(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 354 400**

(51) Int. Cl.:
H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **08767638 .3**
(96) Fecha de presentación : **06.05.2008**
(97) Número de publicación de la solicitud: **2149155**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **03.02.2010**

(54) Título: **Formación de un contacto posterior de alta calidad con un campo en la superficie posterior local serigrafiada.**

(30) Prioridad: **07.05.2007 US 916327 P**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.03.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.03.2011

(73) Titular/es:
GEORGIA TECH RESEARCH CORPORATION
505 10th Street
Atlanta, Georgia 30332, US

(72) Inventor/es: **Rohatgi, Ajeet y**
Meemongkolkiat, Vichai

(74) Agente: **Carpintero López, Mario**

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).

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención versa en general acerca de células solares de silicio. Más en particular, la presente invención versa acerca de la formación de un contacto posterior o trasero que proporciona una pasivación de la superficie posterior y propiedades de confinamiento óptico.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Las células solares son dispositivos que convierten la energía lumínica en energía eléctrica. Estos dispositivos se denominan también células fotovoltaicas (FV). Las células solares se fabrican usando una amplia variedad de semiconductores. Un material semiconductor común es el silicio cristalino.

Las células solares tienen tres elementos principales: (1) un semiconductor; (2) una unión de semiconductores; y (3) contactos conductores. Los semiconductores como el silicio pueden ser del tipo dopado n o dopado p. Si se forman un silicio de tipo n y un silicio de tipo p en contacto mutuo, la región de la célula solar en la que se encuentran es una unión de semiconductores. El semiconductor absorbe luz. La energía de la luz puede ser transferida al electrón de valencia de un átomo en una capa de silicio, lo que permite que el electrón de valencia escape de su estado ligado dejando un agujero detrás. Estos electrones y agujeros fotogenerados se separan por el campo eléctrico asociado con la unión p-n. Los contactos conductores permiten que la corriente fluya desde la célula solar a un circuito externo.

La Figura 1 muestra los elementos básicos de una célula solar de la técnica anterior. Las células solares pueden fabricarse sobre una oblea de silicio. La célula solar 5 comprende una base 10 de silicio de tipo p, un emisor 20 de silicio de tipo n, un contacto conductor inferior 40 y un contacto conductor superior 50. La base 10 de silicio de tipo p y el emisor 20 de silicio de tipo n están en contacto mutuo para formar la unión. El silicio 20 de tipo n está acoplado al contacto conductor superior 50. El silicio 10 de tipo p está acoplado al contacto conductor inferior 40. El contacto conductor superior 50 y el contacto conductor inferior 40 están acoplados a una carga 75 para proporcionarle electricidad.

El contacto conductor superior 50 (“contacto frontal”), que comprende plata, permite que la corriente eléctrica fluya a la célula solar 5. Sin embargo, el contacto conductor superior 50 no cubre toda la cara de la célula 5, porque la plata no es completamente transparente a la luz. Así, el contacto conductor superior 50 tiene un patrón de rejilla para permitir que la luz entre en la célula solar 5. Los electrones fluyen desde el contacto conductor superior 50, y a través de la carga 75, antes de unirse con los agujeros por medio del contacto conductor inferior 40.

El contacto conductor inferior 40 (“contacto trasero” o “contacto posterior”) suele comprender un eutéctico de aluminio-silicio. Típicamente, este contacto conductor inferior 40 cubre toda la parte inferior del silicio 10 de tipo p para maximizar la conducción. El aluminio se alea con silicio a altas temperaturas de aproximadamente 750 grados Celsius, muy por encima de la temperatura del eutéctico de aluminio-silicio de 577 grados Celsius. Esta reacción de aleación crea una región de tipo p muy dopada en la parte inferior de la base y da origen a un intenso campo eléctrico allí. Este campo contribuye a repeler los electrones fotogenerados para que no se recombinen con agujeros en el contacto posterior, para que puedan ser recogidos más eficientemente en la unión p-n.

La superficie de contacto entre el silicio y un contacto conductor es típicamente una zona que tiene una elevada recombinación. Por ejemplo, la velocidad de recombinación en la superficie posterior de un campo en la superficie posterior de aluminio en toda la superficie posterior puede ser de 500 centímetros por segundo o más. Las altas velocidades de recombinación de la superficie posterior disminuyen la eficiencia de la célula.

J. Rentsch et al., Photovoltaic energy conversion, Conference record of the 2006 IEEE 4th World Conference on, IEEE, PI, 1 de mayo de 2006, páginas 1008-1011, dan a conocer una célula solar de silicio con parte trasera pasivada. J. Szlufcik et al., Proceedings of the IEEE, IEEE, New York, US vol. 85, n.5, 1 de mayo de 1997, páginas 711-730 dan a conocer tecnologías para células solares de silicio cristalino.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

Un procedimiento que se ha usado para reducir la recombinación en el contacto posterior es formar una capa dieléctrica de dióxido de silicio en la superficie trasera de la oblea de silicio. Esta capa dieléctrica mejora la pasivación, pero crea otros problemas, como la manera de generar aberturas desde la capa dieléctrica hasta el silicio y la optimización del tamaño y la separación de cada ventana. Además, la capa dieléctrica no protege la oblea de silicio de la aleación aluminio-silicio durante la formación de los contacto, lo que puede deformar la oblea de silicio. Las obleas de silicio en películas delgadas son especialmente susceptibles a la deformación. Las soluciones de la técnica anterior para reducir la recombinación en la superficie posterior no abordan de forma adecuada otros

asuntos, como la prevención de la deformación del silicio en película delgada, la determinación del tamaño y la separación de las aberturas del dieléctrico, la limpieza de las aberturas del dieléctrico y la formación de campos eléctricos de calidad en la superficie trasera en las aberturas del dieléctrico.

La solución presentada en el presente documento comprende una estructura de célula solar que tiene una capa de pasivación dieléctrica y un contacto trasero con un campo en la superficie posterior de aluminio, tal como se trata en la reivindicación 1. Se proporciona un procedimiento para la formación del contacto trasero, tal como se trata en la reivindicación 8. En la realización, se forma una capa dieléctrica en la superficie trasera de una oblea cristalina delgada que tiene una región n y una región p. Se practica una abertura en la capa dieléctrica serigrafiando una pasta decapante, seguido por un primer tratamiento con calor. Puede usarse una solución de ácido fluorhídrico para eliminar cualquier residuo dejado por la pasta decapante. El contacto trasero se forma serigrafiando una pasta de contacto en toda la superficie posterior seguido por un segundo tratamiento con calor. La pasta de contacto comprende aluminio y del 1 al 12 por ciento atómico de silicio. La presencia del silicio en la pasta de contacto satura la afinidad del aluminio por el silicio durante el segundo tratamiento con calor y proporciona un contacto de campo en la superficie posterior de alta calidad en las aberturas locales. El uso de poca frita de vidrio, o ninguna, contribuye a evitar que una cantidad de aluminio significativa aflore a través de la capa dieléctrica, lo que degrada el rendimiento del dispositivo.

Lo que antecede es un resumen y, por ende, contiene, de necesidad, simplificaciones, generalizaciones y omisiones de detalle; en consecuencia, las personas expertas en la técnica apreciarán que el resumen es únicamente ilustrativo y que no se contempla que sea limitante en ningún sentido. Otros aspectos, características de la invención y ventajas de la presente revelación, tal como se definen solamente por las reivindicaciones, se harán evidentes en la descripción detallada no limitante presentada más abajo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1 es una vista en corte transversal de una célula solar de la técnica anterior.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento para formar un contacto posterior con un campo en la superficie posterior local.

La FIG. 3A es un dominio de simulación DESSIS para un contacto posterior de línea.

La FIG. 3B es un dominio de simulación DESSIS para un contacto posterior de punto.

La FIG. 4A es un gráfico de salida DESSIS que muestra la separación en relación con la eficiencia para contactos que tienen una anchura de 75 micrómetros.

La FIG. 4B es un gráfico de salida DESSIS que muestra la separación en relación con la eficiencia para contactos que tienen una anchura de 150 micrómetros.

Las FIGURAS 5A a 5D son vistas en corte transversal con un microscopio electrónico de campos eléctricos en la superficie posterior local para diferentes pastas de contacto de aluminio.

Las FIGURAS 6A a 6E son vistas en corte transversal de una realización de una oblea de silicio at cada etapa del proceso de fabricación del contacto posterior.

La FIG. 7A es una vista en planta desde abajo de una realización de aberturas de ventana al silicio que tienen un patrón de puntos.

La FIG. 7B es una vista en planta desde abajo de una realización de aberturas de ventana al silicio que tienen un patrón de líneas.

