

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 591**

51 Int. Cl.:
H01L 21/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08749803 .6**
96 Fecha de presentación: **28.04.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2150970**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.02.2010**

54 Título: **ESTRUCTURA DE CAPAS DE UN COMPONENTE SEMICONDUCTOR DE NITRURO SOBRE UNA SUPERFICIE DE SUBSTRATO DEL GRUPO IV Y PROCEDIMIENTO PARA SU FABRICACIÓN.**

30 Prioridad:
27.04.2007 US 926444 P
27.04.2007 DE 102007020979

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.03.2012

73 Titular/es:
AZZURRO SEMICONDUCTORS AG
UNIVERSITÄTSPLATZ 2
39106 MAGDEBURG, DE

72 Inventor/es:
DADGAR, Armin y
KROST, Alois

74 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 375 591 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

Estructura de capas de un componente semiconductor de nitruro sobre una superficie de sustrato del grupo IV y procedimiento para su fabricación

5 La presente invención se refiere a un componente semiconductor de nitruro con una estructura de capas de nitruro del grupo III sobre una superficie de sustrato del grupo IV tal como silicio, germanio, diamante o un cristal mixto en este sistema de semiconductores del grupo IV.

10 El nitruro de galio (GaN) orientado según el eje c, que ha crecido de forma epitáctica sobre un sustrato de silicio con una superficie de sustrato (111) corresponde actualmente al estado de la técnica y está disponible comercialmente.

15 También facilitan el crecimiento epitáctico desarrollos más novedosos sobre una superficie de sustrato (100) de Si, pero con una peor calidad de cristal. A tal efecto, resulta interesante la utilización de una superficie (100) de Si como superficie de sustrato para una estructura de capas de nitruro de grupo 111 para aplicaciones en la microelectrónica, porque de esta manera resulta más fácil, por ejemplo, la integración de componentes basados en GaN en la electrónica de silicio.

20 En adelante, al mencionar el crecimiento sobre una superficie de sustrato se entenderá, tal como suele ser habitual en el uso lingüístico entre expertos, que este crecimiento es o ha sido epitáctico. Una capa precipitada de forma epitáctica adopta, como se sabe, la estructura de red del sustrato sobre el cual crece, o se orienta según la simetría predeterminada por la misma y adopta, en función del desajuste de red, las constantes de red hasta grosores de monocapas que llegan hasta a los micrómetros. Por lo tanto, no será imprescindible, en adelante, mencionar el término "epitáctico" adicionalmente, cuando se habla del crecimiento sobre una superficie de sustrato. Conocidos procesos de precipitación no epitácticos tales como, por ejemplo, el chisporroteo generan capas amorfas o policristalinas, en el mejor de los casos texturadas, pero no monocristalinas que no resultan adecuadas para componentes optoelectrónicos según los estándares actuales.

25 El crecimiento de nitruros del grupo III sobre germanio o diamante se ha reportado en alguna ocasión y asimismo tiene algunas ventajas para determinados casos de aplicación de componentes semiconductores de nitruro. Estas ventajas son, por ejemplo, la ausencia del denominado "meltback-etching" y, en el caso del diamante, una conductividad térmica insuperada. El inconveniente del diamante y también del germanio como material de sustrato consiste generalmente en su precio claramente más elevado si se compara con silicio y, en el caso del germanio, adicionalmente un punto de fusión más bajo, por debajo de los 1000° C.

30 La calidad de las capas semiconductoras de nitruro del grupo III fabricados sobre silicio (111) y, en especial, sobre silicio (001) generalmente no es tan buena como la de aquéllas que se fabrican sobre sustratos de zafiro o SiC con estructura cristalina hexagonal que se sigue utilizando mayoritariamente. Una razón para la peor calidad es un peor ajuste de red de los cristallitos de GaN o, en su caso, de los cristallitos de AlN utilizados como capa de germinación, en especial su retorcido, también denominado "twist", sobre la superficie de silicio. Incluso tras un crecimiento de capa de 1 µm, esto tiene como consecuencia casi siempre una densidad de dislocación de más de 10⁹ cm⁻².

35 La fabricación de componentes de capa delgada tales como LEDs, FETs o MEMS altamente eficientes sobre Si (100) sólo es posible con mucha dificultad debido a la mala calidad cristalina, y sobre Si (111) debido a una difícil eliminación del sustrato mediante grabado, así como grabado de pequeñas estructuras mediante el grabado local del silicio para aplicaciones sensoriales. Sobre Si (111) el grabado químico húmedo de la superficie del cristal sólo es posible con soluciones muy agresivas tales como, por ejemplo, a base de HF concentrado y HNO₃ concentrado lo cual dificulta en el caso de aplicaciones de capa delgada el manejo y la protección del sustrato de transferencia, así como de la capa de transferencia.

Por el documento WO 2006/100559 A1 se describe un procedimiento para la fabricación de un sustrato para fabricar capas o aparatos semiconductores, que presenta las siguientes etapas:

55 - la disposición de una oblea de silicio con al menos una primera superficie que es adecuada como sustrato para la síntesis de diamantes por CVD;

- el crecimiento de una capa de diamante de CVD de un grosor predeterminado que presenta una superficie de crecimiento sobre la primera superficie de la oblea de silicio;

60 - la reducción del grosor de la oblea de silicio a un valor determinado, y

- la disposición de una segunda superficie sobre la oblea de silicio que es adecuada para la síntesis de, como mínimo, una capa semiconductor, pudiendo la capa semiconductor ser utilizada en dispositivos electrónicos o para la síntesis de dispositivos electrónicos sobre la misma segunda superficie.

65

El documento US 2007/0072396 A1 se refiere a un procedimiento para la fabricación de sustratos autoportantes con nitruros del grupo III, en especial, nitruro de galio (GaN) que se obtiene por crecimiento epitaxial utilizando un sustrato de partida. A tal efecto, son precipitadas una capa intermedia monocristalina basada en silicio y una capa de sacrificio, evaporándose la capa de sacrificio de forma espontánea durante la etapa de la epitaxia de nitruro del grupo III.

Por el documento US 2003/0132433 A1 se muestran estructuras semiconductoras con componentes de nitruro de galio y una componente de silicio y germanio, así como un procedimiento para la fabricación de estas estructuras. A tal efecto, una capa sobre el sustrato, o bien el mismo sustrato es de nitruro de galio. Asimismo, una capa sobre un sustrato, o bien el mismo sustrato es de silicio-germanio. Mediante adaptación de tasas de expansión térmicas del nitruro de galio y del silicio-germanio se puede limitar la formación de roturas y la solitación térmica dentro de las componentes. La superficie de la capa de silicio-germanio puede ser una capa epitáctica con una estructura monocristalina, cuya superficie está orientada según el plano (111), (100) ó bien (110).

En el documento Japanese Journal of Applied Physics (Revista japonesa de física aplicada), tomo 31, nº 10, sección 01, 1 de octubre de 1992, páginas 3446-3451 se describen delgadas películas de nitruro de aluminio (AlN) orientadas según el eje c sobre silicio (110) que han sido generadas mediante chisporroteo reactivo en una atmósfera de argón y nitrógeno sin sustrato de calentamiento.

Por el documento DE 101 51 092 A1 se da a conocer un procedimiento para la fabricación de estructuras emisoras de luz planares y resistentes a las fisuras, basadas en nitruro del grupo III, sobre sustratos de silicio, siendo precipitadas una capa de germinación del grupo III-V que contiene aluminio, una o varias capas intermedias de baja temperatura del grupo III-V que contienen aluminio, así como una o varias capas intermedias Si_xN_y precipitadas durante el crecimiento con una subsiguiente coalescencia de la capa siguiente dentro de un grosor de menos de un μm .

