

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 744**

51 Int. Cl.:

**H01L 27/146** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2015 PCT/EP2015/056112**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2015 WO15144632**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2015 E 15713670 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 3105794**

54 Título: **Un dispositivo de formación de imágenes de rayos X semiconductor unido mediante esferas**

30 Prioridad:

**25.03.2014 US 201414224594**

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

**13.11.2017**

73 Titular/es:

**OY AJAT LTD. (100.0%)  
Tekniikantie 4B  
02150 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**SPARTIOTIS, KONSTANTINOS;  
NYKÄNEN, HENRI TAPIO;  
LIN, LIMIN;  
LAHTINEN, TUOMAS HEIKKI ELMERI y  
LAUKKA, PASI JUHANI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 641 744 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

Un dispositivo de formación de imágenes de rayos X semiconductor unido mediante esferas

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de formación de imágenes de rayos X semiconductor, de conversión directa, en el que el sustrato detector está unido mediante esferas o protuberancias ("bump-bonded") al sustrato de lectura. Los rayos X (u otro tipo de radiación) inciden sobre el detector y se crean pares electrón-hueco en el interior del sustrato detector (de ahí, la expresión "conversión directa") en respuesta a la energía absorbida. Bajo la influencia de un campo eléctrico aplicado a través del detector, estos electrones (huecos) son transferidos a electrodos de recogida de carga. Los electrodos de recogida de carga están conectados a electrodos de lectura correspondientes sobre un sustrato de lectura, que actúan como la entrada a un píxel de lectura sobre el sustrato de lectura. La conexión se realiza por medio de esferas y la conocida técnica de unión por conexión invertida ("flip-chip bonding").

**Antecedentes de la técnica**

15 La técnica de unión mediante esferas y de conexión invertida está ampliamente extendida en la fabricación de dispositivos de formación de imágenes de rayos X de conversión directa. Típicamente, las esferas se crean con técnicas de electrodeposición o no eléctricas en el lado del sustrato de lectura a una escala de oblea. A continuación, la oblea es cortada en trocitos y unida por conexión invertida al sustrato detector. Sin embargo, las esferas pueden ser creadas en ambos lados, es decir, en el sustrato de lectura y/o en el sustrato detector. Las composiciones de esferas típicas encontradas en los dispositivos de formación de imágenes son PbSn, BiPbSn, BiSn, Au, AgSn e In. Cada una tiene sus ventajas. Pueden encontrar ejemplos de dispositivos de formación de imágenes de radiación semiconductores, unidos mediante esferas, en los documentos US5952646A y US6933505B2. En Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Vol 527 Issue 3, Spartiotis et al., "A CdTe real time X-ray imaging sensor and system", se describe una realización detallada de un dispositivo de formación de imágenes de rayos X CdTe en el que las esferas son BiSn, creadas sobre el CMOS. El tamaño del píxel es de 100  $\mu\text{m}$  (cien micrómetros) y, a modo de ejemplo, el tamaño de esfera es de aproximadamente 25  $\mu\text{m}$  (veinticinco micrómetros) mientras que la esfera es aproximadamente esférica. Después de la unión, las esferas están aplastadas y la esfera se parece más a un elipsoide con una altura después de la unión de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$  (quince micrómetros). En Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Vol 501 Issues 2-3, Spartiotis et al.: "A directly converting high-resolution intra-oral X-ray imaging sensor", se describe un sensor de imagen de rayos X para la obtención de imágenes intraorales. El sustrato de lectura es, una vez más, un CMOS y el detector es Si con ausencia total de portadores móviles. El tamaño de píxel en este caso es de 35  $\mu\text{m}$  (treinta y cinco micrómetros). Para un tamaño de píxel tan pequeño, se espera que las esferas sean del orden de 10  $\mu\text{m}$ -15  $\mu\text{m}$  y que la altura después de la unión sea de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .

El documento DE 10 2008 050 838 muestra un dispositivo de obtención de imágenes de rayos X que comprende uniones mediante esferas que conectan los píxeles detectores y los píxeles de lectura, en el que dichas uniones mediante esferas comprenden una pata de esfera rígida y un sombrero de esfera de soldadura.

35 En otros ejemplos anteriores, las esferas se crean tanto sobre el sustrato de lectura (CMOS) como sobre el sustrato detector (Si, CdTe, CdZnTe, etc.). En dichos ejemplos, se encuentran esferas de In y/o tacos de Au.

Las técnicas anteriores en los dispositivos de formación de imágenes semiconductores unidos mediante esferas funcionan y son eficientes debido al tamaño de píxel relativamente grande. Por tamaño de píxel grande se entiende un paso de píxel de treinta y cinco micrómetros (35  $\mu\text{m}$ ) a doscientos micrómetros (200  $\mu\text{m}$ ). En el extremo inferior (cerca de 35  $\mu\text{m}$ ), las técnicas de unión mediante esferas descritas anteriormente adolecen de severas limitaciones:

- Durante la unión, la forma esférica de la esfera se convierte en elipsoide y la esfera es aplastada y se extiende lateralmente. Hay un alto riesgo de cortocircuitar una esfera con su esfera vecina o sus esferas vecinas.
- La superficie (área activa) del detector y el CMOS (sustrato de lectura) puede ser de varios centímetros cuadrados, y la uniformidad de las esferas esféricas se vuelve crítica. Una no uniformidad de la forma de la esfera esférica de  $\pm 3 \mu\text{m}$  se vuelve crítica en un tamaño de sustrato de 2 cm x 1 cm o mayor. La capacidad de fabricación se ve todavía más comprometida para tamaños de píxel pequeños, es decir, para píxeles de 35  $\mu\text{m}$  o menos. Para dichos píxeles pequeños, las esferas esféricas deben ser de 15  $\mu\text{m}$  o menores y dichas esferas se vuelven cada vez más difíciles de fabricar sobre grandes áreas con suficiente uniformidad ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ) usando técnicas de electrodeposición o no eléctricas convencionales.
- Para tamaños de píxel menores de 35  $\mu\text{m}$ , las esferas esféricas deben ser del orden de 5  $\mu\text{m}$  - 15  $\mu\text{m}$  y, tal como se ha indicado anteriormente, la creación de dichas esferas esféricas (o casi esféricas) de PbSn, BiSn, AgSn, In (etc.) es cada vez más difícil, especialmente dadas las limitaciones de gran área y uniformidad.

- Las tecnologías de interconexión y esferas actuales en dispositivos de formación de imágenes de radiación, semiconductores, de conversión directa, tienen una estructura deformante. Esto significa que toda la esfera o elemento de unión (que puede tener también alguna otra forma general) se deforma durante el procedimiento de unión. Como resultado, no hay una altura mínima "garantizada" después de la unión. La altura después de la unión depende del grado de deformación de la esfera (o elemento de unión), es decir, depende del procedimiento de unión, del tamaño de la esfera y de la uniformidad de la esfera a través del sustrato de lectura.

