que tienden a provocar vibraciones en la estructura en la que está montado el microchip. Los documentos US2008/238435A1 y WO01/69205A1 desvelan métodos y sistemas de la técnica anterior para colocar relativamente un rayo láser en un circuito integrado a inspeccionar en busca de defectos, pero no en el marco de un escaneo SEE.

15 La presente invención, al menos sus realizaciones preferidas, pretende superar o al menos reducir este problema, pero es de aplicación general a la colocación relativa precisa de una pieza de trabajo y un elemento operativo requerido para interactuar con la misma. El elemento operativo puede ser uno que realiza una operación en la pieza de trabajo, o la prueba o inspecciona, o se ensambla con la misma.

20 En un aspecto, la invención proporciona un método para colocar relativamente un circuito integrado (CI) y el eje de propagación de un láser u otro haz de energía dirigida que comprende efectuar desplazamientos relativos del CI y el eje de propagación a lo largo de ejes ortogonales de manera que una intersección del eje de propagación con el CI se mueva a una velocidad sustancialmente constante a lo largo de una trayectoria en espiral caracterizado por que:

25 el eje de propagación es el eje de propagación de un láser pulsado u otro haz de energía dirigida;
el cambio en el radio por revolución entre vueltas sucesivas de la trayectoria en espiral es constante; y
el método se realiza con respecto al CI durante al menos dos recorridos de la trayectoria en espiral.

30 Preferentemente, los desplazamientos a lo largo de los ejes son eficazmente continuos.

Debido a que el cambio en el radio por revolución entre vueltas sucesivas de la espiral es constante, la longitud de trayectoria por área en el plano x-y es constante, facilitando de este modo una cobertura de escaneo uniforme. Un cambio constante en el radio puede lograrse cuando los desplazamientos a lo largo de los ejes ortogonales se definen por $x = A\sqrt{t}\cos(\omega\sqrt{t})$ y $y = A\sqrt{t}\sin(\omega\sqrt{t})$ donde t es tiempo y A y ω son constantes.

35 El origen de la espiral puede colocarse con respecto al CI para reducir la aceleración radial de la intersección. Por lo tanto, las partes de la espiral más cercanas a su origen pueden omitirse de la trayectoria en espiral con el fin de hacer que la aceleración máxima (que se produce en el radio realizado más bajo desde el origen, si la velocidad de ejecución es constante) sea arbitrariamente baja.

40 Como se ha señalado anteriormente, la invención puede aplicarse especialmente al mapeo de sensibilidad de SEE con láser.

45 El láser u otro haz de energía dirigida puede ser un láser pulsado de frecuencia de repetición de pulso constante.

Preferentemente, el espaciamiento a lo largo de la espiral de puntos sucesivos en o sobre la pieza de trabajo iluminada por los pulsos del láser u otro haz de energía dirigida y el espaciamiento radial de las vueltas sucesivas de la espiral alrededor de su origen son tales que producen una matriz de tales puntos que se distribuye uniformemente a una densidad constante por unidad de área escaneada de la pieza de trabajo. Esto puede lograrse haciendo que el espaciamiento de dichos puntos a lo largo de la espiral sea igual al espaciamiento radial de las vueltas sucesivas de la espiral alrededor de su origen.

50 En particular, pero no exclusivamente, para el mapeo de sensibilidad de SEE con láser, la invención proporciona un método para investigar un circuito integrado (CI) que comprende disponer el CI como la pieza de trabajo en el método expuesto anteriormente, exponer el CI a pulsos láser y determinar el efecto de dichos pulsos sobre el CI.

55 El método puede comprender investigar la disposición de las celdas de memoria u otros elementos del CI exponiendo dicho elemento en un punto en o sobre el CI a un pulso láser con el fin de cambiar su estado e identificar el elemento del cambio de estado. Por lo tanto, es posible asociar una dirección de memoria lógica con una localización física en el CI.

60 Un método preferido comprende investigar el CI exponiendo dichos puntos seleccionados a pulsos láser durante al menos dos recorridos de la trayectoria curvilínea, siendo el nivel de potencia láser constante durante cada recorrido y siendo el nivel de potencia durante el segundo y posteriores recorridos diferente (y preferentemente superior) al de un recorrido anterior.