En el documento WO 2007/034761 A1 se describe un dispositivo semiconductor con un sustrato monocristalino sobre el cual se han precipitado una capa de carburo de silicio y una capa intermedia. La capa intermedia está formada por un semiconductor de nitruro del grupo III. La capa de carburo de silicio tiene una estructura cristalina cúbica y su superficie presenta una estructura de reconstrucción (3x3).

En el documento US 2007/210304 A1, finalmente, se muestra un semiconductor de nitruro monocristalino tal como nitruro de galio (GaN) o nitruro de aluminio (AlN) que está realizado en forma de una capa. Presenta una buena estructura cristalina sin formar una capa SiC-3C sobre un sustrato de silicio, y puede ser utilizado para un diodo luminoso, un elemento emisor de luz láser, un componente electrónico o un dispositivo de alta frecuencia. Preferentemente, se utiliza una superficie (110) del sustrato de silicio.

Los problemas indicados se pueden solucionar, de acuerdo con un primer aspecto de la invención, mediante un componente semiconductor de nitruro con una estructura de capas de nitruro del grupo III que ha sido precipitada de forma epitáctica sobre un sustrato con una superficie de sustrato del grupo IV de un material de sustrato cúbico del grupo IV, en el que, sin tener en cuenta una reconstrucción de la superficie, la superficie de sustrato del grupo IV presenta una célula elemental con una simetría C2, pero con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C2, presentando la estructura de capas de nitruro del grupo III inmediatamente adyacente a la superficie de sustrato del grupo IV una capa de pre-germinación, ya sea de GaN ó AlN, o bien de $\text{Al}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ternario o cuaternario, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$. La capa de pre-germinación está, por lo tanto, realizada en el último caso de AlInGaN, AllnN, InGaN ó AlGaN. La superficie de sustrato del grupo IV es una superficie {nml}, donde n, m son números enteros, distintos de cero, y $l \geq 2$.

Por componente semiconductor de nitruro se denomina en esta descripción un componente semiconductor que presenta una estructura de capas de nitruro del grupo III. Una estructura de capas de nitruro del grupo III es una estructura de capas que contiene, según diferentes ejemplos de realización, sea una capa de nitruro del grupo III, sean múltiples capas de nitruro del grupo III. La estructura de capas de nitruro del grupo III puede, por lo tanto, según un ejemplo de realización, estar formada por una sola capa de nitruro del grupo III. Una capa de nitruro del grupo III es una capa de material hecha de un compuesto (inglés: compound) que contiene, como mínimo, un elemento del grupo III y nitrógeno. Además de nitrógeno también puede comprender otros elementos del grupo V en tales cantidades que el nitrógeno represente, de todo modos, como mínimo un 50 % de los átomos del grupo V del material. La relación entre átomos de elementos del grupo III y átomos de elementos del grupo V en nitruros del grupo III es 1:1.

Una adición de otros elementos del grupo V distintos de nitrógeno puede resultar útil para reducir más todavía el desajuste de red, pero también puede ser debido exclusivamente a los requerimientos de la aplicación en cuestión del componente semiconductor de nitruro.

Una superficie de sustrato del grupo IV es una superficie de sustrato que está formada por un material de sustrato del grupo IV, es decir, de un material formado por uno o varios elementos del grupo IV que constituye la superficie del sustrato. Un material de sustrato del grupo IV pertenece, por lo tanto, al sistema $\text{C}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Ge}_y$ con $0 \leq$

$x, y \leq 1$ y $x + y \leq 1$. La superficie de sustrato del grupo IV constituye en el componente semiconductor de nitruro una superficie límite entre el material del grupo IV y la estructura de capas de nitruro del grupo III que se supone idónea para los fines de la definición. La superficie de sustrato del grupo IV puede ser la superficie de una oblea hecha del material del grupo IV, o bien la superficie de una capa delgada por ejemplo sobre un sustrato ajeno o sobre un sustrato del tipo SOI (Silicon-on-Insulator).

La simetría C2 pertenece a la familia de los grupos de simetría cíclicos y finitos en el plano euclídeo. Constituye un grupo de simetría discreto cuyas operaciones de simetría no incluyen ni desplazamientos ni reflexiones en un eje, sino rotaciones alrededor de un punto en múltiplos de 180° . La superficie de sustrato del grupo IV se caracteriza, en otras palabras, por una superficie de sustrato formada por células elementales de átomos del grupo IV, siendo una célula elemental representada en sí misma al ser girada en 360 grados dividido entre dos – es decir, en 180° - así como múltiplos de ello. Por esto, cuando existe una simetría C2 se habla también de una simetría binaria (inglés: twofold symmetry). Una célula elemental con simetría C2, pero sin simetría rotacional superior tiene una simetría monaria (trivial), es decir una simetría C1, y una simetría binaria, es decir C2, pero ninguna simetría rotacional superior, por ejemplo ninguna simetría C3 ó C4. Como es sabido, C1 es el grupo de simetría de un objeto completamente asimétrico, con la identidad como único elemento.

Para determinar la simetría de la célula elemental de la superficie de sustrato del grupo IV no se tiene en cuenta una eventual reconstrucción de la superficie para los fines de la definición conceptual en el marco de la presente descripción y de las reivindicaciones. Esto significa especialmente que en un corte hipotético a lo largo de un plano paralelo a su superficie de sustrato, el material de sustrato del grupo IV asimismo presenta una célula elemental con una simetría C2, sin embargo, con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C2. En el marco de esta solicitud, una superficie de sustrato de este tipo se denomina también, para mayor simplicidad de formulación, una superficie con simetría (solamente) binaria.

En cuanto a la notación cabe señalar que en esta solicitud de patente una determinada orientación de los cristales de una superficie de sustrato se indica entre paréntesis. Ejemplo: Si (110). Entre abrazaderas se indica un grupo de orientaciones de una superficie de sustrato que son equivalentes. Así, la notación de superficie de Si {110} designa todas las superficies de Si, que son equivalentes con respecto a la superficie de Si (110). Mediante corchetes sencillos se indican direcciones tal como, por ejemplo la dirección [110] que está dispuesta en un plano perpendicular con respecto a la superficie (110). Mediante corchetes angulares se indica un grupo de direcciones equivalentes tal como, por ejemplo, el grupo de direcciones $\langle 110 \rangle$ que también incluye la dirección [110].

Superficies de sustrato del grupo IV con una célula elemental con una simetría C2, pero sin simetría C2 rotacional superior tienen la ventaja de que en una dirección presentan un muy alto ajuste de red con respecto a los nitruros del grupo III y, de esta manera, facilitan la precipitación epitáctica monocristalina de una estructura de capas de nitruro del grupo III con una calidad cristalográfica muy elevada. Esto reduce la densidad de defectos en la estructura de capas de nitruro del grupo III debido a lo cual se pueden mejorar el rendimiento y la vida útil del componente semiconductor de nitruro.

Además, la utilización de superficies de $C_{1-x-y}Si_xGe_y$ ($0 \leq x, y \leq 1, x + y \leq 1$) con una simetría sólo binaria presenta la ventaja esencial adicional de que se facilita el grabado químico húmedo. Esto hace más fácil el despegado de capas de componentes semiconductores de nitruro adheridas a los soportes que han de ser tratadas posteriormente como capa delgada. Al utilizar silicio el gasto de proteger de forma costosa la capa adhesiva, a menudo capas de metal tal como Au/Sn, con respecto al nuevo soporte con sustancias resistentes a los ácidos queda eliminado por utilizar superficies con una simetría solo binaria.

El componente semiconductor de nitruro solicitado puede constituir según este aspecto un producto intermedio para un componente semiconductor de nitruro de capa delgada en el que el sustrato con el material del grupo IV sobre el cual está dispuesto la estructura de capas de nitruro del grupo III es despegado en una etapa posterior del proceso.