La FIG. 8 es una vista en planta con un microscopio electrónico de una abertura de una capa dieléctrica expuesta con una pasta decapante de serigrafía.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la invención. Sin embargo, las personas expertas en la técnica entenderán que la presente invención puede ser practicada sin estos detalles específicos. En otros casos, no se han descrito en detalle métodos, procedimientos, componentes y circuitos bien conocidos para no dificultar la comprensión de la presente invención.

La Figura 2 presenta un diagrama de flujo para formar un contacto trasero de alta calidad que protege la oblea de silicio de daños durante el proceso de aleación y proporciona un campo en la superficie posterior local. Un campo en la superficie posterior (BSF) local es deseable porque contribuye a reducir la recombinación de electrones en la superficie posterior de la célula solar. Por ello, la eficiencia de la célula solar aumenta si la célula solar tiene un BSF local de alta calidad.

En la operación 200, se forma una capa de tipo p o de tipo n en una oblea de silicio. La oblea de silicio puede ser cristalina. La oblea de silicio puede tener un espesor de 200 a 250 micrómetros. Para otra realización, la oblea de silicio puede tener un espesor de 50 a 500 micrómetros. La aleación con aluminio-silicio en la totalidad de la superficie posterior de la oblea de silicio puede deformar las obleas delgadas de silicio. Por ello, en vez de formar contactos que abarcan toda el área directamente sobre la oblea de silicio, se forman capas barrera y dieléctrica en las caras frontal y posterior de la oblea de silicio en la operación 210. Las capas dieléctricas pueden formarse de manera concurrente o simultánea. Para una realización de la invención, las capas dieléctricas son de dióxido de silicio. Para otra realización de la invención, las capas dieléctricas pueden ser de óxido de aluminio.

El dióxido de silicio puede formarse por medio de un proceso de centrifugación para lograr un espesor de 1000 a 5000 angstroms por cada lado. Durante el proceso de centrifugación, se deposita el dieléctrico en forma líquida sobre las obleas en centrifugación. El precursor de centrifugación puede ser un sol-gel de dióxido de silicio. El sol-gel de dióxido de silicio está disponible comercialmente en Filmtronics, Inc. con el nombre de “20B”. Después del proceso de centrifugado, se seca la oblea a una temperatura de 150 a 250 grados Celsius durante de 10 a 20 minutos. El dióxido de silicio puede ser curado en un ambiente de oxígeno a una temperatura de 875 a 925 grados Celsius en un horno de tubo convencional. El proceso de centrifugado permite que se forme una capa de dióxido de silicio más espesa y más uniforme, lo que hace del dieléctrico una máscara de difusión para una difusión de una sola cara.

De forma alternativa, el dióxido de silicio puede formarse por medio de un proceso de deposición de vapores químicos o un proceso de deposición de vapores químicos mejorada por plasma (PECVD). Tal proceso puede usar silano y oxígeno como precursores a una temperatura de 300 a 500 grados Celsius durante 10 a 20 minutos. Puede usarse una cámara de reacción para controlar los reactivos de este proceso.

En la operación 215, se forma una capa barrera en las caras frontal y posterior de la oblea. La capa barrera puede comprender nitruro de silicio dotado de un espesor de 100 a 700 angstroms. La capa de nitruro de silicio puede formarse usando PECVD. El silano y el amonio pueden ser precursores de PECVD del silicio y el nitruro, respectivamente. De forma alternativa, la capa de nitruro de silicio puede formarse usando un proceso de deposición de vapores químicos de baja presión en una cámara de reacción adecuada. La capa barrera de la superficie frontal proporciona un revestimiento antirreflectante para ayudar a absorber la luz. Las capas barrera también protegen las capas dieléctricas. Sin la capa barrera de la superficie posterior, la capa dieléctrica de la superficie posterior puede verse sometida al afloramiento de aluminio y a las impurezas a través del aire. Además, las capas dieléctricas son más vulnerables al deterioro por las altas temperaturas durante la cocción de los contactos serigrafiados sin las capas barrera.

En la operación 220, se forma al menos una abertura en las capas dieléctricas y de barrera en la cara posterior de la oblea de silicio. Si se forma una pluralidad de aberturas, las aberturas pueden estar distribuidas homogéneamente por la superficie de la oblea de silicio. Para una realización de la invención, la abertura se practica aplicando una pasta decapante solar a la capa barrera. Una pasta decapante solar es la fabricada por Merck & Co., Inc. con el nombre “Solar Etch AX M1”. La pasta decapante solar también puede usarse para practicar aberturas en la capa dieléctrica de la superficie frontal. La capa decapante puede comprender ácido fosfórico, ácido fluorhídrico, fluoruro de amonio o fluoruro de hidrógeno amónico. Las aberturas formadas en la operación 220 pueden ser en la forma de puntos o de líneas.

La pasta debería aplicarse únicamente a las zonas en las que se deseen las aberturas en la capa dieléctrica. La pasta puede aplicarse usando una máquina de serigrafiado. El tamaño óptimo y la separación de las aberturas al sustrato son una función de la resistividad de la oblea. Pueden usarse programas informáticos como Simulaciones de Dispositivo para Sistemas Integrados Inteligentes (DESSIS) para determinar el tamaño y la separación óptimos de las aberturas. El programa DESSIS calcula la separación óptima en base a parámetros que incluyen el tipo de contacto (punto o línea), el tamaño del contacto (75 micrómetros o 150 micrómetros) y un BSF lateral (presencia o ausencia). El dominio de simulación se deriva de la célula unitaria menor que pueda extenderse periódicamente para representar la estructura completa. Para simplificar el problema de la simulación, pueden definirse parámetros del contacto frontal, de modo que el contacto frontal esté uniformemente distribuido. En este escenario, el tamaño de la célula unitaria se controla con la geometría del contacto posterior en la simulación de DESSIS.

En la Figura 3A se muestra el dominio de simulación para un contacto de línea. El dominio de simulación de la Figura 3A comprende un silicio 300 de tipo p, un silicio 310 de tipo n, una capa dieléctrica 320, un primer contacto

conductor 330, un segundo contacto conductor 360 y un BSF local 370. El silicio 300 de tipo p está acoplado al silicio 310 de tipo n, a la capa dieléctrica 320 y al BSF local 370. El BSF local 370 está acoplado al segundo contacto conductor 360. El silicio 310 de tipo n está acoplado al primer contacto conductor 330.

De modo similar, en la Figura 3B se muestra un dominio de simulación para un contacto de punto. El dominio de simulación de la Figura 3B comprende un silicio 300 de tipo p, un silicio 310 de tipo n, una capa dieléctrica 320, un primer contacto conductor 330, un segundo contacto conductor 360 y un BSF local 370. El silicio 300 de tipo p está acoplado al silicio 310 de tipo n, a la capa dieléctrica 320 y al BSF local 370. El BSF local 370 está acoplado al segundo contacto conductor 360. El silicio 310 de tipo n está acoplado al primer contacto conductor 330.

Los parámetros de generación óptica pueden establecerse para que asuman una luz uniforme incidente en una superficie texturada de silicio que tiene un ángulo de faceta de 54,7 grados, una capa antirreflectante de 2,0 y un espesor de 75 nanómetros. La luz incidente también puede hacerse disminuir en aproximadamente un 8,5 por ciento por el sombreado provocado por un contacto frontal en los dispositivos reales. La reflexión interna de la superficie central puede fijarse en el 92 por ciento. La reflexión de la superficie posterior puede fijarse en el 85 por ciento.

El perfil del emisor puede ser un perfil gaussiano, con una concentración máxima del dopado de tipo n en la superficie de $1,14 \times 10^{20}$ por centímetro cúbico y una profundidad de unión de 0,3 micrómetros, lo que se corresponde a un emisor que tiene una resistencia de capa de aproximadamente 80 ohmios por cuadrado. De forma alternativa, una resistencia de capa de emisor puede ser variada de 70 a 90 ohmios por cuadrado.

Puede definirse el BSF local en el contacto posterior para que tenga una concentración de dopaje constante de tipo p de 1×10^{19} por centímetro cúbico con un espesor de 1,47 micrómetros. Esto da como resultado una velocidad efectiva de recombinación en la superficie de aproximadamente 300 centímetros por segundo en el contacto sobre un sustrato de 2,0 ohmios-centímetro. Para simular el BSF lateral, la capa de BSF puede extenderse lateralmente hasta al menos 1,3 micrómetros fuera del borde de contacto. Para simular la ausencia de BSF lateral, puede definirse que la capa de BSF cubra únicamente el área del contacto.

