

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 938**

51 Int. Cl.:

H05K 3/28 (2006.01)

H01L 23/482 (2006.01)

H05K 1/00 (2006.01)

H01L 23/31 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2008 E 12152748 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2013 EP 2469993**

54 Título: **Sistema y procedimiento de recubrimiento de protección ambiental**

30 Prioridad:

07.02.2007 US 888715 P
31.08.2007 US 848891

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.10.2013

73 Titular/es:

RAYTHEON COMPANY (100.0%)
870 Winter Street
Waltham, MA 02451-1449, US

72 Inventor/es:

MOORE, MICHAEL A y
BEDINGER, JOHN M.

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 425 938 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

Sistema y procedimiento de recubrimiento de protección ambiental

Campo técnico de la divulgación

5 La presente divulgación se refiere en general a recubrimientos de protección ambiental y, más en particular, a un sistema de recubrimiento de protección ambiental y al procedimiento para fabricarlo.

Antecedentes de la divulgación

10 Los dispositivos de circuitos con componentes eléctricos que se forman integralmente sobre un sustrato y los conjuntos de placa de circuito que comprenden dispositivos activos y pasivos han gozado de gran aceptación debido a la amplia variedad de usos que pueden proporcionar. Los usos de estos dispositivos de circuito y conjuntos de placa de circuito pueden incluir aplicaciones donde el funcionamiento en un ambiente protegido no está disponible fácilmente, es costoso y/o limita el rendimiento del sistema. Para este tipo de aplicaciones, se pueden emplear técnicas de pasivación tales que el rendimiento eléctrico de los componentes mejora y se pueden proteger los componentes del dispositivo de circuito contra contaminantes nocivos tales como humedad, partículas o impurezas iónicas, tales como las producidas a partir de gases a base de sodio o cloro, elementos o compuestos. Estas técnicas permiten eliminar costosos empaquetados o recintos herméticos y permiten empaquetar las funciones del circuito más próximas, permitiendo así mayores densidades de empaquetado, menores pesos y un rendimiento a mayor frecuencia. Adicionalmente, los conjuntos de placa de circuito que usan metalización de estaño son proclives a la formación de filamentos de estaño que se pueden agravar por la humedad y la tensión de metalización. Los recubrimientos conformados convencionales exclusivamente a base de materiales poliméricos han tenido un éxito limitado.

20 En el documento WO 2005/020343 se divulga un método para el sellado de transistores de película fina que comprende la deposición gaseosa de un material sellante sobre una porción de la capa semiconductor a través de un patrón de una máscara de apertura, un ejemplo de material de capa sellante incluye parileno.

Sumario de la divulgación

25 La presente invención proporciona un conjunto de placa de circuito y un método, como se define en las reivindicaciones anexas. El conjunto de placa de circuito tiene una superficie más externa en la que una pluralidad de componentes eléctricos discretos están acoplados. La primera capa dieléctrica protectora superpone el conjunto de circuito. La segunda capa dieléctrica superpone la primera capa dieléctrica protectora y está hecha de un material con un módulo de elasticidad inferior a 3,5 Giga-Pascales (GPa), una constante dieléctrica inferior a 3,0, una pérdida dieléctrica inferior a 0,008, una absorción de humedad inferior al 0,04 por ciento, una resistencia de voltaje de perforación superior a 2 millones de voltios/centímetro (MV/cm), una estabilidad a temperaturas de 300° Celsius, libre de poros en películas mayores de 50 Angstroms, hidrofóbico con un ángulo de humectación mayor de 45 grados, capaz de ser depositado conformalmente por encima y debajo de estructuras 3D con uniformidad de espesor inferior o igual al 30%.

35 El método generalmente incluye el acoplamiento de un número de componentes eléctricos discretos a una superficie más externa de una placa de circuito y el recubrimiento de la superficie más externa y los componentes eléctricos discretos con una primera capa dieléctrica protectora. Los componentes eléctricos discretos pueden ser acoplados durante la fase de nivel de acoplamiento de producción. La primera capa dieléctrica puede ser un material dieléctrico con una permeabilidad a la humedad inferior de 0,01 gramos/metro/día, una constante dieléctrica inferior a 10, una pérdida dieléctrica inferior a 0.005, una resistencia de voltaje de perforación de más de 8 millones de voltios/centímetro (MV/cm), una resistividad de hoja superior a 10^{15} ohmios-centímetro, capaz de ser depositado conformalmente por encima y por debajo de estructuras 3D con uniformidad de espesor inferior o igual al 30%.

45 En otra realización de la divulgación, una estructura que consiste en un recinto de tapa abovedada ambientalmente sellado con una se coloca localmente por encima de la región del dispositivo activa o pasiva que es sensible a la carga dieléctrica. El recinto localizado permite la utilización de un recubrimiento ambiental relativamente grueso para proporcionar un rendimiento eléctrico mejorado, protección mecánica, y protección ambiental. El recubrimiento ambiental relativamente grueso descrito en la divulgación puede también eliminar o minimizar la existencia de hilos de estaño. El recubrimiento ambiental grueso se puede utilizar independientemente o en conjunción con la tapa para la operación de la placa del circuito a frecuencia más baja donde la carga dieléctrica es una prioridad de segundo orden.

50 Las realizaciones de la divulgación pueden proporcionar numerosas ventajas técnicas. Alguna, ninguna o todas las realizaciones pueden beneficiarse de las ventajas descritas más abajo. De acuerdo a una realización, un sistema de recubrimiento de protección ambiental puede ser provisto de componentes eléctricos discretos u otras características a nivel de conjunto del conjunto de la placa eléctrica durante la fase de producción del nivel de conjunto. Estos componentes eléctricos discretos u otras características a nivel de conjunto pueden producir que el conjunto de la placa de circuito sea susceptible al ataque de humedad, de partículas u otros contaminantes. El sistema de recubrimiento de protección ambiental de la presente divulgación incluye una capa dieléctrica hecha de un material dieléctrico que puede ser aplicado en un espesor relativamente consistente para proteger los componentes eléctricos discretos u otras características a nivel de conjunto de la humedad u otros contaminantes nocivos con relativamente

poco impacto sobre el rendimiento del circuito.

Otras ventajas técnicas serán obvias para un experto en la materia.

Breve descripción de los dibujos

5 Resultará evidente una comprensión más completa de las realizaciones de la divulgación a partir de la descripción detallada, tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista en planta lateral de una realización de un dispositivo de circuito integrado que incorpora un sistema de pasivación de acuerdo con la enseñanzas de la presente divulgación;

10 la figura 2 es un diagrama de flujo que muestra varias acciones que se pueden realizar para fabricar la realización de la figura 1;

la figura 3 es una tabla resumen de diversos ejemplos a nivel de oblea de la presente divulgación;

las figuras 4A a 4D son vista en planta laterales mostradas durante diversas fases de fabricación del dispositivo de circuito de la figura 1 que se pueden fabricar de acuerdo con las enseñanzas de la divulgación;

15 las figuras 5A y 5B son una vista de corte en perspectiva de una realización de un sistema de capa de pasivación para un conjunto de circuito de la presente invención;

la figura 6 es un diagrama de flujo que muestra varias acciones que se pueden realizar para fabricar la realización de las figuras 5A y 5B; y

la figura 7 es una tabla resumen de determinados ejemplos a nivel de conjunto de la presente divulgación; y

la figura 8 es una vista parcial aumentada de un transistor que tiene un sistema de pasivación.

20 Descripción detallada de realizaciones de ejemplo de la divulgación

En referencia a los dibujos, la figura 1 muestra una realización de un dispositivo 10 de circuito construido de acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación. En general, el dispositivo 10 de circuito incluye un sustrato 12 que tiene una superficie 14 de sustrato sobre la que se forma integralmente varios componentes eléctricos 16. El sustrato 12 de la figura 1 puede estar formado por cualquier material semiconductor adecuado para la fabricación de dispositivos 10 de circuito, que puede ser, por ejemplo, silicio (Si), arseniuro de galio (GaAs), nitruro de galio (GaN), germanio (Ge), carburo de silicio (SiC) o fosfuro de indio (InP). Todos estos tipos de materiales se pueden proporcionar en una superficie 14 de forma generalmente plana sobre la que se pueden formar componentes eléctricos 16.

Los componentes eléctricos 16 pueden incluir cualquier componente que se pueda formar sobre la superficie 14 de sustrato que pueden ser, por ejemplo, transistores, capacitores, resistores, inductores y similares. En la realización en particular mostrada, los componentes eléctricos 16 pueden ser varios transistores 16a, un capacitor 16b y un resistor 16c; no obstante, el dispositivo 10 de circuito puede incluir otros tipos de componentes eléctricos sin alejarse de las enseñanzas de la divulgación. En una realización, los transistores 16a pueden ser un dispositivo transistor pseudomórfico de alta movilidad de electrones (pHEMT) que tiene una región de fuente S, una región de puerta G y una región de drenador D, respectivamente. Se ilustra un cruce de ventilación 18a que une las regiones de fuente S de cada uno de los transistores 16a. Se proporciona otro cruce de ventilación 18b para la conexión eléctrica del capacitor 16b. En el presente documento, se puede hacer referencia a los cruces de ventilación 18a y 18b como componentes adicionales 18. Componentes adicionales 18 se puede referir a cualquier componente adecuado superpuesto a los componentes 16 para diversos fines, tales como, entre otros, la conexión eléctrica de los componentes 16, la conducción de calor y/o el refuerzo estructural.

40 Superpuestas a la superficie 14 de sustrato y los componentes eléctricos 16 se encuentran una primera capa dieléctrica protectora 22, una segunda capa dieléctrica protectora 24 y una tercera capa dieléctrica 26. Como se describe en mayor detalle a continuación, se puede hacer funcionar la primera capa dieléctrica protectora 22, la segunda capa dieléctrica protectora 24 y la tercera capa dieléctrica 26, para pasivar el sustrato 12 y los componentes 16 y 18 frente a diversas trampas de carga nocivas y contaminantes tales como humedad, partículas, materiales corrosivos e impurezas iónicas, tales como sodio, potasio o cloro.

Aplicaciones conocidas de dispositivos de circuito han permitido la pasivación de componentes eléctricos frente a contaminantes nocivos usando una capa dieléctrica que se dispone directamente sobre los componentes eléctricos y la superficie de sustrato. Esta capa dieléctrica se puede haber formado de materiales aislantes, tales como nitruro de silicio (Si₃N₄) o dióxido de silicio (SiO₂). No obstante, estos materiales dieléctricos sufren en cuanto a que su capacidad para evitar la degradación por humedad es, en general, menor de lo deseable. Por lo tanto, el uso de material de nitruro de silicio requiere la aplicación de una capa relativamente gruesa para proporcionar una protección adecuada para el dispositivo de circuito en un ambiente no hermético o ambientalmente no protegido. Un problema con este enfoque es

que se logra únicamente una pasivación moderada del conjunto de circuito a pesar del grosor relativamente grande del material. Adicionalmente, el grosor relativamente grande puede afectar negativamente al rendimiento del dispositivo de circuito debido a un aumento de la capacitancia internodal entre regiones activas del dispositivo tales como las regiones de fuente S, de puerta G y de drenador D de los transistores. Adicionalmente, la capa relativamente gruesa de nitruro de silicio u otro dieléctrico convencional da lugar a una tensión elevada que puede inducir formación de grietas, deslaminación y/o defectos piezoeléctricos en el dispositivo o en el dieléctrico que degradan el rendimiento del dispositivo.