Por lo tanto, no es coincidencia que el innovador sensor intraoral descrito en el documento NIM A501 2003 "A directly converting high-resolution intra-oral X-ray imaging sensor", citado anteriormente, nunca llegó al mercado a pesar de los esfuerzos de varios fabricantes de sensores que intentaron emplear las técnicas convencionales de unión mediante esferas indicadas anteriormente. El rendimiento era demasiado bajo y el coste de fabricación demasiado alto.

Además, no se conocen dispositivos de formación de imágenes de rayos X (o rayos gamma, rayos beta u otras formas de radiación) de alta densidad de píxeles, unidos mediante esferas, de conversión directa, al menos ninguno producido regularmente y con alto rendimiento. Alta densidad de píxeles significa un píxel de lectura con un tamaño de menos de sesenta micrómetros ( $< 60 \mu\text{m}$ ) y preferiblemente menos de treinta y cinco micrómetros ( $< 35 \mu\text{m}$ ) unido mediante esfera a un píxel detector con un tamaño de menos de treinta y cinco micrómetros ( $< 35 \mu\text{m}$ ).

### Descripción de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo de formación de imágenes de radiación de conversión directa que tenga uniones fiables incluso con tamaños de píxel pequeños. Específicamente, según la presente invención, los rayos X de conversión directa comprende un sustrato detector semiconductor, un sustrato de lectura y los dos están unidos mediante esfera junto con cada píxel detector unido a uno o más píxeles de lectura por medio de uniones mediante esferas con elementos de poste rígidos.

Una esfera según una realización tiene esencialmente una parte sustancialmente rígida, normalmente del elemento cobre (Cu) u otros metales tales como níquel (Ni), aluminio (Al), etc., con alto punto de fusión y un "sombbrero" de esfera de soldadura creado sobre el elemento rígido. El sombrero de esfera de soldadura tiene inicialmente, durante el procedimiento de fabricación, una forma semiesférica y normalmente está realizado en uno de entre: estaño (Sn), plomo-estaño (PbSn), bismuto-estaño (BiSn), plata-estaño (AgSn) etc. En el dispositivo de formación de imágenes fabricado, el sombrero de esfera de soldadura tiene una forma de sección transversal final de una forma esférica comprimida, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas, y superficies de extremo arqueadas que conectan las superficies superior e inferior. La forma final del sombrero de esfera de soldadura puede ser una estructura de tipo elipsoidal comprimida, comprimida a lo largo de su eje menor, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas, y superficies extremas arqueadas que conectan las superficies superior e inferior.

Durante el procedimiento de unión, la temperatura usada es de  $70^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$  y el sombrero de soldadura está en un estado de reflujo o casi de reflujo y es aplastado, tal como sería aplastada una esfera ordinaria, encontrada en la técnica anterior. Sin embargo, el elemento de cobre (en la forma de poste típicamente cilíndrico u otro tipo/forma de poste) permanece rígido y actúa como un poste que no permitirá que los dos sustratos, es decir, el detector y la lectura, se acerquen más que la altura del poste. De esta manera, el dispositivo de formación de imágenes, semiconductor, de conversión directa, tiene una altura después de la unión bien definida, los sombreros de soldadura no están cortocircuitados entre sí o con los píxeles de lectura y puede fabricarse de manera fiable incluso para los tamaños de píxel más pequeños, es decir, para píxeles de menos de sesenta micrómetros ( $< 60 \mu\text{m}$ ), incluso menos de treinta y cinco micrómetros ( $< 35 \mu\text{m}$ ) e incluso menores o iguales a veinticinco micrómetros ( $\leq 25 \mu\text{m}$ ).

En el presente documento, el término unión mediante esferas con poste de cu se refiere a una unión mediante esfera que tiene al menos una parte de cobre que tiene la forma general de un poste, por ejemplo, aproximadamente un cilindro de cobre. La relación de aspecto del poste es tal que, por ejemplo, una altura del poste es mayor que su anchura general. Sin embargo, según se considere necesario en una aplicación, la relación de aspecto puede ser también tal que la altura sea la misma o menor que su anchura general. Aquí, la altura se refiere a la dirección desde el primer elemento unido al segundo elemento y la anchura es una dimensión perpendicular a la altura. En las Figuras 1-5, la altura es desde el elemento 101 al elemento 102. En la Figura 4, la altura es co-direccional con las flechas 310 y 340, y hay al menos una anchura co-direccional con las flechas 320 y 330.

### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 presenta una estructura de esfera sobre un sustrato de lectura.

La Figura 2 muestra un dispositivo de formación de imágenes con la esfera de píxel detector unida al píxel de lectura, ejemplificando los posibles problemas de cortocircuito con la tecnología de unión mediante esfera actual.

La Figura 3 muestra un poste con un sombrero de soldadura sobre un píxel de lectura según una realización de la presente invención y unido a un sustrato detector

La Figura 4 muestra un dispositivo de formación de imágenes según una realización de la presente invención.

5 La Figura 5 muestra un dispositivo de formación de imágenes según una realización de la presente invención, en cuya realización la altura después de la unión es mínima pero todavía mayor que la altura del poste (y sin cortocircuitos).

**Modos para llevar a cabo la invención**

10 Con referencia a la Figura 1, en la misma se muestra un dispositivo de formación de imágenes, que puede ser fabricado usando tecnología conocida anteriormente, en el que un píxel 101 de CMOS está unido media esfera al píxel 102 detector correspondiente por medio de una esfera 406. Una esfera 406 se observa sobre un píxel 101 de lectura de semiconductores (por ejemplo, un CMOS). La esfera 406 tiene forma esférica. Debajo de la esfera, se han depositado una o más capas de metal de siembra. Típicamente, las capas de siembra se crean sobre la oblea 101 de lectura de CMOS mediante una técnica de pulverización catódica o de evaporación. Dicho dispositivo de formación de imágenes unido mediante esfera se muestra en la Figura 1 y en la Tabla 1, todos los elementos se describen con números similares en la tabla siguiente, indicando también el espesor medio:

15

Nombre	Número	Material	Espesor (µm) (promedio ejemplar)
Área de metalización de detector	401	Pt (Platino)	0,050
UBM 1	402	Au (Oro)	0,030
UBM 2	403	Ni (Níquel)	0,050
UBM 3	404	Au (Oro)	0,080
Pasivación de detector	405	AlN (Nitruro de aluminio)	0,150
Esfera de soldadura	406	SnBi (Bismuto-estaño)	10,000
Pedestal de esfera	407	Ni (Níquel)	1,600
Masa siembra esfera	408	Cu (Cobre)	0,500
Adhesión siembra esfera	409	TiW (Titanio-tungsteno)	0,040
Pasivación CMOS	410	SiO2 (Óxido de silicio)	0,800
Área de metalización CMOS	411	Al (aluminio)	1,200