La siguiente descripción contiene mayoritariamente ejemplos que utilizan silicio como material de sustrato. Sin embargo, esto no se ha de entender como una limitación de la aplicabilidad de la invención. En lo que se refiere al material de sustrato, la invención es aplicable a todo el sistema $C_{1-x-y}Si_xGe_y$ con $0 \leq x, y \leq 1$ y $x + y \leq 1$. Para otros materiales de sustrato del grupo IV distintos de silicio existen otros parámetros para la red cristalina en la superficie del sustrato, como es sabido.

Un determinado juego de parámetros de red no proporciona el mismo ajuste de red favorable para todos los nitruros del grupo III. Por lo tanto, para diferentes estructuras de capas de nitruro del grupo III pueden ser adecuados diferentes materiales del grupo IV con una o varias de sus diferentes superficies de sustrato de, como máximo, simetría binaria. De acuerdo con la invención, la estructura de capas de nitruro del grupo III del componente semiconductor de nitruro presenta de forma directamente adyacente a la superficie de sustrato del grupo IV una capa de pre-germinación $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$, donde $0 \leq x, y \leq 1$ y $x + y \leq 1$. Para algunas superficies de sustrato del grupo IV binarias, por ejemplo, se puede elegir en función de la situación de los parámetros de red el material más adecuado para una capa de pre-germinación, ya sea binario o ternario o cuaternario. Al confeccionar combinaciones

adecuadas de superficie de sustrato del grupo IV y estructura de capas de nitruro del grupo III a precipitar sobre la misma se han de tener en cuenta los respectivos parámetros de red en sí conocidos de las superficies de sustrato del grupo IV y de los nitruros del grupo III en cuestión, teniendo en cuenta las propiedades que requiere cada componente semiconductor de nitruro.

5 A continuación se describirán ejemplos de realización del componente semiconductor de nitruro de la invención.

En algunos ejemplos de realización de componentes semiconductores de nitruro tienen aplicación en la estructura de capas de nitruro del grupo III como capa de pre-germinación directamente sobre la superficie de sustrato del grupo IV ya sea AlN o un nitruro del grupo III del tipo $Al_{1-x}In_xGa_yN$ con una alta porción de Al de como mínimo el 80%, según un ejemplo de realización incluso AlN casi puro. Un desajuste de red tan reducido entre la superficie de sustrato del grupo IV y la capa de pre-germinación, que se consigue de esta manera, tiene una gran importancia para la calidad cristalina de la estructura de capas de nitruro del grupo III en un gran grupo de diferentes componentes semiconductores de nitruro. La calidad cristalina, a su vez, influye sobre los parámetros de rendimiento y la vida útil de componentes (opto-)electrónicos.

Para el ejemplo de una superficie de Si (110) el AlN es un material adecuado para una capa de pre-germinación. Sin embargo, el ajuste de red de la superficie de Si (110) con respecto al GaN también es bueno. Por lo tanto, también resulta adecuada una capa de pre-germinación de GaN. El desajuste de red es, en este caso, aproximadamente del 2 % en aquella dirección en la que también el AlN presenta un pequeño desajuste, y en la otra dirección es aproximadamente del 16,9 %.

Cuando se utiliza MOVPE (metal organic vapor phase epitaxy, o epitaxia organometálica en fase de vapor) el contenido más alto en galio en una capa de nitruro del grupo III que está creciendo puede provocar la aparición del indeseado "meltback-etching". Con "meltback-etching" se entiende una reacción del galio de una capa de nitruro del grupo III que está creciendo con el silicio del material de sustrato. Sobre Si como material de sustrato la porción de Al de la capa de pre-germinación en elementos del grupo III supone, por lo tanto, en especial al utilizar MOVPE para evitar el "meltback-etching", según algunos ejemplos de realización el 90 % o más con respecto al número total de átomos del grupo III contenidos, y la porción de Ga supone de forma correspondiente como máximo un 10 %.

Según un ejemplo de realización, existe una aleación de Si con Ge como material de sustrato del grupo IV. Este material de sustrato permite una precipitación con una menor probabilidad de que se produce el "meltback-etching". Una aleación SiGe elegida adecuadamente puede facilitar, además, un ajuste de red muy bueno de una capa de pre-germinación de GaN.

35 También la utilización de diamante o Ge como material de sustrato evita el "meltback-etching" ("ataque por fusión").

En una forma de realización no reivindicada, la superficie de sustrato del grupo IV es una superficie de Si (110). Ésta presenta en una dirección un desajuste de red muy reducido con respecto al AlN orientado según el eje c y según el plano m, y facilita de esta manera una mejor orientación de las capas de la estructura de capas de nitruro del grupo III sobre el sustrato. Con propiedades favorables similares en lo que se refiere al desajuste de red con respecto al AlN se puede utilizar materiales de sustrato del grupo IV con otras superficies de sustrato de grupo IV {110}.

45 Substratos con una superficie de Si (110) presentan, además, la ventaja de que son disponibles en grandes cantidades en el comercio y, por lo tanto, se pueden adquirir de forma sencilla y económica.

Como alternativa a las superficies de sustrato {110} se pueden utilizar otras superficies de sustrato del grupo IV con simetría binaria que, consecuentemente, presentan una simetría similar. Así pues, las superficies de sustrato del grupo IV {120} para la formación de otros ejemplos de realización, y también otras superficies de índice más alto del tipo {nm0}, donde n, m son números enteros distintos de cero, resultan asimismo interesantes para el crecimiento de una estructura de capas de nitruro del grupo III de alta calidad, pero también, por ejemplo, de una capa individual de nitruro del grupo III de alta calidad tal como una capa de GaN. En este caso se trata, de acuerdo con la invención, de superficies del tipo {nml}, donde n, m son números enteros (inglés: integer) distintos de cero, y $l \geq 2$.

Además, el procedimiento para la fabricación de un componente semiconductor de nitruro comprende la precipitación epitáctica de una estructura de capas de nitruro del grupo III sobre una superficie de sustrato del grupo IV de un material de sustrato del grupo IV con una estructura cristalina cúbica, en el que la estructura de capas de nitruro del grupo III es precipitada sobre una superficie de sustrato del grupo IV que, para los fines de la definición conceptual sin tener en cuenta una reconstrucción de la superficie, presenta una célula elemental con una simetría C2, pero con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C2, y en el que de forma directamente adyacente a la superficie de sustrato del grupo IV una capa de pre-germinación, ya sea de AlN, GaN o bien de $Al_{1-x}In_xGa_yN$ ternario o cuaternario, $0 \leq x$, $y < 1$ y $x + y \leq 1$, es precipitada de forma epitáctica.

65 Las ventajas del procedimiento, según la invención, corresponden a las del componente semiconductor de nitruro

según el primer aspecto de la invención.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el procedimiento comprende la eliminación parcial o total, por química seca o húmeda, del sustrato una vez precipitada la estructura de capas de nitruro del grupo III. Con este ejemplo de realización se consigue llevar a cabo una tecnología de capa delgada económica para componentes semiconductores de nitruro.

A continuación, se describirá la invención por medio de otros ejemplos de realización haciendo referencia a las figuras. Éstas muestran:

Figuras 1a) hasta c) una vista en planta sobre una superficie a) de silicio (100), b) de silicio (110) y c) de silicio (111), con recubrimiento de AlN, respectivamente;

Figura 2 una vista en sección de un ejemplo de realización de un componente semiconductor de nitruro con una estructura de capas de nitruro del grupo III;

Figura 3a) hasta f) diferentes fases de un ejemplo de ejecución de un procedimiento para la fabricación de un componente semiconductor de nitruro.

