

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 487**

51 Int. Cl.:
H01L 33/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07859487 .6**
96 Fecha de presentación: **20.12.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2095436**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

54 Título: **Dispositivo emisor de luz de nitruro III con capa emisora de luz de deformación reducida**

30 Prioridad:
22.12.2006 US 615479

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.03.2012

73 Titular/es:
**KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.
GROENEWOUDSEWEG 1
5621 BA EINDHOVEN, NL y
PHILIPS LUMILEDS LIGHTING COMPANY, LLC**

72 Inventor/es:
**YI, Sungsoo;
DAVID, Aurelien J. F.;
GARDNER, Nathan F.;
KRAMES, Michael R. y
ROMANO, Linda T.**

74 Agente/Representante:
Zuazo Araluze, Alexander

ES 2 377 487 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

Dispositivo emisor de luz de nitruro III con capa emisora de luz de deformación reducida

5 La presente invención se refiere a técnicas de crecimiento y a estructuras de dispositivos para dispositivos emisores de luz semiconductores.

Los dispositivos emisores de luz semiconductores, incluyendo diodos emisores de luz (LED), diodos emisores de luz de cavidad resonante (RCLED), diodos láser de cavidad vertical (VCSEL) y láseres de emisión de borde, están entre las fuentes luminosas más eficientes disponibles actualmente. Los sistemas de materiales de interés actualmente en la fabricación de dispositivos emisores de luz de alto brillo que pueden funcionar a lo largo del espectro visible incluyen semiconductores de los grupos III-V, particularmente aleaciones binarias, ternarias y cuaternarias de galio, aluminio, indio y nitrógeno, también denominados materiales de nitruro III. Normalmente, los dispositivos emisores de luz de nitruro III se fabrican haciendo crecer de manera epitaxial una pila de capas semiconductoras de diferentes composiciones y concentraciones de dopante sobre un sustrato adecuado mediante deposición química organometálica en fase de vapor (MOCVD), epitaxia por haces moleculares (MBE) u otras técnicas epitaxiales. La pila incluye con frecuencia una o más capas de tipo n dopadas con, por ejemplo, Si, formadas sobre el sustrato, una región activa o emisora de luz formada sobre la capa o capas de tipo n, y una o más capas de tipo p dopadas con, por ejemplo, Mg, formadas sobre la región activa. Los dispositivos de nitruro III formados sobre sustratos conductores pueden tener los contactos p y n formados en lados opuestos del dispositivo. Con frecuencia, los dispositivos de nitruro III se fabrican sobre sustratos aislantes con ambos contactos en el mismo lado del dispositivo.

En realizaciones de la invención, un dispositivo emisor de luz de nitruro III incluye una capa de deformación atenuada diseñada para reducir la deformación en el dispositivo, en particular en la capa emisora de luz. La reducción de la deformación en el dispositivo emisor de luz puede mejorar el rendimiento del dispositivo. La superficie sobre la que se hace crecer la capa de deformación atenuada está configurada de manera que la capa de deformación atenuada crece sólo sobre partes de la superficie, proporcionando espacio para que la capa de deformación atenuada se expanda de manera lateral y al menos se relaje parcialmente. En algunas realizaciones de la invención, la capa de deformación atenuada se hace crecer sobre una capa semiconductoras texturizada o una capa de máscara. En algunas realizaciones de la invención, la capa de deformación atenuada es un grupo de postes de material semiconductor.

La figura 1 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz con una capa emisora de luz de deformación atenuada tal como se ha hecho crecer sobre una capa texturizada.

La figura 2 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz con una capa emisora de luz tal como se ha hecho crecer sobre una capa de deformación atenuada tal como se ha hecho crecer sobre una capa texturizada.

La figura 3 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz con una capa emisora de luz tal como se ha hecho crecer sobre una máscara.

La figura 4 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz con una capa emisora de luz tal como se ha hecho crecer dentro de un grupo de postes de material semiconductor.

La figura 5 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz con una capa emisora de luz tal como se ha hecho crecer sobre una capa que ha experimentado coalescencia tal como se ha hecho crecer sobre un grupo de postes de material semiconductor.

Las figuras 6 y 7 ilustran partes de dispositivos emisores de luz con capas emisoras de luz que se han hecho crecer sobre grupos de postes de material semiconductor y con regiones eléctricamente aislantes de material resistivo de material de tipo n y p.

La figura 8 ilustra una parte de un dispositivo emisor de luz de pastilla invertida del que se ha retirado el sustrato de crecimiento.

La figura 9 es una vista en despiece ordenado de un dispositivo emisor de luz empaquetado.

Las figuras 10 y 11 ilustran partes de dispositivos emisores de luz con capas emisoras de luz conformes que se han hecho crecer sobre poliedros que se han hecho crecer sobre aberturas en una máscara.

El rendimiento de un dispositivo emisor de luz semiconductor puede calibrarse midiendo la eficiencia cuántica interna, que mide el número de fotones generados en el dispositivo por electrón suministrado al dispositivo. A medida que aumenta la densidad de corriente aplicada a un dispositivo emisor de luz de nitruro III convencional, inicialmente aumenta la eficiencia cuántica interna del dispositivo, luego disminuye. A medida que aumenta la densidad de corriente más allá de cero, aumenta la eficiencia cuántica interna, alcanzando un pico a una densidad de corriente dada (por ejemplo, a aproximadamente 10 A/cm^2 para algunos dispositivos). A medida que aumenta la

densidad de corriente más allá del pico, disminuye rápidamente la eficiencia cuántica interna inicialmente, luego se ralentiza la disminución a una mayor densidad de corriente (por ejemplo, más allá de 200 A/cm² para algunos dispositivos).

- 5 Una técnica para reducir o invertir la disminución en la eficiencia cuántica a alta corriente de densidad es formar capas emisoras de luz más gruesas. Por ejemplo, una capa emisora de luz configurada para emitir luz a 450 nm es preferiblemente más gruesa que 50 Å. La densidad de portadores de carga en una capa emisora de luz más gruesa puede ser menor que la densidad de portadores de carga en un pozo cuántico, lo que puede reducir el número de portadores perdidos debido a recombinación no radiactiva y aumentar de ese modo la eficiencia cuántica externa.
- 10 Sin embargo, el crecimiento de capas emisoras de luz de nitruro III gruesas es difícil debido a la deformación en las capas del dispositivo de nitruro III.

15 Dado que los sustratos de crecimiento de nitruro III nativos son generalmente costosos, no están ampliamente disponibles y son poco prácticos para el crecimiento de dispositivos comerciales, los dispositivos de nitruro III con frecuencia se hacen crecer sobre sustratos de SiC o zafiro. Los sustratos no nativos de este tipo tienen diferentes constantes reticulares que las constantes reticulares volumétricas de las capas de dispositivo de nitruro III que se han hecho crecer sobre el sustrato, dando como resultado deformación en las capas de nitruro III que se han hecho crecer sobre el sustrato. Tal como se usa en el presente documento, una constante reticular "en el plano" se refiere a la constante reticular real de una capa dentro del dispositivo, y una constante reticular "volumétrica" se refiere a la constante reticular del material independiente, relajado de una composición dada. La cantidad de deformación de una capa es la diferencia entre la constante reticular en el plano del material que forma una capa particular y la constante reticular volumétrica de la capa en el dispositivo, dividida entre la constante reticular volumétrica de la capa.