Tabla 1

20 No es necesario que la esfera 406 sea sólo SnBi, si no que puede estar compuesta por otros tipos de soldaduras tales como: PbSn, BiPbSn, AgSn, In u otros tipos de soldadura. La composición de la esfera 406 es importante en vista del procedimiento de unión. Durante el procedimiento de unión, el sustrato de lectura de CMOS y los sustratos de detector se calientan, a continuación, se giran y se unen entre sí según un perfil térmico-de compresión que define la rampa de temperatura y la presión como una función del tiempo. En algunos casos, la esfera está en un estado de reflujo durante la unión y en algunos otros casos la esfera está simplemente ablandada y comprimida (por ejemplo, con In). En la formación de imágenes por radiación, los tamaños de píxel están comprendidos típicamente en el intervalo de pocos micrómetros y hasta un milímetro. El tamaño de píxel de los dispositivos de formación de imágenes de rayos X en los que se aplica la técnica de unión por conexión invertida está comprendida, en la mayoría de los casos, en el intervalo de 60 µm a 400 µm y más frecuentemente el tamaño de píxel está comprendido en el intervalo de 75 µm a 120 µm. Las esferas en la técnica anterior de los dispositivos de formación de imágenes de rayos X unidos mediante esferas son aproximadamente de forma esférica o de forma elipsoide y con tamaños comprendidos típicamente en el intervalo de 20 µm (de diámetro) a 50 µm (de diámetro). Por lo tanto, la distancia antes de la unión entre el sustrato de lectura CMOS y el detector es del orden del tamaño de la esfera, es decir, entre 20 µm y 50 µm.

30

La Figura 2 muestra un resultado final del procedimiento de unión con la esfera de la Figura 1 en un caso problemático. Las esferas 406 han sido deformadas y la distancia entre el sustrato de lectura y el sustrato detector (altura 210 después de la unión) es menor o mucho menor que la altura de la esfera original. Por ejemplo, para una altura de esfera de 25  $\mu\text{m}$  la altura después de la unión, es decir, la distancia entre el sustrato 101 de CMOS y el sustrato 102 detector es típicamente de 10  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ . Simultáneamente, las esferas 406 han adquirido una forma elipsoide o asimétrica y se extienden lateralmente acercándose a o superando el borde de la esfera en el siguiente píxel. Incluso peor, puede ocurrir "exceso de impregnación" durante el reflujo de unión y las esferas en el lado 101 de CMOS, fluyen unas hacia las otras y crean cortocircuitos, tal como se muestra en la Figura 2. Esto puede no ocurrir o puede no ser un problema realmente cuando el tamaño de píxel (o el paso entre los píxeles) es del orden de 100  $\mu\text{m}$  o mayor (distancia 200 de centro a centro entre las esferas), ya que hay suficiente distancia para separar las esferas, incluso después de que sean aplastadas. Sin embargo, para tamaños de píxel pequeños, es decir, para píxeles menores de 60  $\mu\text{m}$  (es decir, significa efectivamente que la distancia 200 de centro a centro entre las esferas) o incluso peor para píxeles de menos de 35  $\mu\text{m}$ , no hay una separación suficiente o difícilmente hay una separación suficiente entre las esferas, después de la unión. Como ejemplo, considérese un tamaño de píxel de 25  $\mu\text{m}$ , que es típico en los sensores de obtención de imágenes de rayos X intraorales. Con dicho tamaño de píxel, el diámetro de la esfera tendría que ser necesariamente de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ . Esto significaría que la separación 200 de esfera a esfera sería de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ . Después de la unión, la altura 210 después de la unión entre el detector 102 y la lectura 101 de CMOS sería de entre 5  $\mu\text{m}$  y no más de 10  $\mu\text{m}$ , mientras que las esferas aplastadas se extenderían lateralmente y en muchos casos la separación 200 se eliminaría en el lado CMOS (tal como se muestra en la Figura 2) o en el lado del detector (no mostrado) y el dispositivo de formación de imágenes tendría conexiones de esferas cortocircuitadas. Esto resulta en una pérdida de resolución y problemas de fiabilidad.

Otra consideración importante es que la altura 210 después de la unión está relacionada con la capacitancia del nodo de entrada de los píxeles CMOS de lectura. Es deseable una mayor separación 210 entre el detector y la lectura ya que reduce la capacitancia del nodo de entrada, lo que significa una mejor señal. Tal como se conoce bien, la capacitancia del nodo de entrada y la ganancia están relacionadas " $V = Q/C$ ", donde ( $V$ ) es la amplitud de ganancia para una carga ( $Q$ ) generada en el interior del sustrato detector en respuesta a una radiación incidente, con una capacitancia ( $C$ ) del nodo de entrada. Con las técnicas de esferas y de unión tradicionales, no se controla la altura después de la unión y en realidad puede ser bastante pequeña para tamaños de píxel pequeños. Especialmente en un área de 3 cm x 4 cm o 2 cm x 3 cm, que es típica en sensores de formación de imágenes de rayos X intraorales, la altura después de la unión variará entre 5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  como resultado de inexactitudes en el paralelismo entre los dos sustratos. Por lo tanto, la capacitancia del nodo de entrada variará a lo largo del dispositivo de formación de imágenes, lo que constituye otro inconveniente además del riesgo de que los píxeles se cortocircuiten entre sí.