Como alternativa a nitruro de silicio grueso para la protección de la humedad, se han aplicado enfoques que utilizan una segunda o una tercera capa de pasivación de un material tal como depósito químico en fase de vapor (CVD) de carburo de silicio o depósito de capas atómicas (ALD) de óxido de aluminio seguidas de una capa de óxido de silicio. El uso de las capas de protección adicionales de carburo de silicio o ALD encima de una primera capa de nitruro de silicio aumenta además la capacitancia internodal más allá de la asociada con el nitruro de silicio subyacentes y, por tanto, degrada el rendimiento del dispositivo. Además, el nitruro de silicio y/o el carburo de silicio todavía pueden sufrir ataques con el tiempo debido a su elevada sensibilidad a la humedad.

También se sabe que la primera capa dieléctrica protectora, 22, puede proporcionar protección de la región de puerta frente a trampas de carga y contaminación que se puede producir en etapas de procesamiento posteriores. En consecuencia, la primera capa dieléctrica protectora 22 se aplica inmediatamente antes y/o inmediatamente después de la fabricación de la puerta. En consecuencia, las etapas de fabricación posteriores tales como la formación de cruces de ventilación 18 y conductores RF y DC o interconexiones pueden dejar líneas metálicas expuestas que pueden ser propensas a los cortocircuitos debido a las partículas, a la corrosión galvánica o electroquímica. En los enfoques propuestos para abordar la posible corrosión de estas líneas metálicas expuestas se ha incluido el depósito químico en fase de vapor de nitruro de silicio o carburo de silicio. Un problema asociado con el procedimiento convencional de depósito químico en fase de vapor puede ser un depósito de línea de mira con respecto a la cobertura dieléctrica. En consecuencia, puede que las regiones por debajo de los cruces de ventilación no se recubran de forma adecuada y, por lo tanto, pueden ser sensibles al ataque corrosivo o a la formación de corrientes de fuga en presencia de humedad. Adicionalmente, puede ser propensa a la degradación por humedad una segunda capa dieléctrica protectora de nitruro de silicio y/o carburo de silicio. El uso de un recubrimiento por depósito de capas atómicas sobre la capa de nitruro de silicio proporcionaría conformalidad en los rasgos de la superficie tridimensional pero, como se destaca anteriormente, también aumentaría la capacitancia internodal y degradaría el rendimiento del dispositivo. Puede que determinadas realizaciones, tales los circuitos de microondas de alto rendimiento y los integrados monolíticos de microondas de onda milimétrica (MMIC), no toleren una reducción significativa del rendimiento de radiofrecuencia (RF).

En una realización de la presente divulgación, se pueden proporcionar capas dieléctricas 22 y 24 que aplican un material impermeable a la humedad mejor que las características protectoras de la humedad de materiales dieléctricos conocidos. En realizaciones particulares, se pueden proporcionar capas dieléctricas protectoras 22 y 24 que aplican un material impermeable a la humedad con mejores características de voltaje de perforación que los materiales dieléctricos conocidos. Es decir, el uso de materiales con características de voltaje de perforación relativamente alto puede permitir la formación de capas dieléctricas protectoras 22 y 24 que son más finas que las usadas convencionalmente para lograr un rendimiento de voltaje de perforación semejante. Dadas estas características, se puede depositar una capa de material dieléctrico que es significativamente más fina que los sistemas de pasivación conocidos sobre los componentes eléctricos 16, los componentes adicionales 18 y la superficie 14 de sustrato para proporcionar la pasivación frente a la humedad y otros contaminantes.

En una realización, la primera capa dieléctrica protectora está fabricada de un material generalmente insoluble frente a la humedad que tiene una permeabilidad a la humedad de menos de 0,01 gramos/metro²/día, una absorción de humedad de menos del 0,04 por ciento, una constante dieléctrica de menos de 10, una pérdida dieléctrica de menos de 0,005, una resistencia de voltaje de perforación mayor de 8 millones de voltios/centímetro y una resistividad de hoja mayor de 10¹⁵ ohmios-centímetro. En una realización en particular, la primera capa dieléctrica protectora 22 puede estar formada de alúmina (Al₂O₃). Se puede depositar la alúmina en una capa relativamente fina. La alúmina también puede poseer características de voltaje de perforación relativamente altas. En otra realización, la primera dieléctrica protectora 22 puede estar formada de otros materiales, tales como nitruro de silicio de alta densidad, óxido de tantalio, óxido de berilio y óxido de hafnio.

En una realización en particular, la primera capa dieléctrica protectora 22 está formada de alúmina y tiene un grosor en el intervalo de 5 nm a 200 nm (50 a 2000 angstrom). En este intervalo de grosor, la primera capa dieléctrica protectora 22 puede proporcionar una protección adecuada del dispositivo 10 de circuito frente a la humedad sin efectos indebidos sobre la capacitancia aparente de los componentes eléctricos 16. En una realización, se puede controlar de forma precisa el grosor de esta capa para mantener un rendimiento reproducible de muchos dispositivos 10 de circuito que se pueden construir de acuerdo con las diversas realizaciones.

Se puede hacer funcionar la segunda capa dieléctrica protectora 24 para pasivar los componentes adicionales 18. La aplicación de una segunda capa dieléctrica protectora 24 permite la pasivación de los componentes adicionales 18 que no había pasivado la primera capa dieléctrica protectora 22. En una realización en particular en la que un componente adicional 18 es un cruce de ventilación, la aplicación de la primera capa dieléctrica protectora 22 antes de la formación

del cruce de ventilación permite un control relativamente conciso del grosor de la primera capa dieléctrica protectora 22 que se puede confinar en la cavidad de aire 20 después de la formación del cruce de ventilación. Adicionalmente, la segunda capa dieléctrica protectora 24 puede proporcionar pasivación a porciones de la primera capa dieléctrica protectora 22 que puede resultar dañada involuntariamente por etapas de procesamiento adicionales, tales como, por ejemplo, aserradura, trazado de surcos o proporción de interconexiones con otros dispositivos.

La segunda capa dieléctrica protectora 24 puede estar hecha del mismo material o materiales dieléctricos que la primera capa dieléctrica protectora 22. En otras realizaciones, la segunda capa dieléctrica protectora 24 puede estar fabricada de cualquier material del que esté fabricada la tercera capa dieléctrica 26 (como se describe a continuación). En una realización, la segunda capa dieléctrica protectora 24 puede tener un grosor en el intervalo de 5 nm a 200 nm (50 a 2000 angstrom). Otras realizaciones particulares se describen en mayor detalle con respecto a la Figura 3.

Aunque la alúmina puede ser impermeable a la humedad, su superficie puede presentar ataque químico en presencia de humedad elevada o humedad baja durante periodos de tiempo prolongados y/o humedad condensada. Por tanto, se puede proporcionar una tercera capa dieléctrica 26. La tercera capa dieléctrica 26 puede estar formada por cualquier material químicamente estable en presencia de alta humedad, humedad prolongada y/o humedad condensada y permeabilidad al vapor. En una realización, la tercera capa dieléctrica 26 puede estar formada por óxido de silicio (SiO₂). En otra realización, la tercera capa dieléctrica 26 puede estar formada de parileno. Parileno C, parileno F (poli-tetrafluoro-p-xilileno), VT-4 fluorado aromático, parileno HT® (marca registrada de Specialty Coating Systems), u otras capas de tipo parileno fluorado pueden retardar el alcance de la humedad de la primera 22 y/o la segunda 24 capas dieléctricas protectoras y ser usadas para la capa 26. Estos materiales pueden presentar mejores características retardantes de la humedad y permanecer funcionalmente estables en un intervalo de temperaturas más amplio que otros tipos de parileno. Estos materiales pueden no desarrollar una tensión pelicular alta debida a la exposición a temperaturas altas. Estos materiales también pueden tener una constante dieléctrica más baja que el dióxido de silicio. En una realización, la tercera capa dieléctrica 26 puede tener un grosor en el intervalo de 10 nm a 100 nm (100 a 1000 angstrom). En lugar de estos materiales de parileno, cualquier material con propiedades como las descritas más abajo para las capas 156 o 158 con respecto a la figura 5 puede también ser usado para la tercera capa dieléctrica 26. Así, la pasivación para un dispositivo 10 de circuito se puede proporcionar mediante una primera capa dieléctrica protectora 22, una segunda capa dieléctrica protectora 24 y una tercera capa dieléctrica 26 opcional. Cada una de estas capas 22, 24 y 26 puede ser lo suficientemente fina para que no afecte negativamente a las características de rendimiento del dispositivo 10 de circuito al mismo tiempo que proporciona una protección adecuada frente a contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos, entre otros la humedad.

La figura 2 representa una serie de acciones que se pueden realizar para fabricar una realización de un dispositivo 10 de circuito de acuerdo con la presente divulgación. En la acción 100, se inicia el procedimiento para proporcionar un sistema de recubrimiento de protección ambiental y eléctrica. En la acción 102, se pueden formar uno o más componentes eléctricos 16 sobre una superficie 14 de sustrato usando técnicas de fabricación de circuitos integrados conocidas. En la acción 104, se puede depositar una primera capa dieléctrica protectora 22 sobre la superficie 14 de sustrato y los componentes eléctricos 16. En una realización, el grosor de la segunda capa dieléctrica protectora 22 puede tener un grosor en el intervalo de 5 nm a 200 nm (50 a 2000 angstrom). La primera capa dieléctrica protectora 22 puede comprender determinados materiales, como se ha descrito anteriormente.

Las acciones 106 a 110 pueden proporcionar un enfoque para formar uno o más componentes adicionales 18 sobre el dispositivo 10 de circuito. En la acción 106, para proporcionar una superficie de contacto para unir los componentes adicionales 18, se pueden retirar por grabado porciones seleccionadas de la primera capa dieléctrica protectora 22 en el dispositivo 10 de circuito. A continuación, en la acción 108, se forman uno o más componentes adicionales 18 sobre estas superficies de contacto. Después, en la acción 110, se puede depositar una segunda capa dieléctrica protectora 24 sobre la primera capa dieléctrica protectora 22 y todos los componentes adicionales 18 que se hayan formado sobre el dispositivo 10 de circuito. En una realización, la segunda capa dieléctrica protectora 24 puede tener un grosor en el intervalo de 50 a 2000 angstrom. Por tanto, el grosor acumulado de la primera 22 y la segunda 24 capas dieléctricas protectoras puede tener un grosor en el intervalo de 10 nm a 400 nm (100 a 4000 angstrom).

En una realización, se puede aplicar en la acción 112 un promotor de la adhesión sobre la segunda capa dieléctrica protectora 24 para mejorar la adhesión de la tercera capa dieléctrica 26 a la segunda capa dieléctrica protectora 24. En una realización, el promotor de la adhesión puede ser una capa de dióxido de silicio usada independientemente o junto con gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano; no obstante, se pueden usar otros promotores de adhesión. Después, en la acción 114, se puede aplicar la tercera capa dieléctrica 26 a la segunda capa dieléctrica protectora 24. En una realización, el grosor de la tercera capa dieléctrica 26 puede estar en el intervalo de 10 nm a 100 nm (100 a 1000 angstrom).

En la acción 116, se ha completado el procedimiento de aplicación de una capa de pasivación y entonces se puede usar el dispositivo 10 de circuito. Las acciones 100 a 116 describen una realización de un procedimiento para la fabricación de un dispositivo 10 de circuito en el que se aplican las capas dieléctricas protectoras 22 y 24 en varias etapas de procesamiento. Usando este enfoque, se puede controlar fácilmente el grosor de la primera capa dieléctrica protectora 22 adyacente a los componentes eléctricos 16 del interior de la cavidad de aire 20. Mediante la aplicación de la primera capa dieléctrica protectora 22 antes de formar componentes adicionales 18, tales como cruces de ventilación, se puede controlar fácilmente el grosor de la primera capa dieléctrica protectora 22 próxima a los

componentes eléctricos 16 usando una variedad de técnicas de depósito conocidas en la industria.