- 25 El documento WO 2005/068377 (29 de junio de 2006) describe una estructura de LED de nitruro III en la que se hace crecer una capa de GaN dopada internamente de bajo peso molecular entre una capa n de GaN y la capa activa con el fin de controlar la deformación en la capa activa.

30 Cuando se hace crecer un dispositivo de nitruro III de manera convencional sobre Al₂O₃, la primera capa tal como se ha hecho crecer sobre el sustrato es generalmente una capa intermedia de GaN con una constante reticular a en el plano de aproximadamente 3,1885 Å. La capa intermedia de GaN sirve como plantilla de constante reticular para la región emisora de luz porque fija la constante reticular para todas las capas del dispositivo que se han hecho crecer sobre la capa intermedia, incluyendo la capa emisora de luz de InGa_{0.16}N. Dado que la constante reticular volumétrica de InGa_{0.16}N es mayor que la constante reticular en el plano de la plantilla de capa intermedia de GaN, la capa emisora de luz se deforma cuando se ha hecho crecer sobre una capa intermedia de GaN. Por ejemplo, una capa emisora de luz configurada para emitir luz de aproximadamente 450 nm puede tener una composición In_{0.16}Ga_{0.84}N, una composición con una constante reticular volumétrica de 3,242 Å. A medida que aumenta la composición de InN en la capa emisora de luz, como en dispositivos que emiten luz a longitudes de onda más largas, también aumenta la deformación en la capa emisora de luz.

40 Si el grosor de la capa deformada aumenta más allá de un valor crítico, se forman dislocaciones u otros defectos dentro de la capa para reducir la energía asociada con la deformación. Los defectos se convierten en centros de recombinación no radiantes que pueden reducir considerablemente la eficiencia cuántica del dispositivo. Como resultado, el grosor de la capa emisora de luz debe mantenerse por debajo de este grosor crítico. A medida que aumentan la composición de InN y la longitud de onda de pico, aumenta la deformación en la capa emisora de luz, por tanto disminuye el grosor crítico de una capa emisora de luz.

45 Aunque el grosor de la capa emisora de luz se mantenga por debajo del grosor crítico, las aleaciones de InGa_{0.16}N son termodinámicamente inestables en determinadas composiciones y a determinadas temperaturas. Por ejemplo, a temperaturas usadas normalmente para el crecimiento de InGa_{0.16}N, la aleación puede mostrar descomposición espinodal, en la que una capa de InGa_{0.16}N de composición uniforme se transforma en una capa con regiones de composición de InN superior a la media y regiones de composición de InN inferior a la media. La descomposición espinodal en una capa emisora de luz de InGa_{0.16}N crea centros de recombinación no radiantes que pueden reducir la eficiencia cuántica del dispositivo. El problema de la descomposición espinodal empeora a medida que aumenta el grosor de la capa emisora de luz, a medida que aumenta la composición de InN media en la capa emisora de luz y/o a medida que aumenta la deformación en la capa emisora de luz. Por ejemplo, en el caso de una capa emisora de luz que se ha hecho crecer sobre un sustrato de zafiro y se ha configurado para emitir luz a 450 nm, la combinación de una composición de InN del 16% y el grosor preferido de más de 50 Å supera el límite de descomposición espinodal.

60 Por consiguiente, tal como se describió anteriormente, es deseable aumentar el grosor de la capa emisora de luz para reducir o eliminar la disminución en la eficiencia cuántica que se produce a medida que aumenta la densidad de corriente. Es necesario reducir la deformación en la capa emisora de luz con el fin de hacer crecer una capa emisora de luz más gruesa, para mantener el número de defectos dentro de un intervalo aceptable mediante el aumento del grosor crítico, y para aumentar el grosor al que puede hacerse crecer la capa sin descomposición espinodal. Las realizaciones de la invención se diseñan para reducir la deformación en las capas del dispositivo de un dispositivo de

nitruro III, en particular en la capa emisora de luz.

Según realizaciones de la invención, se proporciona al menos una atenuación parcial de la deformación en una capa emisora de luz de un dispositivo emisor de luz de nitruro III configurando la superficie sobre la que se hace crecer al menos una capa del dispositivo de manera que la capa se expande lateralmente y por tanto se relaja al menos parcialmente. Esta capa se denomina la capa de deformación atenuada. En un dispositivo convencional, todas las capas en el dispositivo se hacen crecer suficientemente delgadas para que se deformen, por tanto la primera capa de monocristal que se ha hecho crecer sobre el sustrato de crecimiento fija la constante reticular para cada capa deformada en el dispositivo. En realizaciones de la invención, la capa de deformación atenuada se relaja al menos parcialmente, de manera que la constante reticular en la capa de deformación atenuada es mayor que la constante reticular de la capa que se ha hecho crecer antes de la capa de deformación atenuada. La capa de deformación atenuada expande así la constante reticular para las capas que se han hecho crecer de forma posterior a la capa de deformación atenuada.

En algunas realizaciones, la propia capa emisora de luz es la capa de deformación atenuada, lo que significa que la capa emisora de luz se hace crecer sobre una superficie que permite que la capa emisora de luz se expanda lateralmente para atenuar la deformación. En algunas realizaciones, una capa que se ha hecho crecer antes de la capa emisora de luz es la capa de deformación atenuada. En un primer grupo de realizaciones, la capa de deformación atenuada se hace crecer sobre una superficie texturizada. En un segundo grupo de realizaciones, la capa de deformación atenuada se hace crecer dentro de o sobre postes de material de nitruro III, con frecuencia denominados nanohilos o nanocolumnas.

En las realizaciones descritas a continuación, el dispositivo emisor de luz de nitruro III incluye una región de tipo n que se ha hecho crecer normalmente, en primer lugar, sobre un sustrato de crecimiento adecuado. La región de tipo n puede incluir múltiples capas de diferentes composiciones y concentración de dopante incluyendo, por ejemplo, capas de preparación tales como capas intermedias o capas de nucleación que pueden ser de tipo n o no dopadas intencionadamente, capas de liberación diseñadas para facilitar la liberación posterior del sustrato de crecimiento o el adelgazamiento de la estructura semiconductor después de la retirada del sustrato, y capas de dispositivo de tipo n diseñadas para propiedades eléctricas u ópticas particulares deseables para que la región emisora de luz emita luz de manera eficiente.

Una región emisora de luz se hace crecer sobre la región de tipo n. Aunque las realizaciones a continuación pueden hacer referirse a una capa emisora de luz individual, debe entenderse que cualquiera de las realizaciones a continuación puede incluir una región emisora de luz con una o más capas emisoras de luz gruesas o delgadas. Los ejemplos de regiones emisoras de luz adecuadas incluyen una capa emisora de luz gruesa o delgada individual y una región emisora de luz de múltiples pozos cuánticos incluyendo capas emisoras de luz de múltiples pozos cuánticos, gruesas o delgadas, separadas por capas de barrera.