En la figura 1 se muestra, para ilustrar un ejemplo de realización de un componente semiconductor de nitruro y para compararlo con soluciones según el estado de la técnica, una vista en planta sobre una superficie de sustrato del grupo IV en forma de una superficie a) de silicio (100), b) de silicio (110) y c) de silicio (111) con recubrimiento de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$, respectivamente. Como ejemplo de realización de la invención sólo resulta relevante la figura 1b), representando las otras dos figuras 1a) y 1c), a título de comparación, las condiciones sobre superficies de sustrato que ya se han utilizado según el estado de la técnica. El mejor ajuste de red en una dirección se obtiene al utilizar materiales ternarios para $Al_{0.97}In_{0.03}N$ y $Al_{0.78}Ga_{0.22}N$. A tal efecto, ya resulta útil una pequeña adición de Ga e In para mejorar los parámetros de material. Al utilizar material cuaternario las concentraciones ideales de In y Ga son correspondientemente inferiores. Sin embargo, también puede haber concentraciones superiores y, en función de la gestión del proceso resultan ventajosas, ya que entonces también se reduce el desajuste de red en la dirección $[1\bar{1}0]$, pero a costa del de la dirección perpendicular a la misma.

En la figura 1 los círculos rellenos simbolizan la posición de átomos de silicio sobre la superficie de sustrato de silicio (110) y círculos abiertos simbolizan la posición ya sea de átomos de nitrógeno o de aluminio del recubrimiento de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ precipitado sobre la misma. Por motivos de simplicidad gráfica se ha prescindido de diferenciar gráficamente otros elementos del grupo V con respecto a Al. Se entiende, sin embargo, que en el ejemplo se utiliza una aleación ternaria o cuaternaria. Es decir que en realidad no se hace referencia a AlN puro, sino a una capa de pre-germinación ternaria o cuaternaria que tiene, según algunos ejemplos de realización, un alto contenido en Al. En el marco de la presente solicitud de patente, los términos "capa de germinación" y "capa de pre-germinación" se utilizan como sinónimos.

El recubrimiento de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ que cubre la superficie de sustrato de silicio constituye, según el presente ejemplo de realización de la figura 1b) una capa de pre-germinación al inicio del crecimiento de una estructura de capas de nitruro del grupo III sobre la superficie del sustrato, tal y como se aplica a menudo para el crecimiento de GaN.

Las siguientes observaciones se han de entender a título de ejemplo. En lugar del conocido Si $\{110\}$, sobre el cual se forma preferentemente AlN orientado según el eje c, se podrían utilizar también a título explicativo otras combinaciones de materiales para la superficie de sustrato del grupo IV y la estructura de capas de nitruro del grupo III que está creciendo sobre ésta.

Los átomos de Al están dispuestos en los puntos de esquina de células unitarias hexagonales. Las distancias más cortas de los cantos de un hexágono que constituye la célula unitaria de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ se extienden en la dirección $\langle 1\bar{1}00 \rangle$. Estas distancias son de 0,541 nm (5,41 Å), cuando AlN se utiliza de forma no idónea, y pueden ser reducidas, por ejemplo, con $Al_{0.9}In_{0.03}N$ ó $Al_{0.78}Ga_{0.22}N$ a 0,543 (5,43 Å) a un desajuste del 0 %, con lo cual se consigue mejores propiedades de la capa con respecto a la utilización de una capa de germinación de AlN. La distancia más corta de la célula unitaria Si se extiende en las direcciones $\langle 100 \rangle$, siendo 0,543 nm (5,43 Å). El desajuste es, por lo tanto, en la dirección $Al(Ga,In)N \langle 1\bar{1}00 \rangle \parallel Si \langle 100 \rangle$ del 0% al observar cada segundo plano de red, pero en AlN es del 0,37 %.

Para $Al_{0.97}In_{0.03}N$ y $Al_{0.78}Ga_{0.22}N \langle 11\bar{2}0 \rangle \parallel Si \langle 110 \rangle$, sin embargo, se sitúa en casi 18-19 %, como también para este material sobre la superficie de sustrato Si (111) conocida. Por lo tanto, en una dirección se obtiene un muy buen ajuste de red en la superficie comparado con otros materiales de sustrato cúbico sin simetría C2 de la célula elemental. Este muy buen ajuste en una dirección tiene efectos positivos sobre la calidad del cristal.

Un pequeño desajuste de red parecería existir en relación con las direcciones $Al(Ga,In)N \langle 1\bar{1}00 \rangle \parallel Si \langle 100 \rangle$ para AlN sobre Si (100), si no se tomara en consideración la reconstrucción de la superficie (según la figura 1a) no

mostrada). Sin embargo, cuando se observa más detenidamente, ello no se puede decir para segmentos más grandes de superficie. En esta superficie de silicio una dificultad adicional consiste en una simetría rotacional de la célula elemental también para operaciones de rotación en 90° debido a la simetría rotacional cuaternaria (C_4) (inglés: fourfold) existente en esta superficie de silicio. A la superficie de Si (100) sólo se le imprime una dirección preferencial gracias a una reconstrucción determinada tal como, por ejemplo, la reconstrucción (2×1) . Sin embargo, sobre la superficie Si (100) en realidad no existe ninguna reconstrucción uniforme. Por lo contrario, sólo existen pequeños segmentos de superficie con reconstrucciones diferentes, de las que el 50 % son del tipo (2×1) y el otro 50 % del tipo (1×2) . En estas condiciones esta superficie presenta, a lo sumo, direcciones preferentes y, por lo tanto una simetría C_2 en pequeños segmentos. Éstos no son apropiados para un crecimiento monocristalino epitáctico. Por consiguiente, las ventajas de un mejorado ajuste de red se pueden conseguir sólo sobre una superficie de sustrato del grupo IV que, incluso sin tener en cuenta una reconstrucción de superficie, presenta una célula elemental con una simetría C_2 , pero con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C_2 .

En estas superficies que sólo presentan simetría binaria del tipo $\{nm0\}$ ó $\{mnl\}$, por ejemplo en (110), una estructura en zigzag fuertemente marcada de los enlaces atómicos tales como, por ejemplo, los enlaces de silicio desarrolla una dirección preferente que establece una clara indicación para una torsión del $Al(Ga,In)N$ creciente, tal como se muestra en la figura 1. Los átomos de la célula unitaria $Al(Ga,In)N$ están en este caso casi siempre cerca de un átomo de silicio y, por lo tanto, cerca de un enlace potencial. Para un crecimiento de $Al(Ga,In)N$ con una célula elemental girada en 90° casi siempre sólo existe un ajuste fortuito del $Al(Ga,In)N$ sobre Si que no es regular y, si existe, sólo es para distancias más cortas, así como presentando menos posibilidades de enlace.

Sobre la mayoría de superficies de índice superior con una simetría binaria el AlN crece asimismo de forma preferente con una orientación según el eje c.

Para una superficie de sustrato del grupo IV con una superficie $\{nml\}$, donde n,m son números enteros distintos de cero, y $l \geq 2$, el ajuste de red análogo a $AlN \langle 1^{-} 100 \rangle \parallel Si \langle 100 \rangle$ es ciertamente algo peor en el caso del silicio, pero totalmente suficiente para la precipitación de capas semiconductoras de nitruro de alta calidad. De esta manera se consiguen superficies semiconductoras de nitruro excelentes y lisas, por ejemplo, para superficies $\{511\}$, $\{711\}$ y $\{911\}$.