La figura 3 es una tabla que resume diversos ejemplos de 1 a 5 que pueden proporcionar un rendimiento eléctrico potenciado y una protección ambiental potenciada con respecto a otros sistemas de pasivación conocidos. Cada ejemplo de 1 a 5 muestra diversas combinaciones de materiales (p. ej., alúmina, sílice y/o parileno F, VT-4 fluorado aromático, parileno HT® u otras películas de tipo parileno fluorado) que se pueden usar para la primera 22, la segunda 24 y/o la tercera 26 capas dieléctricas.

Como se describe anteriormente con respecto a la figura 1, la primera capa dieléctrica protectora 22 de los ejemplos 1 a 5 puede estar formada de un material generalmente insoluble frente a la humedad que tiene una permeabilidad a la humedad de menos de 0,01 gramos/metro²/día, una absorción de humedad de menos del 0,04 por ciento, una constante dieléctrica de menos de 10, una pérdida dieléctrica de menos de 0,005, una resistencia de voltaje de perforación mayor de 8 millones de voltios/centímetro y una resistividad de hoja mayor de 10¹⁵ ohmios-centímetro. En una realización en particular, la primera capa dieléctrica protectora 22 está formada de alúmina, que tiene una permeabilidad a la humedad relativamente más baja, una movilidad iónica relativamente más baja y características de resistencia de descarga disruptiva relativamente más alta que otros materiales conocidos, tales como nitruro de silicio estándar o dióxido de silicio. La primera capa dieléctrica protectora 22 se puede depositar por una serie de técnicas de depósito, tales como depósito físico en fase de vapor (PVD), depósito químico de fase de vapor (CVD) y depósito de capas atómicas. Se puede usar el depósito a nivel atómico debido a que puede proporcionar un control relativamente preciso del grosor, una conformalidad mejor sobre la superficie 14 de sustrato y los componentes 16 y 18 y la eliminación de daños físicos o inducidos por la radiación durante el depósito eléctrico.

Como se describe anteriormente con respecto a la figura 1, se pueden añadir más capas de protección dieléctrica en función del dispositivo específico y/o el enfoque de empaquetado del conjunto. El grosor de las capas dieléctricas 22, 24 y 26 también puede depender del diseño del dispositivo, la frecuencia de funcionamiento y los requisitos de rendimiento. Los ejemplos 1 a 5 mostrados en la figura 3 se pueden adaptar en particular para circuitos integrados de radiofrecuencia (RF) que pueden incluir componentes tales como transistores de efecto de campo (FET), entre otros, dispositivos de transistor pseudomórfico de alta movilidad de electrones (pHEMT) y transistores bipolares tales como transistores bipolares de heterounión (HBT). En general, un grosor dieléctrico relativamente más bajo mejora el rendimiento del dispositivo asociado con los efectos de carga dieléctrica tales como la capacitancia internodal, aumenta la capacitancia por unidad, el área de capacitores integrados y, de este modo, reduce el tamaño de los capacitores. Un grosor dieléctrico relativamente más alto reduce la permeabilidad a la humedad y mejora la protección contra las partículas, los daños inducidos físicamente, las impurezas iónicas y los contaminantes corrosivos, ya sean en forma sólida, líquida o gaseosa. Los grosores de las capas dieléctricas 22, 24 y 26 mostradas en la figura 3 se pueden adaptar para circuitos integrados de radiofrecuencia (RF) donde el control de la capacitancia internodal y el control de los efectos de carga dieléctrica son importantes para el rendimiento del circuito. Se pueden seleccionar otras combinaciones de materiales y grosores de acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación.

El ejemplo 1 de la figura 3 utiliza sólo una primera capa dieléctrica protectora 22 fabricada de alúmina. El ejemplo 1 puede proporcionar un rendimiento eléctrico potenciado debido a la capacitancia internodal mínima de una sola capa dieléctrica, al mismo tiempo que proporciona protección eléctrica, física y ambiental de la región de fuente S, la región de puerta G y la región de drenador D del transistor 16a de la figura 1. El ejemplo 1 también puede proporcionar un rendimiento eléctrico potenciado con respecto a materiales conocidos, tales como nitruro de silicio o dióxido de silicio tanto en ambientes herméticos como no herméticos. Se puede proporcionar un rendimiento potenciado, ya que se puede utilizar un dieléctrico más fino que el nitruro de silicio o el dióxido de silicio convencionales. El ejemplo 1 también puede ser deseable en ambientes donde se proporciona un control parcial de la temperatura y/o la humedad en el sistema, de forma que se proporcionan condiciones que reducen al mínimo o eliminan la condensación de agua sobre los circuitos activos y/o reducen al mínimo o eliminan la exposición a altas temperaturas y humedad de los circuitos activos durante periodos de tiempo prolongados. Se puede lograr esta protección en el sistema por el control de la humidificación a través de deshumidificadores o desecadores.

El ejemplo 2 proporcione una primera 22 y una segunda 24 capas dieléctricas protectoras formadas de alúmina. La segunda capa dieléctrica protectora 24 cubre los componentes adicionales 18 desprotegidos tales como cruces de ventilación y líneas metálicas gruesas, que se pueden formar después de aplicar la primera capa dieléctrica protectora 22. El ejemplo 2 también puede ser deseable en ambientes herméticos o de humedad menos grave donde puede estar presente la protección contra materiales sólidos, líquidos o gaseosos conductores o corrosivos.

El ejemplo 3 y la realización 4 proporcionan una tercera capa dieléctrica 26 que puede estar formada de sílice o parileno F, parileno HT® u otra película de tipo parileno fluorado, como se describe anteriormente. La tercera capa dieléctrica 26 formada de sílice o parileno F, parileno HT® u otras películas de tipo parileno fluorado protege la primera 22 y/o la segunda 24 capas dieléctricas protectoras de la humedad elevada, la humedad prolongada y/o la humedad condensada, que pueden romper la primera 22 y/o la segunda 24 capas dieléctricas protectoras 24 y exponer los componentes 16 y 18 subyacentes. El parileno F o el parileno HT® puede tener una constante dieléctrica más baja que la sílice y, por lo tanto, pueden tener menos impacto sobre el rendimiento eléctrico. El parileno F o el parileno HT®, como la sílice depositada por ALD, se puede depositar en fase de vapor y penetra de forma altamente conformal en los rebajes más pequeños y se puede aplicar con un grosor relativamente uniforme bajo cruces de ventilación y otros componentes adicionales 18 que tienen rebajos de alta proporción de aspecto. La primera 22 y/o la segunda 24 capas

dieléctricas protectoras fabricadas de alúmina también pueden servir como promotor de la adhesión, ya que puede que el parileno F o el parileno HT® no se adhieran bien a muchas superficies, incluso con un promotor de la adhesión. Como se describe anteriormente, se puede aplicar un promotor de la adhesión a la segunda capa dieléctrica protectora 24 antes de depositar la tercera capa dieléctrica 26. El promotor de la adhesión puede ser cualquier material adecuado que potencie la adhesión de la tercera capa dieléctrica 26 y, en una realización en particular, es una capa de dióxido de silicio usada independientemente o junto con gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano. El dióxido de silicio proporciona una superficie ideal para unir promotores de la adhesión tales como gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano y se une bien a la alúmina y al parileno F o parileno HT®.

La realización 5 utiliza parileno F o parileno HT® como la segunda capa dieléctrica protectora 24 de la figura 1. El parileno F o el parileno HT® cubre rasgos adicionales desprotegidos, tales como cruces de ventilación y líneas metálicas gruesas que se pueden formar después de primera capa dieléctrica protectora 22. El parileno F o el parileno HT® también protege la primera capa dieléctrica protectora 22 subyacente de la disolución o el ataque por condensación de humedad. El parileno F o el parileno HT® tienen la ventaja de poseer una constante dieléctrica más baja en comparación con la sílice u otros materiales inorgánicos y más baja que la mayoría de los materiales orgánicos.

Las figuras 4A a 4D son dibujos de la sección transversal mostrada durante diversas fases de fabricación de un dispositivo 40 de circuito de acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación. En general, el dispositivo 40 de circuito es análogo al dispositivo 10 de circuito de la figura 1. En la figura 4A, se muestra un sustrato 42 que tiene una superficie 44 de sustrato con un rebajo de puerta y un metal de puerta aplicado para una serie de dedos 46a de transistor, un fondo de tapa aplicado para un capacitor 46b y un resistor 46c. Anteriormente se ha llevado a cabo el implante de aislante para formar regiones de canal aislado 48 para los transistores 46a y el resistor 46c. Como se describe anteriormente junto con la figura 1, en una realización, los transistores 46a pueden ser transistores pseudomórficos de alta movilidad de electrones (pHEMT). Los componentes eléctricos 46 y el sustrato 42 asociado de la figura 4A se pueden fabricar de acuerdo con la acción 100 de la figura 2.

La figura 4B muestra el dispositivo 40 de circuito de la figura 4A en el que se ha aplicado una primera capa dieléctrica protectora 50 de acuerdo con la acción 102. Como se puede ver, se puede exponer cada componente eléctrico 46 a un depósito en general de línea de mira, permitiendo así un depósito de grosor uniforme de la primera capa dieléctrica protectora 50. Es decir, en general, los accesos a los rasgos de los componentes eléctricos no están impedidos por dispositivos adicionales tales como cruces de ventilación 54.

La figura 4C muestra los resultados de un dispositivo 40 de circuito sobre el que se realizan las acciones de 104 a 108 en el dispositivo 40 de circuito de la figura 3B. Se han creado superficies de contacto 52 retirando por grabado una porción de la primera capa dieléctrica protectora 50 para la unión de componentes adicionales 54 tales como cruces de ventilación. Los cruces de ventilación se pueden usar para establecer una conexión paralela con los dedos 46a de transistor de la fuente y, de este modo, aumentar la potencia de salida y para establecer la conexión con la plaza superior del capacitor 46b.

La figura 4D muestra el dispositivo 40 de circuito de la figura 4C en el que se han aplicado una segunda capa dieléctrica protectora 56 y una tercera capa dieléctrica 58 con el fin de pasivar la superficie 44 de sustrato, los componentes eléctricos 46 y los componentes adicionales 54 de acuerdo con las acciones de 110 a 114. Por tanto, se proporcionan un sistema y un procedimiento mediante los que se puede sellar de forma eficaz un dispositivo 40 de circuito con componentes adicionales 54 de contaminantes nocivos sin sacrificar al mismo tiempo el rendimiento del dispositivo 40 de circuito.

Las figuras 5A y 5B muestran una realización de un conjunto 160 de placa de circuito que se puede pasivar de acuerdo con otra realización de las enseñanzas de la presente divulgación. En general, el conjunto 160 de placa de circuito incluye un dispositivo 140 de circuito y varios componentes eléctricos 164 y 170 discretos que están unidos a una placa 161 de circuito. El conjunto 160 de placa de circuito también puede tener varios rasgos a nivel de conjunto que incluyen trazos 162 de placa e interconexiones 166 por cable que proporcionan interconexión eléctrica entre el dispositivo 140 de circuito y los componentes eléctricos 164 y 170. Sobre el conjunto 160 de placa de circuito hay una segunda capa dieléctrica 156 y una tercera capa dieléctrica protectora 158. El dispositivo 140 de circuito tiene una capa dieléctrica 150 que se aplicó durante la fabricación del dispositivo, antes del montaje sobre la placa de circuito. Como se describirá a continuación, se puede proporcionar pasivación en la producción a nivel de conjunto para la protección del dispositivo 140 de circuito y los componentes eléctricos 164 y 170 del conjunto 160 de placa de circuito aplicando la segunda capa dieléctrica protectora 156 y/o la tercera capa dieléctrica 158 durante la fase de producción a nivel de conjunto.