Otras configuraciones de parámetros pueden incluir un espesor de célula de 50 a 200 micrómetros, una resistividad de 1,5 a 2,5 ohmios-centímetro, una velocidad de recombinación en la superficie frontal de 50.000 a 70.000 centímetros por segundo, una velocidad de recombinación en la superficie posterior en el dieléctrico de 40 a 60 centímetros por segundo, y una resistencia del contacto de cero ohmios-centímetro cuadrado. Usando estos parámetros, en la Figura 4A se muestra un gráfico de salida de DESSIS que representa la eficiencia de una célula solar dependiendo de la separación de contacto para contactos que tienen una anchura de 75 micrómetros, y en la Figura 4B se muestra un gráfico que representa la eficiencia de una célula solar dependiendo de la separación de contacto para contactos que tienen una anchura de 150 micrómetros.

Después de aplicar la pasta decapante, la pasta decapante es expuesta a una fuente de calor a una temperatura de 300 a 380 grados Celsius durante 30 a 45 segundos. La fuente de calor, unida a la pasta decapante solar, disuelve la capa barrera y la capa dieléctrica bajo la pasta, dejando una abertura hasta el sustrato. Puede usarse una solución de ácido fluorhídrico para eliminar cualquier residuo resultante en la abertura o alrededor de la misma.

Para otra realización de la invención, las aberturas en la capa dieléctrica pueden practicarse usando un láser o un trazador mecánico. Las aberturas pueden cubrir del uno al 10 por ciento del área de la superficie trasera. La capa dieléctrica permanece en el resto de la superficie trasera siguiendo a la operación 220.

En la operación 230, se aplica una capa de contacto trasera con una pasta de aluminio que contiene del uno al 12 por ciento atómico de silicio. Para una realización de la invención, la pasta de aluminio puede ser el producto número AL 53-090, AL 53-110, AL 53-120, AL 53-130, AL 53-131 o AL 5540, comercialmente disponibles todos en Ferro Corporation. Para otra realización de la invención, una pasta de aluminio puede ser la pasta de aluminio disponible comercialmente fabricada por DuPont Corporation, Cermet Materials, Inc., Chimet Chemicals, Cixi Lvhuan Healthy Products, Daejoo Electronic Materials, Exojet Electronic, Hamilton Precision Metals, Inc., Metalor Technologies, PEMCO Corporation, Shanghai Daejoo, Young Solar o Zhonglian Solar Technology. La pasta de aluminio puede comprender partículas finas de aluminio dispersas en un vehículo orgánico. El vehículo orgánico puede comprender, además, un aglutinante como etil celulosa o metil celulosa y un disolvente como terpinol o carbitol. El contenido de silicio se añade a la pasta de aluminio, de tal modo que la resultante “pasta de contacto” comprende del uno al 12 por ciento atómico de silicio.

Las Figuras 5A a 5D muestran que el contenido de silicio en la pasta de aluminio mejora la formación del BSF local. La calidad de un BSF se define por la uniformidad y el espesor de la región del BSF. Las Figuras 5A a 5D son vistas de corte transversal con un microscopio electrónico de barrido. La Figura 5A es un BSF local formado a partir de una pasta de aluminio fritado. La Figura 5B es un BSF local formado a partir de una pasta de aluminio sin frita. La Figura 5C es un BSF local formado a partir de una pasta de aluminio sin frita que tiene un siete por ciento atómico

de silicio. La Figura 5D es un BSF local formado a partir de una pasta de aluminio sin frita que tiene un 12 por ciento atómico de silicio. Resulta evidente a partir de las Figuras 5A a 5D que las pastas de aluminio que tienen del uno al 12 por ciento atómico de silicio producen un BSF de mayor calidad que la pasta de aluminio que no tiene contenido de silicio. Un BSF local puede contribuir a lograr un buen contacto óhmico, especialmente en un sustrato que tenga una resistividad elevada.

Además, el BSF local contribuye a minimizar el efecto de la elevada recombinación en la superficie de contacto metálica. La velocidad de recombinación en la superficie posterior de un BSF de aluminio en la totalidad de la superficie posterior es de aproximadamente 500 centímetros por segundo. En cambio, una pasivación posterior dieléctrica con un BSF local de aluminio formado por una pasta de aluminio con un 12 por ciento de silicio reduce la velocidad de recombinación en la superficie posterior a 125 centímetros por segundo o menos.

La pasta de contacto con aluminio y silicio puede ser aplicada usando una máquina de serigrafía. Para una realización de la invención, la pasta de contacto es sin frita. Para otra realización de la invención, la pasta de contacto tiene poca frita. El aluminio sin frita o con poca frita no decapa ni perturba la capa dieléctrica.

A continuación, se aplica un tratamiento de calor a la pasta de contacto. En la operación 240, se “aumenta” el calor hasta una temperatura de 700 a 900 grados Celsius. El tiempo de aumento hasta la temperatura máxima es de uno a cinco segundos. El silicio se disuelve en el aluminio a una temperatura mayor que la temperatura eutéctica, lo que forma una aleación fundida de aluminio y silicio. El rápido tiempo de aumento contribuye a formar un BSF más uniforme. Una vez que se alcanza la temperatura máxima, se mantiene esa temperatura durante tres segundos o menos en la operación 250. Por ejemplo, puede mantenerse la temperatura máxima de uno a tres segundos. Mantener la temperatura máxima durante este breve periodo de tiempo contribuye a prevenir una corriente de fuga de la unión, porque hay menor probabilidad de que se difundan impurezas a la unión.

Por último, la temperatura “disminuye” a 400 grados Celsius o menos en la operación 260. El tiempo de disminución es de tres a seis segundos. Este rápido tiempo de descenso puede lograrse por medio de un enfriamiento forzado. Por ejemplo, puede usarse un ventilador o una correa de transmisión que retire las obleas de la fuente de calor a una velocidad elevada para disminuir la temperatura a 400 grados Celsius o menos.

La rápida disminución permite la pasivación en la región volumétrica. En una realización de la invención, la capa barrera puede comprender una concentración de hidrógeno de 4×10^{21} a 7×10^{22} átomos por centímetro cúbico. El hidrógeno puede incorporarse en la capa de nitruro de silicio por medio de los precursores de PECVD. Durante el tratamiento con calor, el hidrógeno puede desasociarse así de la capa barrera. Los átomos de hidrógeno pueden entonces contribuir a la pasivación en la región volumétrica de la oblea de silicio uniéndose a los defectos en el silicio.

La solubilidad del silicio en el aluminio es proporcional de la temperatura de la aleación. Por lo tanto, durante el enfriamiento, el porcentaje de silicio en la aleación disminuye. El silicio sobrante es rechazado de la masa fundida y vuelve a desarrollarse epitaxialmente en la superficie líquida de contacto de silicio. Esta capa de nuevo desarrollo se dopa con aluminio según la solubilidad sólida finita del aluminio en el silicio a la temperatura de solidificación. En consecuencia, la capa de nuevo desarrollo se convierte en una capa BSF p^+.

Si se usa aluminio puro en vez de la combinación de aluminio y silicio, el aluminio tiene afinidad por el silicio a temperaturas elevadas. En consecuencia, disminuye el rechazo del silicio a la superficie del silicio en las aberturas. Esto degrada la calidad de la pasivación de la superficie posterior y disminuye el rendimiento de la célula.

La capa dieléctrica acoplada con el contacto posterior de aluminio que tiene silicio también sirve para mejorar la eficiencia absoluta de la célula. La eficiencia absoluta de la célula se mide por la capacidad de la célula solar para convertir en energía la luz incidente. Un contacto posterior eutéctico de aluminio de toda el área tiene una reflectancia de aproximadamente el 60 por ciento. La reflectancia de la superficie posterior se define por el porcentaje de luz incidente que vuelve a ser reflejado por la superficie posterior en el silicio. El contacto posterior dado a conocer en esta invención produce una reflectancia de la superficie posterior mayor que el 85 por ciento. La capa dieléctrica acoplada con el contacto trasero de aluminio y silicio mejora la eficiencia de la célula en un uno a un dos por ciento.

El uno al 12 por ciento atómico de aditivo de silicio en la pasta de contacto sirve para saturar de silicio el aluminio. Puesto que el aluminio tiene una concentración de silicio, se rechaza más silicio de la masa fundida hacia la abertura durante el enfriamiento. El silicio rechazado tiene una concentración de aluminio y vuelve a desarrollarse epitaxialmente en la superficie líquida de contacto de silicio formando una capa BSF p^+. Los ensayos de laboratorio, cuyos resultados están representados en las Figuras 5A a 5D, han demostrado que con el aditivo de silicio puede lograrse una profundidad de seis a 15 micrómetros.

