(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 713 384**

(51) Int. CI.:

H01L 31/107 (2006.01)
H01L 31/0232 (2014.01)
H01L 31/0352 (2006.01)
H01L 31/028 (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2014 PCT/CN2014/071987**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15120583**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2014 E 14882321 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3089224**

(54) Título: **Fotodiodo de avalancha con acomplamiento de guía de ondas y método de fabricación del mismo**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.05.2019

(73) Titular/es:

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)
Huawei Administration Building, Bantian, Longgang District
Shenzhen, Guangdong 518129, CN

(72) Inventor/es:

YU, CHANGLIANG;
LIAO, ZHENXING y
ZHAO, YANLI

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

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

Fotodiodo de avalancha con acomplamiento de guía de ondas y método de fabricación del mismo

Campo técnico

La presente invención se refiere al campo de las comunicaciones, y en particular, a un fotodiodo de avalancha y un método de fabricación del mismo.

Antecedentes

Con la creciente comercialización de las redes ópticas pasivas de 10 gigabits (10G-PON) y la creciente madurez de una tecnología de red óptica pasiva (PON) de próxima generación, un módulo óptico de alta velocidad plantea requisitos cada vez más urgentes de un fotodetector de alta respuesta (que también se puede denominar de alta flexibilidad) y gran ancho de banda. Aunque un detector positivo-intrínseco-negativo (PIN) de alta velocidad puede tener una velocidad muy alta y costes relativamente bajos, la capacidad de respuesta del detector PIN de alta velocidad también es relativamente baja; por lo tanto, es difícil cumplir con el requisito de una red PON de alta velocidad de flexibilidad y gasto energético. Un APD (fotodiodo de avalancha) puede tener una capacidad de respuesta muy alta debido a un efecto multiplicador y, por lo tanto, se convierte en el módulo óptico preferido de alta velocidad.

Actualmente, un APD de 10 Gbps es caro y el APD tiene una corriente de oscuridad relativamente fuerte, que limita la flexibilidad del APD.

El documento CN 102 916 071 A describe un fotodiodo y un método de fabricación del mismo, relacionado con el campo de la tecnología optoeléctrica, en donde el fotodiodo es capaz de reducir la pérdida de energía. El fotodiodo comprende un sustrato colocado sobre una capa inferior, un saliente de la capa de revestimiento inferior que cubre el sustrato, una capa núcleo de guiado de la onda incidente que cubre el saliente de la capa de revestimiento inferior, una capa de revestimiento superior que cubre la capa núcleo de guiado de la onda incidente, una capa de emparejamiento óptica colocada encima de la capa de revestimiento superior y un fotodiodo de avalancha colocado encima de la parte central del extremo trasero de la capa de emparejamiento óptica, en donde la anchura del saliente de la capa de revestimiento inferior en el extremo de cola en la dirección de la onda incidente es más ancha que la del extremo del principio en la dirección de la onda incidente, ambos lados del saliente de la capa de revestimiento inferior en el extremo de cola en la dirección de la onda incidente son paralelos, y ambos lados del saliente de la capa de revestimiento inferior en el extremo del principio en la dirección de la onda incidente son paralelos; y la capa de emparejamiento óptica comprende un extremo frontal de la capa de emparejamiento óptica y un extremo posterior de la capa de emparejamiento óptica, en donde el extremo frontal de la capa de emparejamiento óptica comprende al menos una unión de aire extendida a lo largo de la dirección de la onda incidente, y el extremo frontal de la capa de emparejamiento óptica se divide en unidades características divididas por las uniones de aire. La forma de realización de la invención se aplica a la fabricación del fotodiodo.

El artículo "Progress towards photon counting between 1µm and 1.6µm using silicon with infrared absorbers" de A. Morrison et al., Proceedings of the SPIE, Vol. 7681, abril de 2010, describe un enfoque que permite extender el rendimiento de los fotodiodos de avalancha en modo Geiger basados en silicio (GM-APD) hasta el infrarrojo cercano. Se describe el desarrollo del proceso mediante el cual los absorbedores de Ge se incorporan en diseños de APD de silicio adaptados para proporcionar dispositivos diferentes de absorción y multiplicación. Los resultados de la simulación se presentan resumiendo el rendimiento de estos dispositivos con longitudes de onda entre 1 µm y 1,6 µm. Los resultados de rendimiento de los diseños de APD de silicio se presentan para longitudes de onda visibles. Se describe un proceso de unión silicio-germanio y se detallan los desafíos que se presentan en el desarrollo de la estructura híbrida absorbente/multiplicadora. Finalmente, se describe un resumen de los circuitos integrados de aplicaciones personalizadas apropiados para varias aplicaciones.