En algunas realizaciones, el grosor de cada una de las capas emisoras de luz en el dispositivo es preferiblemente más grueso que 50 Å. En algunas realizaciones, la región emisora de luz del dispositivo es una capa emisora de luz gruesa, individual con un grosor de entre 50 y 600 Å, más preferiblemente de entre 100 y 250 Å. El grosor óptimo puede depender del número de defectos dentro de la capa emisora de luz. La concentración de los defectos en la región emisora de luz preferiblemente se limita a menos de 10^9 cm^{-2} , más preferiblemente se limita a menos de 10^8 cm^{-2} , más preferiblemente se limita a menos de 10^7 cm^{-2} , y más preferiblemente se limita a menos de 10^6 cm^{-2} .

En algunas realizaciones, al menos una capa emisora de luz en el dispositivo se dopa con un dopante tal como Si a una concentración de dopante de entre $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. El dopado con Si puede influir en la constante reticular a en el plano en la capa emisora de luz, reduciendo además posiblemente la deformación en la capa emisora de luz.

Una región de tipo p se hace crecer sobre la región emisora de luz. Al igual que la región de tipo n, la región de tipo p puede incluir múltiples capas de diferente composición, grosor y concentración de dopante, incluyendo capas que no están dopadas intencionadamente, o capas de tipo n.

La figura 1 ilustra una realización de la invención en la que una capa emisora de luz de deformación atenuada se hace crecer sobre la superficie texturizada de una capa semiconductor. En el dispositivo de la figura 1, una región 11 de tipo n que tiene una constante reticular en el plano a_1 se hace crecer sobre un sustrato 20 de crecimiento. La superficie superior de la región 11 de tipo n, que puede ser, por ejemplo, de GaN, InGaN, AlGaN, o AlInGaN, está texturizada. Una capa 12 emisora de luz de deformación atenuada que tiene una constante reticular en el plano a_2 se hace crecer entonces sobre la superficie texturizada. Una región 13 de tipo p, que también tiene una constante reticular en el plano a_2 , se hace crecer sobre la capa 12 emisora de luz.

La superficie de la región 11 de tipo n está texturizada con una superficie rugosa, controlada, tal como, por ejemplo, con características que tienen un perfil en sección transversal de picos que alternan con valles. La distancia en los picos adyacentes puede ser de 50 a 200 nm, más preferiblemente de 50 a 100 nm. La profundidad desde la parte superior de un pico hasta la parte inferior de un valle puede ser inferior a 200 nm, más preferiblemente inferior a 100

nm. Las características de tamaño, profundidad y separación apropiadas pueden formarse, por ejemplo, mediante ataque químico por fotolitografía convencional, ataque químico por pulverización iónica, ataque fotoelectroquímico, o mediante un procedimiento *in situ* en el que el material cristalino se hace crecer texturizado, tal como mediante crecimiento a presión elevada. Cuando las características se dimensionan de manera apropiada, el material de InGaN de la capa 12 emisora de luz crece preferentemente sobre los picos como un grupo de islas. Dado que inicialmente las islas no cubren toda la superficie de la región 11 de tipo n texturizada, las islas pueden expandirse lateralmente de manera que la capa 12 emisora de luz se relaja al menos parcialmente. La constante reticular en el plano a_2 de la capa 12 emisora de luz de deformación atenuada es mayor que la constante reticular en el plano a_1 de la región 11 de tipo n.

La figura 2 ilustra una variación del dispositivo de la figura 1, en el que la capa que se ha hecho crecer sobre la superficie de contacto texturizada con el fin de proporcionar atenuación de la deformación no es la capa 12 emisora de luz, sino que es una capa 21 de tipo n que se ha hecho crecer sobre la región 11 de tipo n antes de la capa 12 emisora de luz. Como en el dispositivo de la figura 1, una región 11 de tipo n que tiene una constante reticular en el plano a_1 se hace crecer sobre un sustrato 20 de crecimiento. La superficie superior de la región 11 de tipo n está texturizada tal como se describe haciendo referencia a la figura 1. Una segunda región 21 de tipo n, que puede ser de GaN, InGaN, AlGaN, o AlInGaN, se hace crecer sobre la superficie texturizada de la región 11 de tipo n. Cuando comienza a crecer que la región 21 de tipo n, el material de nitruro III de la región 21 de tipo n crece preferentemente sobre los picos de la superficie texturizada de la región 11 de tipo n como un grupo de islas. Las islas de material pueden expandirse lateralmente y relajarse al menos parcialmente, de manera que la constante reticular en el plano a_2 de la región 21 de tipo n es mayor que la constante reticular en el plano a_1 de la región 11 de tipo n. Las capas que se han hecho crecer sobre la región 21 de deformación atenuada, incluyendo la capa 12 emisora de luz y la región 13 de tipo p, reproducen la mayor constante reticular en el plano a_2 de la región 21 de deformación atenuada.

La figura 3 ilustra una realización de la invención en la que se hace crecer una capa de deformación atenuada sobre una máscara. En el dispositivo de la figura 3, una región 14 de tipo n que tiene una constante reticular a_1 se hace crecer sobre un sustrato 20 de crecimiento. La superficie de la región 14 de tipo n se trata con un precursor de silicio tal como silano de manera que la superficie se cubre parcialmente con material de nitruro de silicio SiN_x y está parcialmente expuesta en pequeñas aberturas en el nitruro de silicio, creando una máscara. Las regiones expuestas pueden tener una extensión lateral de 10 a 200 nm, más preferiblemente de 50 a 150 nm, y más preferiblemente menor que 100 nm.

Una región 17 emisora de luz se hace crecer sobre la máscara. El material de la región 17 emisora de luz crece preferentemente en las aberturas 16 en el material 15 de máscara, en la superficie expuesta de la región 14 de tipo n. Las islas de material de capa emisora de luz pueden expandirse lateralmente y relajarse al menos parcialmente, de manera que la constante reticular en el plano a_2 de la región 17 emisora de luz es mayor que la constante reticular en el plano a_1 de la región 14 de tipo n. Una región 18 de tipo n, que también tiene una constante reticular en el plano a_2 , se hace crecer sobre la región 17 emisora de luz. Como en los dispositivos mostrados en las figuras 1 y 2, no es necesario hacerse crecer la región 17 emisora de luz directamente sobre la máscara, sino que puede hacerse crecer una segunda región de tipo n de, por ejemplo, GaN, InGaN, AlGaN o AlInGaN, en primer lugar, sobre la máscara, seguido por la región 17 emisora de luz.

En las realizaciones ilustradas en las figuras 1, 2 y 3, en las que la capa emisora de luz se hace crecer sobre una superficie de contacto texturizada tal como las capas texturizadas en las figuras 1 y 2 o la capa de máscara en la figura 3, la superficie de contacto texturizada está ubicada generalmente cerca de la capa emisora de luz. En algunas realizaciones, la superficie de contacto texturizada está a como máximo 1000 Å de al menos una parte de la capa emisora de luz.