En otro aspecto, la invención proporciona un aparato para colocar relativamente un circuito integrado (CI) y el eje de propagación de un láser u otro haz de energía dirigida, para usar en un método como se ha descrito anteriormente, comprendiendo el aparato un medio de desplazamiento en sentido x y un medio de desplazamiento en sentido y para efectuar desplazamientos relativos del CI y el eje de propagación a lo largo de ejes ortogonales, y un medio de control configurado para operar los medios de desplazamiento, caracterizado por que:

el medio de control está configurado para operar los medios de desplazamiento, de manera que durante la operación una intersección del eje de propagación con el CI se mueva a velocidad constante a lo largo de una trayectoria en espiral; y

el cambio en el radio por revolución entre vueltas sucesivas de la trayectoria en espiral es constante.

Los medios de desplazamiento pueden comprender un transductor piezoeléctrico.

Puede haber un sensor de galga extensométrica u otros medios de detección de desplazamiento dispuestos para proporcionar retroalimentación del movimiento de dicha intersección al medio de control.

En otro aspecto, la invención proporciona un medio legible por ordenador que tiene grabado en el mismo un programa informático que, cuando se instala y se opera, realiza el método expuesto anteriormente.

A continuación, se describirá una realización de la invención, simplemente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra un patrón de escaneo convencional usado en el escaneo de sensibilidad de SEE con láser de un microchip;

la figura 2 muestra el aparato de acuerdo con la invención;

la figura 3 muestra un patrón de escaneo de acuerdo con la invención; y,

la figura 4 ilustra puntos en un CI escaneado usando la invención.

Esta realización de la invención emplea una combinación de colocación piezoeléctrica x-y con un patrón de escaneo curvilíneo para lograr el suministro de matrices de pulsos láser distribuidas uniformemente a un área objetivo tal como un microchip, siendo la velocidad de repetición de pulsos láser constante. La realización pretende simultáneamente minimizar las aceleraciones del sistema de colocación, con el fin de minimizar las vibraciones inducidas en el soporte con el fin de poder reproducir matrices de pulsos láser exactamente superpuestas a diferentes energías de pulso láser. El objetivo general es producir rápidamente mapas de los umbrales de energía de pulso láser para los desajustes/fallos inducidos en el destino (por ejemplo, los bits de memoria en el CI cambiados de 1 a 0 o viceversa).

Los equipos electrónicos digitales en satélites y aeronaves de alto vuelo son vulnerables a la radiación de partículas ionizantes. El impacto de una partícula de alta energía en una celda de un circuito integrado puede producir un cambio temporal o permanente en esa celda, denominado efecto de evento único (SEE) o desajuste de evento único (SEU). El mapeo de la sensibilidad de SEE a nivel de celda en dispositivos de memoria y otros circuitos integrados puede proporcionar una visión importante de la vulnerabilidad del dispositivo a tales efectos. El desequilibrio de una sola celda por un SEE introducirá un error de bit único. En general, esto puede superarse mediante técnicas de corrección de errores, pero es más difícil compensar la corrupción de dos bits en la misma palabra. Esto puede producirse como resultado de un evento de irradiación único si, por ejemplo, las celdas de memoria que almacenan bits de la misma palabra están físicamente adyacentes en la matriz del microchip. Por lo tanto, es útil conocer la localización física de cada celda de memoria en el dispositivo, así como su dirección, de modo que las celdas puedan utilizarse de tal manera que los bits de la misma palabra no se almacenen en celdas que estén relativamente cerca entre sí o de modo que pueda implementarse el nivel adecuado de corrección de errores en el software, si es imposible evitar dicha adyacencia. Como alternativa, los resultados obtenidos con esta invención pueden facilitar la decisión de descartar un diseño de microchip a favor de un diseño más tolerante a SEE con una función equivalente de un proveedor diferente.

El mapeo de sensibilidad de SEE se realiza usando pulsos láser para simular eventos de radiación ionizante incidente en una multiplicidad de puntos del microchip. Convencionalmente, los umbrales de SEE se establecen variando la energía de pulso láser punto por punto. Esto consume mucho tiempo.

En cambio, en esta realización descrita de la invención, una matriz de puntos en el microchip se expone a un escaneo de pulsos láser administrado rápidamente a un nivel de energía fijo. A continuación, el escaneo de los mismos puntos se repite a un nivel de energía fijo algo más alto y, a continuación, nuevamente a niveles de energía sucesivamente aumentados, según sea necesario. Es decir, cada vez que las celdas en alguno de los puntos sufren un SEU, cambian de estado, y su identidad puede establecerse interrogando al chip después de cada pulso láser.