Finalmente, un intento de controlar la altura 210 después de la unión dentro del intervalo de 5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ , lleva a la fabricación cerca de los límites (la precisión) de los equipos de unión disponibles. Con referencia a la Figura 3, en la misma se ilustra una realización de la invención. Un sustrato semiconductor de lectura, de tipo circuito integrado específico de aplicación (Application Specific Integrated Circuit, ASIC), preferiblemente un CMOS 101, es unido mediante esfera a un sustrato 102 detector de conversión directa por medio de una esfera con poste de cu que comprende una pata 8 de esfera rígida y un sombrero 6 de esfera de soldadura posicionado sobre la pata 8, preferiblemente creada sobre la oblea CMOS antes del corte. De esta manera, las patas 8 de esfera forman las partes rígidas de la unión mediante esfera en estas realizaciones. Normalmente, las obleas 101 CMOS se fabrican con un área 12 de metalización ("pad") de Al circular (con diámetro "j") en la entrada del píxel de lectura. En la parte superior del área 12 de metalización de Al, el fabricante de CMOS habrá depositado normalmente una capa 11 de pasivación de  $\text{SiO}_2$ . La pasivación 11, tiene aberturas al área 12 de metalización de Al, en el que dicha abertura tiene un diámetro "g". En una realización, los siguientes metales de siembra se depositan sobre la capa 12 de Al: capa 10 de adhesión de siembra de esfera Ti ("TiW Bump Seed Adhesion") con diámetro interior "h" y diámetro exterior "i", metal 9 de material de siembra de esfera de Cu ("Cu Bump Seed Bulk" con diámetro "i". Estos metales de siembra se depositan típicamente usando una técnica de pulverización catódica. Después de estos metales de siembra, se crea un poste 8 de Cu (pata de esfera) usando electrodeposición en la realización de la Figura 3. Esto puede hacerse, por ejemplo, de manera que los postes sean creados en las aberturas en una capa de fotorresistencia proporcionada sobre la superficie de la oblea, tal como se conoce en la técnica. Después del poste 8 de Cu, la realización deposita una capa 7 de pedestal de esfera de Ni ("Ni Bump Pedestal") con diámetro "b", también con electrodeposición. Después de la capa 7 de Ni, se deposita el sombrero 6 de esfera de soldadura. El sombrero 6 de esfera de soldadura es preferiblemente Sn, pero puede ser también BiSn, PbSn, BiPbSn, AgSn u otros tipos de soldadura. Tal como se muestra en las Figuras 3-4, el sombrero de esfera de soldadura tiene una forma de sección transversal final de una forma esférica comprimida, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas y superficies de extremo arqueadas que conectan las superficies superior e inferior.

El material 102 detector para convertir directamente la radiación de rayos X entrante en pares electrón-hueco es preferiblemente un Si con ausencia total de portadores móviles, de espesor comprendido entre 0,5 mm y 2 mm. De manera alternativa, el material detector puede ser CdTe o CdZnTe o GaAs. En la realización preferida de la presente invención, el detector es, tal como se ha indicado, Si, en forma de cristal único. El detector de Si con ausencia total de

portadores móviles, de cristal único, tiene el beneficio de uniformidad y planaridad extremas y puede ser fabricado usando equipos que trabajan a nivel de oblea de la industria de semiconductores convencional. Como resultado, pueden conseguirse tamaños de píxel muy pequeños. Por ejemplo, en la realización preferida de la presente invención, un sensor de formación de imágenes de rayos X intraoral comprende un detector de Si con ausencia total de portadores móviles de espesor comprendido entre 0,5 mm y 2,0 mm, con un tamaño de píxel de 25  $\mu\text{m}$  o incluso menor, por ejemplo, de 5  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$  de tamaño de píxel, tal como de 10  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$ .

Siempre con referencia a la Figura 3, el píxel 102 del detector de Si es recibido desde la fábrica con un área 1 de metalización de detector de Al de diámetro "a". A través de esta área de metalización, la señal desde la conversión directa de rayos X en pares electrón-hueco es recogida (bajo la influencia de un campo eléctrico). En la parte superior, hay una capa 2 de pasivación de detector que es más frecuentemente  $\text{SiO}_2$  y con una abertura "f". Según la realización, a continuación, se deposita una capa 3 de adhesión de metalización bajo esfera ("Under Bump Metalization", UBM), que es preferiblemente TiW con un diámetro exterior "e" y un diámetro interior "f". A continuación, se deposita la capa 4 de material UBM con diámetro "d", que es preferiblemente Ni y, a continuación, un área de metalización de soldadura UBM que es preferiblemente Au con diámetro "c".

La matriz 101 de píxeles de lectura de CMOS tiene las esferas con postes de cu descritas anteriormente y, a continuación, se voltea y se une a la matriz de detectores de Si con un número correspondiente de píxeles 102 detectores, tal como se muestra en la Figura 3. La Tabla 2 a continuación especifica valores ejemplares de las dimensiones y las relaciones de aspecto descritas anteriormente que los presentes inventores han encontrado que son óptimas para conseguir una distancia de píxel a píxel de 25  $\mu\text{m}$ . En otras palabras, los valores de la Tabla 2 han sido optimizados para conseguir un tamaño de píxel de 25  $\mu\text{m}$  en un sensor de formación de imágenes de rayos X de Si intraoral. Sin embargo, pueden usarse también otros intervalos de parámetros según las realizaciones. Además, los intervalos óptimos pueden diferir de una aplicación a otra y cuando el tamaño de píxel es diferente.

Nombre	Número	Material	Espesor ( $\mu\text{m}$ ) REALIZACIÓN EJEMPLAR PREFERIDA
Área de metalización de detector	1	Al	1,200
Pasivación de detector	2	$\text{SiO}_2$	0,800
Adhesión UBM	3	TiW	0,040
Material UBM	4	Ni	0,340
Área de metalización soldadura UBM	5	Au	0,100
Esfera de soldadura	6	Sn	6,500 (de 4 a 7)
Pedestal de esfera	7	Ni	1,600 (de 1 a 2)
Pata de esfera	8	Cu	8,000 (de 5 a 12)
Material siembra esfera	9	Cu	0,300
Adhesión siembra esfera	10	TiW	0,015
Pasivación ASIC/CMOS	11	$\text{SiO}_2$	0,800
Área de metalización ASIC/CMOS	12	Al	1,200

Nombre	Letra	Material	Anchura ( $\mu\text{m}$ ) REALIZACIÓN EJEMPLAR PREFERIDA
Área de metalización de detector	a	Al	15,000 (de 13 a 17)
Pedestal de detector	b	Ni	13,000 (de 12 a 16)

(Cont.)

Área de metalización soldadura UBM	c	Au	14,000 (de 13 a 17)
Material UBM	d	Ni	13,000 (de 12 a 16)
Adhesión UBM	e	TiW	12,000 (de 10 a 14)
Abertura UBM	f	-	6,000 (de 4 a 8)
Abertura ASIC/CMOS	g	-	6,000 (de 4 a 8)
Adhesión siembra esfera	h	TiW	10,000 (de 7 a 13)
Pata de esfera	i	Cu	10,400 (de 7 a 13)
Área de metalización ASIC/CMOS	j	Al	15,000 (de 12 a 18)
	k	-	-
	l	-	-

Tabla 2

Según otra realización, las dimensiones están comprendidas en el intervalo del 20% al 150% de los valores nominales indicados en la Tabla 2. En otra realización, las dimensiones están comprendidas en el intervalo del 50% al 125% de los valores indicados en la Tabla 2. En una realización adicional, las dimensiones están comprendidas en el intervalo del 75% al 110% de los valores indicados en la Tabla 2. En todavía otras realizaciones, los intervalos de parámetros indicados anteriormente o sus combinaciones se aplican de otra manera, pero el espesor de la capa de la pata 8 de esfera es de al menos 4  $\mu\text{m}$ , de al menos 5  $\mu\text{m}$  o de al menos 6  $\mu\text{m}$ .