Las figuras 4, 5, 6 y 7 ilustran dispositivos que incluyen postes de material semiconductor. En la figura 4, una región 22 de tipo n se hace crecer sobre un sustrato 20. Sobre una región 22 de tipo n plana, se forma una capa 24 de máscara tal como la máscara de SiN_x descrita anteriormente. En las aberturas entre las islas de material de la máscara, se hacen crecer postes de material semiconductor. En algunas realizaciones, la temperatura de crecimiento de los postes de material semiconductor se mantiene por debajo de una temperatura a la que el material de GaN entre las islas de material enmascarado comienza a descomponerse, 1000°C en algunas aplicaciones. Los postes de material semiconductor pueden hacerse crecer dentro de un intervalo de temperatura más estrecho que una capa plana que se ha hecho crecer sobre una máscara, como en la figura 3, y en condiciones que favorecen el crecimiento lento, con el fin de formar postes de material semiconductor en vez de la capa sustancialmente plana de la figura 3. Por ejemplo, los postes pueden hacerse crecer a una temperatura de crecimiento de entre 900 y 1000°C, a una velocidad de crecimiento inferior a 0,5 Å/s, y a una razón de precursores del grupo V con respecto a precursores del grupo III superior a 4000. El material plano puede hacerse crecer a temperaturas superiores a 1000°C e inferiores a 900°C, a velocidades de crecimiento más rápidas y a razones de precursores diferentes. En primer lugar, se hacen crecer postes 26 de material de tipo n, seguido por postes 28 de material de la región emisora de luz, seguido por postes 30 de material de tipo p.

Tras hacerse crecer los postes 30 de tipo p, se cambian las condiciones de crecimiento, por ejemplo introduciendo o aumentando el flujo de un precursor de dopante tal como un precursor de dopante de Mg, disminuyendo el flujo del

precursor de nitrógeno (generalmente, NH_3), y aumentando la velocidad de crecimiento, de manera que se forman pirámides invertidas sobre los postes, pirámides que eventualmente coalescen para formar una capa 32 plana sobre los postes y espacios 25 entre los postes.

5 Las dimensiones de los postes de material de nitruro III se seleccionan de manera que los postes puedan expandirse lateralmente para adaptarse a la diferencia en la constante reticular entre capas de diferente composición dentro de los postes. Por ejemplo, el diámetro de los postes puede limitarse a menos de 500 nm, más preferiblemente menos de 200 nm. Pueden ser posibles diámetros de tan sólo 10 nm. Los diámetros de entre 50 y 10
10 150 nm, por ejemplo, en un área de 100 nm, son probables. El diámetro se selecciona para ser lo suficientemente pequeño de manera que el material en los postes pueda relajarse al menos parcialmente, y lo suficientemente grande para que exista un factor de llenado aceptablemente alto del material de la capa emisora de luz. No es necesario que los postes tengan un diámetro constante, tal como se ilustra en la figura 4. Por ejemplo, los postes pueden ser pirámides truncadas. En algunas realizaciones, el factor de llenado es de al menos el 90%, lo que significa que tal como se han hecho crecer, los postes ocupan al menos el 90% de la extensión lateral de la estructura semiconductor del dispositivo. El factor de llenado está determinado tanto por el diámetro de los postes como por la separación entre los postes. Si se reduce el diámetro de los postes, la densidad numérica de los postes debe aumentar para mantener un factor de llenado dado. En algunas realizaciones, la densidad numérica de los postes es de al menos 10^{10} cm^{-2} .

20 La altura de los postes puede oscilar entre 50 nm y 3 μm . En un dispositivo con una capa emisora de luz individual, las alturas de entre 50 y 150 nm, por ejemplo de 100 nm, son probables. En un dispositivo con una región emisora de luz de múltiples pozos cuánticos, las alturas de entre 200 nm y 1 μm , por ejemplo de 500 nm, son probables. La región 28 emisora de luz dentro de los postes puede relajarse al menos parcialmente.

25 En algunas realizaciones, en el dispositivo ilustrado en la figura 4, las regiones emisoras de luz en diferentes postes en un dispositivo individual pueden formarse para emitir diferentes longitudes de onda. Por ejemplo, algunos de los postes en el dispositivo pueden configurarse para emitir luz de color rojizo, algunos de los postes en el dispositivo pueden configurarse para emitir luz de color verdoso, y algunos de los postes en el dispositivo pueden configurarse para emitir luz de color azulado, de manera que las luces roja, verde y azul combinadas parecen luz blanca.

30 La longitud de onda de emisión de regiones emisoras de luz depende de la composición de InN: cuanto más InN haya en una capa emisora de luz de InGa N , más larga será la longitud de onda de emisión. En dispositivos convencionales con capas emisoras de luz, ininterrumpidas, planas, la deformación en la capa emisora de luz limita la cantidad de InN que puede incorporarse en la capa emisora de luz. En general, las capas emisoras de luz de InGa N planas que emiten luz azul pueden hacerse crecer con mayor calidad que las capas emisoras de luz de InGa N planas que emiten luz verde. Es extremadamente difícil hacer crecer una capa emisora de luz de InGa N plana de calidad suficientemente alta que emita luz a una longitud de onda más larga que el verde. Dado que una región emisora de luz que se ha hecho crecer dentro de un poste tal como se ilustra en la figura 4 puede relajarse al menos parcialmente, puede incorporarse más InN durante el crecimiento que en una capa plana deformada convencional. Cuanto más se releja el material en el poste, más InN puede incorporarse en la capa emisora de luz.

Los inventores han hecho crecer estructuras con postes que incluyen al menos una capa de InGa N . Las estructuras se caracterizaron mediante fotoluminiscencia, que mostró que la longitud de onda de emisión del material de InGa N se desplazó significativamente hacia el rojo con respecto al crecimiento plano convencional. Se han conseguido longitudes de onda de emisión entre 430 nm y 750 nm, que representan colores desde el azul hasta el rojo incluyendo el verde y el amarillo.

En algunas realizaciones, se controla la composición de InN en postes individuales controlando el diámetro de los postes. Cuanto menor es el diámetro de un poste, más se relaja el material en el poste, por tanto se incorpora más InN durante el crecimiento de la región emisora de luz. Por ejemplo, en un dispositivo con postes con diámetros que varían desde aproximadamente 10 nm hasta aproximadamente 150 nm, se espera que los postes con diámetros en el intervalo de 10 nm sean aquéllos con la mayor relajación, tengan regiones emisoras de luz con las mayores composiciones de InN y emitan la longitud de onda más larga, principalmente luz roja. Se espera que los postes con diámetros en el intervalo de 150 nm tengan menos relajación, tengan regiones emisoras de luz con menores composiciones de InN y emitan una longitud de onda más corta, luz más azul.

Con el fin de preparar un dispositivo que emita luz blanca, debe haber un número controlado de postes que emiten luz en cada región del espectro visible. Tal como se describió anteriormente, puede controlarse la longitud de onda de la luz emitida por cada poste controlando el diámetro del poste. Para garantizar que exista un número suficiente de cada poste de un diámetro dado y longitud de onda de emisión correspondiente, la capa 24 de máscara puede presentar un diseño, por ejemplo mediante una técnica de litografía de nanoimpresión, para formar una pluralidad de aberturas con los diámetros deseados. Aunque se usa un dispositivo que emite luz blanca como ejemplo, debe entenderse que el espectro de emisión del dispositivo puede adaptarse a otros colores de luz mediante el diseño de la máscara 24 con aberturas del tamaño apropiado.