El artículo "Effectiveness of SiGe Buffer Layers in Reducing Dark Currents of Ge-on-Si Photodetectors" por Z. Huang et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 43, marzo 2007 investiga la efectividad de las capas buffer de SiGe finas para terminar las dislocaciones de propagación y reducir la corriente de oscuridad del fotodiodo durante el crecimiento epitaxial del Ge sobre el Si (001). La morfología estructural de las películas fue estudiada mediante microscopía de fuerza atómica y microscopía electrónica de transmisión. La corriente de oscuridad de Ge en los fotodiodos de Si se puede reducir aproximadamente en un orden de magnitud incorporando dos capas buffer de SiGe de diferente composición. También se estudió el origen de la corriente de oscuridad y la eficacia del recocido térmico de las capas de SiGe.

El artículo "Evanescent Coupling Device Design for Waveguide-Integrated Group IV Photodetectors" por D. Ahn et al., Journal of Lightwave Technology, Vol. 28, diciembre 2010, describe que se han fabricado fotodetectores verticales de silicio p-i-n que se integran monolíticamente con guías de onda de canal de oxinitruro de silicio compactas. Al comparar el acoplamiento evanescente de las guías de onda de bajo índice de contraste y las guías de onda compactas de alto índice de contraste, se analizó la dependencia del comportamiento del acoplamiento evanescente en los diseños de índice y geometría de las guías de onda. Se han estudiado los efectos de las

variaciones de fabricación en la estructura de acoplamiento y se encontró que una etapa de compensación en la guía de ondas puede ayudar a compensar el desajuste de modo en la interfaz de transición desde la guía de ondas del bus de entrada a la guía de ondas en la parte superior del fotodetector. Finalmente, se presenta un mapa de diseño, construido dibujando las líneas de contorno de la velocidad de acoplamiento evanescente en el espacio de diseño de la guía de ondas, que predice bien las tendencias del acoplamiento evanescente.

Resumen

La presente invención proporciona un fotodiodo de avalancha y un método de fabricación del mismo, que puede resolver los problemas del estado anterior de la técnica en que un APD tiene una corriente de oscuridad relativamente fuerte y es caro.

Para lograr el objetivo anterior, la invención proporciona un fotodiodo de avalancha y un método de fabricación de fotodiodos de avalancha según se define en las reivindicaciones adjuntas.

De acuerdo con el fotodiodo de avalancha y el método de fabricación del mismo proporcionado por la invención reivindicada, se añade una capa buffer óptica de SiGe de un espesor adecuado entre una capa de Si y una capa de Ge intrínseco, y se controla que una composición de Ge en la capa de SiGe sea menor o igual al 20%, lo que no sólo alivia significativamente el problema del desajuste de la red entre la capa de Si y la capa de Ge intrínseco y reduce en gran medida una corriente de oscuridad de un fotodiodo de avalancha de SiGe, sino que también afecta escasamente a otras prestaciones tales como la eficiencia cuántica y un producto de ganancia de ancho de banda del fotodiodo de avalancha de SiGe. Además, se utiliza una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes, con el fin de evitar un problema de disminución de la velocidad de los componentes causado por una capa buffer de SiGe relativamente gruesa que se requiere cuando se utiliza una forma común de acoplamiento de la luz incidente normalmente frontal.

Breve descripción de los dibujos

Para describir más claramente las soluciones técnicas en las formas de realización de la presente invención, a continuación, se presentan brevemente los dibujos adjuntos que se requieren para describir las formas de realización. Aparentemente, los dibujos adjuntos y la descripción siguiente muestran meramente algunas formas de realización de la presente invención, y una persona experta en la técnica todavía puede obtener otros dibujos a partir de estos dibujos adjuntos sin esfuerzos creativos.

La FIG. 1 es un diagrama estructural esquemático de un fotodiodo de avalancha de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 2 es un diagrama en sección esquemático de un fotodiodo de avalancha de acuerdo con una forma de realización de la presente invención; y

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un método de fabricación de fotodiodos de avalancha de acuerdo a una forma de realización de la presente invención.

Descripción de las formas de realización

A continuación, se describen de forma clara y por completo las soluciones técnicas en las formas de realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. Aparentemente, las formas de realización descritas son simplemente algunas, pero no todas las formas de realización de la presente invención.