Tradicionalmente, el contacto trasero es aplicado directamente en toda la superficie posterior de la oblea de silicio. Si se añade silicio a la pasta de aluminio y se aplica a toda la superficie posterior del sustrato, entonces se observará una reducción en el espesor de la capa de BSF, porque se disolverá menos silicio procedente del sustrato de silicio. Así, es contrario a la opinión generalmente aceptada añadir silicio a la pasta de aluminio. Sin embargo, los inventores han descubierto que la adición de silicio a la pasta de aluminio aumenta la profundidad del BSF para una geometría de la abertura local. En ausencia de silicio en la pasta de aluminio, es preciso que la capa de aluminio que se aleja de las aberturas sea mayor que el 12 por ciento atómico de silicio para permanecer en equilibrio durante el enfriamiento. Esto reduce la cantidad de silicio disponible para la nueva formación en las aberturas, lo que da como resultado un BSF local más delgado. La adición de silicio a la pasta de aluminio satisface la afinidad del aluminio por el silicio. Por lo tanto, la mayor parte del silicio en la aleación fundida de aluminio-silicio en las aberturas está disponible para la nueva formación, lo que da como resultado un BSF local más espeso.

Además de mejorar el BSF, la pasta de contacto con silicio puede contribuir a prevenir el afloramiento del aluminio. La solubilidad del silicio en el aluminio crece a medida que aumenta la temperatura. A medida que el silicio se difunde en el aluminio, el aluminio llenará, a su vez, los vacíos creados por el silicio que parte. Si el aluminio penetra en la unión p-n o p^+-p de la oblea de silicio, el resultado será un rendimiento inferior.

Tal como se ha explicado en lo que antecede, puesto que la pasta de contacto tiene del uno al 12 por ciento atómico de silicio, el aluminio ya estará saturado con átomos de silicio. Por ello, se evita que los átomos de silicio del sustrato se difundan en la capa de aluminio durante el tratamiento con calor. Por ello, se evita el afloramiento de aluminio, dado que no se creará vacío alguno en el sustrato por el silicio que parta.

Las Figuras 6A a 6D representan vistas en corte transversal para una realización de una oblea de silicio en diversas etapas en el proceso de fabricación. La Figura 6A representa una oblea de silicio que tiene un sustrato dopado 600 acoplado a una capa 610 de difusión. En la Figura 6B se acopla una capa dieléctrica 620 al sustrato dopado 600. Además, se acopla una capa dieléctrica 630 a la capa 610 de difusión. Esta capa dieléctrica 620 puede ser dióxido de silicio. La capa dieléctrica 620 puede formarse mediante un proceso de centrifugado, tal como se ha descrito más arriba.

La Figura 6C representa una capa barrera 640 que está acoplada a la capa dieléctrica 620 y una capa barrera 650 que está acoplada a la capa dieléctrica 630. Las capas barrera 640 y 650 pueden comprender nitruro de silicio que se forma mediante PECVD. Las capas barrera 640 y 650 proporcionan protección a las capas dieléctricas. Además, la capa barrera 650 puede proporcionan un revestimiento antirreflectante a la superficie frontal de la célula solar.

La Figura 6D representa una abertura 625 en la capa dieléctrica 620 y en la capa barrera 640. También puede practicarse una abertura 635 en la capa dieléctrica 630 y en la capa barrera 650. Para una realización de la invención, la abertura 625 y la abertura 635 pueden formarse aplicando una pasta decapante solar a la capa dieléctrica y aplicando después un tratamiento con calor a la capa dieléctrica. El tratamiento con calor puede implicar una temperatura de 300 a 380 grados Celsius. El tratamiento con calor disuelve la capa dieléctrica bajo la pasta, formando una abertura hasta el silicio 810 en la capa dieléctrica 805, tal como se muestra en la Figura 8. La Figura 8 representa una vista en planta desde abajo de la capa dieléctrica 805 que tiene una abertura hasta el silicio 810. Para otra realización de la invención, la abertura 625 y la abertura 635 pueden formarse mediante un láser. Para otra realización adicional de la invención, la abertura 625 y la abertura 635 pueden formarse mediante un trazador mecánico.

La abertura 625 puede tener la forma de un punto o de una línea. La Figura 7A muestra una vista en plata desde abajo de una capa barrera 740 que tiene aberturas 725 hasta el silicio con un patrón de puntos. Las aberturas de puntos pueden tener una forma rectangular o circular. La Figura 7B muestra una vista en plata desde abajo de una capa barrera 740 que tiene aberturas 725 hasta el silicio con un patrón de líneas.

La Figura 6E representa un contacto trasero 660 que está acoplado a la capa dieléctrica 620, a la capa barrera 640 y al sustrato dopado 600 por medio de la abertura 625. Este contacto trasero puede comprender aluminio que tenga del uno al 12 por ciento atómico de silicio. La adición del silicio en el aluminio permite un BSF 670 de alta calidad que tiene una profundidad de seis a 15 micrómetros.

En la memoria anterior, se ha descrito la invención con referencia a realizaciones ejemplares específicas de la misma. En consecuencia, la memoria y los dibujos han de considerarse en un sentido ilustrativo, no restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Una célula solar que comprende:

una oblea delgada (600) de silicio cristalino que tiene un espesor de menos de 200 micrómetros que comprende una región p acoplada a una región n;

una primera capa dieléctrica (620) acoplada a la superficie posterior de la oblea de silicio;

una primera capa barrera (640) acoplada a la primera capa dieléctrica para proteger la capa dieléctrica, definiendo la primera capa barrera y la primera capa dieléctrica una abertura a la oblea de silicio; y

un contacto posterior (660) acoplado a la oblea de silicio, a la primera capa dieléctrica y a la primera capa barrera para conducir una carga eléctrica, comprendiendo todo el contacto posterior una aleación de aluminio y silicio, formando la aleación un campo en la superficie posterior que tiene un espesor de seis a 15 micrómetros en la abertura, **caracterizada porque**

la aleación comprende del 1 al 12 por ciento atómico de silicio.

2. La célula solar de la reivindicación 1 en la que el aluminio es aluminio sin frita.

3. La célula solar de la reivindicación 1 en la que el aluminio es aluminio con poca frita.

4. La célula solar de la reivindicación 1 en la que la abertura de acceso a la oblea de silicio tiene la forma de un punto.

5. La célula solar de la reivindicación 1 en la que la abertura de acceso a la oblea de silicio tiene la forma de una línea.

6. La célula solar de la reivindicación 1 que comprende, además:

una segunda capa dieléctrica (630) acoplada a la superficie frontal de la oblea de silicio para pasivar la superficie frontal.

7. La célula solar de la reivindicación 6 que comprende, además:

una segunda capa barrera (650) acoplada a la segunda capa dieléctrica para proporcionar un revestimiento antirreflectante.

8. Un procedimiento que comprende:

la formación de una capa (610) de difusión sobre un sustrato dopado (600) de una oblea delgada de silicio, teniendo la oblea de silicio una superficie frontal y una superficie posterior;

la formación de una capa dieléctrica (620) en al menos la superficie posterior de la oblea de silicio usando un proceso de centrifugación;

la formación de una capa barrera (640) sobre la capa dieléctrica;

la eliminación de una porción de la capa barrera y de la capa dieléctrica de la superficie posterior para formar una abertura de acceso al sustrato;

la aplicación de una pasta de aluminio que tiene del uno al 12 por ciento atómico de silicio en su totalidad hasta la abertura y la superficie posterior de la oblea de silicio; y

la aplicación de un tratamiento de calor a la pasta de aluminio, calentándose la pasta de aluminio hasta una temperatura máxima de 700 a 900 grados Celsius.

9. El procedimiento de la reivindicación 8 en el que la eliminación de la porción de la capa dieléctrica de la superficie posterior se lleva a cabo serigrafiando una pasta decapante y aplicando un tratamiento de calor a la pasta decapante.

10. El procedimiento de la reivindicación 8 en el que se elimina una porción de la capa dieléctrica de la superficie posterior por medio de un láser.

11. El procedimiento de la reivindicación 8 en el que la pasta de aluminio se aplica por medio de una máquina de serigrafía.

12. El procedimiento de la reivindicación 9 que comprende, además:

la determinación de la aplicación de la pasta decapante a porciones del área superficial de la capa dieléctrica usando Simulaciones de Dispositivo para Sistemas Integrados Inteligentes (DESSIS).

13. El procedimiento de la reivindicación 12 que comprende, además:

la introducción de parámetros en la DESSIS para determinar la aplicación de la pasta decapante, comprendiendo los parámetros una resistencia de la capa emisora, un espesor de la célula, una resistividad, una velocidad de recombinación de la superficie frontal, una velocidad de recombinación de la superficie posterior en el dieléctrico y una resistencia de contacto.