Un dispositivo en el que diferentes postes emiten diferentes colores de luz de manera que la luz combinada parece

blanca puede ofrecer beneficios con respecto a un dispositivo de luz blanca convencional, en el que un dispositivo emisor de luz semiconductor que emite luz azul se combina con uno o más materiales de conversión de longitud de onda tales como fósforos de manera que la luz convertida por el fósforo se combina con luz azul no convertida que se escapa a través del fósforo para formar luz blanca. Un dispositivo con postes que emiten diferentes colores de luz puede reducir la complejidad de fabricación, dado que no requiere formar capas de conversión de longitud de onda tras formar el dispositivo; puede ofrecer un control mejorado de la cromaticidad, temperatura del color y rendimiento de color, dado que el espectro de emisión se controla potencialmente de manera más fácil; puede ser más eficiente, por ejemplo eliminando ineficiencias asociadas con materiales de conversión de longitud de onda, puede ser menos costoso de fabricar, dado que ya no se requieran materiales de conversión de longitud de onda costosos; y puede ofrecer mayor flexibilidad en la adaptación del espectro de emisión.

En el dispositivo de la figura 5, una capa emisora de luz de deformación reducida se hace crecer sobre una capa que ha experimentado coalescencia sobre un grupo de postes semiconductores. Una región 22 de tipo n que tiene una constante reticular en el plano a_1 se hace crecer sobre un sustrato 20. Sobre la región 22 de tipo n plana, se forma una capa 24 de máscara, tal como la máscara de SiN_x descrita anteriormente. En las aberturas entre las islas de material de la máscara, se hacen crecer postes de material 26 de tipo n. Los postes se hacen crecer de manera que el diámetro es lo suficientemente pequeño para que los postes puedan expandirse lateralmente y por tanto relajarse al menos parcialmente, tal como se describió anteriormente. Cuando se alteran las condiciones de crecimiento de manera que una región 34 de tipo n coalesce sobre los postes 26, la región 34 de tipo n conserva la constante reticular en el plano de los postes relajados al menos parcialmente y por tanto tiene una constante reticular en el plano a_2 que es mayor que la constante reticular en el plano a_1 de la región 22 de tipo n. Una región 36 emisora de luz y un región 38 de tipo p, que reproducen ambas la constante reticular en el plano a_2 , se hacen crecer sobre la región 34 de tipo n.

Cuando la región 34 de tipo n coalesce sobre los postes 26, pueden formarse defectos 27 de sutura en los que se junta el material que está haciéndose crecer sobre los postes. Los defectos 27 pueden reproducirse a través de la región 36 emisora de luz y la región 38 de tipo p y pueden reducir la eficiencia o provocar problemas de fiabilidad. Las figuras 6 y 7 ilustran realizaciones de la invención diseñadas para eliminar defectos de sutura o reducir el número de defectos de sutura.

En el dispositivo de la figura 6, se hace crecer una región 22 de tipo n sobre el sustrato 20, entonces se forma una máscara 24 y se hacen crecer los postes 26 de tipo n tal como se describió anteriormente, de manera que los postes 26 se relajan al menos parcialmente. Se forma una capa conforme de material 40 resistivo sobre los postes 26. La capa 40 resistiva puede ser, por ejemplo, GaN resistivo que se ha hecho crecer de manera epitaxial tal como GaN dopado con Zn o Fe, o un óxido resistivo tal como un óxido de silicio. Entonces se retiran las capas resistivas formadas sobre las partes superiores de los postes 26 mediante litografía convencional, de manera que el material 40 resistivo permanezca sólo en los espacios entre los postes 26. Entonces se hacen crecer las regiones 42 emisoras de luz como postes sobre las partes superiores expuestas de los postes 26, seguido por una región 44 de tipo p que coalesce sobre las regiones 42 emisoras de luz. Las regiones 40 resistivas aíslan eléctricamente las regiones 22 y 26 de tipo n de la región 44 de tipo p.

En el dispositivo de la figura 7, se hace crecer una región 22 de tipo n sobre el sustrato 20, entonces se forma una máscara 24 y se hacen crecer postes 26 de tipo n tal como se describió anteriormente, de manera que los postes 26 se relajan al menos parcialmente. Se hace crecer una capa conforme de InGaN 46 no dopado sobre los postes 26, entonces se cambian las condiciones de crecimiento a condiciones que favorecen el crecimiento de postes con el fin de hacer crecer postes de la región 48 emisora de luz dopada sobre las partes superiores de las regiones de la capa 46 conforme sobre los postes 26. Entonces se hace crecer una región 52 de tipo p que coalesce sobre las regiones 48 emisoras de luz. El dopado de las islas 48 de región emisora de luz da como resultado una tensión de ruptura inferior a las regiones 47 de InGaN no dopadas entre los postes 26, por tanto las regiones 22 y 26 de tipo n se aíslan eléctricamente de la región 52 de tipo p.

En algunas realizaciones, tras el crecimiento de las islas 48 de región emisora de luz, una etapa de implantación iónica hace que las regiones 50 entre los postes 26 sean no conductoras. Tras la implantación, las regiones 46 de InGaN dañadas de forma iónica sobre las partes superiores de los postes 26 pueden retirarse mediante ataque químico. En tales realizaciones, las islas 48 de región emisora de luz se hacen crecer directamente sobre los postes 26.

En las realizaciones ilustradas en las figuras 10 y 11, como en la figura 4, se hace crecer una región 22 de tipo n sobre un sustrato 20. Sobre la región 22 de tipo n plana, se forma una capa 24 de máscara tal como la máscara de SiN_x descrita anteriormente. En las aberturas 80 entre las islas de material de la máscara, se hacen crecer poliedros 82 de material semiconductor. Como los postes mostrados en las figuras 4 y 5, dado que los poliedros 82 se hacen crecer en las aberturas 80 entre las islas de material de la máscara, los poliedros 82 pueden expandirse lateralmente y por tanto relajarse al menos parcialmente. Por tanto, los poliedros 82 tienen una constante reticular a_2 mayor que la constante reticular a_1 de la capa 22 plana. En algunas realizaciones, el diámetro de las aberturas 80 puede limitarse a menos de 500 nm, más preferiblemente menos de 200 nm. Pueden ser posibles diámetros de tan sólo 10 nm. Los diámetros entre 50 y 150 nm, por ejemplo en un área de 100 nm, son probables. El diámetro de las

aberturas 80 se selecciona para que sea lo suficientemente pequeño de manera que el material en los poliedros 82 pueda relajarse al menos parcialmente. Como en la figura 4, la máscara 24 puede formarse de manera que el factor de llenado sea de al menos el 90%, lo que significa que tal como se ha hecho crecer, las bases de los poliedros 82 ocupan al menos el 90% de la extensión lateral de la estructura semiconductor del dispositivo.