En una realización, la esfera con poste de cu comprende una pata 8 que tiene un espesor (altura) de 5-12  $\mu\text{m}$  y una anchura i de 7-13  $\mu\text{m}$ , y una pluralidad de otras capas con su espesor total de al menos 2  $\mu\text{m}$ , tal como 3-7  $\mu\text{m}$ .

En una realización, la altura total de la unión mediante esfera es mayor que la anchura (i) general de la parte rígida de la unión con esfera.

La Figura 4 muestra esquemáticamente una sección transversal de sensor intraoral de Si de dos píxeles 101 de lectura CMOS unidos mediante esfera por medio de las uniones mediante esfera con postes de cu descritas a sus píxeles 102 detectores de Si correspondientes. La distancia 300 de centro a centro de las esferas con postes de cu es de 25  $\mu\text{m}$ , lo que define el paso o el tamaño de píxel. Esta es esencialmente la resolución de la imagen final a ser mostrada. Se muestra también la distancia entre los postes 320, así como la distancia 330 entre los sombreros 6 de soldadura. La altura 310 después de la unión en la Figura 4 es esencialmente la suma de la pata 8 de poste más el sombrero 6 de soldadura más el pedestal 7 de esfera, es decir, en la realización ejemplificada y con referencia a la Tabla 2, la altura después de la unión es del orden  $8+6,5+1,6 = 16,1 \mu\text{m}$ , reducida en la cantidad en la que los sombreros 6 de soldadura han sido aplastados. Por lo tanto, en la práctica, la altura 310 después de la unión está comprendida entre 10  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ . Esta distancia es suficiente para mantener la capacitancia del nodo de entrada razonablemente baja. Las realizaciones actuales implementan uniones mediante esferas con postes de cu en dispositivos de formación de imágenes de rayos X y esto es particularmente beneficioso cuando la distancia 300 entre centros entre las uniones es de 75  $\mu\text{m}$  o menor, mientras que simultáneamente la altura 310 después de la unión se mantiene en 5  $\mu\text{m}$  o más. Preferiblemente, la distancia 300 de centro a centro entre las uniones es de 55  $\mu\text{m}$  o menos, mientras que simultáneamente la altura 310 después de la unión se mantiene en 8  $\mu\text{m}$  o más. De manera todavía más preferible, la distancia 300 de centro a centro entre las uniones es de 25  $\mu\text{m}$  o menos, mientras simultáneamente la altura 310 después de la unión se mantiene en 8  $\mu\text{m}$  o más.

La Figura 5 muestra, de manera esquemática, el evento del efecto de la presión extrema que puede ser aplicada durante la unión mediante esfera. La forma final del sombrero de esfera de soldadura es una estructura de tipo elipsoidal comprimida, comprimida a lo largo de su eje menor, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas, y superficies de extremo arqueadas que conectan las superficies superior e inferior. Tal como puede observarse, los sombreros 6 de esfera de soldadura han sido severamente deformados, pero todavía hay un espacio 330 suficiente entre los mismos. En otras palabras, se ha evitado el cortocircuito de los píxeles, a diferencia de la situación del dispositivo de formación de imágenes de rayos X unido mediante esferas, convencional, mostrado en la Figura 2. Puede observarse también que el poste 8 y el pedestal 7 de esfera de soldadura permanecen esencialmente intactos (rígidos), independientemente del hecho de que el sombrero de soldadura haya sufrido una deformación severa como resultado de

la unión mediante esfera. En otras palabras, con estas realizaciones, es posible controlar de manera fiable la altura 310 después de la unión. El límite inferior de la altura después de la unión es la altura de la pata 8 de poste más el pedestal 7 de esfera, es decir,  $8+1,6 = 9,6 \mu\text{m}$  en este ejemplo. Esta característica de una altura después de la unión "garantizada" es beneficiosa para los sensores de Si de unión mediante esferas intraorales ya que el sustrato 102 detector y el sustrato 101 de lectura tienen un área muy grande. Específicamente, con las realizaciones descritas, los sustratos de 1 cm x 2 cm y hasta 5 cm x 5 cm pueden ser unidos de manera fiable con tamaños de píxel (paso entre píxeles) que son de  $55 \mu\text{m}$  o menores, de  $35 \mu\text{m}$  o menores, de  $25 \mu\text{m}$  o menores e incluso tan pequeños como  $15 \mu\text{m}$ . El dispositivo de formación de imágenes de rayos X de Si con ausencia total de portadores móviles intraoral es la realización preferida en esta descripción ejemplificada.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de formación de imágenes de rayos X que comprende:

un sustrato detector de conversión directa que tiene píxeles detectores para recoger señales electrónicas generadas en respuesta a una radiación incidente;

5 un sustrato de lectura que tiene píxeles de lectura para recibir dichas señales electrónicas; y

uniones mediante esferas que conectan dichos píxeles detectores y dichos píxeles de lectura,

en el que una distancia (300) de centro a centro entre las uniones mediante esferas es menor de o igual a 25  $\mu\text{m}$ ,

10 en el que las uniones mediante esferas comprenden una pata (8) rígida y un sombrero (6) de esfera de soldadura posicionado sobre la pata de esfera, y en el que la altura después de la unión de la pata (8) de esfera es de 5  $\mu\text{m}$  o más y una altura después de la unión del sombrero (6) de soldadura es menor de 6,5  $\mu\text{m}$ .

2. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 1, en el que:

15 el sustrato detector de conversión directa es un sustrato detector de silicio (Si) con píxeles detectores sobre el mismo, en el que dicho sustrato detector de Si convierte una radiación incidente directamente en una señal electrónica; y

las uniones mediante esferas son uniones mediante esferas rígidas.

3. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 1, en el que la pata de esfera comprende cobre (Cu).

20 4. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-3, en el que el sombrero (6) de esfera de soldadura comprende Estaño (Sn), Bismuto-estaño (BiSn), Plomo-estaño (PbSn) o Plata-estaño (AgSn).

5. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-4, en el que,

25 la pata de esfera es suficientemente rígida de manera que, durante un procedimiento de unión a una temperatura comprendida entre 70°C y 250°C con el sombrero de esfera de soldadura aplastado, la pata de esfera permanezca rígida y mantenga una altura inicial de la pata de esfera.

6. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-5, en el que el sombrero de esfera de soldadura tiene una forma de sección transversal de forma esférica comprimida, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas, y superficies de extremo arqueadas que conectan las superficies superior e inferior.