Forma de realización 1

Esta forma de realización de la presente invención proporciona un fotodiodo de avalancha. La FIG. 1 es un diagrama estructural esquemático del fotodiodo de avalancha, donde un eje Z es una dirección de transmisión de la onda de luz, un eje Y es una dirección de altura del componente, y un eje X es una dirección de anchura del componente. La FIG. 2 es un diagrama en sección esquemático del fotodiodo de avalancha. Con referencia a la FIG. 1 y la FIG. 2, el fotodiodo de avalancha incluye:

un sustrato de germanio sobre aislante (GeOI), que incluye una capa de sustrato de silicio (Silicio, Si) 14, una capa de dióxido de silicio (SiO_2) 71 y una capa de germanio (Ge) 32, donde

una capa de absorción de germanio-intrínseco (I-Ge) 31 se dispone sobre el sustrato GeOI y se configura para absorber una señal óptica y generar un portador foto-generado;

una segunda capa tipo-p (positiva) de silicio-germanio (SiGe) 24 se dispone sobre la capa de absorción de I-Ge 31, y una primera capa tipo-p de SiGe 23 se dispone sobre la segunda capa tipo-p de SiGe 24, donde un contenido de Ge en la primera capa tipo-p de SiGe 23 y la segunda capa tipo-p de SiGe 24 es menor o igual al 20%;

una primera capa de SiO_2 72 se dispone adicionalmente sobre el sustrato GeOI, y una segunda capa de SiO_2 73 se dispone sobre la primera capa de SiO_2 72;

una capa de guía de ondas de SiGe 21 y una capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 se disponen sobre la primera capa de SiO_2 72, donde un contenido de Ge en cualquiera de las capas de guía de ondas de SiGe es menor o igual al 20%;

una capa de guía de ondas de Si de tipo cónico ("尖细的 " en chino) 11 y una capa de guía de ondas de Si 12 se disponen respectivamente adicionalmente sobre la segunda capa de SiO_2 73 y la capa de guía de ondas de SiGe 21;

una capa de multiplicación de Si negativa (tipo-n) fuertemente dopada 13 se dispone sobre la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 y la primera capa tipo-p de SiGe 23;

se dispone un electrodo de cátodo 62 sobre la capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada 13; y

se disponen los electrodos de ánodo 61 sobre el sustrato GeOI;

donde la capa de guía de ondas de silicio de tipo cónico 11, la capa de guía de ondas de silicio 12, la capa de guía de ondas de SiGe 21 y la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes;

la capa de guía de ondas de SiGe 21, la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22, la primera capa de SiGe tipo-p 23 y la segunda capa de SiGe tipo-p 24 forman una estructura de tipo cónico; y

la capa de guía de ondas de SiGe 21, la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22, la primera capa de SiGe tipo-p 23, la segunda capa de SiGe tipo-p 24 y la capa de absorción de I-Ge 31 forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes.

Además, la primera capa de SiGe tipo-p 23 se utiliza como una capa de carga, una capa buffer óptica o una capa de emparejamiento óptica, y la segunda capa de SiGe tipo-p 24 se utiliza como una capa buffer óptica o una capa de emparejamiento óptica.

La primera capa de SiGe tipo-p 23 y la segunda capa de SiGe tipo-p 24 se configuran para propagar señales ópticas en la capa de guía de ondas de SiGe 21 y en la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22, y además, forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes junto con la capa de absorción de Ge-intrínseco 31, para acoplar las señales ópticas a la capa de absorción de Ge-intrínseco 31, donde la capa de guía de ondas de SiGe 21 y en la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 juegan los papeles de una capa de emparejamiento óptica y de una capa buffer óptica.

Además, la capa de guía de ondas de tipo cónico Si 11 y la capa de guía de ondas de Si 12 se configuran para: realizar el acoplamiento a tope con una fibra óptica, actuar como áreas ópticas activas para recibir señales ópticas incidentes y formar una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes junto con la capa de guía de ondas de SiGe 21 y la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22, para acoplar las señales ópticas incidentes a la capa de guía de ondas de SiGe 21 y a la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22.

La capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada 13, se utiliza en un área en la que se genera un efecto de ionización de colisión y un efecto multiplicador.

Un espesor total de la primera capa de SiGe tipo-p 23 y de la segunda capa de SiGe tipo-p 24 y un espesor total de la capa de guía de ondas de SiGe 21 y de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 son diferentes y se corresponden respectivamente con un espesor de la capa de absorción de Ge-intrínseco 31 y con un espesor de la capa de guía de ondas de Si de tipo cónico 11 o de la capa de guía de ondas de Si 12, con el fin de optimizar la eficiencia de acoplamiento y la eficiencia cuántica.

Además, los parámetros estructurales del APD de acuerdo con esta forma de realización de la presente invención se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1 Parámetros estructurales de un fotodiodo de avalancha

Nombre de una capa estructural	Material	Anchura (μm)	Longitud (μm)	Espesor (μm)
capa de guía de ondas de Si de tipo cónico 11	Si	Disminución desde 1,9-48 μm a 1,2-28 μm	2-50	0,07-35