Al menos una capa 84 emisora de luz se hace crecer sobre los poliedros 82 de manera que el material en la capa 84 emisora de luz reproduce la constante reticular a_2 expandida de los poliedros 82. Entonces se hace crecer una región de tipo p sobre la capa 84 emisora de luz. En el dispositivo ilustrado en la figura 10, la región 86 de tipo p crece preferentemente sobre los poliedros 82. El crecimiento se detiene antes de que se llene la región entre los poliedros adyacentes, cubierta por la máscara 24. Una capa de metal gruesa (no mostrada) puede depositarse sobre los poliedros para formar una superficie plana. La capa 24 de máscara aislante proporciona aislamiento eléctrico entre el metal que pone en contacto el material de tipo p y la región de tipo n del semiconductor en las regiones entre las aberturas 80. En el dispositivo ilustrado en la figura 11, el crecimiento de la región 88 de tipo p continúa hasta que se llenan las regiones entre poliedros adyacentes, dando como resultado una capa de tipo p sustancialmente plana.

Las capas emisoras de luz en las realizaciones descritas anteriormente pueden tener mayores constantes reticulares a en el plano que las capas emisoras de luz que se han hecho crecer sobre plantillas de GaN convencionales, que tienen normalmente constantes reticulares a en el plano no mayores que 3,1885 Å. El crecimiento de la capa emisora de luz tal cual o sobre una capa de deformación atenuada puede aumentar la constante reticular en el plano hasta más de 3,189 Å, y por tanto, puede reducir suficientemente la deformación en la capa emisora de luz para permitir que se hagan crecer capas emisoras de luz más gruesas con densidades de defectos aceptables y con descomposición espinodal reducida. En algunas realizaciones, la constante reticular a en el plano en la capa emisora de luz puede aumentarse hasta al menos 3,195 Å, más preferiblemente hasta al menos 3,2 Å. Por ejemplo, una capa de InGaN que emite luz azul puede tener la composición $\text{In}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{N}$, una composición con una constante reticular volumétrica de 3,23 Å. La deformación en la capa emisora de luz es la diferencia entre la constante reticular en el plano en la capa emisora de luz (de aproximadamente 3,189 Å para la capa emisora de luz que se ha hecho crecer sobre una capa intermedia de GaN convencional) y la constante reticular volumétrica de la capa emisora de luz, por tanto la deformación puede expresarse como $(a_{\text{en el plano}} - a_{\text{volumétrica}})/a_{\text{volumétrica}}$. En el caso de una capa de $\text{In}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{N}$ convencional, la deformación es de $(3,189 \text{ Å} - 3,23 \text{ Å})/3,23 \text{ Å}$, de aproximadamente el 1,23%. Si una capa emisora de luz de la misma composición se hace crecer según las realizaciones descritas anteriormente, la deformación puede reducirse o eliminarse. En algunas realizaciones de la invención, la deformación en la capa emisora de luz de un dispositivo que emite luz entre 430 y 480 nm puede reducirse hasta menos del 1%, y más preferiblemente hasta menos del 0,5%. Una capa de InGaN que emite luz de color cian puede tener la composición $\text{In}_{0,16}\text{Ga}_{0,84}\text{N}$, una composición con una deformación de aproximadamente el 1,7% cuando se hace crecer sobre una capa intermedia de GaN convencional. En algunas realizaciones de la invención, la deformación en la capa emisora de luz de un dispositivo que emite luz entre 480 y 520 nm puede reducirse hasta menos del 1,5%, y más preferiblemente hasta menos del 1%. Una capa de InGaN que emite luz verde puede tener la composición $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$, una composición con una constante reticular independiente de 3,26 Å, dando como resultado una deformación de aproximadamente el 2,1% cuando se hace crecer sobre una capa intermedia de GaN convencional. En algunas realizaciones de la invención, la deformación en la capa emisora de luz de un dispositivo que emite luz entre 520 y 560 nm puede reducirse hasta menos del 2%, y más preferiblemente hasta menos del 1,5%.

Las estructuras semiconductoras ilustradas y descritas anteriormente pueden incluirse en cualquier configuración adecuada de un dispositivo emisor de luz, tal como un dispositivo con contactos formados en lados opuestos del dispositivo o un dispositivo con ambos contactos formados en el mismo lado del dispositivo. Cuando ambos contactos están dispuestos en el mismo lado, el dispositivo puede formarse o bien con contactos transparentes y montados de manera que la luz se extraiga o bien a través del mismo lado en el que se forman los contactos o bien con contactos reflectantes y montados como una pastilla invertida, en la que la luz se extrae desde el lado opuesto al lado en el que se forman los contactos.

La figura 8 ilustra una parte de un ejemplo de una configuración adecuada, un dispositivo de pastilla invertida del cual se ha retirado el sustrato de crecimiento. Una parte de la región 66 de tipo p y la región 64 emisora de luz se retira para formar una mesa que expone una parte de la región 62 de tipo n. Aunque se muestra un paso que expone la región 62 de tipo n en la figura 8, ha de entenderse que pueden formarse múltiples pasos en un único dispositivo. Los contactos 70 y 68 n y p se forman sobre las partes expuestas de la región 62 de tipo n y la región 66 de tipo p, por ejemplo mediante evaporación o recubrimiento electrolítico. Los contactos 68 y 70 pueden aislarse eléctricamente entre sí mediante aire o una capa dieléctrica. Tras formarse los metales 68 y 70 de contacto, una oblea de dispositivos puede cortarse en dispositivos individuales, entonces cada dispositivo se invierte en relación con la dirección de crecimiento y se monta sobre un soporte 73, en cuyo caso el soporte 73 puede tener una mayor extensión lateral que la del dispositivo. Alternativamente, puede conectarse una oblea de dispositivos a una oblea de soportes, entonces se cortan en dispositivos individuales. El soporte 73 puede ser, por ejemplo, un semiconductor tal como de Si, metal o cerámica tal como AlN, y puede tener al menos una almohadilla 71 de metal que conecta eléctricamente los contactos 68 p y al menos una almohadilla 72 de metal que conecta eléctricamente los contactos 70 n. Interconexiones (no mostradas) tal como una soldadura o protuberancias de oro, conectan el dispositivo semiconductor al soporte 73.

Tras el montaje, el sustrato de crecimiento (no mostrado) se retira mediante un procedimiento adecuado para el material de sustrato, tal como ataque químico o fusión con láser. Puede proporcionarse un relleno inferior rígido entre el dispositivo y el soporte 73 antes o después del montaje para soportar las capas semiconductoras e impedir el agrietamiento durante la retirada del sustrato. Una parte de la estructura semiconductoras puede retirarse mediante adelgazamiento tras retirar el sustrato. La superficie expuesta de la región 62 de tipo n puede volverse rugosa, por ejemplo mediante un procedimiento de ataque químico tales como ataque fotoelectroquímico o mediante un procedimiento mecánico tal como molienda. Volver rugosa la superficie de la que se extrae luz puede mejorar la extracción de luz del dispositivo. Alternativamente, una estructura cristalina fotónica puede formarse en la superficie superior de región 62 de tipo n expuesta retirando el sustrato de crecimiento. Una estructura 74 tal como una capa de fósforo o componentes ópticos secundarios conocidos en la técnica tales como elementos dicróicos o polarizadores pueden aplicarse a la superficie emisora.