30 7. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-6, en el que el sombrero de esfera de soldadura tiene una forma de sección transversal de una estructura elipsoidal comprimida, comprimida a lo largo de un eje menor, con superficies superior e inferior que son generalmente planas y paralelas, y superficies de extremo arqueadas que conectan las superficies superior e inferior.

8. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-7, en el que,

35 cada unión mediante esfera comprende un área (12) de metalización o "pad", una capa (11) de pasivación sobre el área (12) de metalización, en el que la capa de pasivación tiene aberturas al área (12) de metalización, en el que dicha abertura tiene un primer diámetro (g), una capa (10) de adhesión de siembra de esfera sobre la capa de pasivación, en el que la capa (10) de adhesión de siembra de esfera tiene un segundo diámetro interior (h) y un tercer diámetro exterior (i), un metal (9) de material de siembra de esfera con un cuarto diámetro (i), en el que la pata (8) rígida está montada en contacto sobre el metal (9) de material de siembra de esfera, una capa (7) de pedestal de esfera con un quinto diámetro (b) en contacto sobre la pata rígida, y el sombrero de esfera de soldadura en contacto sobre la capa (7) de pedestal,

40 una anchura del área (12) de metalización y una anchura de la capa (11) de pasivación son las mismas, y

45 una anchura de la pata (8) de esfera rígida es menor que la anchura del área (12) de metalización y la anchura de la capa (11) de pasivación.

9. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-8, en el que,  
 dicho sustrato de detector de Si comprende, para cada dicha unión rígida, un área (1) de metalización de detector, a través del área de metalización de detector se recoge la señal desde la conversión directa de los rayos X en pares electrón-hueco, una capa (2) de pasivación de detector en contacto sobre el área (1) de metalización de detector, y una capa (3) de adhesión de metalización bajo esfera (Under Bump Metallization, UBM) sobre la capa (2) de pasivación del detector, una capa (4) de metalización de material bajo esfera contra la capa (3) de adhesión de metalización bajo esfera (UBM), y un área (5) de metalización de soldadura que contacta con la capa (4) de metalización de material bajo esfera y el sombrero de esfera de soldadura,  
 en el que el área (5) de metalización de soldadura tiene un sexto diámetro (c), siendo el sexto diámetro (b) mayor que el quinto diámetro (b).
10. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-9, en el que,  
 la altura (310) después de la unión entre las superficies principales opuestas del sustrato detector de silicio y el sustrato de lectura es mayor o igual a 8  $\mu\text{m}$ .
11. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 10, en el que,  
 la altura después de la unión de la pata (8) es de al menos 8  $\mu\text{m}$ , y  
 una altura después de la unión de un pedestal (7) de esfera es de al menos 1,6  $\mu\text{m}$ .
12. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 10, en el que la altura después de la unión de la pata (8) es de 5-6  $\mu\text{m}$ .
13. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 6, en el que,  
 la altura (310) después de la unión entre las superficies principales opuestas del sustrato detector de silicio y el sustrato de lectura está comprendida entre 10  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ , y  
 la altura después de la unión de la pata (8) está comprendida entre 5  $\mu\text{m}$  y 8  $\mu\text{m}$ .
14. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 7, en el que  
 la altura (310) después de la unión entre las superficies principales opuestas del sustrato detector de silicio y el sustrato de lectura está comprendida entre 10  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ , y  
 la altura después de la unión de la pata (8) está comprendida entre 5  $\mu\text{m}$  y 8  $\mu\text{m}$ .
15. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 5, en el que,  
 la altura (310) después de la unión entre las superficies principales opuestas del sustrato detector de silicio y el sustrato de lectura está comprendida entre 10  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ .
16. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-15, en el que,  
 las partes rígidas son patas (8) de esfera con sus alturas de 5-12  $\mu\text{m}$  y anchuras generales (i) de 7-13  $\mu\text{m}$ , y  
 las uniones mediante esferas comprenden una pluralidad de otras capas con su espesor total de al menos 2  $\mu\text{m}$ , tal como de 3-7  $\mu\text{m}$ .
17. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según una de las reivindicaciones 1-16, en el que,  
 la altura de la unión mediante esferas es mayor que la anchura general (i) de la parte rígida de la unión mediante esfera.
18. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 1, en el que las uniones mediante esfera comprenden una capa (7) de pedestal de esfera entre la pata (8) de esfera rígida y el sombrero (6) de esfera de soldadura.
19. Dispositivo de formación de imágenes de rayos X según la reivindicación 18, en el que la capa (7) de pedestal de esfera es más ancha que la pata (8) de esfera rígida.