La placa 161 de circuito puede ser cualquier dispositivo adecuado sobre el que se pueden configurar una serie de componentes eléctricos 164 y 170 discretos. En general, la placa 161 de circuito puede ser un sustrato de estructura rígida o flexible para sujetar componentes eléctricos 164 y 170 discretos en una relación física mutua fija. En una realización, la placa 161 de circuito tiene una superficie exterior 188 de forma generalmente plana sobre la que se pueden unir los componentes eléctricos 164 y 170 discretos y el dispositivo 142 de circuito usando un adhesivo 172, tal como un adhesivo isotrópicamente conductor, o con soldadura. La placa 161 de circuito también puede tener trazos 162 de placa formados de material conductor para interconectar componentes eléctricos 164 y 170 discretos concretos

entre sí y/o con el dispositivo 140 de circuito. El dispositivo 140 de circuito puede ser análogo a los dispositivos 10 y 40 de circuito de la figura 1 y las figuras 4A a 4D, respectivamente.

Componentes eléctricos 164 y 170 discretos se refiere a componentes eléctricos que se fabrican de forma independiente entre sí. Es decir, se puede fabricar cada componente eléctrico 164 o 170 discreto sobre un sustrato de acuerdo con un procedimiento en particular que puede ser diferente del de otros componentes eléctricos discretos configurados sobre el conjunto 160 de placa de circuito. Los ejemplos de componentes eléctricos discretos incluyen, pero sin limitación, resistores, capacitores, inductores, diodos, transistores y similares.

El dispositivo 140 de circuito y los componentes eléctricos 164 y 170 discretos se pueden acoplar eléctricamente juntos sobre la placa 161 de circuito usando trazos 162 de placa y/o interconexiones 166 para producir cualquier efecto deseable. El dispositivo 140 de circuito y los componentes eléctricos 164 y 170 discretos se pueden configurar sobre la placa 161 de circuito durante la fase de producción a nivel de conjunto. El dispositivo 140 de circuito se puede recubrir con una primera 150 y/o segunda 156 capas dieléctricas protectoras como se describe anteriormente con respecto a la primera 22 y/o segunda 24 capas dieléctricas protectoras, respectivamente, de la figura 1.

En muchos casos, pueden ser deseables técnicas de procesamiento adicionales del dispositivo 140 de circuito después de la fabricación a nivel de oblea. Por ejemplo, se puede separar el dispositivo 140 de circuito de la oblea usando sierras u otras herramientas de corte en las que se pueden crear surcos trazados. Se pueden formar interconexiones 166 desde el dispositivo 140 de circuito hasta el componente 164 a nivel de conjunto que pueden ser sensibles a contaminantes nocivos, tales como los descritos anteriormente. Así, la falta de protección dieléctrica en los surcos trazados, los bordes del dispositivo y las interconexiones 166 puede hacer al dispositivo 140 de circuito sensible al ataque de la humedad, partículas u otros contaminantes.

La placa 161 de circuito también puede requerir protección ambiental para que tenga un rendimiento fiable en un recinto no hermético y/o uno donde no se puedan controlar de forma adecuada las partículas físicas. Los sistemas de pasivación conocidos usan una capa relativamente gruesa de parileno C, D o N que puede tener un grosor, por ejemplo, de 10 micrómetros (100.000 angstrom) o ser de mayor grosor. Esta capa de parileno relativamente gruesa puede no ser satisfactoria para circuitos de microondas y de ondas milimétricas, donde la carga dieléctrica puede modificar y/o degradar el rendimiento del circuito. El parileno C, D o N puede no tolerar bien las altas temperaturas. La exposición a altas temperaturas, que puede tener lugar en dispositivos de potencia elevada, puede aumentar la cristalinidad del parileno C, D o N. Los aumentos de la cristalinidad aumentan la tensión en la película de parileno y en la interfaz del parileno con el conjunto 160 de placa de circuito. Estos aumentos de tensión pueden provocar deslaminación del material de parileno, dando lugar a un fallo o degradación del rendimiento.

Una realización de la presente divulgación permite la aplicación de una segunda capa dieléctrica protectora 156 y/o tercera capa dieléctrica 158 a nivel de conjunto en oposición con la fase de producción a nivel de oblea. Combinando el recubrimiento a nivel de oblea con el recubrimiento a nivel de conjunto, se pueden recubrir simultáneamente todos los rasgos a nivel de conjunto, tales como componentes eléctricos 164 y 170 discretos, dispositivo 140 de circuito, trazos 162 de placa, interconexiones 166 metálicas, surcos trazados, bordes de patrón e interconexiones exteriores con el conjunto 160 de placa de circuito, tales como uniones por cable o lazo, y otros componentes del conjunto. Además, el grosor dieléctrico necesario que usan determinadas realizaciones de la presente divulgación puede estar, en muchos casos, dos órdenes de magnitud o más por debajo del de los sistemas de pasivación conocidos que usan recubrimientos de parileno, silicona o uretano. Por tanto, este grosor reducido puede minimizar la degradación del rendimiento del circuito en determinadas realizaciones.

De acuerdo con una realización, se pueden recubrir la segunda 156 y/o la tercera 158 capas dieléctricas protectoras con un material dieléctrico que tiene un módulo de elasticidad de menos 3,5 GigaPascal (GPa), una constante dieléctrica de menos de 2,7, una pérdida dieléctrica de menos de 0,008, una resistencia de voltaje de perforación en exceso de 2 millones de voltios/centímetro (MV/cm), estabilidad térmica hasta 300 grados Celsius, poros libres en películas mayores de 5 nm (50 angstrom), hidrófobo con un ángulo de humectación mayor de 45 grados y que se puede depositar de modo conformacional sobre y bajo estructuras en 3D con una uniformidad de grosor de menos o igual al 30 %. Este material dieléctrico se puede aplicar durante la fase de producción a nivel de conjunto para pasivar frente al ambiente la placa 161 de circuito, los trazos 162 de placa, el dispositivo 140 de circuito, los componentes eléctricos 164 y 170 discretos y los rasgos a nivel de conjunto. Este material dieléctrico se puede aplicar como la segunda capa dieléctrica protectora 156 o la tercera capa dieléctrica 158. En general, el material dieléctrico es químicamente estable con respecto al agua como vapor o líquida, protegiendo por tanto la primera capa dieléctrica protectora 150 y/o la segunda capa dieléctrica protectora 156. El material dieléctrico tiene mejores características retardantes de la humedad y es funcionalmente estable en un intervalo de temperaturas más amplio que otros materiales de pasivación conocidos descritos anteriormente. El material dieléctrico también tiene una constante dieléctrica intrínseca más baja que otros materiales de pasivación conocidos. En una realización, la tercera capa dieléctrica 26 puede tener un grosor en el intervalo de 10 nm a 100 nm (100 a 1000 angstrom). En una realización, el material dieléctrico es parileno F, VT-4 fluorado aromático, parileno HT® o otra película de tipo parileno fluorado.

Los materiales de recubrimiento de la presente realización pueden tolerar temperaturas más altas que los sistemas de pasivación conocidos que usan parileno C, D o N y, por tanto, pueden no degradarse tan rápido con la exposición a temperaturas extremas. La(s) capa(s) dieléctrica(s) adicional(es) a nivel de conjunto también pueden añadir más

protección a las regiones activas del dispositivo. Mediante la selección correcta del grosor de la primera capa dieléctrica protectora 150 aplicada en la producción a nivel de oblea junto con la segunda capa dieléctrica protectora 156 y/o la tercera capa dieléctrica 158 aplicadas en la producción a nivel de conjunto, se puede ajustar la pasivación del conjunto 160 de placa de circuito para adaptarla a muchos tipos de aplicación.

- 5 Adicionalmente, la primera capa dieléctrica protectora 150 formada de alúmina, óxido de tantalio, óxido de berilio, óxido de hafnio o nitruro de silicio de alta densidad, y nanolaminados de estos materiales con dióxido de silicio, mediante los que se ajusta la constante dieléctrica controlando el grosor de las capas nanolaminadas u otro material adecuado de acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación, puede retardar la aparición de filamentos de estaño, que es un problema inherente asociado con el uso de metalización de estaño, especialmente junto con
10 formulaciones de soldadura bajas en plomo. Se ha relacionado la aparición de filamentos de estaño con la presencia de humedad y tensión compresiva en la metalización de estaño.

- La figura 6 ilustra una serie de acciones que se pueden realizar para fabricar una realización de un dispositivo 160 de
15 circuito, mostrado y descritos anteriormente con respecto a la figura 5. En la acción 200, se inicia el procedimiento para proporcionar un sistema de recubrimiento de protección ambiental y eléctrica. En la acción 202, se pueden formar uno o más componentes eléctricos 146 sobre un sustrato 142 usando técnicas de fabricación de circuitos integrados conocidas. En la acción 204, se pueden depositar la primera 150 y/o la segunda 156 capas dieléctricas protectoras sobre el sustrato 142 y los componentes eléctricos 146. Las acciones 202 y 204 describen acciones que se pueden realizar durante la fase de producción a nivel de oblea.

- Las acciones de 206 a 214 describen acciones que se pueden realizar durante la fase de producción a nivel de
20 conjunto. En la acción 206, se puede unir el dispositivo 142 de circuito a la placa 161 de circuito. En la acción 208, se pueden formar sobre la placa 161 de circuito uno o más componentes eléctricos 164 y/o 170 discretos y/o uno o más rasgos a nivel de conjunto, tales como interconexiones 166. Adicionalmente, se pueden formar otros rasgos de circuito, tales como surcos trazados o bordes de boquilla, sobre el dispositivo 140 de circuito.

- En la acción 210, se pueden depositar una segunda capa dieléctrica protectora 156 y/o tercera capa dieléctrica 158
25 después sobre la primera 150 y/o la segunda 156 capas dieléctricas protectoras, respectivamente, y cualquier componente eléctrico discreto o rasgo a nivel de conjunto que se haya formado sobre el conjunto 160 de placa de circuito. En una realización, la segunda capa dieléctrica protectora 150 o la tercera capa dieléctrica 158 pueden estar fabricadas de un material dieléctrico y, en una realización en particular, pueden ser de parileno F o parileno HT®. En una realización en particular en la que la segunda capa dieléctrica protectora 156 y/o una tercera capa dieléctrica 158
30 está fabricada de parileno F o parileno HT® y está adyacente a una capa subyacente fabricada de alúmina, se puede aplicar un promotor de la adhesión entre la segunda capa dieléctrica protectora 156 y la tercera capa dieléctrica 158. En otra realización, el promotor de la adhesión puede ser una capa de dióxido de silicio usada independientemente o junto con gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano.

- En la acción 212, se ha completado el procedimiento de aplicación de una capa de pasivación y, por tanto, ya se puede
35 usar el conjunto 160 de placa de circuito.

- La figura 7 muestra una serie de ejemplos de 1a a 2c que incluyen diversas combinaciones de primera capa dieléctrica protectora 150, una segunda capa dieléctrica protectora 156 y una tercera capa dieléctrica 158 que se pueden aplicar en la fase de producción a nivel de oblea y a nivel de conjunto. Los ejemplos de 1a a 2c utilizan una primera capa dieléctrica protectora 150 que se forma durante la fase de producción a nivel de oblea. Como se describe
40 anteriormente con respecto a la figura 3, el material y el procedimiento de aplicación de la primera capa dieléctrica protectora 150 son similares a los de los ejemplos de 1 a 5 de la figura 3.

- Los ejemplos 1a, 1b, 1c, 1d, 1e de la figura 7 tienen la segunda capa dieléctrica protectora 156 depositada a nivel de
45 conjunto y, en consecuencia, la segunda capa dieléctrica protectora 156 puede proporcionar protección para rasgos a nivel de conjunto que se añaden o modifican durante la producción a nivel de conjunto. Los ejemplos de rasgos a nivel de conjunto que se pueden añadir o modificar en el nivel de conjunto incluyen procesamiento del sustrato 142, adición de componentes 164 y 170 de placa de circuito y formación de interconexiones 166.