Para el crecimiento de $Al(Ga,In)N$ orientado según el plano m ó según el plano a, para silicio resultan ventajosas las superficies $\{410\}$, ya que aquí cada 1086 nm (10,86 Å) se repite la estructura, lo cual representa unos valores de desajuste muy reducidos con un desajuste de aproximadamente el 7,5 % para dos células unitarias $Al_{0,97}In_{0,03}N$ ó $Al_{0,78}Ga_{0,22}N$ en dirección c (8,6 % para AlN) con 0 % en la perpendicular para $Al(Ga,In)N$ según el plano m (0,37 % para AlN). Especialmente para capas de germinación ricas en GaN orientadas según el plano a, se ofrece aquí una superficie del tipo $\{41l\}$ con $l \geq 2$ y $\{114\}$, ya que esto proporciona un mejor ajuste de red.

La capa semiconductor de nitruro que resulta de ello presenta, debido al desajuste térmico de los materiales tras el enfriamiento, siempre y cuando no se hayan tomado ningunas medidas en contra durante el crecimiento mediante pretensado, una deformación por tracción que puede ser ligeramente anisotrópica. Esto se debe a la escasa simetría de la orientación cristalina que, a diferencia de la orientación ternaria Si(111) (figura 1c) o cuaternaria Si(100), no es isotrópica, es decir que difiere en las direcciones $Si \langle 100 \rangle$ y $Si \langle 110 \rangle$. Por lo tanto se pueden reconocer capas despegadas por la deformación anisotrópica que puede ser detectada, por ejemplo, mediante mediciones de curvatura, o mejor de rayos X.

Para realizar el grabado de silicio hay muchas posibilidades, empezado por un KOH alcalino hasta mezclas de ácidos muy venenosas tales como HF y HNO_3 . La primera se para en superficies de $Si \langle 111 \rangle$, la última no. Por esto un sustrato de Si(111) sólo se puede eliminar en un tiempo razonable por química húmeda, trabajando con la última solución de grabado mencionada. Sin embargo, ésta disuelve debido a sus componentes agresivos muchos metales y dificulta de esta manera el despegado de capas de componentes semiconductores de nitruro adheridas sobre soportes y que han de ser tratadas como capas delgadas.

En general la utilización de superficies de simetría binaria de $C_{1-x-y}Si_xGe_y$ ($0 \leq x, y \leq 1, x + y \leq 1$) tiene la ventaja adicional que el grabado químico húmedo se puede hacer más fácil. En general, la superficie (111) es en comparación más estable químicamente y, por lo tanto, no se deja despegar tan fácilmente mediante una fase de grabado químico húmedo. Al utilizar silicio el gasto de proteger de forma costosa la capa adhesiva, a menudo capas de metal tal como Au/Sn, hacia el nuevo soporte con sustancias resistentes a los ácidos queda eliminado por utilizar superficies con una simetría sólo binaria.

La invención es aplicable a cualquier componente semiconductor de nitruro con una estructura de capas de nitruro del grupo III. Componentes ópticos, optoelectrónicos y electrónicos tales como diodos luminosos, diodos láser, transistores y componentes MEMS han de entenderse como ejemplos de aplicación que, sin embargo, no agotan la aplicabilidad de la invención. Su ventaja consiste en la alta calidad cristalina que se puede conseguir, el crecimiento de GaN orientado según el plano c, a y m, y en la simple posibilidad de eliminar el sustrato total o parcialmente, ya que por química húmeda resulta más fácil que sobre otros sustratos orientados en (111) que se utilizan.

En la figura 2 se muestra en una vista esquemática la estructura de capas de un componente semiconductor de nitruro 100. El componente semiconductor de nitruro 100 puede constituir un producto intermedio durante la fabricación de un componente semiconductor de nitruro de capa delgada.

- 5 La representación de la figura 2 no está realizada a escala. En especial, a partir de la figura no se puede determinar la relación exacta de los grosores de cada una de las capas mostradas entre sí. Las relaciones de grosores de capa mostradas en la figura sólo dan una idea muy aproximada al respecto. En la subsiguiente descripción se explicarán en aras de una redacción sucinta aspectos del procedimiento y paralelamente a ello aspectos del dispositivo.
- 10 El producto semiconductor 100 contiene una estructura de capas de nitruro del grupo III 102 sobre una oblea de silicio 104. La superficie de crecimiento utilizada de la oblea que está dispuesta perpendicularmente con respecto al plano de papel de la figura 1 es una superficie de silicio (110). En lugar de la oblea de silicio también se puede utilizar un sustrato SOI o cualquier otro sustrato, preferentemente con una superficie de silicio (110).
- 15 En la figura 2, para designar las capas de la estructura de capas de nitruro del grupo III 102, adicionalmente a las referencias formadas por los números 106 hasta 122 se han utilizado, para mayor claridad, también las letras A hasta F que figuran a la izquierda al lado de cada capa. Las mismas letras señalan capas del mismo tipo. En concreto, caracteriza
- 20 A una capa de pre-germinación de nitruro ternaria o cuaternaria combinada con una capa-tampón,
 B una capa de máscara,
 C capas semiconductoras de nitruro, en este caso especialmente capas GaN conductoras de n,
 D una estructura de pozo multicuántico (Multi-Quantum-Well)
 E una capa de recubrimiento semiconductor de nitruro dotada de p, en este caso especialmente GaN-p, y
 25 F una capa intermedia de baja temperatura AlN ó AlGaN para el "Strain-Engineering".

Más detalles de la estructura de capas y su fabricación se describirán a continuación.

- 30 Antes de precipitar las capas se procede a pasivar la superficie de crecimiento de la oblea 104. Esto significa que es desoxidada ya sea por tratamiento químico húmedo o bien por cocción al vacío o bajo hidrógeno a temperaturas por encima de 1000° C y que se genera una superficie terminada de hidrógeno.

- 35 La capa de pre-germinación 106 tiene un grosor de entre 10 y 50 nm. En combinación con una capa-tampón precipitada sobre la misma en este ejemplo, pero en principio opcional en la gestión del proceso, se forma un grosor de capa de como máximo 400 nm.

- 40 Resulta adecuada una capa de germinación $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$ (también denominada capa de pre-germinación) que se hace crecer ya sea a temperatura baja, es decir por debajo de 1000° C, por ejemplo de 600° hasta 800° C, o bien a temperatura alta, es decir a temperatura de crecimiento habitual de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ por encima de 1000° C. La capa-tampón opcional está formada preferentemente también de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ o de AlN y es aplicada a altas temperaturas de crecimiento. La capa-tampón puede estar hecha de AlGaN. Al utilizar AlGaN la capa de pre-germinación puede presentar también un mayor grosor, por ejemplo aproximadamente 600 nm.

- 45 Durante el crecimiento de la capa de germinación resulta favorable iniciar la alimentación del precursor de aluminio al reactor antes de la alimentación del precursor de nitrógeno, a efectos de evitar la nitruración del sustrato. Una nitruración del sustrato puede provocar un crecimiento policristalino indeseado, es decir un crecimiento no epitáctico.

- 50 Sobre la combinación de capa de pre-germinación y capa-tampón 106 es precipitada una capa de máscara 108 de nitruro de silicio. Esto se realiza mediante la conducción simultánea de un precursor de silicio tal como, por ejemplo, silano o disilano o un compuesto orgánico de silicio, y un precursor de nitrógeno tal como amoníaco o dimetilhidracina. Sobre la superficie de crecimiento los dos precursores entran en reacción para formar nitruro de silicio.

- 55 El grosor de una capa GaN 110 precipitada sobre la misma oscila entre 800 y 1600 nm. Sobre ésta tiene lugar la precipitación de una capa intermedia semiconductor de nitruro que contiene aluminio en forma de una capa intermedia de AlN de baja temperatura (opcional) 112 para el "Strain-Engineering". La capa intermedia de AlN de baja temperatura tiene aquí un grosor de 8 hasta 15 nm.