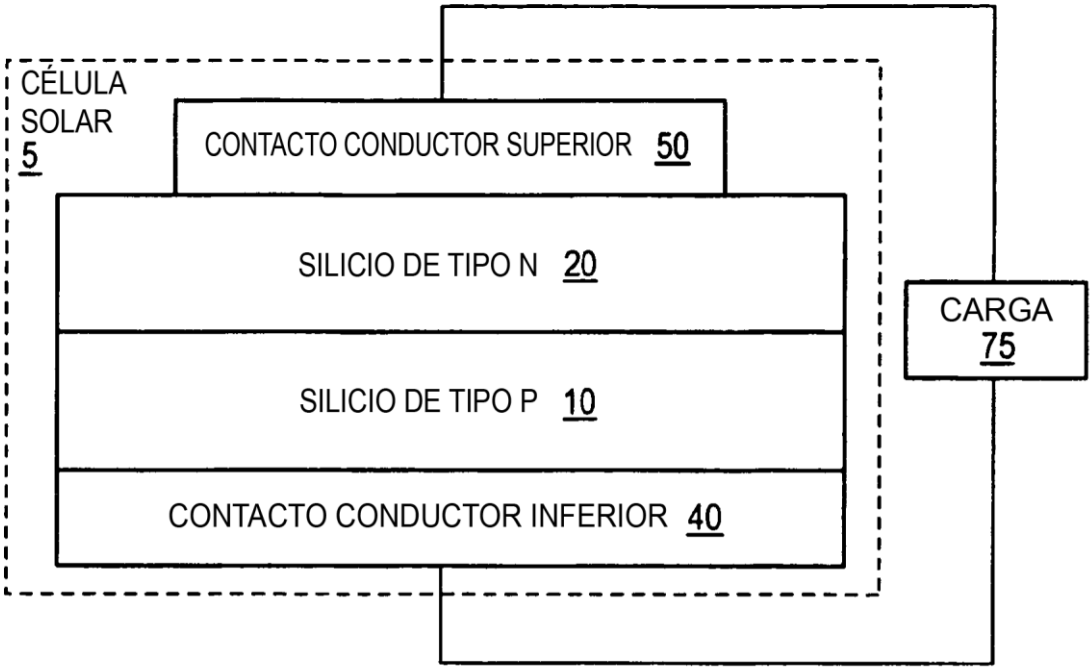


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

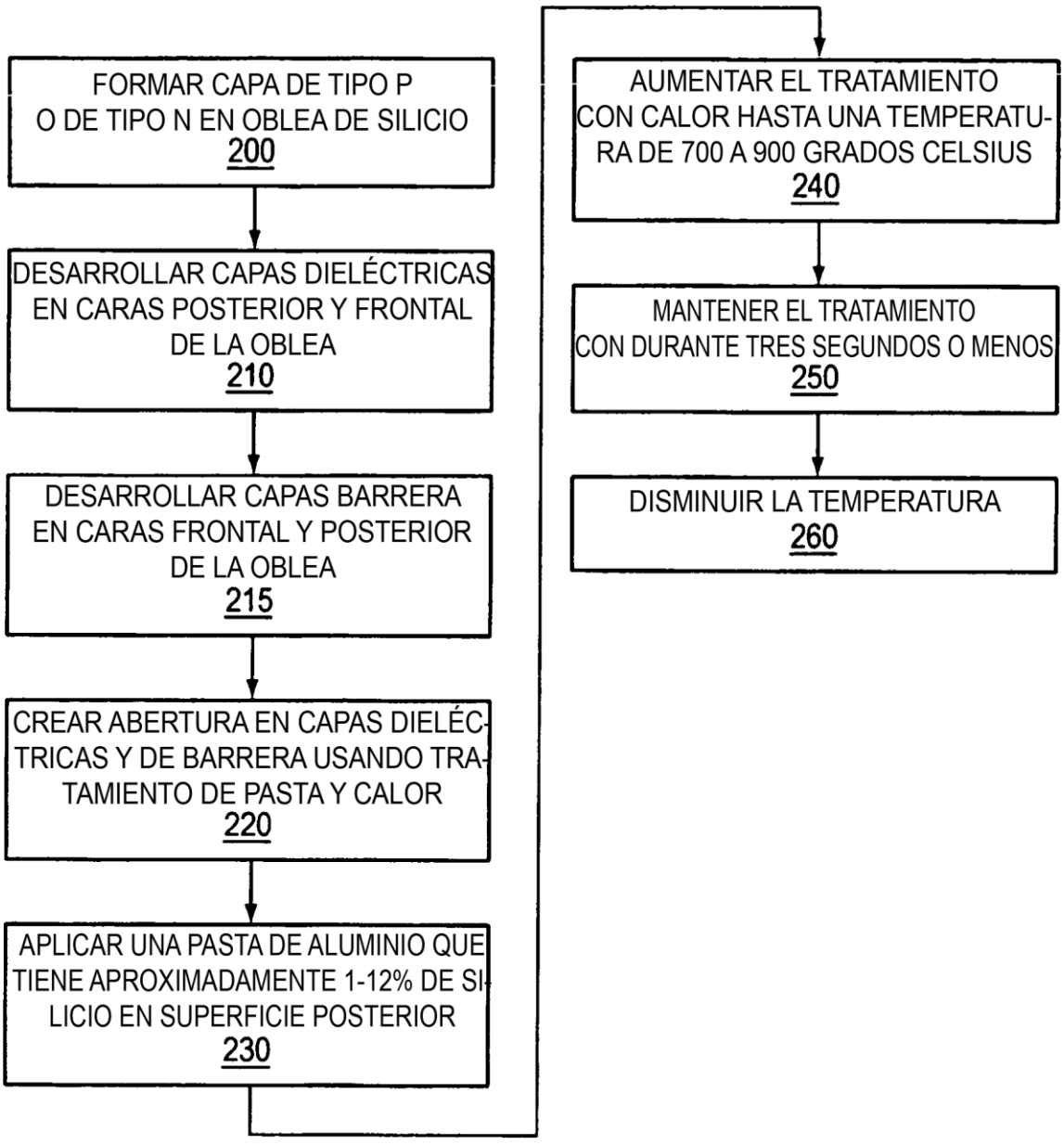

FORMAR CAPA DE TIPO P O DE TIPO N EN OBLEA DE SILICIO
200
DESARROLLAR CAPAS DIELÉCTRICAS EN CARAS POSTERIOR Y FRONTAL DE LA OBLEA
210
DESARROLLAR CAPAS BARRERA EN CARAS FRONTAL Y POSTERIOR DE LA OBLEA
215
CREAR ABERTURA EN CAPAS DIELÉCTRICAS Y DE BARRERA USANDO TRATAMIENTO DE PASTA Y CALOR
220
APLICAR UNA PASTA DE ALUMINIO QUE TIENE APROXIMADAMENTE 1-12% DE SILICIO EN SUPERFICIE POSTERIOR
230
AUMENTAR EL TRATAMIENTO CON CALOR HASTA UNA TEMPERATURA DE 700 A 900 GRADOS CELSIUS
240
MANTENER EL TRATAMIENTO CON DURANTE TRES SEGUNDOS O MENOS
250
DISMINUIR LA TEMPERATURA
260

FIG. 2

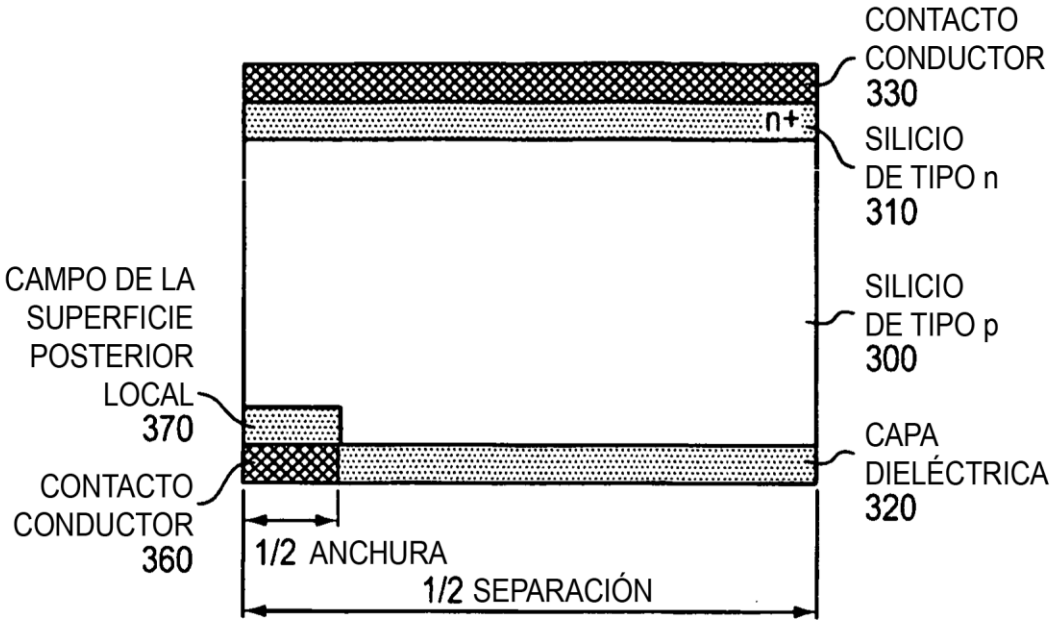

CONTACTO
CONDUCTOR
330
n+
SILICIO
DE TIPO n
310
CAMPO DE LA
SUPERFICIE
POSTERIOR
LOCAL
370
SILICIO
DE TIPO p
300
CAPA
DIELÉCTRICA
320
CONTACTO
CONDUCTOR
360
1/2 ANCHURA
1/2 SEPARACIÓN