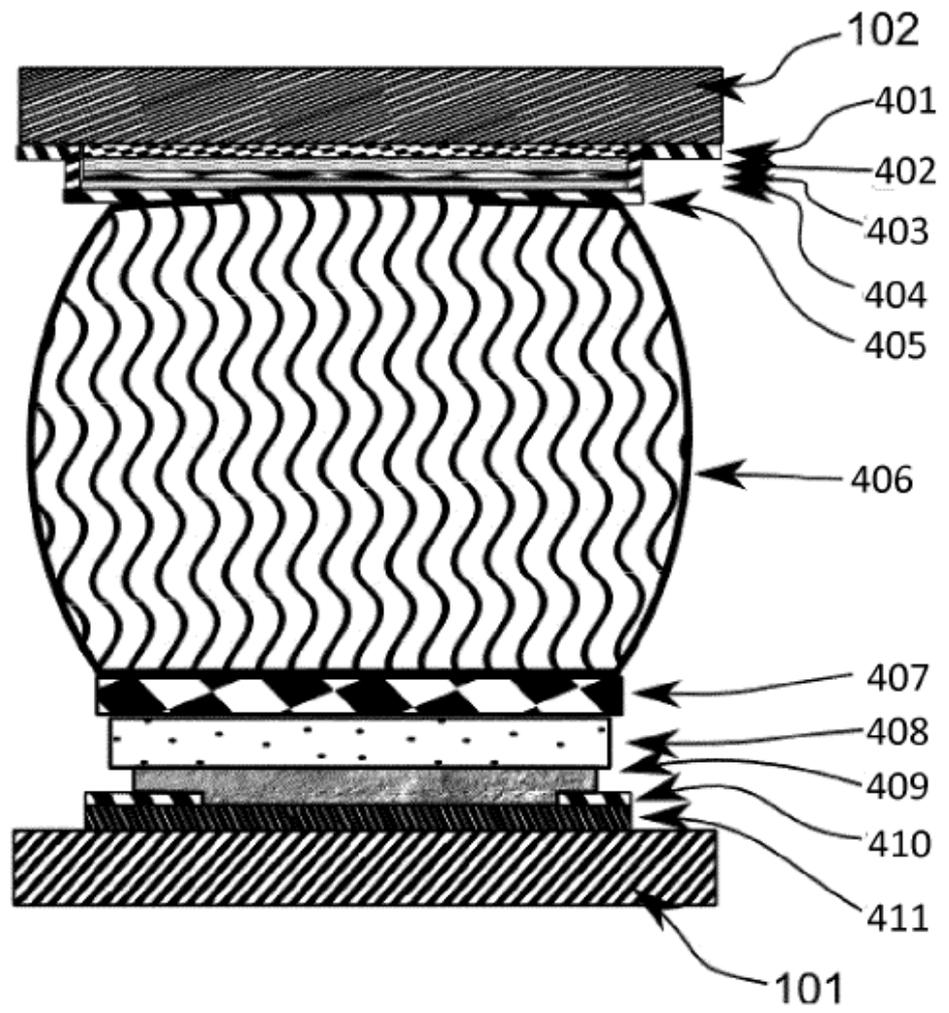


Fig. 1

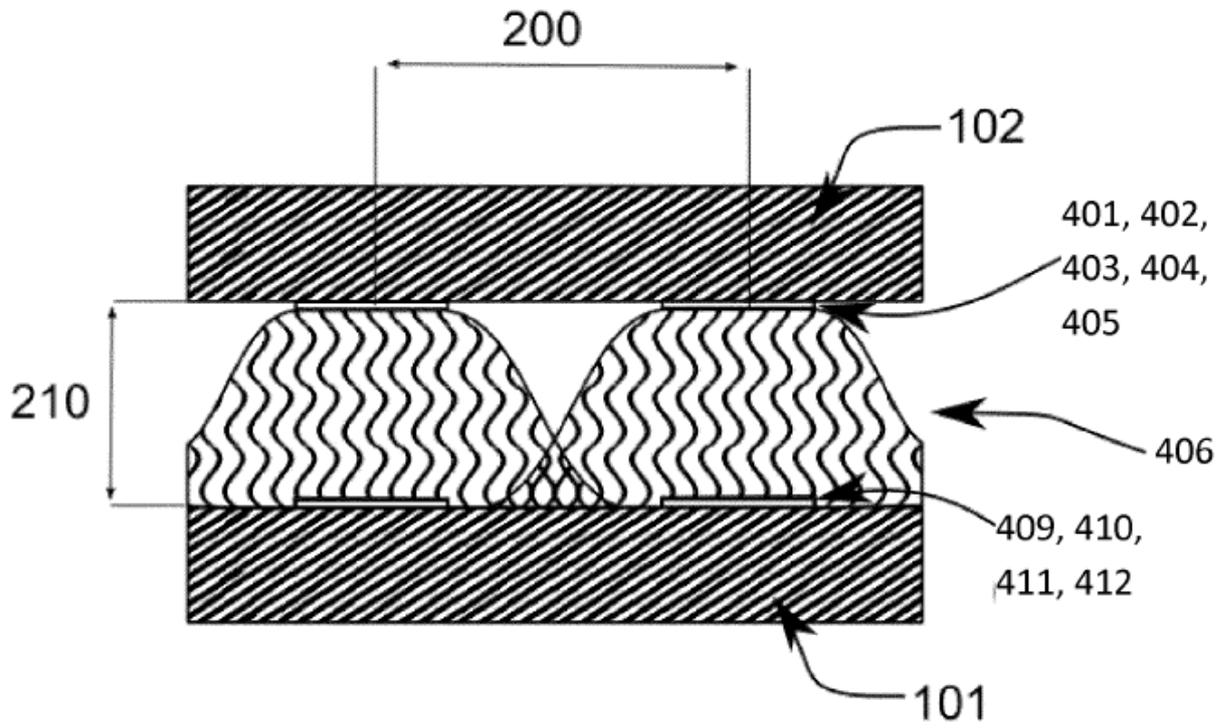


Fig. 2

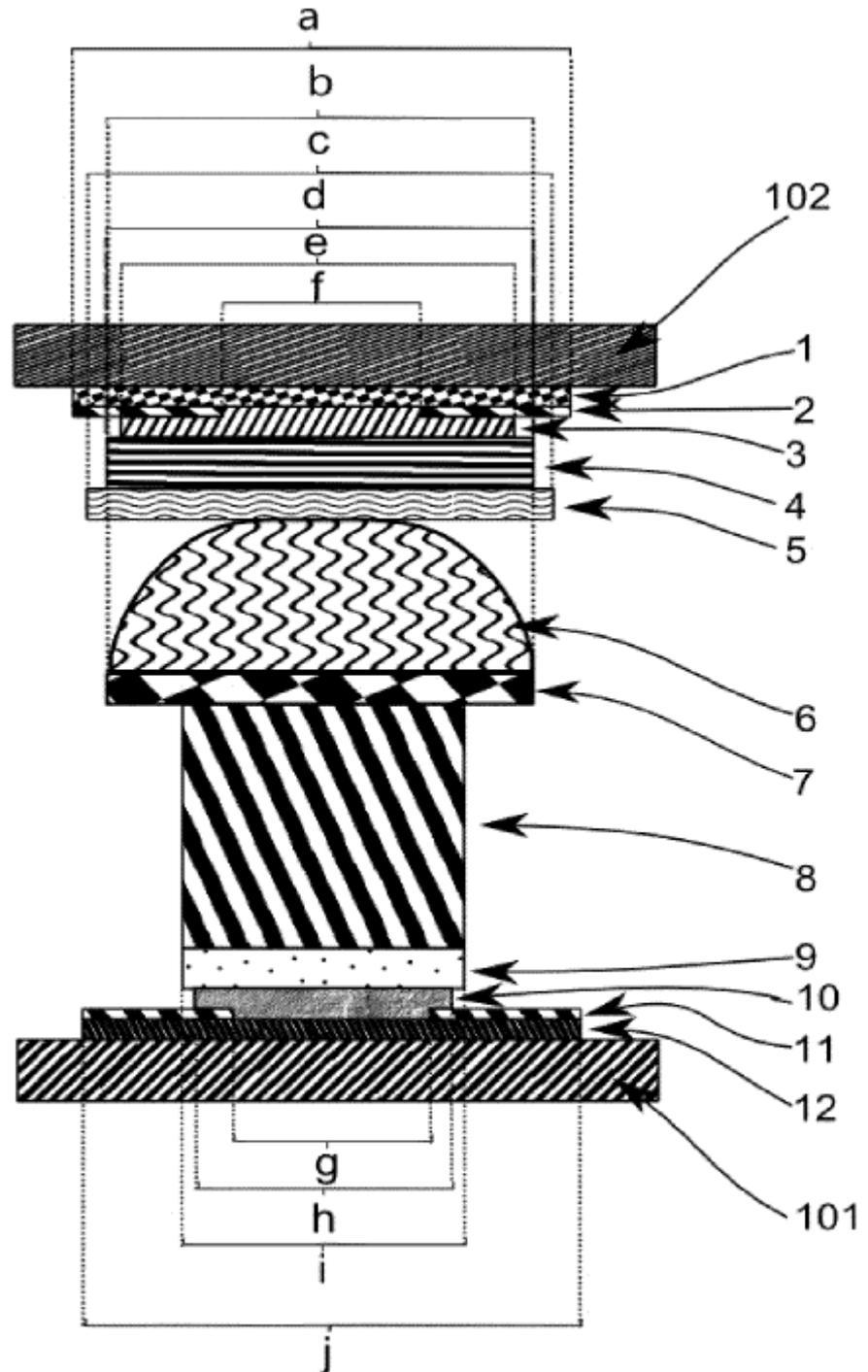