- 60 La inserción de la capa intermedia de AlN de baja temperatura 112 permite conseguir un mayor grosor total de la capa de GaN por el crecimiento de una serie de otras capas de GaN y capas intermedias de AlN de baja temperatura. A la capa intermedia de AlN de baja temperatura 112 le sigue correspondientemente una segunda capa de GaN 114, que tiene otra vez un grosor de aproximadamente 800 hasta 1600 nm, seguida a su vez por otra capa intermedia de AlN de baja temperatura 115. Sobre ésta se produce la precipitación de una tercera capa de GaN 116. Sobre ésta tiene lugar la precipitación de una segunda capa de máscara 117 de SiN. Esta segunda capa de máscara de SiN 117 produce una reducción de la densidad de dislocación en la siguiente cuarta capa de GaN
- 65

118. Las cuatro capas de GaN 110, 114, 116 y 118 están dotadas de n. La dotación se realiza durante el crecimiento mediante adición de un precursor adecuado de sustancia dopante.

5 Sobre la cuarta capa de GaN 118 se realiza la precipitación de una estructura de pozo multicuántico. La elección del material y la estructura de capas concreta de esta estructura de pozo multicuántico 120 se configuran de acuerdo con la longitud de onda deseada de la emisión de luz. Los parámetros a ajustar para ello tal como la estequiometría de capas y el grosor de capa son conocidos por el experto en la materia. Como es conocido, mediante la adición de indio se reduce la banda prohibida de un semiconductor de nitruro, por ejemplo a partir de GaN puro en la dirección de la banda prohibida de nitruro de indio. Mediante la adición de aluminio se aumenta la banda prohibida en dirección al valor de AlN. De este modo se puede ajustar una emisión de luz con la longitud de onda deseada que se sitúa entre la zona espectral roja y la ultravioleta.

15 Sobre la estructura de pozo multicuántico 120 se puede prever opcionalmente una barrera de inyección de un grosor de aproximadamente 10 hasta 30 nm, que no se muestra en la figura 2.

Lo que se muestra, por lo contrario, es una capa de recubrimiento 122 de GaN-p que sigue directamente a la estructura de pozo multicuántico 120.

20 La descripción precedente se refería a un ejemplo de realización de un componente semiconductor de nitruro, según la invención. Se entiende que en otro componente tal como, por ejemplo, un transistor de efecto de campo, se han de ajustar los detalles de la estructura de capas del modo en sí conocido.

25 En las figuras 3a) hasta 3f) se muestran diferentes fases del proceso durante la fabricación de un diodo luminoso a partir de un componente semiconductor de nitruro, según la figura 2. La gestión del proceso aquí descrita sigue a la fabricación del componente semiconductor de nitruro de la figura 2.

30 A tal efecto, el componente semiconductor de nitruro 100 es dotado primero de un recubrimiento metalizado en la cara superior. Éste sirve, por un lado, para la subsiguiente adhesión en un soporte 126 y, por otro lado, para mejorar el desacoplamiento de luz de un componente existente.

35 El soporte 126 está hecho de cobre ó AlSi y presenta en un lado 128 que se utiliza para la adhesión, un metalizado 130. En la figura 3b) se muestra una etapa del proceso después de realizar la adhesión. La adhesión se lleva a cabo a una temperatura de 280° C. La utilización de temperaturas tan bajas tiene la ventaja de que no se producen deformaciones adicionales debido al ciclo térmico durante el proceso de adhesión.

40 En una etapa subsiguiente se elimina la oblea de Si 104. Esto se muestra de forma esquemática en la figura 3c). La oblea de Si 104 es eliminada mediante esmerilado y grabado. El grabado puede llevarse a cabo por química húmeda o seca. En comparación con la utilización de sustratos con una superficie de crecimiento (111) la eliminación resulta claramente más fácil.

45 De esta manera, se forma la estructura mostrada en la figura 3d) en la que la capa de pre-germinación 106, que antes estaba unida con la oblea de Si, constituye ahora la cara superior y la capa de recubrimiento p 122 sigue directamente a la capa metalizada 124/130. En una etapa subsiguiente se procede a estructurar la cara superior mediante grabado. Debido al grabado, por ejemplo con KOH ó H₃PO₄ se conforman estructuras piramidales que mejoran el desacoplamiento de luz del componente (figura 3e). A continuación se generan las estructuras de contacto. Para la polarización del flujo del diodo luminoso se prevé un contacto a polarizar negativo 136 sobre la superficie y un contacto a polarizar positivo en el soporte (figura 3f).

50 El crecimiento de capa es posible, según la invención, sobre sustratos grandes y permite de esta manera la fabricación de componentes grandes o bien la fabricación económica de un gran número de componentes pequeños. La gestión de proceso descrita puede prescindir del despegado mediante láser que se suele aplicar al utilizar sustratos de zafiro y, por lo tanto, resulta más sencilla y económica.

55 Las etapas de fotolitografía sólo son necesarias para la fabricación del contacto de la cara posterior y una estructuración de los componentes antes de su individualización.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Componente semiconductor de nitruro, con una estructura de capas de nitruro del grupo III, que ha sido precipitada de forma epitáctica sobre un sustrato con una superficie de sustrato del grupo IV de un material de sustrato del grupo IV con una estructura cristalina cúbica, en el que la superficie de sustrato del grupo IV presenta, sin tener en cuenta una reconstrucción de la superficie, una célula elemental con una simetría C2, pero con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C2, y en el que la estructura de capas de nitruro del grupo III presenta de forma directamente adyacente a la superficie de sustrato del grupo IV una capa de pre-germinación, ya sea de GaN ó AlN, o bien de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$ ternario o cuaternario, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$, caracterizado porque la superficie de sustrato del grupo IV es una superficie $\{nml\}$, donde n, m son números enteros distintos de cero, y $l \geq 2$.
- 10 2. Componente semiconductor de nitruro, según la reivindicación 1, en el que la superficie de sustrato del grupo IV es una superficie $\{111\}$ del silicio, donde se cumple $l \geq 2$.
- 15 3. Componente semiconductor de nitruro, según la reivindicación 1, en el que la superficie de sustrato del grupo IV es una superficie $\{411\}$ del silicio, donde se cumple $l \geq 2$.
- 20 4. Componente semiconductor de nitruro, según la reivindicación 1, con una capa-tampón de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$, directamente adyacente a la capa de pre-germinación.
- 25 5. Procedimiento para la fabricación de un componente semiconductor de nitruro que comprende la precipitación epitáctica de una estructura de capas de nitruro del grupo III sobre una superficie de sustrato del grupo IV de un material de sustrato del grupo IV con una estructura cristalina cúbica, en el que la estructura de capas de nitruro del grupo III es precipitada de forma epitáctica sobre una superficie de sustrato del grupo IV que, para los fines de la definición conceptual sin tener en cuenta una reconstrucción de la superficie, presenta una célula elemental con una simetría C2, pero con ninguna simetría rotacional superior a la simetría C2, y en el que de forma directamente adyacente a la superficie de sustrato del grupo IV una capa de pre-germinación de $Al_{1-x-y}In_xGa_yN$, $0 \leq x, y < 1$ y $x + y \leq 1$, es precipitada de forma epitáctica, caracterizado porque la superficie de sustrato del grupo IV es una superficie $\{nml\}$, donde n, m son números enteros distintos de cero, y $l \geq 2$.
- 30 6. Procedimiento, según la reivindicación 5, que comprende la eliminación parcial o completa del sustrato por química húmeda o seca, una vez precipitada de forma epitáctica la estructura de capas de nitruro del grupo III.
- 35 7. Procedimiento, según la reivindicación 5 ó 6, en el que la capa de pre-germinación es precipitada mediante epitaxia organometálica en fase de vapor, MOVPE, y en el que la capa de pre-germinación es precipitada de forma epitáctica con una porción de átomos de aluminio de, como mínimo, el 90 % del número total de átomos del grupo III en la capa de pre-germinación.
- 40