La figura 9 es una vista en despiece ordenado de un dispositivo emisor de luz empaquetado, tal como se describe en más detalle en la patente estadounidense 6.274.924. Se coloca un bloque 100 disipador de calor en un bastidor de conductores moldeado por inserción. El bastidor de conductores moldeado por inserción es, por ejemplo, un material 105 de plástico relleno moldeado alrededor de un bastidor 106 metálico que proporciona una trayectoria eléctrica. El bloque 100 puede incluir un portalámparas 103 reflectante opcional. El dado 104 de dispositivo emisor de luz, que puede ser cualquiera de los dispositivos descritos en las realizaciones anteriores, se monta directa o indirectamente mediante un subsoporte 103 térmicamente conductor en un bloque 100. Puede añadirse una cubierta 108, que puede ser una lente óptica opcional.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo que comprende:

5 una estructura semiconductor de nitruro III que comprende:
una capa (12, 17) emisora de luz dispuesta entre una región (11, 14) de tipo n y una región (13, 18) de tipo p; y
10 una superficie de contacto texturizada en la región de tipo n situada entre una capa (11, 14) de dispositivo de contacto n y la capa (12, 17) emisora de luz, comprendiendo la superficie de contacto texturizada características formadas de manera litográfica y configuradas de manera que la capa emisora de luz tiene una constante reticular en el plano a_2 que es mayor que una constante reticular en el plano a_1 de la región de tipo n, estando la superficie texturizada dispuesta a como máximo 1000 angstroms de la capa emisora de luz.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la capa (12) emisora de luz es adyacente a la superficie de contacto texturizada.

20 3. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que una capa (21) de tipo n está dispuesta entre la superficie de contacto texturizada y la capa (12) emisora de luz.

4. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que las características se han formado de manera litográfica en una capa de nitruro III de manera que las características tienen un perfil en sección transversal que se asemeja a picos separados por valles.

5. Dispositivo según la reivindicación 4, en el que la mayor extensión lateral entre dos picos adyacentes es inferior a 200 nm.

30 6. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la superficie de contacto texturizada comprende además una capa de material (15) aislante dispuesta dentro de la estructura semiconductor, en el que una pluralidad de aberturas (16) están dispuestas en el material aislante.

7. Dispositivo según la reivindicación 6, en el que el material (15) aislante comprende al menos un nitruro de silicio.

8. Dispositivo según la reivindicación 6, en el que la mayor extensión lateral de una de las aberturas (16) es inferior a 200 nm.

9. Dispositivo según la reivindicación 6, en el que la mayor extensión lateral de una de las aberturas (16) es inferior a 100 nm.

10. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que:

45 la capa (12) emisora de luz tiene una constante reticular volumétrica $a_{\text{volumétrica}}$ correspondiente a una constante reticular de un material independiente de una misma composición que la capa emisora de luz;

la capa emisora de luz tiene una constante reticular en el plano $a_{\text{en el plano}}$ correspondiente a una constante reticular de la capa emisora de luz tal como se ha hecho crecer en la estructura; y

50 $(a_{\text{en el plano}} - a_{\text{volumétrica}})/a_{\text{volumétrica}}$ es inferior al 1%

11. Dispositivo que comprende

55 una estructura de nitruro III que comprende
una región (22) de tipo n;
una capa (24) de máscara que tiene una pluralidad de aberturas
60 una pluralidad de postes (26) de tipo n de material semiconductor correspondientes a las aberturas en la capa de máscara;
una capa (28,36) emisora de luz dispuesta sobre el poste de tipo n; y
65 una región (30) de tipo p;
en el que la pluralidad de aberturas permite que la capa emisora de luz tenga una constante reticular en el

plano a_2 que es mayor que una constante reticular en el plano a_1 de la región de tipo n ; y

en el que la pluralidad de postes están separados por un material (25) aislante, y

- 5 en el que al menos el 90% de una sección transversal del dispositivo a través de la pluralidad de postes en un plano paralelo a una superficie de la capa de máscara está ocupado por postes.
12. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que cada uno de los postes (26) tiene un diámetro inferior a 150 nm.
- 10 13. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que los postes (30) de tipo p están dispuestos entre la capa (28) emisora de luz y la región (30) de tipo p .
14. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que los postes son poliedros truncados.
- 15 15. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que los postes son poliedros (82).

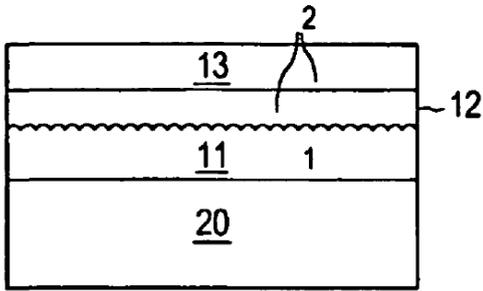


FIG. 1

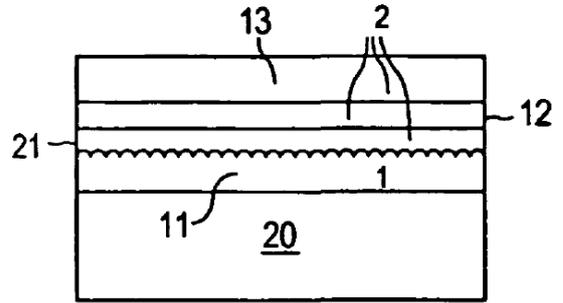


FIG. 2

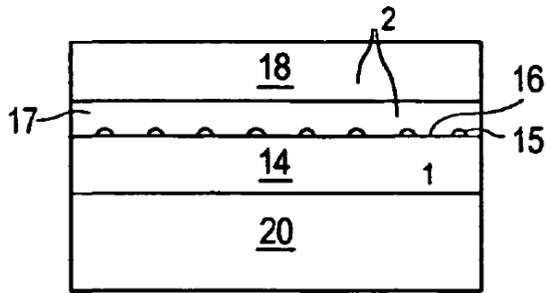
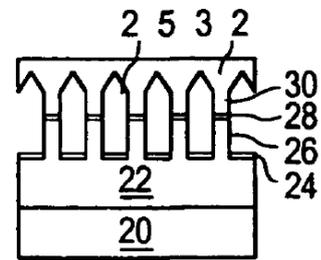