- El ejemplo 1a muestra una segunda capa dieléctrica protectora 156 fabricada de alúmina. La aplicación de la segunda
50 capa dieléctrica protectora 156 a nivel de conjunto puede proporcionar una protección ambiental potenciada en comparación con los dieléctricos orgánicos conocidos y, en consecuencia, puede minimizar los efectos de carga dieléctrica sobre los componentes añadidos a nivel de conjunto. Estos efectos se hacen cada vez más importantes a medida que la frecuencia de funcionamiento aumenta hasta frecuencias de microondas y ondas milimétricas.

- La realización 1b utiliza una segunda capa dieléctrica protectora 156 fabricada de parileno F o parileno HT® sin tercera
55 capa dieléctrica 158. En esta realización en particular, se puede aplicar un promotor de la adhesión antes de la aplicación de la segunda capa dieléctrica protectora 156. La realización 1b puede proporcionar relativamente poco impacto eléctrico en el funcionamiento del conjunto 160 de placa de circuito debido a la baja constante dieléctrica del parileno F o el parileno HT®. El ejemplo 1c utiliza una segunda capa dieléctrica protectora 156 fabricada de sílice sin tercera capa dieléctrica 158.

La realización 1d utiliza una segunda capa dieléctrica protectora 156 de alúmina con una tercera capa dieléctrica 158

fabricada de parileno F o parileno HT®. Como se describe anteriormente, la capa de alúmina proporciona una adhesión relativamente buena al conjunto 160 de y al parileno F o parileno HT®, especialmente cuando se usa junto con un promotor de la adhesión tal como una capa de dióxido de silicio usada independientemente o junto con gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano.

5 Los ejemplos 2a, 2b, 2c tienen una primera capa dieléctrica protectora 150 y una segunda capa dieléctrica protectora 156 aplicadas a nivel de oblea y la tercera capa dieléctrica 158 aplicada en la producción a nivel de conjunto. Determinadas realizaciones que usan este procedimiento pueden proporcionar una ventaja en cuanto que se puede medir eléctricamente los dispositivos a nivel de oblea y sólo se proporcionan patrones buenos conocidos a nivel de conjunto.

10 Otra realización de la presente divulgación incluye una capa inicial relativamente fina de alta densidad (mayor de $2,5 \text{ g/cm}^3$) y/o bajo contenido en hidrógeno (menos del 15 por ciento atómico), películas nitruro de silicio o dióxido de silicio depositadas por técnicas bien conocidas en la industria, incluido el depósito químico en fase de vapor convencional (CVD), técnicas de CVD asistido por plasma de alta densidad, incluido el depósito por CVD asistido por plasma de resonancia ciclotrónica para los electrones (ECR PECVD), CVD potenciado por plasma acoplado por inducción (ICPECVD), depósito químico en fase de vapor de plasma de alta densidad acoplado por inducción (HDICPCVD), pulverización magnetrónica reactiva, depósito químico en fase de vapor con hilo caliente o PECVD usando gases precursores sin hidrógeno. El nitruro de silicio de alta densidad y/o con bajo contenido en hidrógeno pueden tener de forma inherente mayor voltaje de perforación y resistencia a la permeación de agua. La selección de técnicas de depósito químico en fase de vapor convencional o de depósito químico en fase de vapor de plasma de alta densidad se puede basar en la estructura del dispositivo del conjunto de placa de circuito. En la industria se ha desarrollado y caracterizado bien esta capa inicial, fabricada de nitruro de silicio o dióxido de silicio, para reducir las trampas de carga y otros defectos de interfaz superficiales. La primera capa dieléctrica protectora más gruesa depositada sobre la capa inicial de nitruro de silicio o dióxido de silicio proporcionaría el rendimiento mejorado y los beneficios de protección descritos anteriormente. En la figura 8 se ilustra un ejemplo de esta realización.

25 La figura 8 es una vista ampliada que muestra un componente 216 que, en este caso en particular, es un transistor de efecto de campo (FET). El componente 216 tiene una fuente 216s, una puerta 216g y un drenador 216d que están separados entre sí por el espacio de aire 217. Para lograr un rendimiento mejor, se mantiene el espacio de aire 217 mediante el diseño del rebajo de la puerta y la geometría de la puerta junto con la capa dieléctrica protectora 222 y una capa inicial 221 fina de nitruro de silicio. Como se puede observar, los grosores combinados de la primera capa dieléctrica protectora 222 y la capa inicial 221 fina mantienen espacios de aire 17 de forma que se puede reducir la capacitancia internodal C_{gs} y C_{gd} . En una realización en particular, esta capa de pasivación incluye una capa 221 fina de nitruro de silicio en el intervalo de 2,5 nm a 40 nm (25 a 400 angstrom) y una capa 222 de baja permeabilidad de alúmina que tiene un grosor en el intervalo de 50 a 2000 angstrom. La primera capa dieléctrica 222 también puede estar formada de cualquiera de los mismos materiales que la primera capa dieléctrica protectora 22, descrita anteriormente.

30 Se ha demostrado que el nitruro de silicio es un dieléctrico relativamente bueno y bien caracterizado para dispositivos de microondas con respecto a la estabilidad del dispositivo. También se ha demostrado que la alúmina es un dieléctrico relativamente bueno con respecto a la permeabilidad a la humedad y el voltaje de perforación. La combinación de estos dos materiales con el grosor apropiado y las propiedades físicas descritas en la presente divulgación pueden dar lugar a un sistema de pasivación potenciada con respecto a otros sistemas de pasivación conocidos. En una realización, se puede usar una capa fina de nitruro de silicio con un nanolaminado. El nanolaminado puede incluir capas alternas de alúmina y dióxido de silicio, alúmina y parileno F, VT-4 fluorado aromático, parileno HT® u otra película de tipo parileno fluorado, o alúmina y acrílico. En otra realización, el nanolaminado puede incluir capas alternas de alúmina y teflón depositado en fase de vapor (PFTE) y monómeros acrílicos.

45 El nitruro de silicio, el dióxido de silicio y la alúmina tienen constantes dieléctricas bajas, especialmente cuando se depositan en condiciones de temperatura relativamente baja y con depósito de capas atómicas. La constante dieléctrica baja minimiza adicionalmente la capacitancia internodal, los cambios en el rendimiento entre dispositivos recubiertos y no recubiertos y da lugar a la mejora del rendimiento a frecuencias altas.

50 De acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación se pueden sustituir otros materiales por los mostrados en las figuras 1-8. Otros materiales dieléctricos protectores que pueden ser adecuados para estar aplicaciones pueden incluir, pero sin limitación, nitruro de silicio de densidad normal, nitruro de silicio de alta densidad, óxido de tantalio y óxido de berilio, óxido de hafnio.

55 Se pueden lograr más mejora en la protección ambiental a través de la utilización de un recinto localizado, con tapa abovedada montado sobre la placa de circuito. El recinto de tapa abovedada está diseñado para albergar dispositivos activos u otras regiones de la placa de circuito que son sensibles a la carga dieléctrica. Los recubrimientos relativamente finos descritos en el presente documento se pueden aplicar antes o después de unir la tapa a la placa de circuito. Si los recubrimientos se aplican después de unir la tapa abovedada del recinto, se practica un orificio o abertura en la tapa de tamaño suficiente para permitir que los recubrimientos recubran uniformemente los circuitos del interior del recinto con tapa. Posteriormente, se sella la abertura de la tapa. La utilización de adhesivo conductor o soldadura para unir la tapa permite lograr un buen contacto eléctrico desde una tapa metálica a las vías de base

60

5 situadas en la la placa de circuito por debajo de la tapa, mejorando así el aislamiento eléctrico de lo otros canales o regiones del conjunto de placa de circuito. La tapa también proporciona protección mecánica contra los daños por manipulación, partículas, fluidos u otros contaminantes. Después de sellar la tapa, se puede aplicar un recubrimiento ambiental relativamente grueso menos sensible a la pérdida dieléctrica sobre el conjunto de placa de circuito y tapa sin cargar dieléctricamente las regiones sensibles bajo el conjunto de tapa. El recubrimiento relativamente grueso puede ser un material, tal como recubrimientos conformados de placa de circuito convencionales de parileno, silicona o acrílico, un recubrimiento inorgánico o recubrimientos compuestos inorgánicos y orgánicos, como se describe en el presente documento. El uso de un recubrimiento inorgánico o compuesto inorgánico y orgánico relativamente grueso puede ralentizar enormemente la velocidad de penetración de la humedad en el recinto localizado debido a la velocidad sustancialmente más baja de permeación a la humedad a través de los materiales de unión de la placa inorgánica y el recinto con tapa abovedada adhesiva. El material de placa sellado de forma inorgánica y el conjunto de recinto con tapa abovedada permiten someter el conjunto de placa de circuito a entornos con alta humedad o condensación sin condensación de humedad y carga dieléctrica asociada en el interior del recinto. El recubrimiento inorgánico también puede reducir la velocidad de permeación de la humedad en la cavidad delimitada y puede eliminar o minimizar los daños inducidos por la humedad en los circuitos sensibles. Para algunas aplicaciones donde los dispositivos activos son suficientemente resistentes a niveles moderados de humedad y/o donde se controla la humedad a nivel del sistema, puede no ser necesario el recubrimiento del dispositivo a nivel de conjunto.

20 Otro beneficio principal del recubrimiento inorgánico o compuesto inorgánico y orgánico relativamente grueso sobre el conjunto de tarjeta de circuito es la eliminación o mitigación de los filamentos de estaño. Los filamentos de estaño con un problema de fiabilidad principal en la industria que se ha demostrado que disminuye, aunque no desaparece, con recubrimientos conformados a base de polímeros convencionales. La humedad y la tensión compresiva interna inducida sobre placas de circuito de estaño o componentes recubiertos aceleran la aparición de filamentos de estaño que perforan los recubrimientos conformados a base de polímeros u orgánicos convencionales. El uso del recubrimiento inorgánico o compuesto inorgánico y orgánico relativamente grueso reduce sustancialmente la permeación de humedad hasta la superficie de estaño metalizada. El recubrimiento inorgánico o compuesto inorgánico y orgánico también aumenta la resistencia mecánica del recubrimiento frente a la perforación por filamentos de estaño y permite reducir la tensión compresiva de la metalización de estaño a través de la superposición de una componente de tensión de tracción asociada con el recubrimiento inorgánico.

30 Aunque la presente divulgación se ha descrito en varias realizaciones, a un experto en la técnica se le ocurrirán miles de cambios, variaciones, alteraciones, transformaciones y modificaciones, y se pretende que la presente divulgación englobe tales cambios, variaciones, alteraciones, transformaciones y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (160) de placa de circuito que comprende:

una placa (161) de circuito que tiene una superficie exterior; estando la superficie exterior configurada con una pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) que son fabricados independientemente unos de otros.

5 una primera capa dieléctrica protectora (150) superpuesta a la superficie exterior y caracterizada por una segunda capa dieléctrica (158) superponiendo la primera capa dieléctrica protectora (150) y la pluralidad de los componentes eléctricos (164, 170) discretos, la segunda capa dieléctrica (158) comprende un material dieléctrico con un módulo de elasticidad inferior a 3.5 Giga-Pascales(GPa), una constante dieléctrica inferior a 3.0, una pérdida dieléctrica inferior a 0.008, una absorción de humedad inferior a 0.04 por ciento, una resistencia de voltaje de perforación de más de 2 millones de voltios/centímetro (MV/cm), una estabilidad de temperatura a 300° Celsius, libre de poros en películas de más de 50 Angstroms, hidrofóbicos con un ángulo de humectación superior a 45 grados, capaz de ser depositado conformalmente sobre y bajo estructuras 3D con un espesor uniforme inferior o igual al 30%.