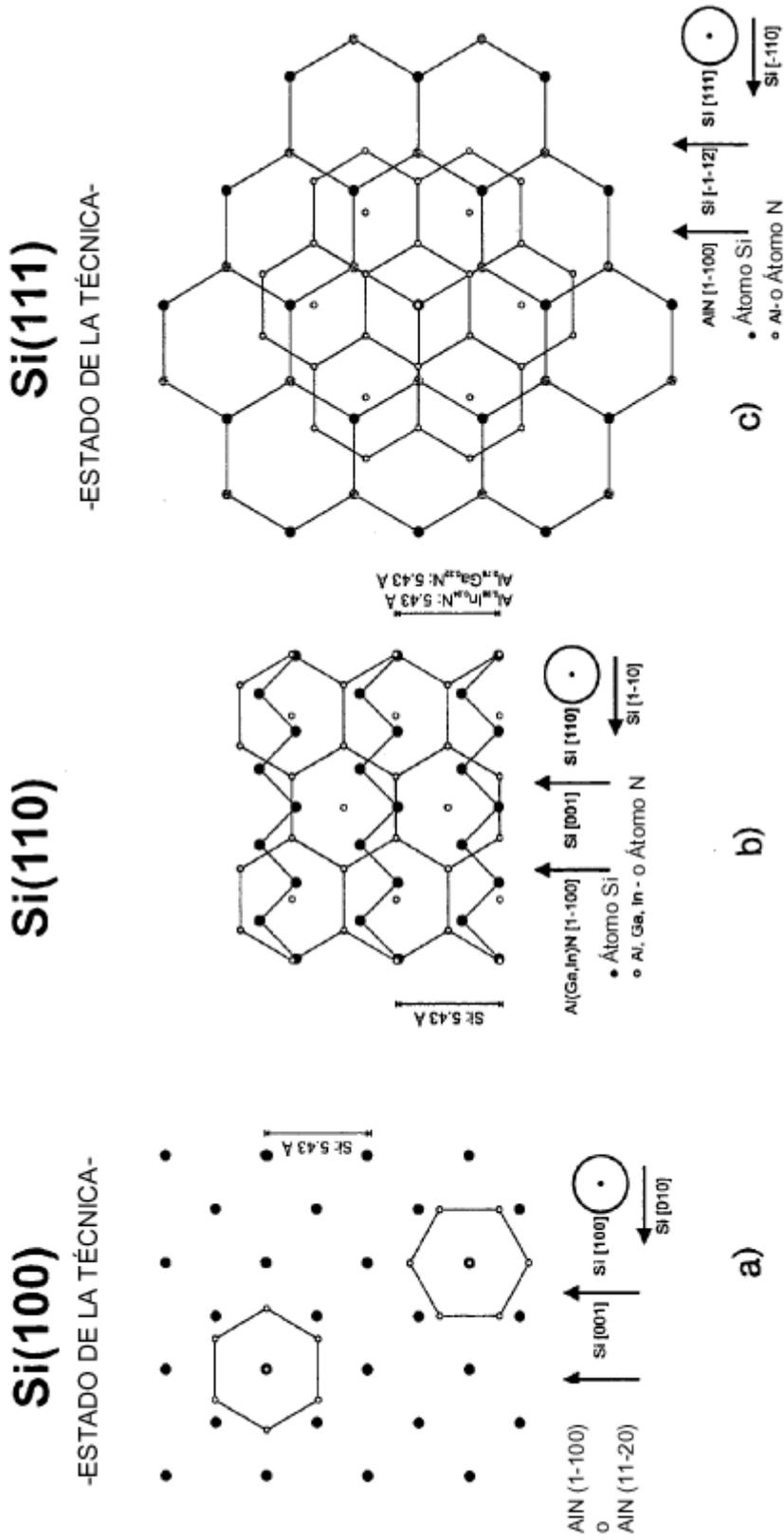


Fig.1

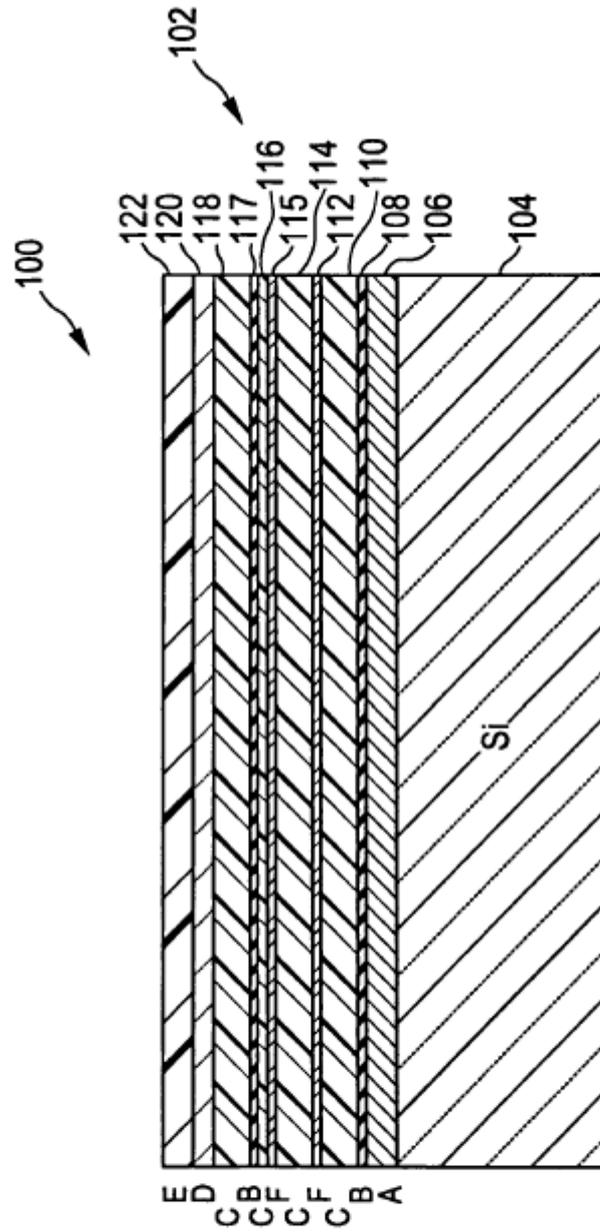


FIG. 2

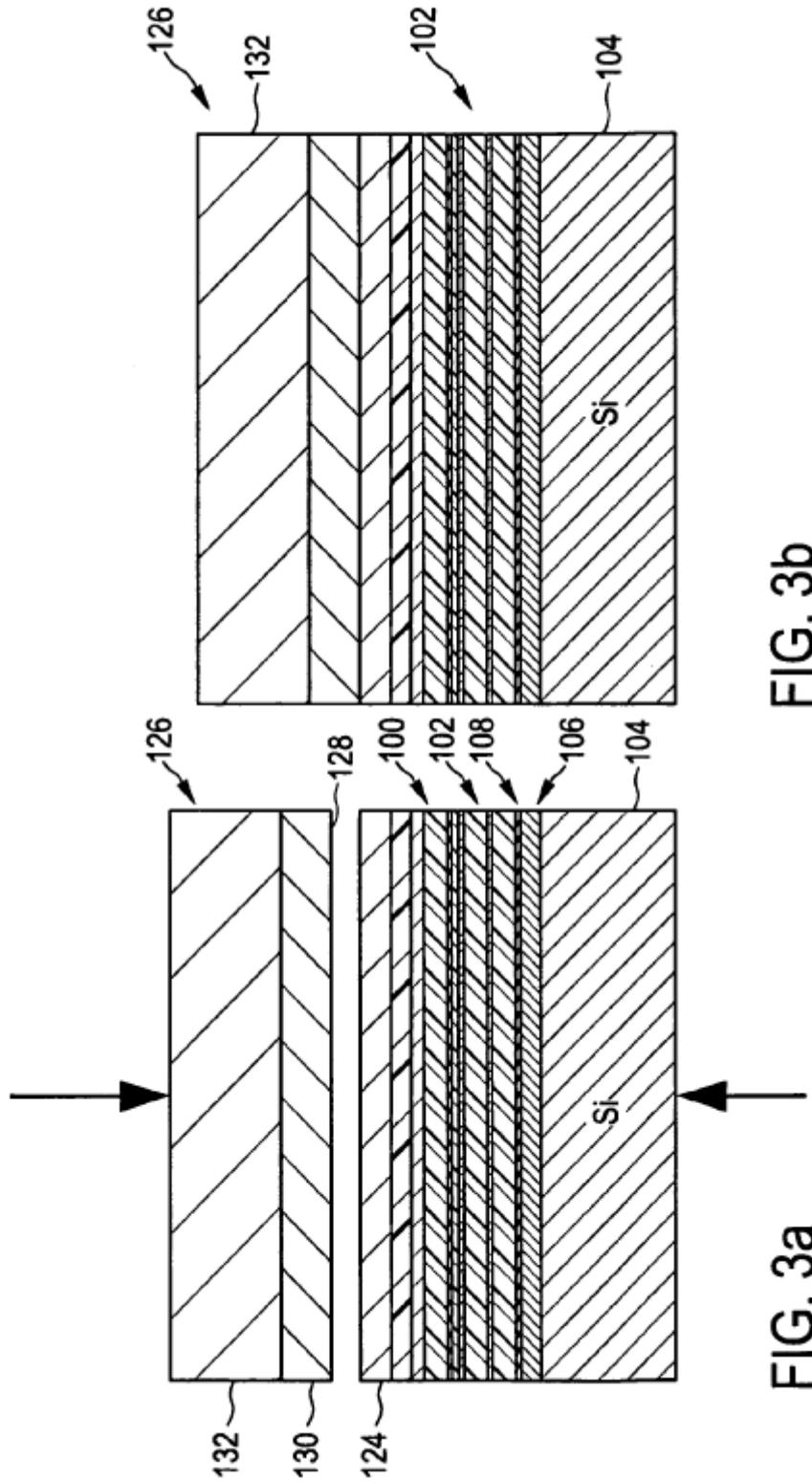


FIG. 3b

FIG. 3a

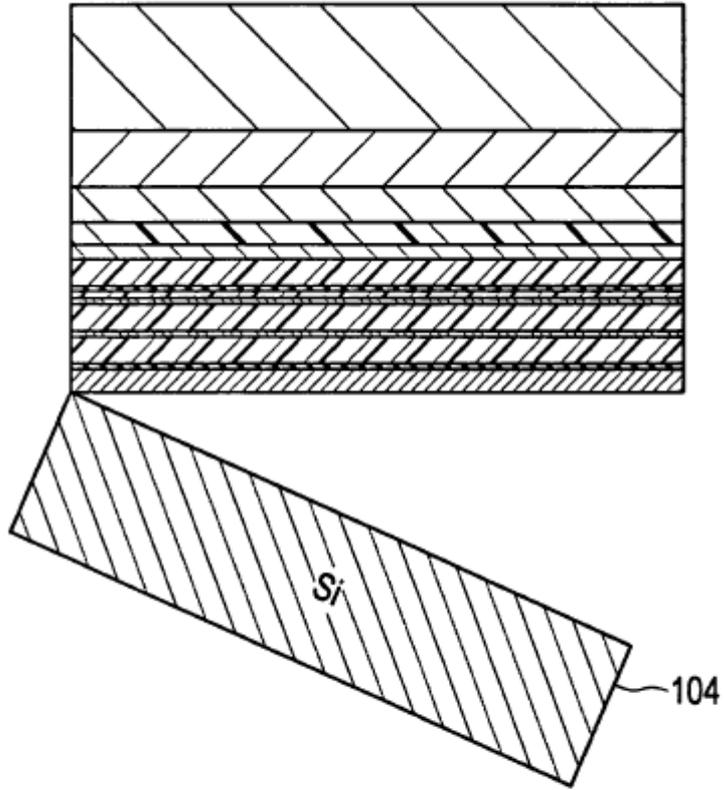