FIG. 3



4

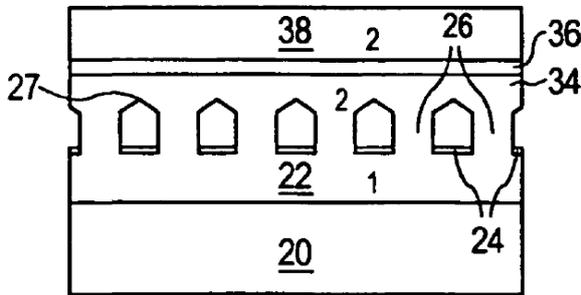


FIG. 5

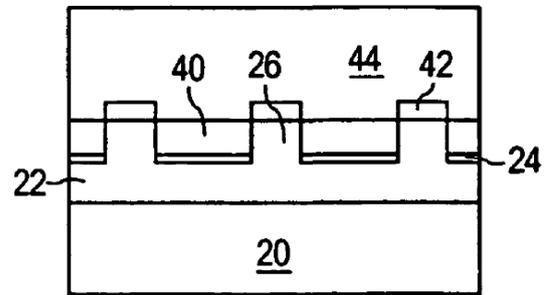


FIG. 6

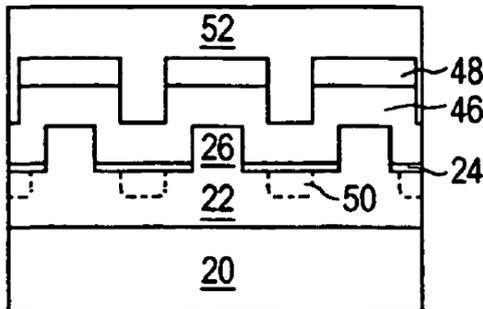


FIG. 7

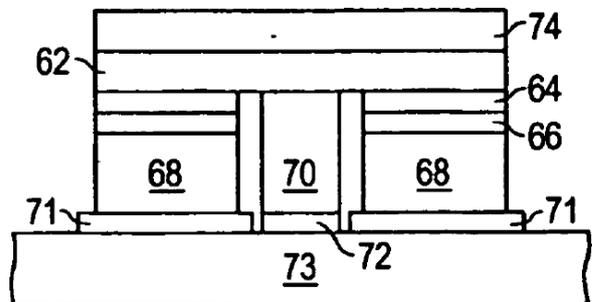


FIG. 8

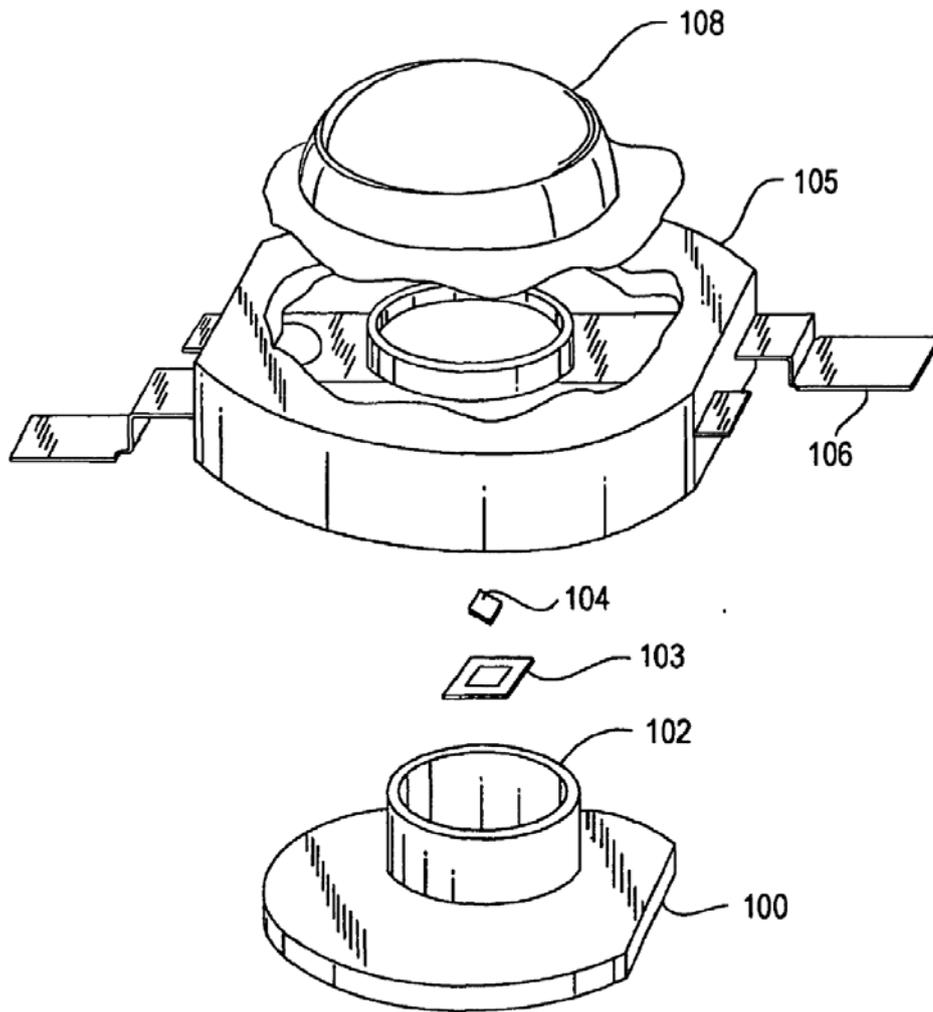


FIG. 9

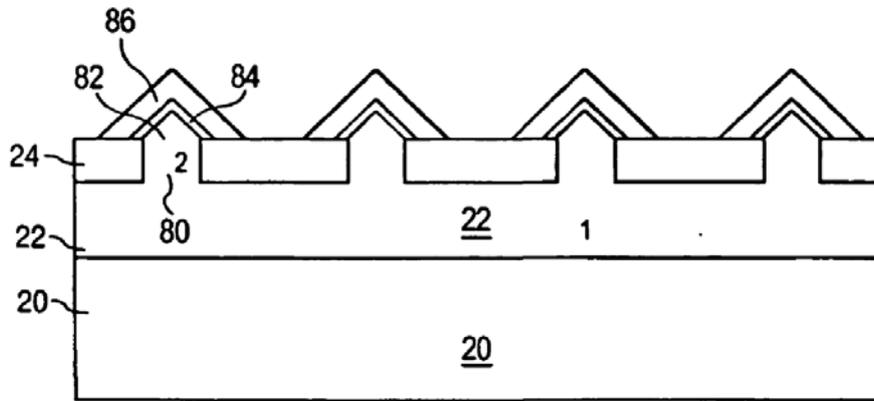


FIG. 10

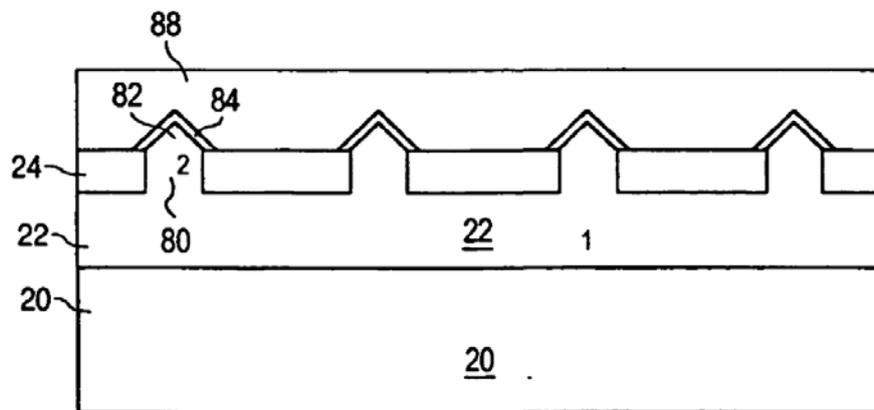


FIG. 11