El éxito de la técnica depende de que los pulsos láser se apliquen con suficiente precisión cada vez a los mismos puntos del microchip. Los sistemas de colocación de motores paso a paso empleados convencionalmente en el mapeo de SEE no pueden lograr esto, por lo que se ha ideado una solución alternativa.

Los sistemas de colocación de motores paso a paso están limitados por un tamaño de paso finito y errores de colocación acumulativos. Cada movimiento tiene distintas fases de aceleración seguida de velocidad fija seguida de desaceleración. En general, se usa un patrón de escaneo de trama como el mostrado en la figura 1. Este consiste en filas paralelas extendidas 10 en una dirección (en este caso a lo largo del eje x) con un pequeño escalón ortogonal 12 al final de la fila para indexar la trama en la dirección y. Los puntos en el microchip iluminados por un pulso láser a una velocidad constante se muestran en 14. Debido a las fuertes desaceleraciones y aceleraciones en los extremos de cada fila en sentido x, y la velocidad relativamente baja del desplazamiento en la dirección y, los puntos expuestos a los pulsos láser están densamente agrupados en el extremo de cada fila como en 16.

Las aceleraciones y desaceleraciones tienden a provocar vibraciones en el soporte en el que se coloca el microchip, lo que limita la precisión con la que puede colocarse cada punto láser.

La figura 2 muestra un aparato de acuerdo con la invención. Un microchip (no mostrado) está montado en una plataforma que se coloca aproximadamente en relación con una fuente de láser pulsado (no mostrada) por unos motores paso a paso x e y (no mostrados) como se conoce per se. La plataforma puede colocarse con mayor precisión en relación con los motores paso a paso por unos accionadores piezoeléctricos x e y 22, 24. Estos accionadores son del tipo conocido per se en la colocación de un portaobjetos para microscopía electrónica de barrido.

El sistema está controlado por un ordenador 20 que ejecuta LabVIEW® u otro programa de instrumentación virtual. El ordenador da órdenes a un generador de forma de onda 28 a través de un convertidor digital a analógico 26 para producir las formas de onda respectivas para accionar los accionadores piezoeléctricos de eje x y de eje y 22, 24 a través de unos servocontroladores 30, 32. Las salidas de los servocontroladores son tensiones (analógicas) de CC continuas, que son proporcionales a los desplazamientos requeridos de los accionadores piezoeléctricos. Los sensores de galga extensométrica 34, 36 proporcionan retroalimentación de la posición de plataforma al ordenador 20 a través del convertidor analógico a digital 38.

Debido a que los desplazamientos x e y producidos por los accionadores piezoeléctricos 22, 34 son continuos y proporcionales a sus tensiones de accionamiento, el movimiento curvilíneo de la plataforma y, por lo tanto, el microchip puede producirse haciendo que el ordenador 20 suministre instrucciones de forma de onda adecuadas al generador de forma de onda 20.

Con el fin de lograr la precisión y repetibilidad de colocación requeridas, es deseable minimizar las vibraciones inducidas en el conjunto de sistema de colocación que incorpora la plataforma de montaje de microchip. Puesto que se espera que las frecuencias resonantes naturales para este conjunto sean mucho mayores (del orden de kHz) que las frecuencias de escaneo (<100 Hz) usadas en la distribución de matrices de pulsos, puede anticiparse que la energía de vibración/reverberación pico se induzca durante los picos de aceleración (positivo o negativo) de este conjunto (es decir, no hay excitación directa de las resonancias). Por lo tanto, se ha ideado un patrón de escaneo curvilíneo que proporciona magnitudes bajas para las aceleraciones en forma de trayectoria en espiral. De hecho, la aceleración pico puede hacerse arbitrariamente baja iniciando el patrón de escaneo en un radio mayor desde el centro de la espiral, ya que la aceleración disminuye a medida que aumenta el radio de curvatura. En tal caso, el origen de la espiral puede desplazarse del microchip con el fin de localizarse a cierta distancia más allá de su borde, con el resultado de que solo parte de cada vuelta de la espiral pasa sobre la superficie del chip. La fuente láser puede activarse de manera que solo produzca pulsos cuando pasa sobre el chip.