15 2. El conjunto (160) de placa de circuito de la reivindicación 1, que comprende además una segunda capa dieléctrica (158) que tiene un grosor en el intervalo de aproximadamente 5 nm a 200 nm (50 a 2000 angstrom) y donde la primera capa dieléctrica protectora es un material dieléctrico con una permeabilidad a la humedad inferior a 0.01 gramos/metro²/día, una constante dieléctrica inferior a 10, una pérdida dieléctrica inferior a 0.005, una resistencia de voltaje de perforación de más de 8 millones de voltios/centímetro (MV/cm), una resistividad de hoja superior a 10¹⁵ ohmios-centímetro, y es capaz de ser depositado conformemente sobre y bajo estructuras 3D con una uniformidad de espesor inferior o igual al 30%.

20 3. El conjunto (160) de placa de circuito de la reivindicación 1 o 2, donde el material dieléctrico es óxido de silicio o está hecho de un material seleccionado del grupo consistente de alúmina, óxido de tantalio, óxido de berilio, óxido de hafnio, nitruro de silicio, óxido de silicio, un parileno fluorado y politetrafluoroetileno (PTFE) y/o donde la primera capa dieléctrica protectora (150) está hecha de alúmina.

25 4. El conjunto (160) de placa de circuito de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además una capa dieléctrica protectora adicional (156) entre la primera capa dieléctrica protectora (150) y la segunda capa dieléctrica (158), teniendo la capa dieléctrica protectora adicional (156) un grosor en el intervalo de aproximadamente 5 nm a 200 nm (50 a 2000 angstrom) y siendo opcionalmente un nanolaminado que comprende combinaciones alternadas de material nanolaminado que se selecciona del grupo que consiste de alúmina, óxido de tantalio, óxido de berilio, óxido de hafnio, dióxido de silicio, parileno fluorado, acrílico y politetrafluoroetileno (PTFE) depositado de vapor.

30 5. El conjunto (160) de placa de circuito de las reivindicaciones 1 a 4, donde la pluralidad de los componentes eléctricos discretos (164, 170) se seleccionan del grupo que consiste de resistores, capacitores, inductores, diodos, y transistores, y/o la placa de circuito (161) comprende además una o más características a nivel de conjunto que se seleccionan del grupo que consiste en pistas de placa (162), interconexiones de cables (166), trazado de surcos, bordes de patrón del circuito integrado, y conexiones externas al conjunto del circuito (160).

35 6. El conjunto (160) de placa de circuito de las reivindicaciones 1 a 5, que además comprende una capa inicial de nitruro de silicio o óxido de silicio entre la superficie del substrato y la primera capa dieléctrica protectora, la capa inicial de nitruro de silicio o óxido de silicio tiene un espesor en el rango de 25 a 400 Angstroms.

40 7. El conjunto (160) de placa de circuito de las reivindicaciones 1 a 6, que además comprende un promotor de adhesión entre la primera capa dieléctrica protectora (150) y la segunda capa dieléctrica (158), el promotor de adhesión comprende opcionalmente una capa de óxido de silicio usada independientemente o en conjunción con gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano.

45 8. El conjunto (160) de placa de circuito de las reivindicaciones 1 a 7, que además comprende un recinto de tapa abovedada dispuesta sobre uno de la pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) y entre la segunda capa dieléctrica (158) y un recubrimiento dieléctrico adicional (156), siendo el recubrimiento dieléctrico adicional (156) un polímero basado en un material de recubrimiento conformal que se selecciona del grupo que consiste en polimono-cloroparaxilileno, polidicloroparaxilileno, poliparaxilileno, parileno fluorado, acrílico, silicona y politetrafluoroetileno (PTFE), además el conjunto de la placa de circuito comprende un recubrimiento inorgánico o de composite orgánico o inorgánico sobre el recubrimiento dieléctrico adicional (156), siendo el recubrimiento inorgánico o recubrimiento de composite orgánico o inorgánico un nanolaminado seleccionado del grupo consistente en alúmina, nitruro de silicio, óxido de silicio, óxido de hafnio, óxido de berilio, óxido de tantalio, óxido de cinc, polimono-cloroparaxilileno, polidicloroxilileno, poliparaxilileno, parileno fluorado, y politetrafluoroetileno (PTFE), en donde el recubrimiento dieléctrico adicional (156) es opcionalmente un recubrimiento inorgánico seleccionado del grupo consistente de alúmina, nitruro de silicio, óxido de silicio, óxido de hafnio, óxido de berilio, óxido de tantalio, y óxido de cinc o un recubrimiento nanolaminado inorgánico que consiste en capas alternas seleccionadas del grupo que consiste de alúmina, nitruro de silicio, óxido de silicio, óxido de hafnio, óxido de berilio, óxido de tantalio y óxido de cinc.

55 9. Un método que comprende:

Proporcionar una placa de circuito (161) que tiene una superficie más externa, siendo la superficie más externa configurada con una pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) que se fabrican independientemente uno de otro;

- 5 Recubrir la superficie más externa y la pluralidad de los componentes eléctricos discretos (164, 170) con una primera capa dieléctrica protectora (150); y caracterizada por el recubrimiento de la primera capa dieléctrica protectora (150) con una segunda capa dieléctrica (158), la segunda capa dieléctrica (158) comprende un material dieléctrico con un módulo de elasticidad inferior a 3.5 Giga-Pascales (GPa), una constante dieléctrica inferior a 2.7, una pérdida dieléctrica inferior a 0.002, resistencia de voltaje de perforación de más de 2 millones de voltios/centímetro (MV/cm), estabilidad a 300° Celsius de temperatura, densidad de defectos inferior a 0.5/centímetro, libre de poros en películas de más de 50 Angstroms, capaces de ser depositadas conformalmente sobre y bajo estructuras 3D con espesor uniforme inferior o igual al 10%.
- 10 10. El método de la reivindicación 9, en donde el recubrimiento de la primera capa dieléctrica protectora (150) con una segunda capa dieléctrica (158), además comprende el recubrimiento de la primera capa dieléctrica protectora (150) con una segunda capa dieléctrica (158) que tiene un grosor en el rango de aproximadamente 50 a 2000 angstroms y/o hecho de un material que se selecciona del grupo que consiste de alúmina, óxido de silicio, y parileno fluorado.
- 15 11. El método de la reivindicación 9 o 10, en el que el recubrimiento de la superficie más externa y la pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) con una primera capa dieléctrica protectora (150), además comprende, el recubrimiento de la capa más externa y la pluralidad de los componentes eléctricos discretos (164, 170) con una primera capa dieléctrica protectora hecha de generalmente un material insoluble a la humedad que tiene una permeabilidad a la humedad inferior a 0,01 gramo/metro²/ día, una absorción de humedad inferior al 0,04 por ciento, una constante dieléctrica inferior a 10, una pérdida dieléctrica inferior a 0,005, una resistencia de voltaje de perforación superior a 8 millones de voltios/centímetro, una resistividad de hoja superior a 10¹⁵ ohmios-centímetro, y una densidad de defectos inferior a 0,5/centímetro², siendo la primera capa dieléctrica protectora opcionalmente hecha de alúmina.
- 20 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones de 9 a 11, en donde la primera capa dieléctrica protectora (150) tiene un espesor en el rango de aproximadamente 50 a 2000 angstroms y/o es un nanolaminado que comprende combinaciones alternadas de material nanolaminado que es seleccionado del grupo que consiste de alúmina y óxido de silicio, alúmina y parileno fluorado, alúmina y acrílico, y alúmina y politetrafluoroetileno (PTFE) depositado en vapor.
- 30 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones de 9 a 12, que además comprende, antes del recubrimiento de la primera capa dieléctrica protectora (150) con una segunda capa dieléctrica (158), la aplicación de una capa de un promotor de adhesión a la primera capa dieléctrica protectora (150), el promotor de adhesión opcionalmente comprende gamma-metacriloxipropiltrimetoxisilano y/o el recubrimiento de la primera capa dieléctrica protectora (150) con una capa dieléctrica protectora adicional (156), teniendo la capa dieléctrica protectora adicional (156) un grosor en el rango de aproximadamente 50 a 1000 angstroms.
- 35 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones de 9 a 13, que además comprende la colocación de un recinto de tapa abovedada sobre uno de la pluralidad de los componentes eléctricos discretos (164, 170) y el recubrimiento de la superficie más externa y el recinto de tapa abovedada con un recubrimiento dieléctrico adicional siendo opcionalmente un material de recubrimiento conformal basado en polímero que es seleccionado del grupo que consiste de polimono-cloroparaxilileno, polidicloroparaxilileno, poliparaxilileno, parileno fluorado, acrílico, silicona y politetrafluoroetileno (PTFE), y opcionalmente que además comprende el recubrimiento del recubrimiento dieléctrico adicional con un recubrimiento orgánico o inorgánico de un composite orgánico o inorgánico siendo opcionalmente un nanolaminado seleccionado del grupo que consiste de alúmina, nitruro de silicio, óxido de silicio, óxido de hafnio, óxido de berilio, óxido de tantalio, óxido de cinc, polimono-cloroparaxilileno, polidicloroparaxilileno, poliparaxilileno, parileno fluorado y politetrafluoroetileno (PTFE).
- 40 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones de 9 a 14 que comprende acoplar una pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) a la superficie más externa en una fase a nivel de conjunto, en el que el recubrimiento de la superficie más externa y la pluralidad de componentes eléctricos discretos (164, 170) con la primera capa dieléctrica (150) es llevado a cabo en la fase a nivel de conjunto.
- 45