FIG. 3A

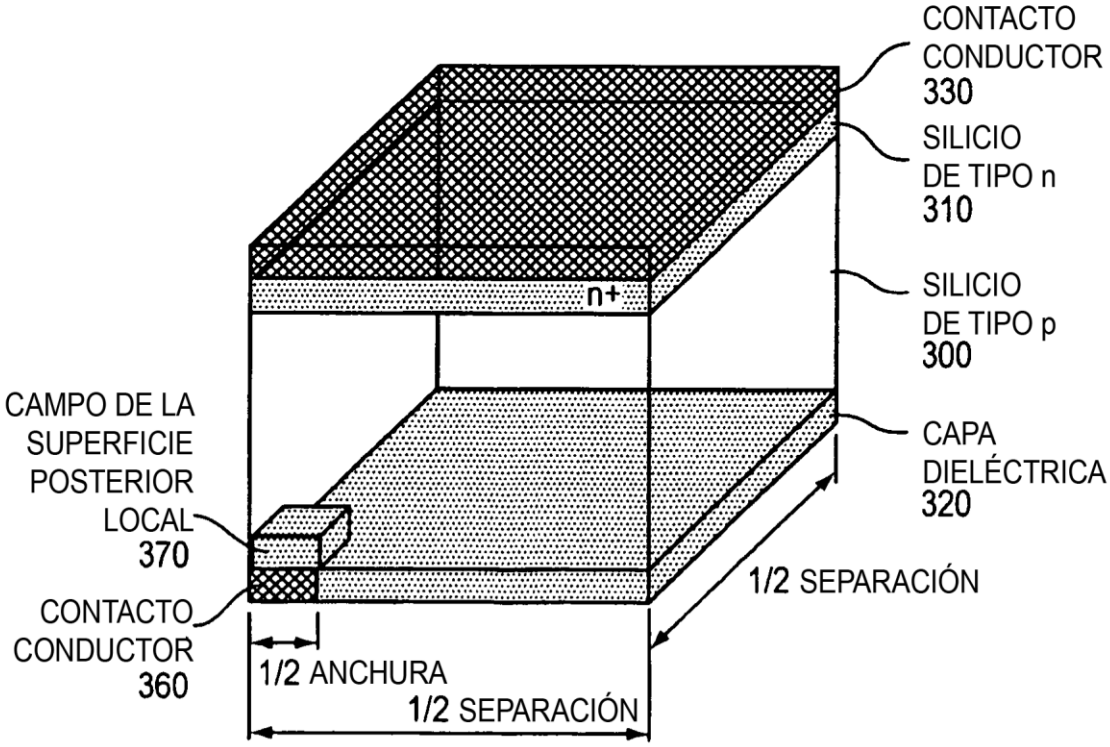

CONTACTO
CONDUCTOR
330
SILICIO
DE TIPO n
310
n+
SILICIO
DE TIPO p
300
CAMPO DE LA
SUPERFICIE
POSTERIOR
LOCAL
370
CAPA
DIELÉCTRICA
320
1/2 SEPARACIÓN
CONTACTO
CONDUCTOR
360
1/2 ANCHURA
1/2 SEPARACIÓN

FIG. 3B

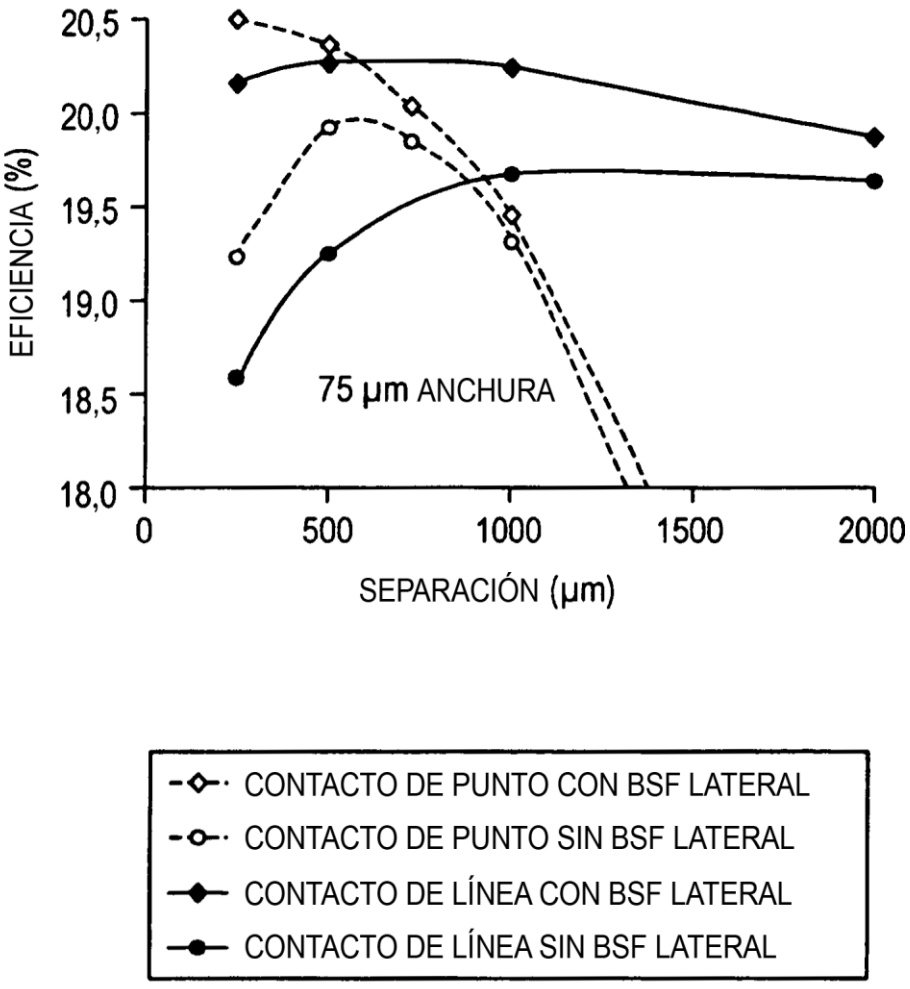

20,5
20,0
19,5
19,0
18,5
18,0
EFICIENCIA (%)
75 µm ANCHURA
0
500
1000
1500
2000
SEPARACIÓN (µm)
CONTACTO DE PUNTO CON BSF LATERAL
CONTACTO DE PUNTO SIN BSF LATERAL
CONTACTO DE LÍNEA CON BSF LATERAL
CONTACTO DE LÍNEA SIN BSF LATERAL