Nombre de una capa estructural	Material	Anchura (µm)	Longitud (µm)	Espesor (µm)
capa de guía de ondas se Si 12	Si	1,2-28	10-500	0,07-35
Capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada 13	Si	1-20	5-250	0,05-2.5
Capa de guía de ondas de silicio-germanio (SiGe) 21	Aleación de SiGe, donde un contenido de Ge es menor o igual al 20%.	1,4-30	10-500	0,02-2.7
Capa de guía de ondas de silicio-germanio (SiGe) de tipo cónico 22	Aleación de SiGe, donde un contenido de Ge es menor o igual al 20%.	Disminución desde 1,4-30 µm a 1-20 µm	1-20	0,02-2.7
Primera capa de silicio-germanio (SiGe) tipo-p 23	Aleación de SiGe tipo-p, donde un contenido de Ge es menor o igual al 20%.	1-20	4-230	0,02-2.7
Segunda capa de silicio-germanio (SiGe) tipo-p 24	Aleación de SiGe tipo-p, donde un contenido de Ge es menor o igual al 20%.	1,1-22	4-230	0,005-1
Capa de absorción de germanio-intrínseco (I-Ge) 31	I-Ge	1,1-22	4-230	0,04-4
Capas 14, 71 y 32 del sustrato de germanio sobre aislante (GeOI)	Si para la capa 14, SiO_2 para la capa 71 y Ge para la capa 32	\	\	\

De acuerdo con esta forma de realización de la presente invención, se añade una capa buffer óptica de SiGe de un espesor adecuado entre una capa de Si y una capa de Ge, y se controla que una composición de Ge en la capa de SiGe sea menor o igual al 20%, lo que no sólo alivia significativamente un problema del desajuste de la red entre la capa de Si y la capa de Ge y reduce en gran medida una corriente de oscuridad de un fotodiodo de avalancha de SiGe, sino que también afecta escasamente a otras prestaciones tales como la eficiencia cuántica y un producto de ganancia de ancho de banda del fotodiodo de avalancha de SiGe. Además, se utiliza una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes, con el fin de evitar un problema de disminución de la velocidad de los componentes causado por una capa buffer de SiGe relativamente gruesa que se requiere cuando se utiliza una forma común de acoplamiento de la luz incidente normalmente frontal.

Forma de realización 2

Basada en la forma de realización correspondiente a la FIG. 1, otra forma de realización de la presente invención proporciona un método de fabricación de fotodiodos de avalancha. La FIG. 3 es un diagrama de flujo esquemático del método de fabricación de fotodiodos de avalancha, según se muestra en la FIG. 3:

S301: Hacer crecer epitaxialmente una capa de absorción de I-Ge 31 sobre un sustrato GeOI.

Opcionalmente, el sustrato GeOI incluye una capa de sustrato de Si 14, una capa de SiO_2 71 y una capa de Ge 32.

S302: Hacer crecer una segunda capa de SiGe tipo-p 24 sobre la capa de absorción de I-Ge 31.

S303: Hacer crecer una primera capa de SiO2 72 sobre el sustrato GeOI.

S304: Hacer crecer, en la primera capa de SiO_2 72, una guía de ondas cónica que incluye una capa de guía de ondas de SiGe 21 y una capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22, y hacer crecer una primera capa de SiGe tipo-p 23 sobre la segunda capa de SiGe tipo-p 24.

S305: Realizar la inyección de iones tipo-p sobre la primera capa de SiGe tipo-p 23 y la segunda capa de SiGe tipo-p 24 para formar una capa de emparejamiento óptica de SiGe tipo-p.

S306: Hacer crecer una segunda capa de SiO_2 73 sobre la primera capa de SiO_2 72.

S307: Hacer crecer una capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada 13 sobre la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico 22 y la primera capa de SiGe tipo-p 23.

S308: Hacer crecer una capa de guía de ondas de Si de tipo cónico 11 y una capa de guía de ondas de Si 12 sobre la segunda capa de SiO_2 73 y la capa de guía de ondas de SiGe 21, respectivamente.

S309: Hacer crecer los electrodos de ánodo 61 en el sustrato GeOI, y hacer crecer un electrodo de cátodo 62 en la capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada 13.

Los parámetros estructurales del fotodiodo de avalancha se muestran en la Tabla 1 anterior.

De acuerdo con el método de fabricación de fotodiodos de avalancha proporcionado por esta forma de realización, se añade una capa buffer óptica de SiGe/capa de emparejamiento óptica de un espesor adecuado entre una capa de Si y una capa de Ge, y se controla que la composición de Ge en la capa de SiGe sea menor o igual al 20%, lo que no sólo alivia significativamente un problema de un desajuste de la red entre la capa de Si y la capa de Ge y reduce en gran medida una corriente de oscuridad de un fotodiodo de avalancha de SiGe, sino que también afecta escasamente a otras prestaciones tales como la eficiencia cuántica y un producto de ganancia de ancho de banda del fotodiodo de avalancha de SiGe. Además, se utiliza una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes, con el fin de evitar un problema de disminución de la velocidad de los componentes causado por una capa buffer de SiGe relativamente gruesa que se requiere cuando se utiliza una forma común de acoplamiento de la luz incidente normalmente frontal.