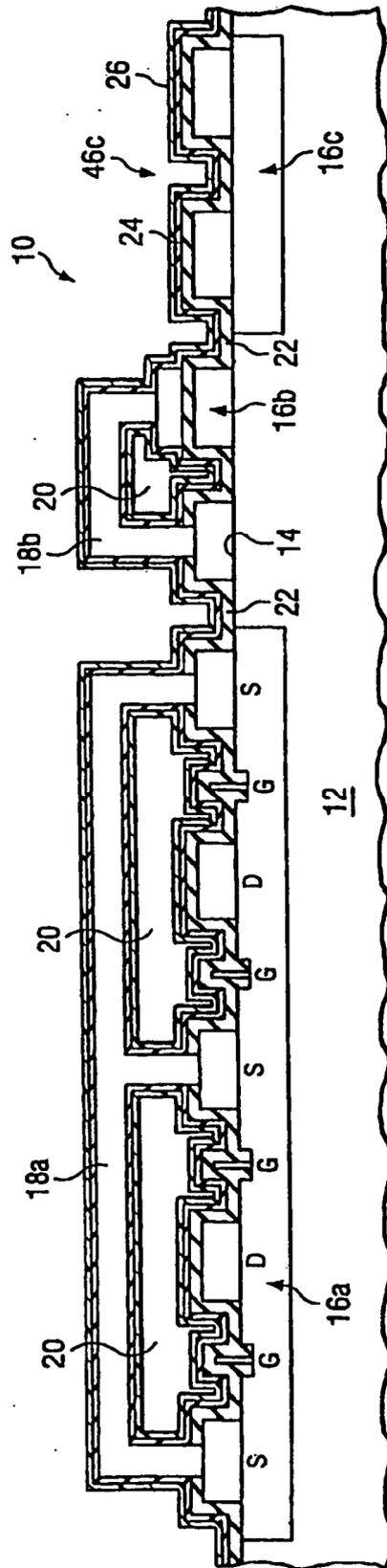


FIG. 1

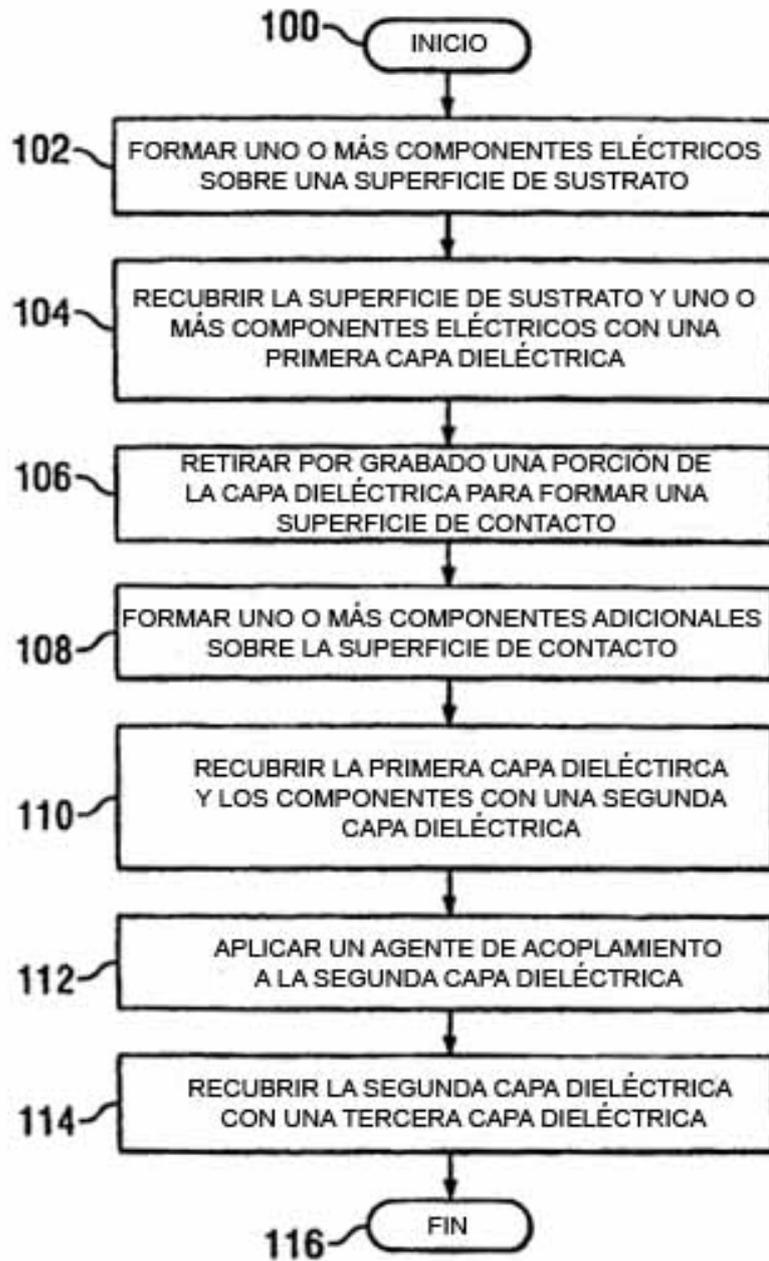


FIG. 2

FIG. 3

PROCEDIMIENTO DE RECUBRIMIENTO A NIVEL DE OBLEA					
Ejemplo	FIGURA 1 REFERENCIA	GROSOR DE ALUMINA ANGSTROM	GROSOR DE SILICE ANGSTROM	GROSOR DE PARILENO HT ANGSTROM	
1					
CAPA DIELECTRICA 1	22	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	24	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	25	0	0	0	0
2					
CAPA DIELECTRICA 1	22	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	24	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	26	0	0	0	0
3					
CAPA DIELECTRICA 1	22	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	24	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	26	0	50-1000	0	0
4					
CAPA DIELECTRICA 1	22	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	24	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	26	0	0	200-500	0
5					
CAPA DIELECTRICA 1	22	50-2000	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	24	0	0	50-2000	0
CAPA DIELECTRICA 3	26	0	0	0	0