Fig. 3

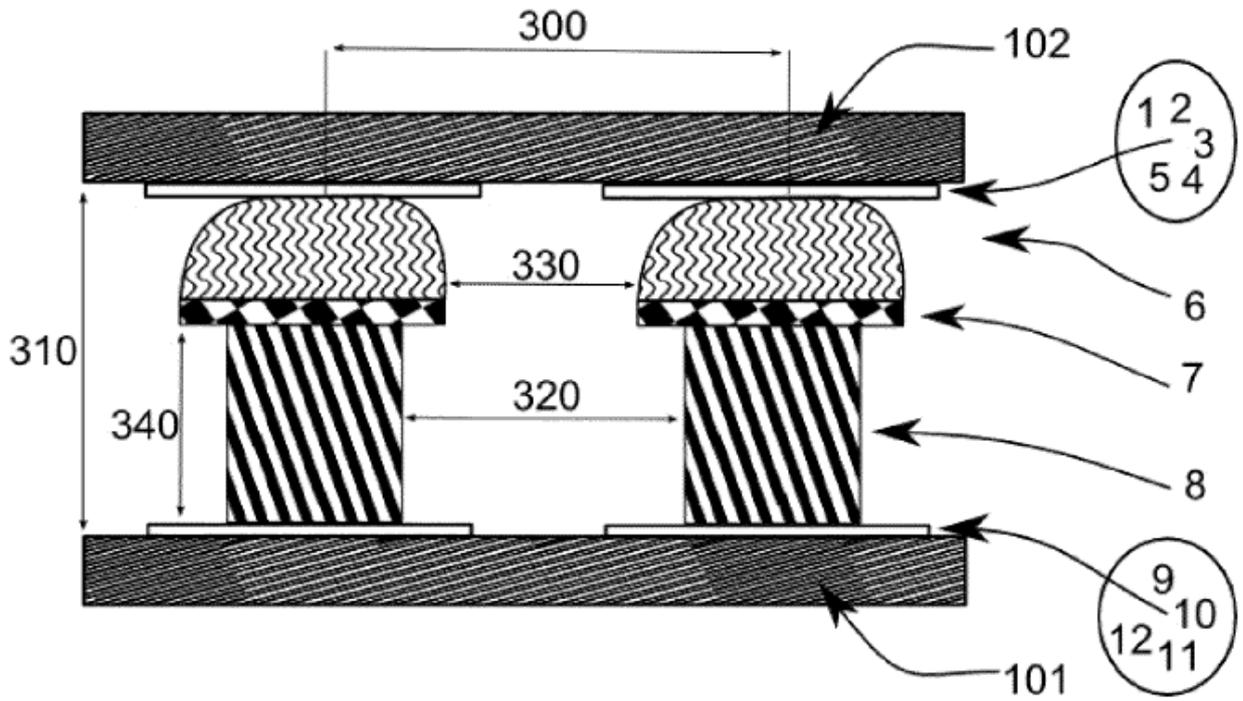


Fig. 4

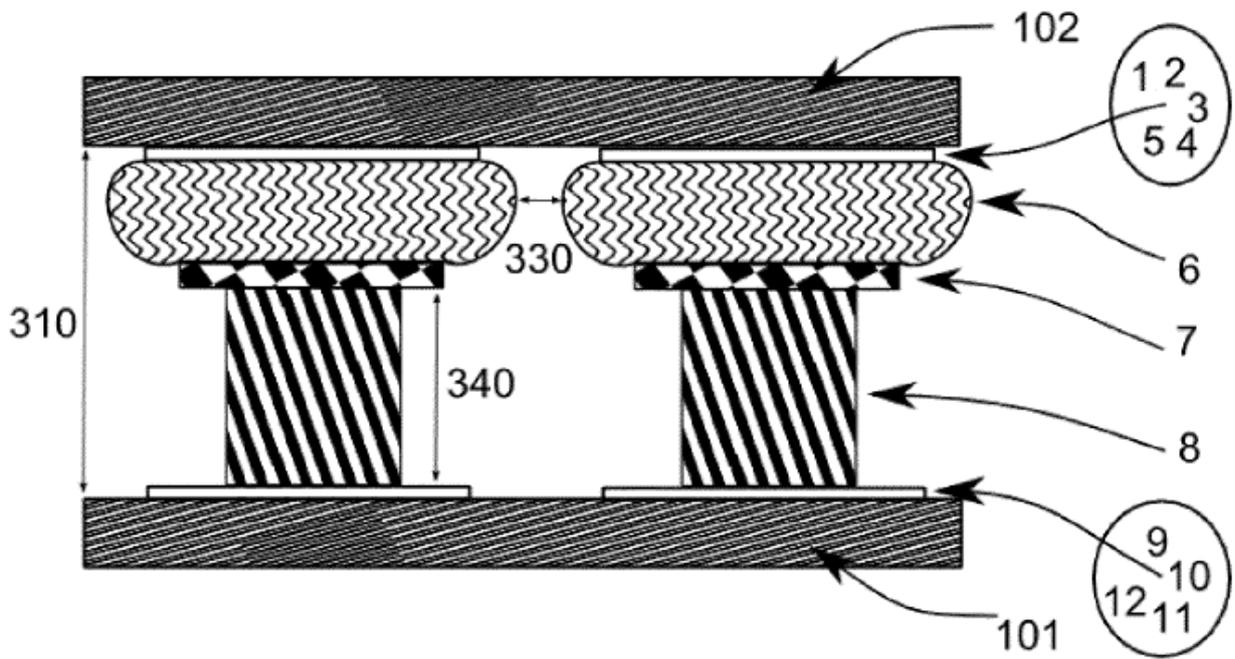


Fig. 5