Otros parámetros que definen la forma exacta de la trayectoria son:

1. La velocidad de desplazamiento del punto láser, que normalmente es constante (es decir, de tal manera la intersección de las localizaciones de pulsos láser está espaciada uniformemente a lo largo de la trayectoria).

2. La separación radial entre cada revolución de la espiral alrededor de su origen se establece igual al espaciado de los pulsos láser a lo largo de la trayectoria para lograr una distribución general uniforme de las localizaciones de pulsos.

Por lo tanto, las ecuaciones para los componentes x e y de esta trayectoria pueden definirse en términos del parámetro de tiempo t de la siguiente manera:

$$x = A\sqrt{t}\cos(\omega\sqrt{t}) \text{ y } y = A\sqrt{t}\sin(\omega\sqrt{t})$$

Estos proporcionan una velocidad de trayectoria constante alrededor de la espiral, donde A y ω son parámetros de ajuste para escalar la matriz en espiral adecuadamente en una aplicación dada. Como la velocidad v es el producto del radio $A\sqrt{t}$ por la velocidad de cambio (obtenida con respecto al tiempo) del ángulo $\omega\sqrt{t}$, podemos escribir:

$$v = \frac{A\omega}{2}$$

El cambio en el radio por revolución es Δr de tal manera que:

$$\Delta r = 2\pi A/\omega$$

Dado que la distancia entre pulsos a lo largo de la trayectoria debe ser similar a $A r$ con el fin de dar una distribución de pulsos uniforme, el tiempo Δt_p entre pulsos viene dado por:

$$v\Delta t_p = \Delta r = \frac{2\pi A}{\omega}$$

Al sustituir v ,

$$\Delta t_p = \frac{4\pi}{\omega^2}$$

Por lo tanto, ω se define por la velocidad de pulsación láser. Para definir A en términos del radio máximo de la matriz $R_{\text{máx}}$, podemos usar

$$R_{\text{máx}}^2 = x_{\text{máx}}^2 + y_{\text{máx}}^2$$

Por lo tanto:

$$t_{\text{máx}} = (R_{\text{máx}}/A)^2$$

Para la matriz a modo de ejemplo mostrada en la figura 3, $A = 1$ y $\omega = 1$ con $t_{\text{máx}} = 3000$ s y $\Delta t_p = 10$ s.

Puede verse que los puntos láser tienden a estar en un patrón repetitivo de líneas curvas que se extienden hacia fuera, por ejemplo, como en 40, 42, 44. Es necesario leer el conjunto monitorizado de bits de memoria en el chip al menos una vez en el período entre pulsos láser sucesivos. Dado que la frecuencia de repetición de pulsos láser es de aproximadamente 100 Hz, no hay tiempo suficiente para leer todos los bits de memoria de una memoria sustancial (por ejemplo, del orden de Mbits). Sin embargo, podemos reducir esta tarea quizá mil veces fijando un subconjunto de las líneas de direcciones en valores preestablecidos y tratando la memoria como una memoria de menor tamaño correspondiente al tamaño del conjunto restante de líneas de direcciones. Si esto se hiciera al azar, entonces los bits de lectura normalmente se intercalarían con precisión con un conjunto mucho más grande de bits no leídos, lo que sería ineficaz. Sin embargo, si tenemos un mapa de memoria a gran escala disponible para la memoria a prueba (que puede generarse él mismo por láser pulsando el CI de memoria en un conjunto adecuado de localizaciones y examinando las direcciones de los bits desajustados en cada localización), entonces podemos identificar las líneas de direcciones que se conocen para controlar la colocación a gran escala en la matriz de microchip y eligiendo juiciosamente el patrón de estados altos y bajos en los que preestablecemos estas direcciones, podemos seleccionar pequeños parches (normalmente rectangulares) de bits adyacentes. Dentro de estos parches, las líneas de direcciones variables se usan para crear ciclos de lectura que direccionan los bytes de bits solo dentro del parche. Debido a la ausencia de líneas de direcciones externas para apuntar a bits individuales dentro de bytes, normalmente es inevitable que algunos bits de los mismos bytes queden fuera del parche que se está leyendo, pero esto no es una restricción grave del enfoque general. Normalmente, es posible leer la totalidad (o al menos una alta proporción) de los bits dentro de dicho parche.