Las descripciones anteriores son simplemente formas específicas de aplicación de la presente invención, pero no tienen por objeto limitar el alcance de la protección de la presente invención. El alcance de la protección de la presente invención estará sujeto al alcance de la protección de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un fotodiodo de avalancha, que comprende:

un sustrato aislante de germanio, GeOI, en donde:

una capa de absorción de germanio-intrínseco, I-Ge, (31) se dispone sobre el sustrato GeOI para la absorción de una señal óptica y la generación de portadoras foto-generadas;

una segunda capa de silicio-germanio tipo-p, SiGe, (24) se dispone sobre la capa de absorción de I-Ge (31), y una primera capa de SiGe tipo-p (23) se dispone sobre la segunda capa de SiGe tipo-p (24), en donde un contenido de germanio, Ge, en la primera capa de SiGe tipo-p (23) y en la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es inferior o igual al 20%;

una primera capa de dióxido de silicio, SiO_2 (72) se dispone adicionalmente sobre el sustrato GeOI, y una segunda capa de SiO_2 (73) se dispone sobre la primera capa de SiO_2 (72);

una capa de guía de ondas de SiGe (21) y una capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) se disponen sobre la primera capa de SiO2 (72), en donde el contenido de Ge en cualquiera de las capas de guía de ondas de SiGe es menor o igual al 20%;

una capa de guía de ondas de silicio, Si, de tipo cónico (11) y una capa de guía de ondas de Si (12) se disponen adicionalmente sobre la segunda capa de SiO_2 (73) y la capa de guía de ondas de SiGe (21) respectivamente;

una capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada (13) se dispone sobre la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) y la primera capa de SiGe tipo-p (23);

se dispone un electrodo de cátodo (62) sobre la capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada (13); y

se disponen los electrodos de ánodo (61) sobre el sustrato GeOI;

en donde la capa de guía de ondas de Si de tipo cónico (11), la capa de guía de ondas de Si (12), la capa de guía de ondas de SiGe (21) y la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes;

la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22), la primera capa de SiGe tipo-p (23) y la segunda capa de SiGe tipo-p (24) forman una estructura de tipo cónico, en donde la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) y la primera capa de SiGe tipo-p (23) se disponen en el mismo plano y tienen el mismo espesor, una anchura de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) disminuye desde la anchura de la capa de guía de ondas de SiGe (21) hasta la anchura de la primera capa de SiGe tipo-p (23); y la longitud de la primera capa de SiGe tipo-p (23) dispuesta sobre la segunda capa de SiGe tipo-p (24) se corresponde con la longitud de la segunda capa de SiGe tipo-p (24); y

la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22), la primera capa de SiGe tipo-p (23), la segunda capa de SiGe tipo-p (24) y la capa de absorción de I-Ge (31) forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes.

2. El fotodiodo de avalancha de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el espesor de la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) y la primera capa de SiGe tipo-p (23) se encuentran en el rango de 0,02 a 2,7 micrómetros, y el espesor total de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) y la capa de absorción de I-Ge (31) se corresponde con el espesor de la primera capa de SiO_2 (72), en donde que el espesor de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) se encuentra en el rango de 0,005 a 1 micrómetro y el espesor de la capa de absorción de I-Ge (31) se encuentra en el rango de 0,04 a 4 micrómetros.

3. El fotodiodo de avalancha de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde un rango de anchura de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 1,4 a 30 micrómetros, un rango de longitud de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 10 a 500 micrómetros y un rango de espesor de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 0,02 a 2,7 micrómetros.

4. El fotodiodo de avalancha de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde un rango de anchura de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) disminuye progresivamente de 1,4 micrómetros a 30 micrómetros hasta 1 micrómetros a 20 micrómetros, un rango de longitud de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) es de 1 micrómetros a 20 micrómetros, y un rango de espesor de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) es de 0,02 micrómetros a 2.7 micrómetros.

5. El fotodiodo de avalancha de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde un rango de anchura de la primera capa de SiGe tipo-p (23) es de 1 a 20 micrómetros, un rango de longitud de la primera

capa de SiGe tipo-p (23) es de 4 a 230 micrómetros y un rango de espesor de la primera capa de SiGe tipo-p (23) es de 0,02 micrómetros a 2,7 micrómetros.

6. El fotodiodo de avalancha de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde un rango de anchura de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 1,1 micrómetros a 22 micrómetros, un rango de longitud de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 4 micrómetros a 230 micrómetros y un rango de espesor de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 0,005 micrómetros a 1 micrómetro.