FIG. 4A

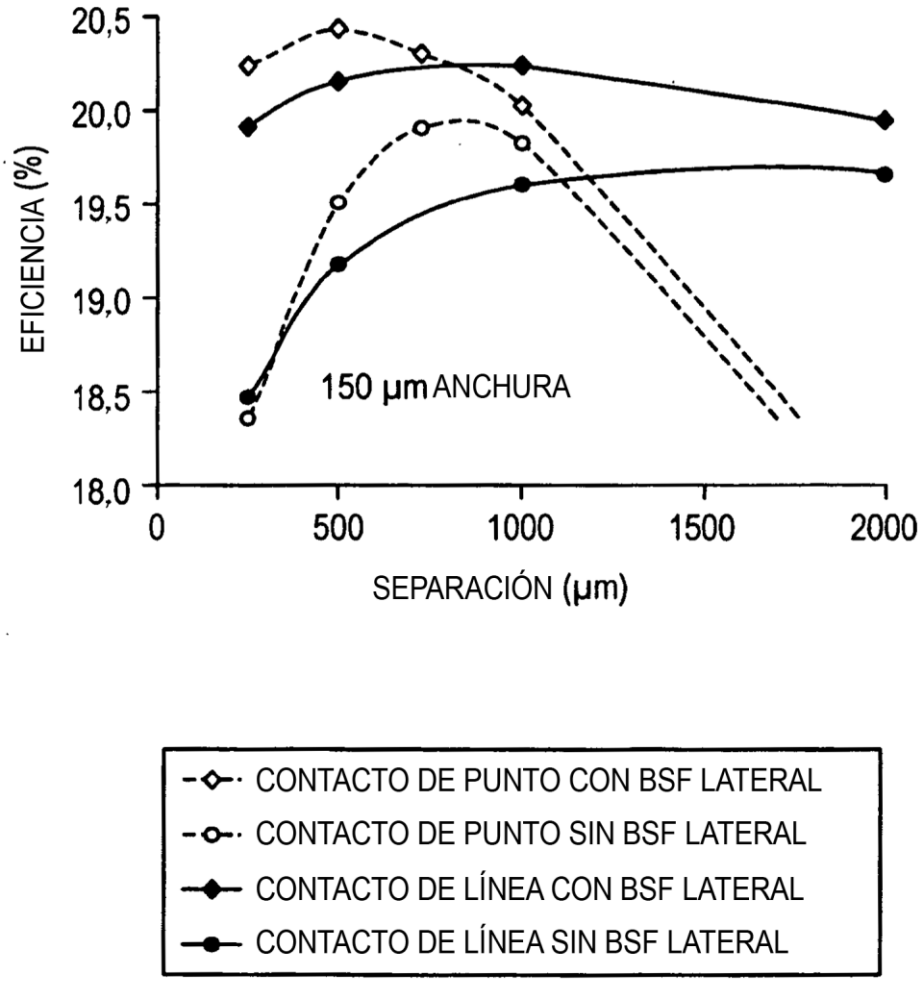

20,5
20,0
19,5
19,0
18,5
18,0
EFICIENCIA (%)
150 µm ANCHURA
0
500
1000
1500
2000
SEPARACIÓN (µm)
CONTACTO DE PUNTO CON BSF LATERAL
CONTACTO DE PUNTO SIN BSF LATERAL
CONTACTO DE LÍNEA CON BSF LATERAL
CONTACTO DE LÍNEA SIN BSF LATERAL

FIG. 4B

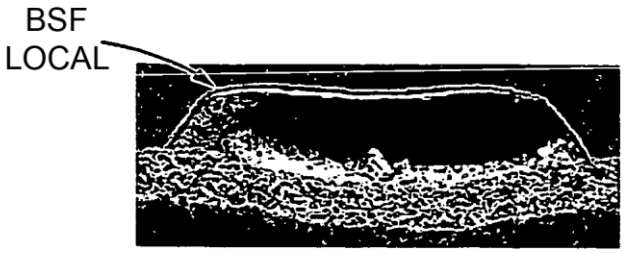


FIG. 5A



FIG. 5B

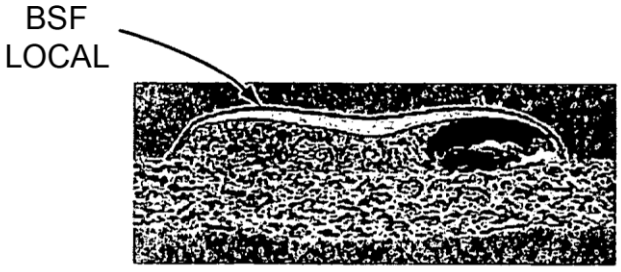


FIG. 5C

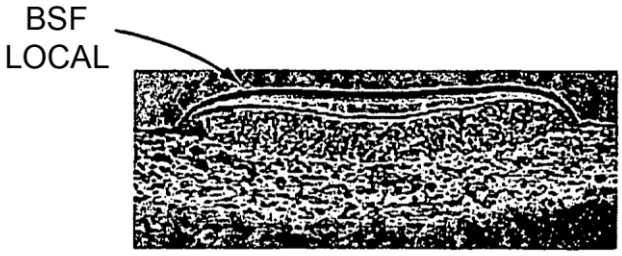


FIG. 5D

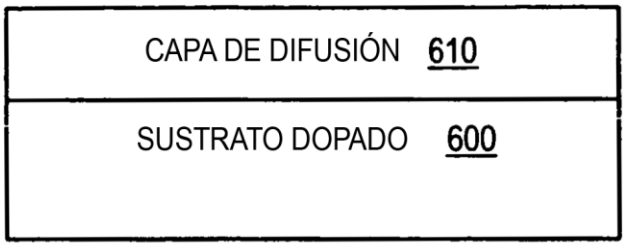


FIG. 6A

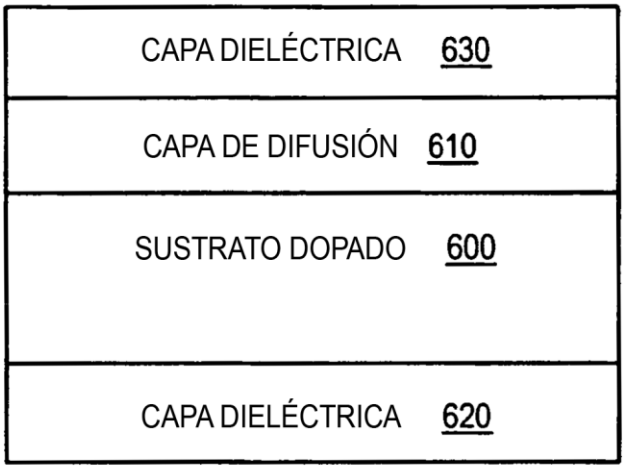


FIG. 6B



FIG. 6C

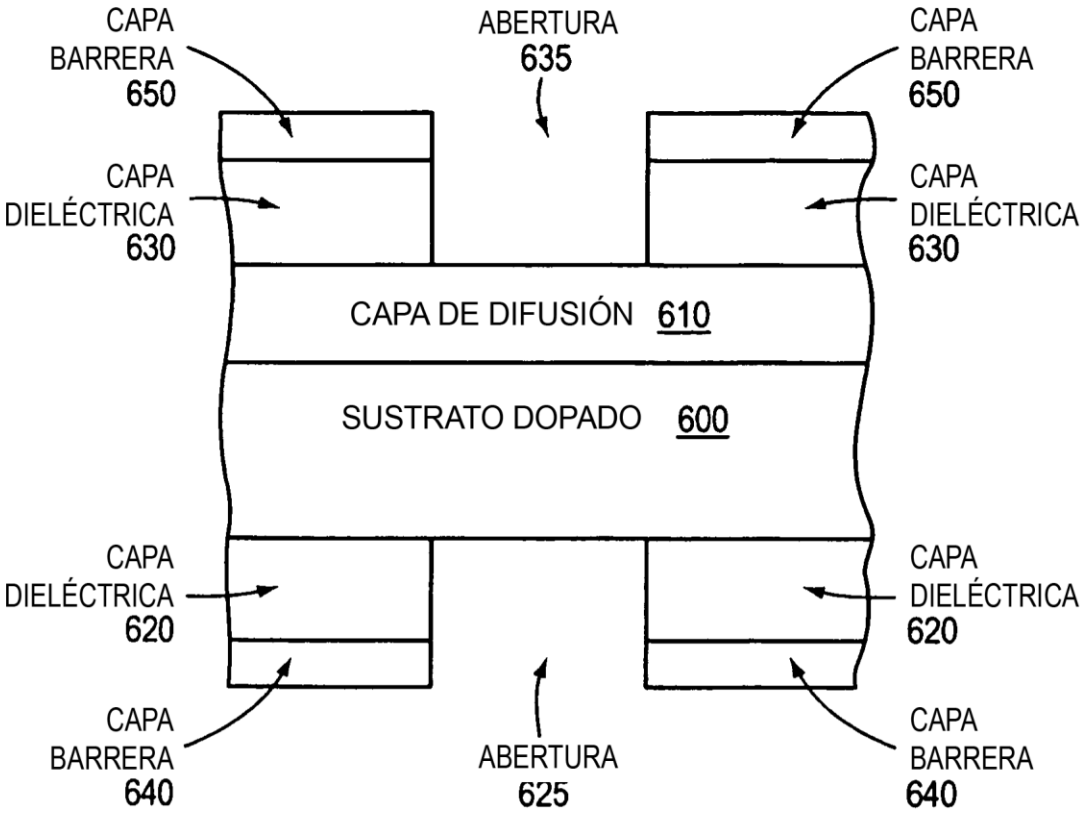

CAPA
BARRERA
650
ABERTURA
635
CAPA
BARRERA
650
CAPA
DIELÉCTRICA
630
CAPA
DIELÉCTRICA
630
CAPA DE DIFUSIÓN 610
SUSTRATO DOPADO 600
CAPA
DIELÉCTRICA
620
CAPA
DIELÉCTRICA
620
CAPA
BARRERA
640
ABERTURA
625
CAPA
BARRERA
640