FIG. 3c

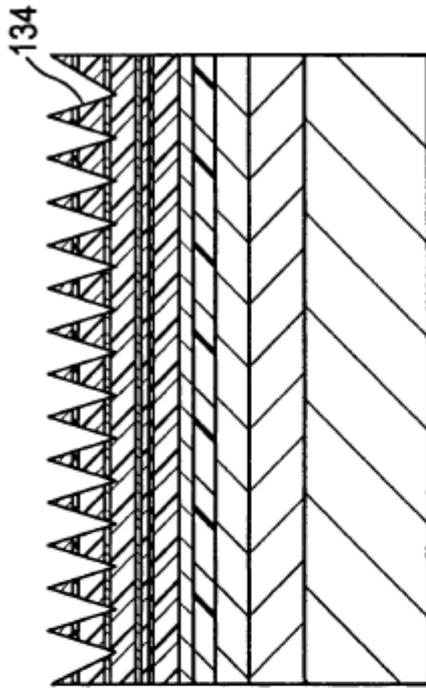


FIG. 3e

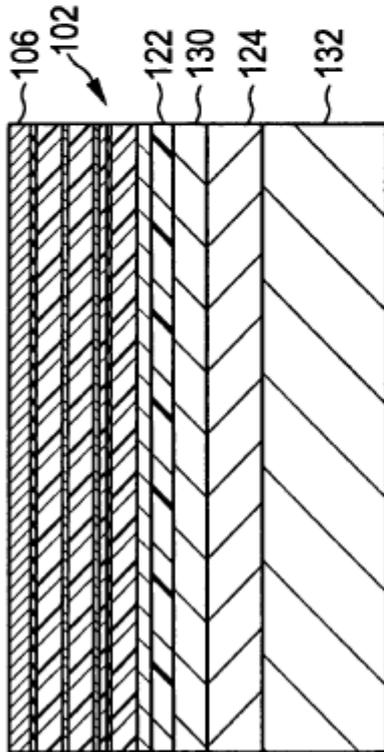


FIG. 3d

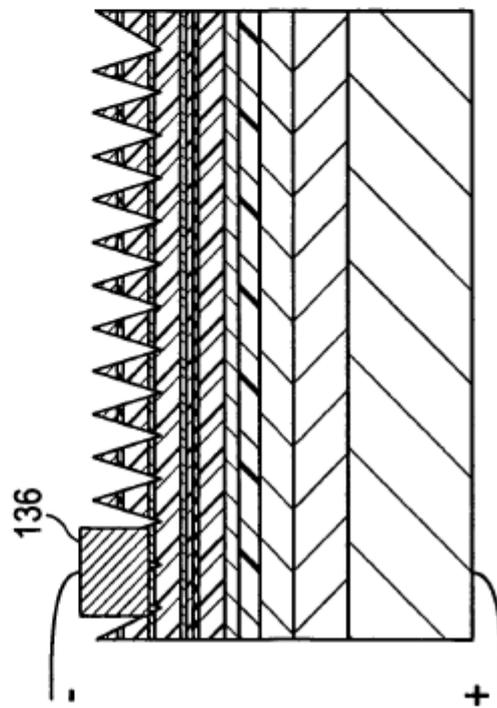


FIG. 3f