7. Un método de fabricación de fotodiodos de avalancha, que incluye:

hacer crecer epitaxialmente una capa de absorción de germanio-intrínseco, I-Ge, (31) sobre un sustrato de germanio sobre aislante, GeOI;

hacer crecer una segunda capa de silicio-germanio, SiGe, tipo-p (24) sobre la capa de absorción de I-Ge (31);

hacer crecer una primera capa de dióxido de silicio, SiO_2, (72) sobre el sustrato GeOI;

hacer crecer, sobre la primera capa de SiO_2 (72), una capa de guía de ondas de SiGe (21) y una capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22);

hacer crecer una primera capa de SiGe tipo-p (23) sobre la segunda capa de SiGe tipo-p (24), en donde un contenido de germanio, Ge, en la primera capa de SiGe tipo-p (23) y la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es inferior o igual al 20%, y en donde la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) y la primera capa de SiGe tipo-p (23) se disponen en el mismo plano y tienen el mismo espesor, una anchura de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) disminuye desde la anchura de la capa de guía de ondas de SiGe (21) hasta la anchura de la primera capa de SiGe tipo-p (23); y la longitud de la primera capa de SiGe tipo-p (23) dispuesta sobre la segunda capa de SiGe tipo-p (24) se corresponde con la longitud de la segunda capa de SiGe tipo-p (24);

realizar una inyección de iones tipo-p en la primera capa de SiGe tipo-p (23) y en la segunda capa de SiGe tipo-p (24) para formar una capa de emparejamiento óptica de SiGe tipo-p;

hacer crecer una segunda capa de SiO_2 (73) sobre la primera capa de SiO_2 (72);

hacer crecer una capa de multiplicación de silicio, Si, tipo-n fuertemente dopado (13) sobre la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) y la primera capa de SiGe tipo-p (23);

hacer crecer una capa de guía de ondas de Si de tipo cónico (11) y una capa de guía de ondas de Si (12) sobre la segunda capa de SiO_2 (73) y la capa de guía de ondas de SiGe (21), respectivamente, en donde la capa de guía de ondas de Si de tipo cónico (11), la capa de guía de ondas de Si (12), la capa de guía de ondas de SiGe (21) y la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes, y en donde la capa de guía de ondas de SiGe (21), la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22), la primera capa de SiGe tipo-p (23), la segunda capa de SiGe tipo-p (24) y la capa de absorción de I-Ge (31) forman una estructura de acoplamiento de ondas evanescentes;

hacer crecer electrodos de ánodo (61) sobre el sustrato GeOI; y

hacer crecer un electrodo de cátodo (62) sobre la capa de multiplicación de Si tipo-n fuertemente dopada (13).

8. El método de fabricación de fotodiodos de avalancha de acuerdo con la reivindicación 7, en donde un rango de anchura de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 1,4 micrómetros a 30 micrómetros, un rango de longitud de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 10 micrómetros a 500 micrómetros y un rango de espesor de la capa de guía de ondas de SiGe (21) es de 0,02 micrómetros a 2,7 micrómetros.

9. El método de fabricación de fotodiodos de avalancha de acuerdo con la reivindicación 7 ó 8, en donde un rango de anchura de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) disminuye progresivamente desde 1,4 micrómetros a 30 micrómetros hasta 1 micrómetros a 20 micrómetros, un rango de longitud de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) es de 1 micrómetros a 20 micrómetros y un rango de espesor de la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico (22) es de 0,02 micrómetros a 2,7 micrómetros.

10. El método de fabricación de fotodiodos de avalancha de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde un rango de anchura de la primera capa de SiGe tipo-p (23) es de 1 a 20 micrómetros, un rango de longitud de la primera capa de SiGe tipo-p (23) es de 4 a 230 micrómetros y un rango de espesor de la primera capa de SiGe tipo-p (23) es de 0,02 a 2,7 micrómetros.

11. El método de fabricación de fotodiodos de avalancha de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en donde un rango de anchura de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 1,1 micrómetros a 22 micrómetros,

un rango de longitud de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 4 micrómetros a 230 micrómetros y un rango de espesor de la segunda capa de SiGe tipo-p (24) es de 0,005 micrómetros a 1 micrómetro.