FIG. 6D

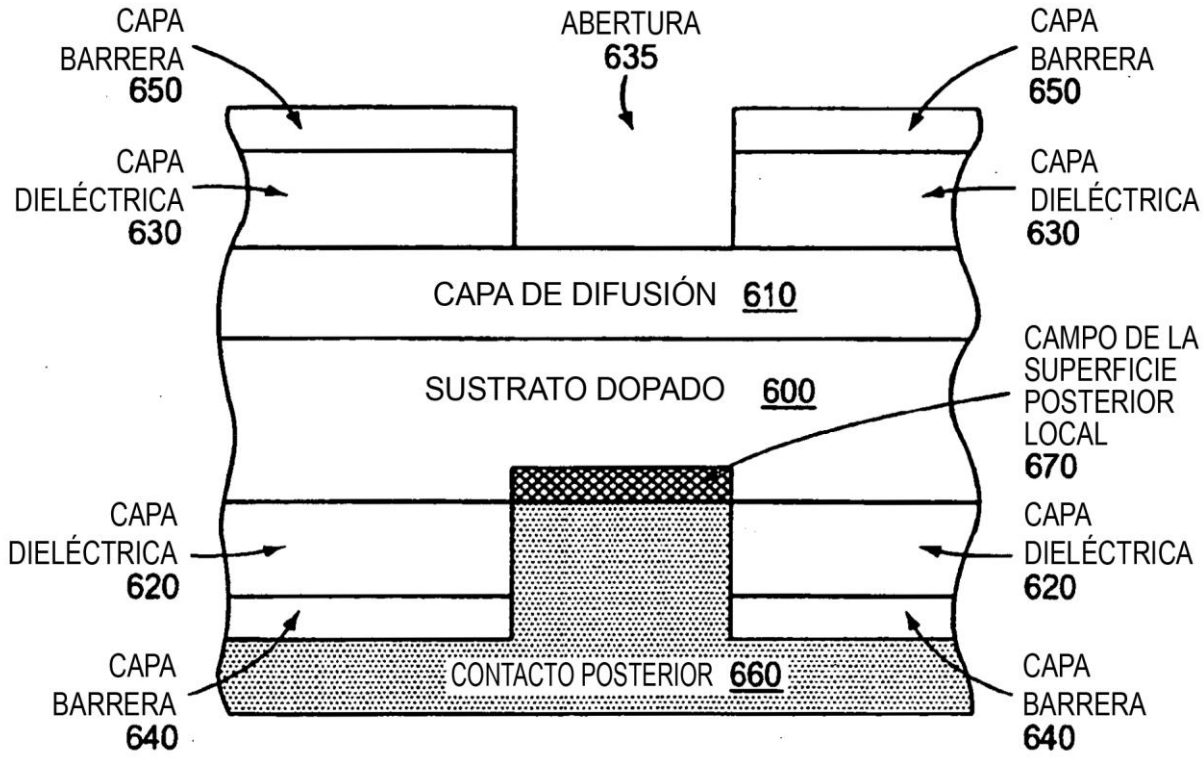

CAPA
BARRERA
650
ABERTURA
635
CAPA
BARRERA
650
CAPA
DIELÉCTRICA
630
CAPA
DIELÉCTRICA
630
CAPA DE DIFUSIÓN 610
SUSTRATO DOPADO 600
CAMPO DE LA
SUPERFICIE
POSTERIOR
LOCAL
670
CAPA
DIELÉCTRICA
620
CAPA
DIELÉCTRICA
620
CAPA
BARRERA
640
CONTACTO POSTERIOR 660
CAPA
BARRERA
640

FIG. 6E

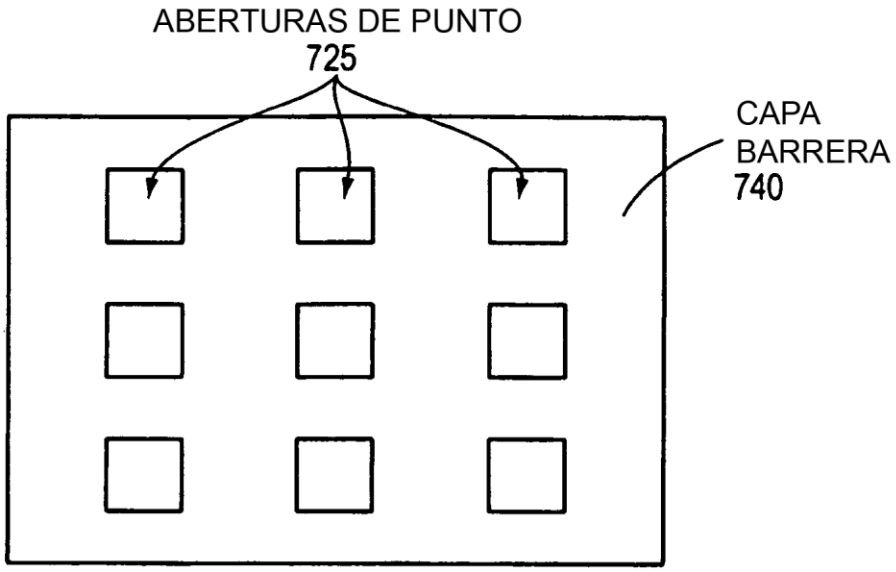

ABERTURAS DE PUNTO
725
CAPA
BARRERA
740

FIG. 7A

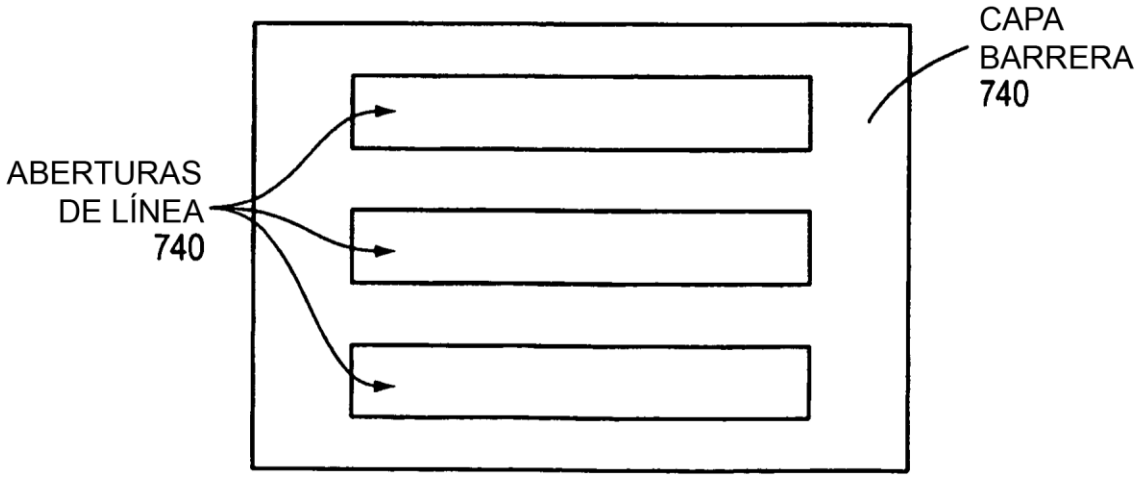

CAPA
BARRERA
740
ABERTURAS
DE LÍNEA
740

FIG. 7B

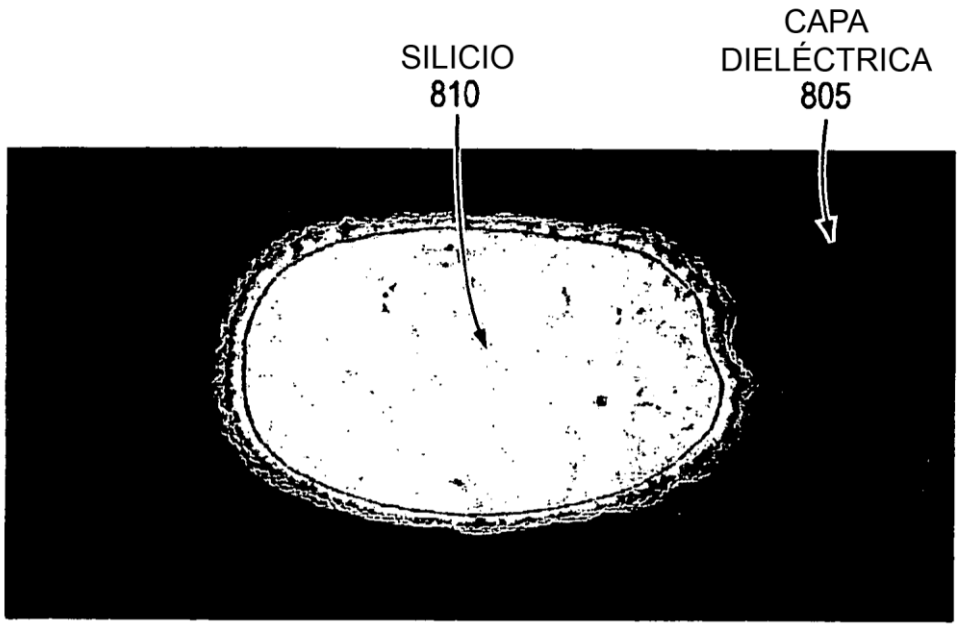


FIG. 8