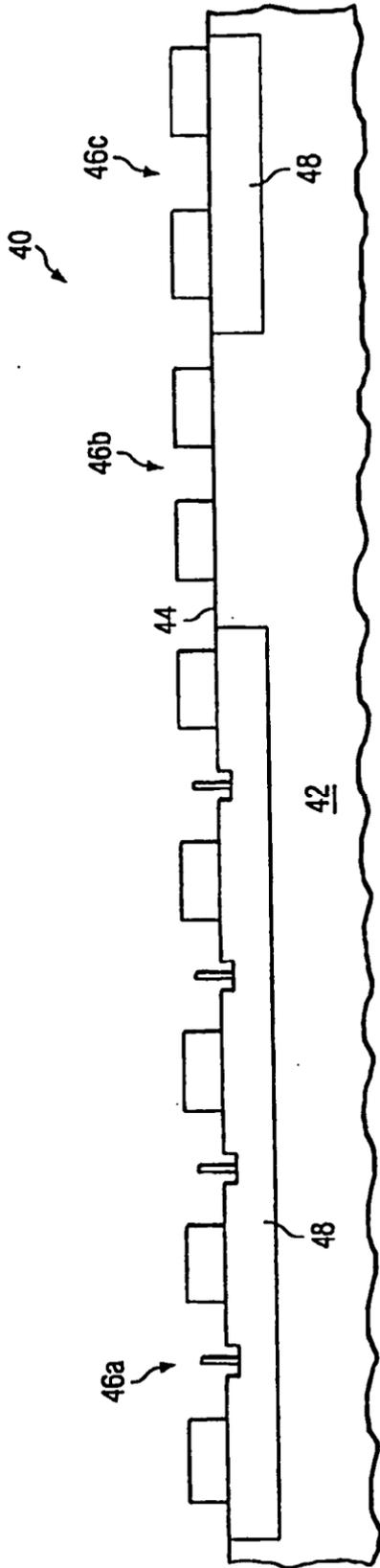


FIG. 4A

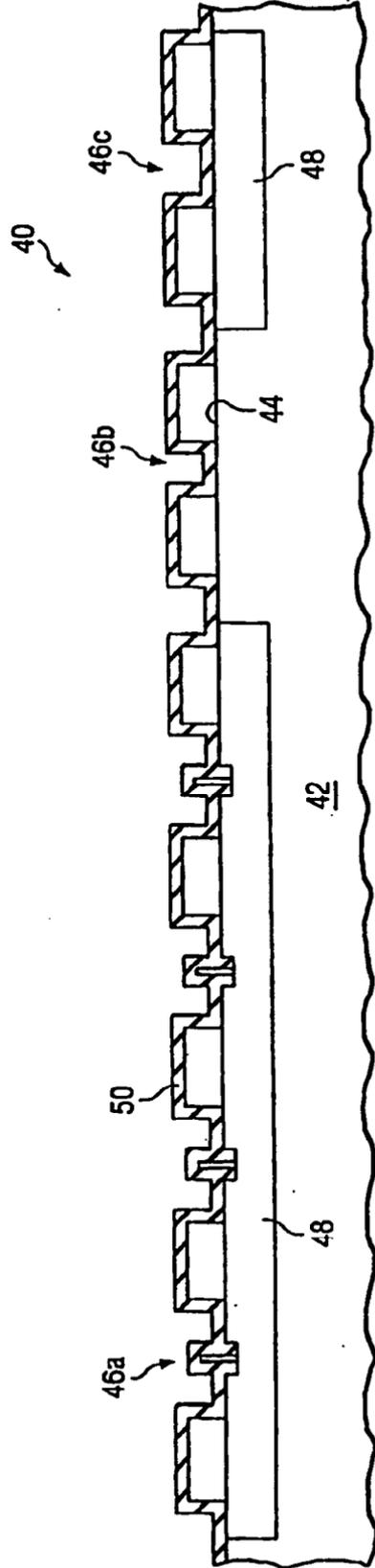


FIG. 4B

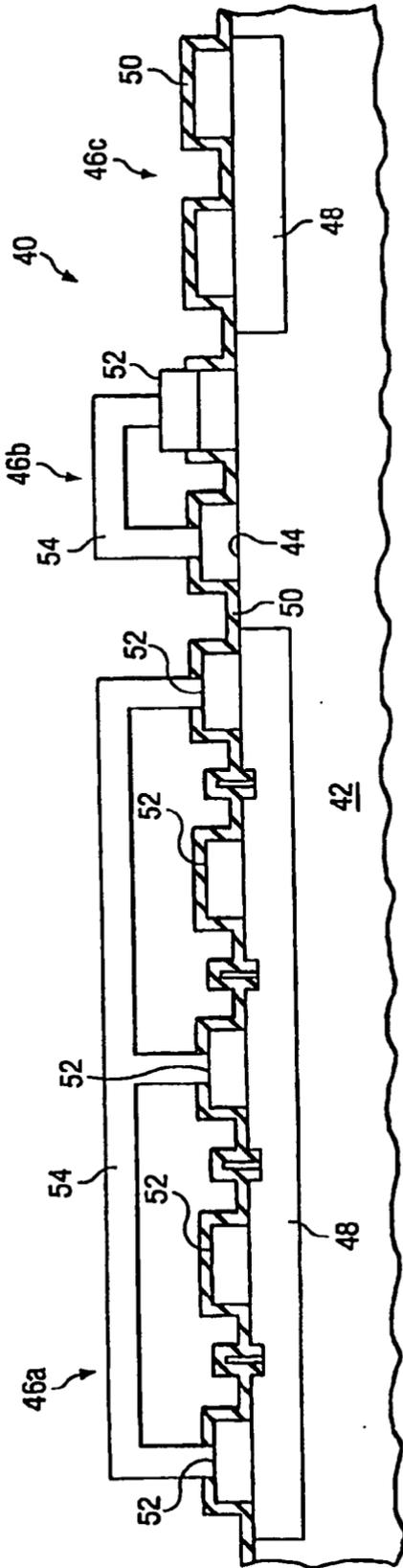


FIG. 4C

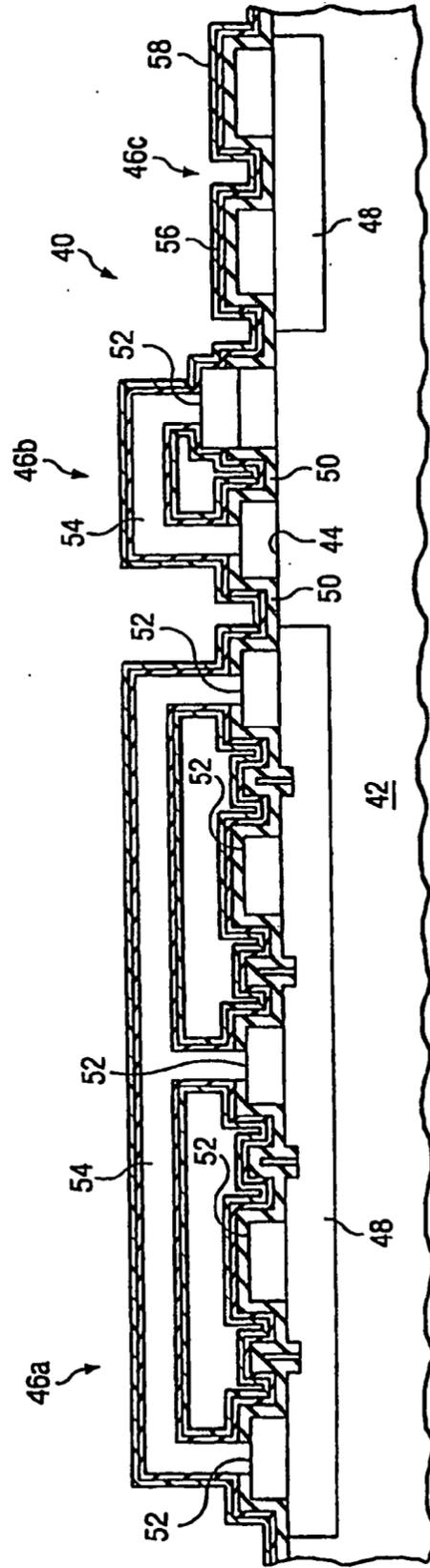


FIG. 4D

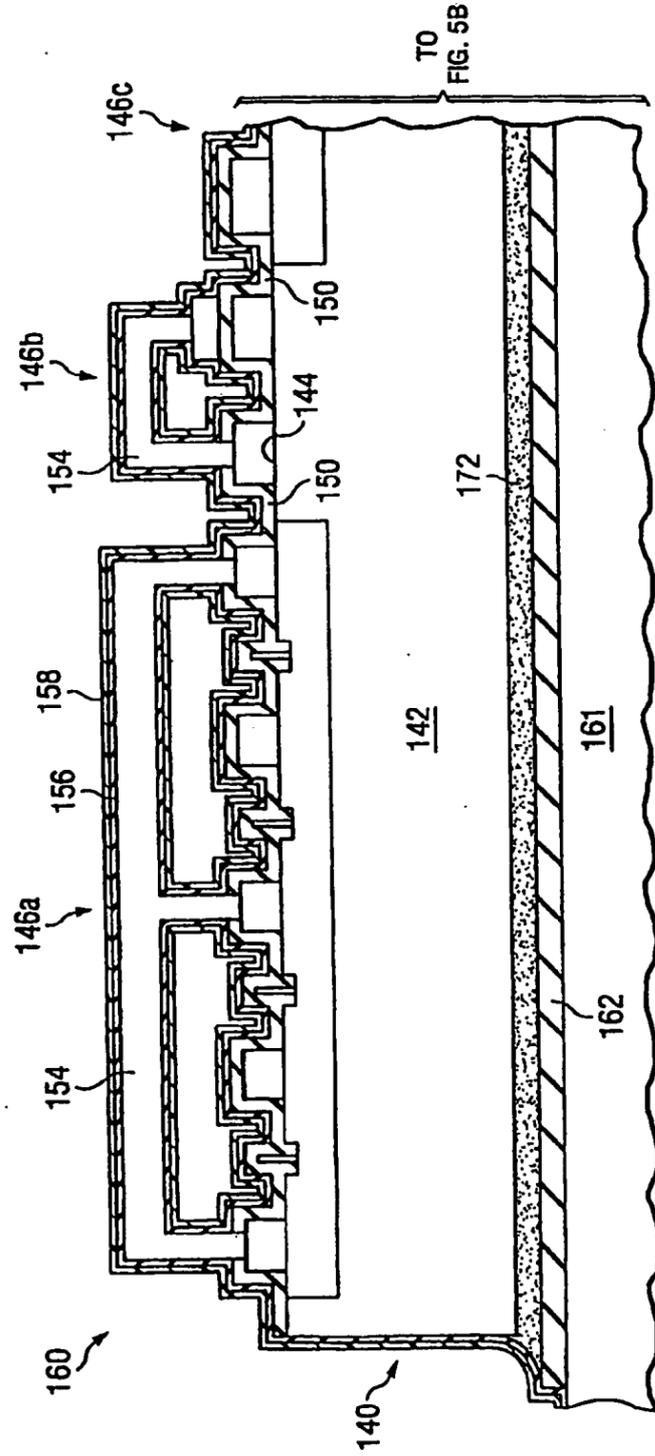
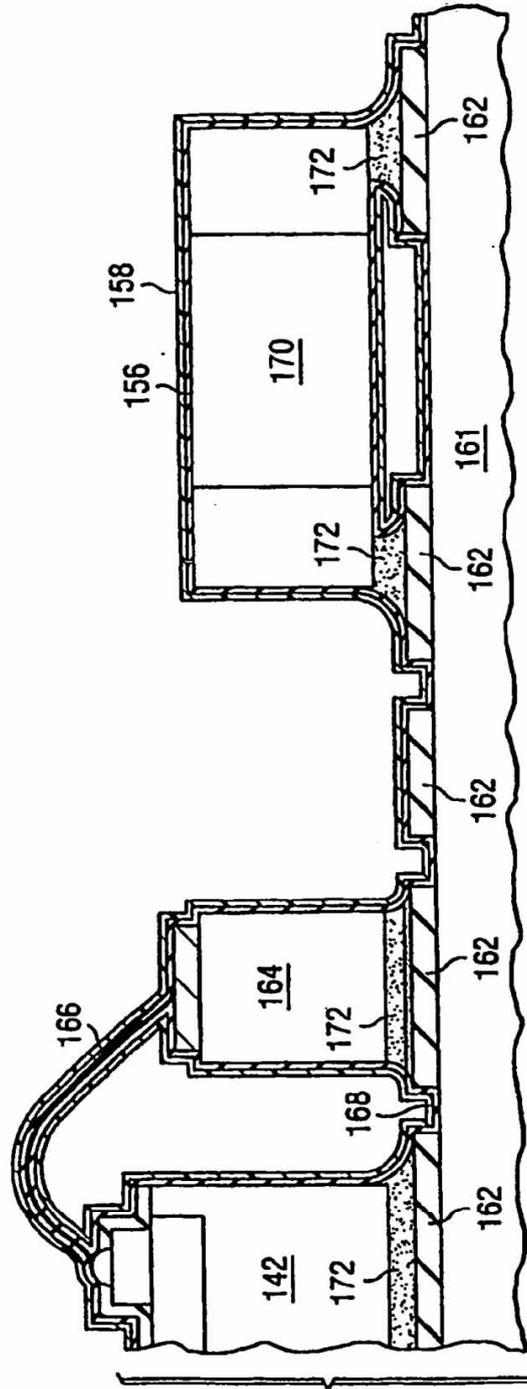


FIG. 5A



DE LA
FIG. 5A.

FIG. 5B

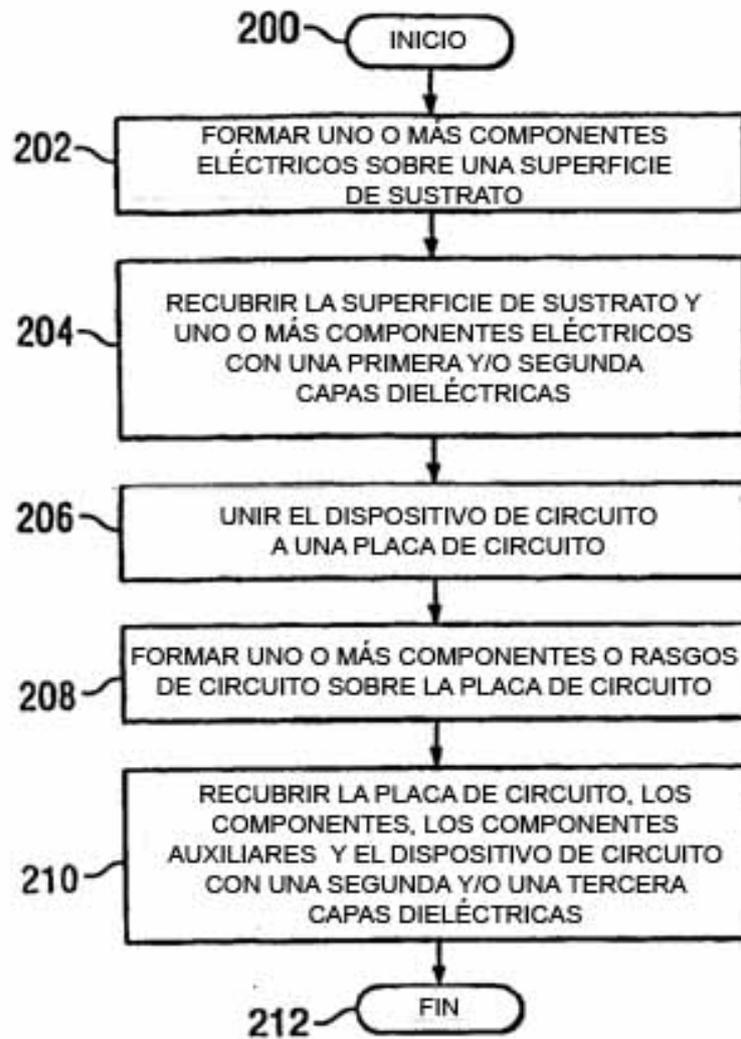


FIG. 6

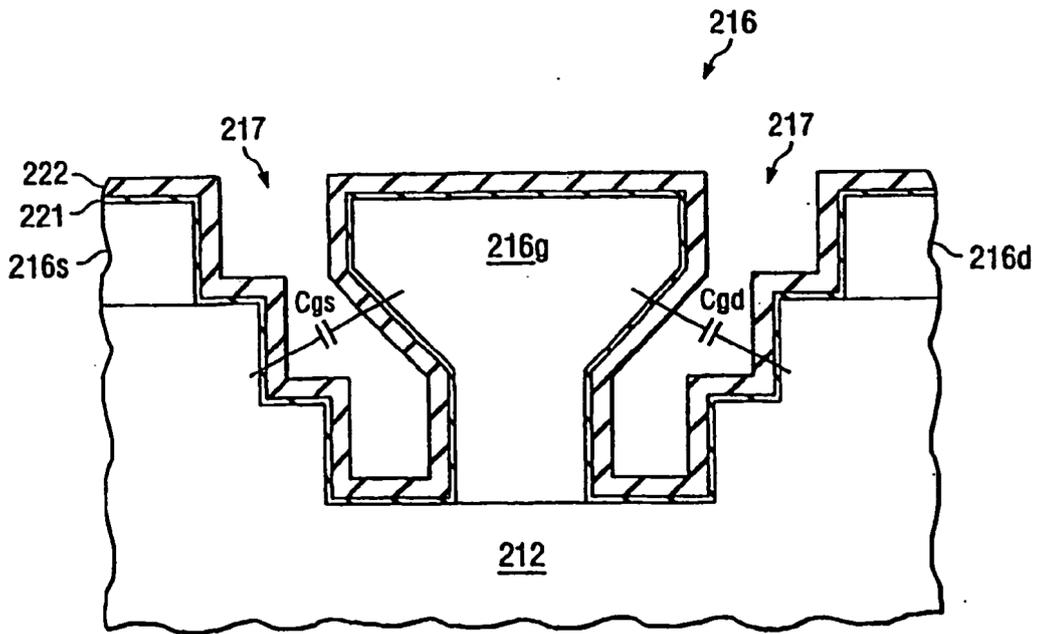


FIG. 8

ES 2 425 938 T3

PROCEDIMIENTO DE RECUBRIMIENTO COMBINADO A NIVEL DE OBLEA Y CONJUNTO							
RECUBRIMIENTO A NIVEL DE OBLEA					RECUBRIMIENTO A NIVEL DE CONJUNTO		
Ejemplo	FIG 1 REF	GROSOR DE ALÚMINA ANGSTROM	GROSOR DE SÍLICE ANGSTROM	PARILENO FLUORADO ANGSTROM	GROSOR DE ALÚMINA ANGSTROM	GROSOR DE SÍLICE ANGSTROM	PARILENO FLUORADO ANGSTROM
1a							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156		0	0	50-2000	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	0	0
1b							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156		0	0	0	0	50-2000
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	0	0
1c							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156		0	0	0	50-2000	
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	0	0
1d							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156	0	0	0	50-2000	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	0	50-2000
1d							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0	0		0
CAPA DIELECTRICA 2	156		0	0	50-2000	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	50-2000	0
2a							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000		0		0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0			50-2000
2b							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0		0	0
CAPA DIELECTRICA 2	156	50-2000	0	0	0	0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	50-2000	0	
2c							
CAPA DIELECTRICA 1	150	50-2000	0	0		0	0
CAPA DIELECTRICA	156	50-2000	0	0		0	0
CAPA DIELECTRICA 3	158	0	0	0	0	50-2000	

FIG. 7