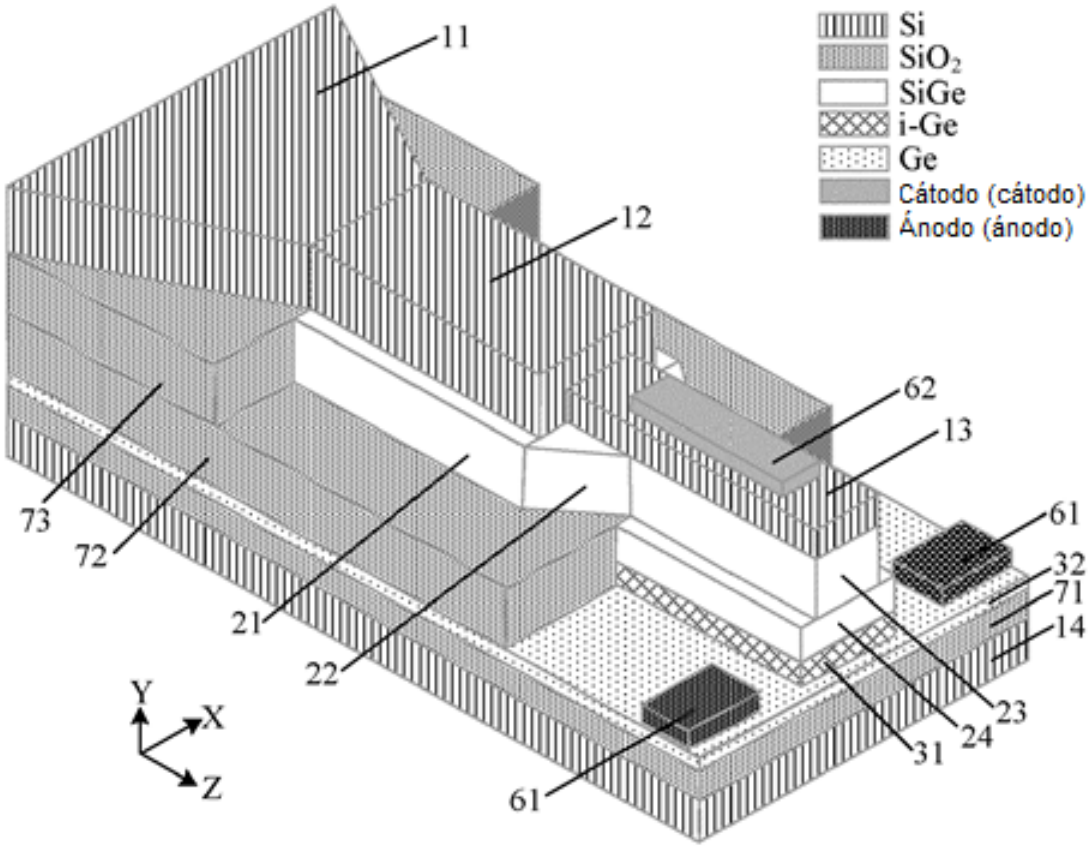
Si
SiO2
SiGe
i-Ge
Ge
Cátodo (cátodo)
Ánodo (ánodo)
11
12
62
13
61
32
71
14
23
24
31
61
73
72
21
22
Y
X
Z