La figura 4 muestra localizaciones de desajuste de evento único (SEU) observadas experimentalmente para una matriz en espiral suministrada de pulsos láser trazados en la trayectoria de escaneo con las direcciones y datos correspondientes que se enumeran en la tabla 1 a continuación. Los datos correctos en cada dirección eran hexadecimales 5A, por lo que el bit 4 se cambió a 0 o el bit 5 se cambió a 1 por los pulsos láser (es decir, 5A hexadecimal es 01011010 binario, 7A es 01111010 [quinto bit cambiado de 0 a 1] y 4A es 01001010 [cuarto bit cambiado de 1 a 0]). La subregión pulsada de la memoria se leyó a una frecuencia de 40 Hz con una frecuencia de pulsación láser de 10 Hz; por lo tanto, los errores podrían atribuirse a pulsos láser individuales. Se han entregado tales matrices en espiral a un intervalo de energías de pulso láser, de tal manera que es posible obtener energías de pulso umbral desajustadas a través de la región investigada del dispositivo.

Puede verse que en este ejemplo (y como es normalmente el caso) la sensibilidad a los SEU tiende a ser no uniforme a través de la matriz de microchip. El conocimiento de tales patrones de sensibilidad permite tomar medidas para reducir la posibilidad de que se almacenen bits de la misma palabra en localizaciones que pueden sufrir un SEU por el mismo evento de radiación ionizante.

La invención incluye cualquier característica novedosa o combinación de características desveladas en el presente documento, ya sea que se reivindiquen específicamente o no. El resumen, tal como se presenta, se repite en este caso como parte de la memoria descriptiva.

- 5 Un método para colocar relativamente una pieza de trabajo y un eje de referencia que comprende efectuar desplazamientos relativos de la pieza de trabajo y el eje de referencia a lo largo de ejes ortogonales de manera que una intersección del eje de referencia con la pieza de trabajo se mueva a una velocidad sustancialmente constante a lo largo de una trayectoria curvilínea. El método puede aplicarse especialmente al mapeo de sensibilidad de SEE de una memoria de microchip usando un láser pulsado, en relación con el eje con respecto al que el chip se mueve en una trayectoria en espiral.

TABLA I. DIRECCIONES DE ERROR PARA LA ESPIRAL DE PULSACIÓN LÁSER

No.	Dirección	Error	No.	Dirección	Error	No.	Dirección	Error
1	00C799	7A	31	00C159	7A	61	00DE99	7A
2	00C399	7A	32	00CD59	7A	62	00DC99	7A
3	00C399	7A	33	00D159	7A	63	00D719	7A
4	00C059	7A	34	00DA59	7A	64	00D719	7A
5	00CB99	7A	35	00D859	7A	65	00D319	7A
6	00C999	7A	36	00D699	7A	66	00C919	7A
7	00C059	7A	37	00C319	7A	67	00C119	7A
8	00C459	7A	38	00ED99	4A	68	00FD19	4A
9	00FC59	4A	39	00EF99	4A	69	00F919	4A
10	00C659	7A	40	00F259	4A	70	00F319	4A
11	00CA59	7A	41	00C359	7A	71	00E799	4A
12	00C299	7A	42	00CB59	7A	72	00EA59	4A
13	00FE99	4A	43	00CF59	7A	73	00EE59	4A
14	00F859	4A	44	00D559	7A	74	00ED59	4A
15	00FE59	4A	45	00DE59	7A	75	00F359	4A
16	00C499	7A	46	00DD99	7A	76	00FCD9	4A
17	00C099	7A	47	00CB19	7A	77	00C0D9	7A
18	00FA99	4A	48	00C519	7A	78	00C8D9	7A
19	00F459	4A	49	00FB19	4A	79	00CCD9	7A
20	00FA59	4A	50	00ED99	4A	80	00E259	7A
21	00C559	7A	51	00E999	4A	81	00E799	7A
22	00C959	7A	52	00EB99	4A	82	00E599	7A
23	00D459	7A	53	00EE59	4A	83	00E099	7A
24	00D459	7A	54	00F259	4A	84	00DB19	7A
25	00CC99	7A	55	00FB59	4A	85	00D519	7A
26	00F199	4A	56	00D759	7A	86	00D119	7A
27	00F399	4A	57	00E259	7A	87	00E899	4A
28	00F659	4A	58	00E059	7A	88	00E499	4A
29	00FD59	4A	59	00E399	7A	89	00E599	4A
30	00FD59	4A	60	00E199	7A	90	00E199	4A