FIG. 1

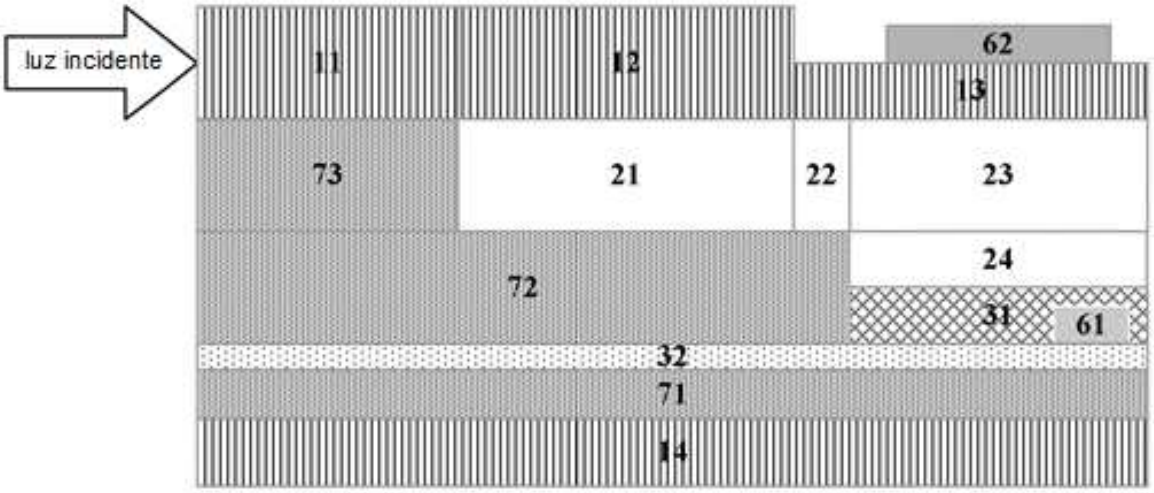

FIG. 2

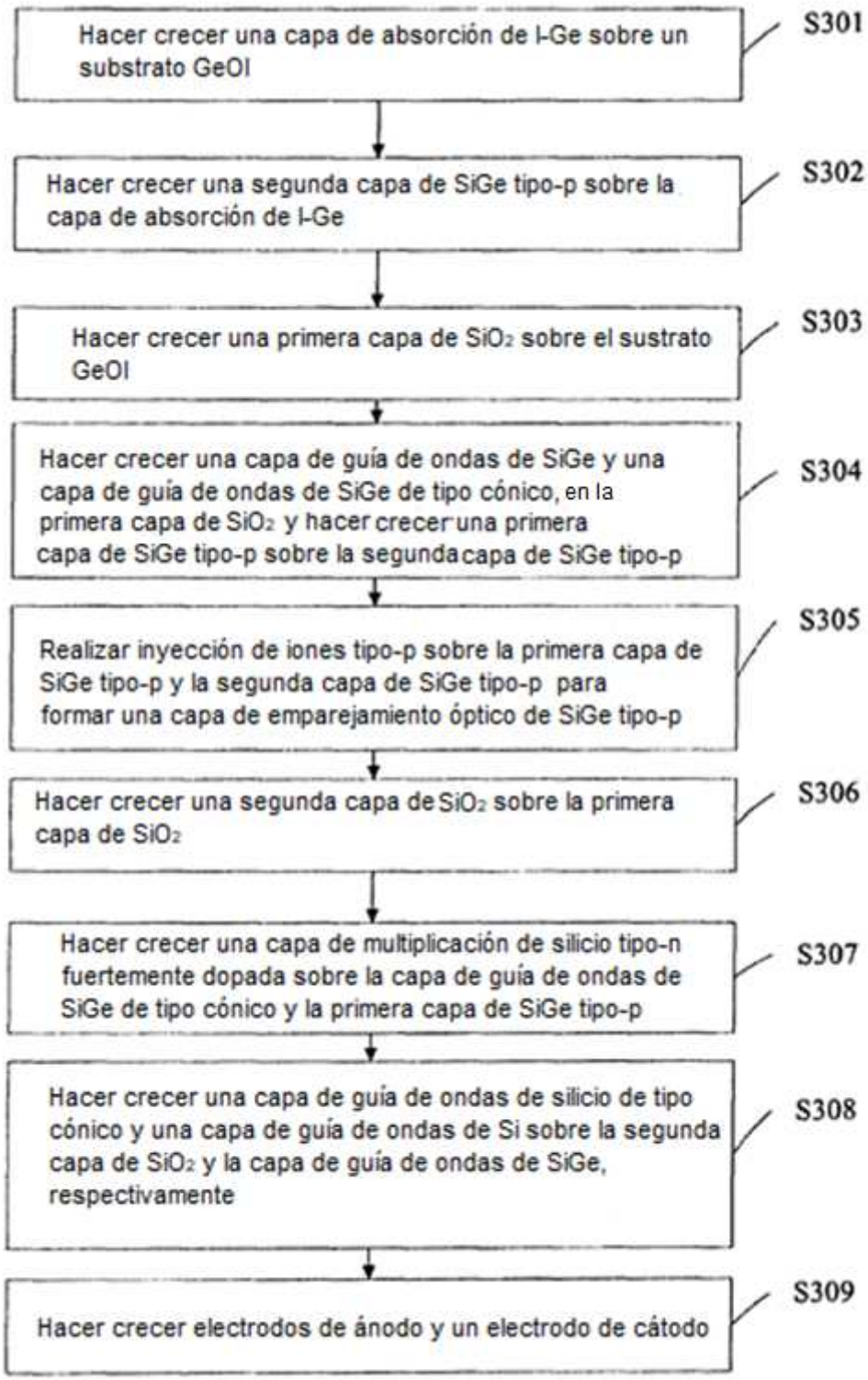
Hacer crecer una capa de absorción de I-Ge sobre un substrato GeOI
S301
Hacer crecer una segunda capa de SiGe tipo-p sobre la capa de absorción de I-Ge
S302
Hacer crecer una primera capa de SiO2 sobre el sustrato GeOI
S303
Hacer crecer una capa de guía de ondas de SiGe y una capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico, en la primera capa de SiO2 y hacer crecer una primera capa de SiGe tipo-p sobre la segunda capa de SiGe tipo-p
S304
Realizar inyección de iones tipo-p sobre la primera capa de SiGe tipo-p y la segunda capa de SiGe tipo-p para formar una capa de emparejamiento óptico de SiGe tipo-p
S305
Hacer crecer una segunda capa de SiO2 sobre la primera capa de SiO2
S306
Hacer crecer una capa de multiplicación de silicio tipo-n fuertemente dopada sobre la capa de guía de ondas de SiGe de tipo cónico y la primera capa de SiGe tipo-p
S307
Hacer crecer una capa de guía de ondas de silicio de tipo cónico y una capa de guía de ondas de Si sobre la segunda capa de SiO2 y la capa de guía de ondas de SiGe, respectivamente
S308
Hacer crecer electrodos de ánodo y un electrodo de cátodo
S309

FIG. 3