REIVINDICACIONES

1. Un método para colocar relativamente un circuito integrado y el eje de propagación de un láser u otro haz de energía dirigida durante el mapeo de sensibilidad de SEE de una memoria de microchip, comprendiendo el método efectuar desplazamientos relativos del circuito integrado y el eje de propagación a lo largo de ejes ortogonales de manera que la intersección del eje de propagación con el circuito integrado se mueva a una velocidad sustancialmente constante a lo largo de una trayectoria en espiral, por lo que el eje de propagación es el eje de propagación de un láser pulsado u otro haz de energía dirigida;
el cambio en el radio por revolución entre vueltas sucesivas de la trayectoria en espiral es constante; y
el método se realiza con respecto al circuito integrado durante al menos dos recorridos de la trayectoria en espiral.
2. El método de la reivindicación 1, en el que los desplazamientos a lo largo de los ejes son eficazmente continuos.
3. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el origen de la espiral está desplazado con respecto al circuito integrado, por lo que se reduce la aceleración radial de dicha intersección.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el eje de propagación es el eje de propagación de un láser pulsado u otro haz de energía dirigida de frecuencia de repetición de pulso constante.
5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el espaciado a lo largo de la espiral de puntos sucesivos (14) en o sobre el circuito integrado iluminado por los pulsos y el espaciado radial de las vueltas sucesivas de la espiral alrededor de su origen son tales que la distribución de los puntos sobre el área escaneada del circuito integrado es uniforme.
6. Un método para investigar un circuito integrado que comprende el método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además disponer el circuito integrado, exponer el circuito integrado a los pulsos y determinar el efecto de dichos pulsos sobre el circuito integrado.
7. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además investigar la disposición de las celdas de memoria u otros elementos del circuito integrado exponiendo dicho elemento en un punto en o sobre el circuito integrado a un pulso con el fin de cambiar su estado e identificar el elemento del cambio de estado.
8. Un método para realizar un mapeo de sensibilidad de efecto de evento único, que comprende el método de cualquier reivindicación anterior, y que comprende además fijar un subconjunto de líneas de direcciones para los elementos del circuito integrado en valores preestablecidos, y tratar la memoria como una memoria de menor tamaño correspondiente al tamaño del conjunto restante de líneas de direcciones.
9. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende investigar el circuito integrado exponiendo puntos seleccionados del circuito integrado a pulsos durante los al menos dos recorridos de la trayectoria curvilínea, siendo el nivel de potencia del láser u otro haz de energía dirigida constante durante cada recorrido, siendo el nivel de potencia durante el segundo y posteriores recorridos diferente a, y preferentemente mayor que, el de un recorrido anterior.
10. Aparato para colocar relativamente un circuito integrado y el eje de propagación de un láser u otro haz de energía dirigida, para usar en un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, comprendiendo el aparato un medio de desplazamiento en sentido x y un medio de desplazamiento en sentido y para efectuar los desplazamientos relativos del circuito integrado y el eje de propagación a lo largo de ejes ortogonales y un medio de control configurado para operar los medios de desplazamiento, en el que el medio de control está configurado para operar los medios de desplazamiento de manera que durante la operación una intersección del eje de propagación con el circuito integrado se mueva a velocidad constante a lo largo de una trayectoria en espiral; y el cambio en el radio por revolución entre las vueltas sucesivas de la trayectoria en espiral es constante.
11. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el medio de desplazamiento en sentido x y el medio de desplazamiento en sentido y comprenden unos accionadores piezoeléctricos (22, 24) que pueden accionarse por formas de onda respectivas a través de unos servocontroladores (30, 32).
12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en el que el origen de la trayectoria en espiral está desplazado con respecto al circuito integrado, por lo que se reduce la aceleración radial de dicha intersección.
13. El aparato de las reivindicaciones 10, 11 o 12, que comprende además un sensor de galga extensométrica (34, 36) u otros medios de detección de desplazamiento dispuestos para proporcionar retroalimentación del movimiento de dicha intersección al medio de control (20).
14. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que está configurado para operar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
15. Un medio legible por ordenador que tiene grabado en el mismo un programa informático que, cuando se instala y

se opera, realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

Fig. 1

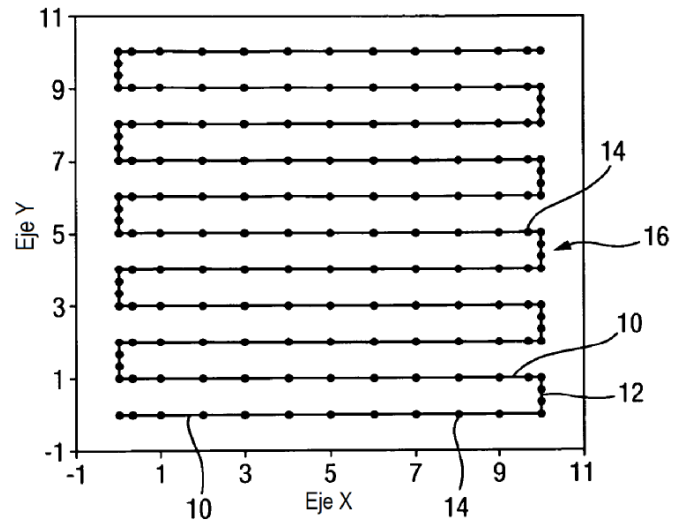


Fig. 2

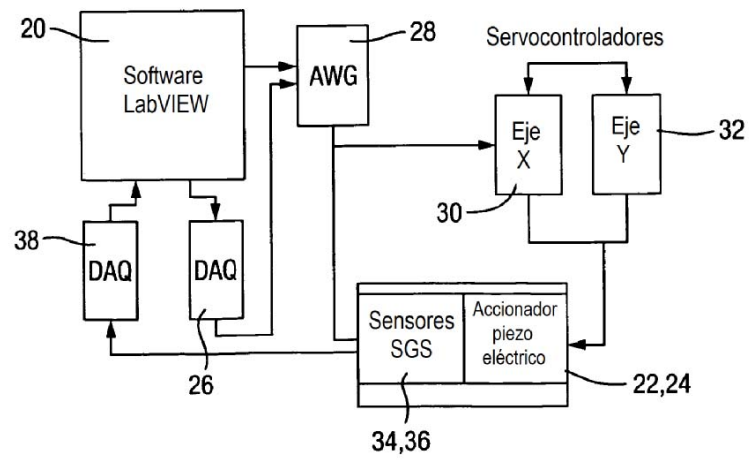


Fig. 3

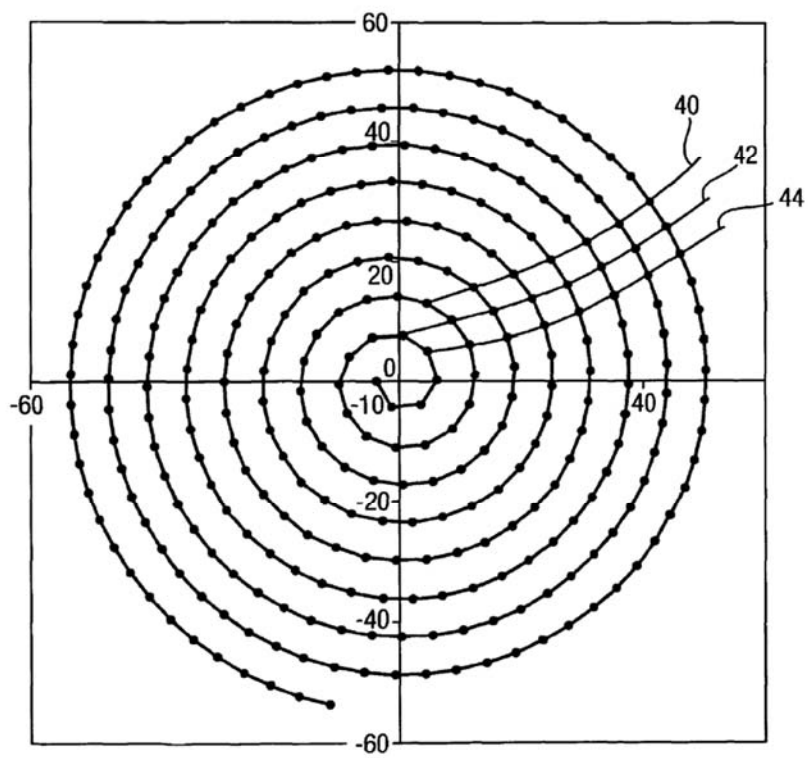


Fig. 4

