

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 209**

51 Int. Cl.:

H01L 33/22 (2010.01)

H01L 33/00 (2010.01)

H01L 33/32 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2003** **E 11154566 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2016** **EP 2320482**

54 Título: **Diodos emisores de luz basados en nitruro de galio altamente eficientes por medio de una superficie convertida en rugosa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.06.2017

73 Titular/es:

THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA (50.0%)
1111 Franklin Street, 12th Floor
Oakland, CA 94607, US y
JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY (50.0%)

72 Inventor/es:

FUJII, TETSUO;
GAO, YAN;
HU, EVELYN y
NAKAMURA, SHUJI

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 615 209 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

Diodos emisores de luz basados en nitruro de galio altamente eficientes por medio de una superficie convertida en rugosa

5 **1. Campo de la invención**

Le invención se refiere a diodos emisores de luz y, más particularmente, a diodos emisores de luz basados en nitruro de galio altamente eficientes a través de una superficie convertida en rugosa.

10 **2. Descripción de la técnica relacionada**

Ejemplos de las técnicas de la técnica anterior pueden hallarse en las siguientes referencias:

15 El documento JP 2003 332618 A (MITSUBISHI CABLE IND LTD) 21 de noviembre de 2003 (2003-11-21), que describe un elemento emisor de luz de GaN. En una realización, se extrae luz a través de la superficie estructurada de una capa de tipo p, de la que se han eliminado una parte del sustrato de crecimiento de silicio.

20 El documento de LIU L ET AL: "Substrates for gallium nitride epitaxy", MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING R: REPORTS, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANA, Suiza, vol. 37, n.º 3, 30 de abril de 2002 (2002-04-30), páginas 61-127,

El documento EP 1 329 961 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO [JP]) 23 de julio de 2003 (2003-07-23), que describe un elemento emisor de luz semiconductor y un método de fabricación del mismo,

25 El documento de MINSKY M S; WHITE A M; HUEL: "Room-temperature photoenhanced wet etching of GaN", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, Nueva York, Estados Unidos, vol. 68, n.º 11, 11 de marzo de 1996 (1996-03-11),

El documento de IN JAE SONG ET AL: "Properties of Etched Ga- and N-Faces of Freestanding GaN Substrate Using Inductively Coupled Plasma-Reactive Ion Etching", JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, JP, vol. 41, n.º 3B, PARTE 02, 15 de marzo de 2002 (2002-03-15), páginas L317-L319, y

30 El documento EP 1 538 680 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]) 8 de junio de 2005 (2005-06-08), que describe un dispositivo emisor de luz.

35 (Nota: La presente solicitud referencia un cierto número de diferentes publicaciones como se ha indicado a todo lo largo de la presente memoria mediante uno o más números de referencia. Una lista de estas diferentes publicaciones ordenadas de acuerdo con estos números de referencia puede hallarse a continuación en la sección titulada "Referencias".)

40 Han estado disponibles durante aproximadamente 10 años diodos emisores de luz (LED) de semiconductor de ancha banda prohibida basados en nitruro de galio (GaN). El progreso del desarrollo de los LED ha ocasionado grandes cambios en la tecnología LED, con la realización de pantallas de LED a todo color, señales de tráfico LED, LED blancos y así sucesivamente.

45 Recientemente, han obtenido mucho interés los LED blancos de alta eficiencia, como posibles sustitutos para lámparas fluorescentes. Específicamente, la eficiencia de los LED (74 lm/W) [1] está aproximándose a la de las lámparas fluorescentes ordinarias (75 lm/W). Sin embargo es deseable mayor mejora en la eficiencia.

50 Hay dos aproximaciones principales para la mejora de la eficiencia LED. La primera aproximación es el incremento en la eficiencia cuántica interna (η_i), que se determina por la calidad del cristal y estructura de la capa epitaxial, mientras que la segunda aproximación es el incremento en la eficiencia de extracción de luz ($\eta_{\text{extracción}}$).

El incremento en la eficiencia cuántica interna no puede realizarse fácilmente. Un valor típico de η_i para LED azules es de más del 70% [2] y un LED ultravioleta (UV) crecido sobre un sustrato de GaN de baja dislocación ha presentado recientemente un η_i de aproximadamente el 80% [3]. Hay poco margen para la mejora de estos valores.

55 Por otro lado, hay bastante margen para la mejora de la eficiencia en la extracción de luz. Se han acometido un cierto número de problemas en la eliminación de las pérdidas interna de luz, incluyendo, un espejo altamente reflectante, superficie de baja reflexión tal como una superficie rugosa, estructura de elevada dispersión térmica, etc.

60 Por ejemplo, considerando los índices de refracción del GaN ($n \approx 2,5$) [4] y el aire, el ángulo crítico para el cono de escape de luz es de aproximadamente 23° . Suponiendo que la luz emitida desde las paredes laterales y posteriores es despreciable, se espera que aproximadamente solo el 4% de la luz interna pueda extraerse. La luz fuera del cono de escape se refleja en el sustrato y se refleja repetidamente o se absorbe por las capas activas o electrodos, a menos que escape a través de las paredes laterales.

65 La estructura del LED afecta a cuánta luz emite. El impacto de la estructura del LED sobre la eficiencia en la extracción de luz se describe mejor mediante ejemplos. Los siguientes ejemplos describen varios tipos de

estructuras de LED.

La FIG. 1 es una sección transversal esquemática de una estructura de LED convencional, que incluye un electrodo de tipo p 10, electrodo semitransparente 12, capa de tipo p 14, región activa 16, capa de tipo n 18, electrodo de tipo n 20 y sustrato 22. Debido a que el GaN se hace crecer normalmente sobre un sustrato aislante, tal como zafiro, los electrodos de tipo p y tipo n 10, 20 necesitan fabricarse sobre el mismo plano y la estructura del dispositivo resultante de los electrodos 10, 20 impone un flujo de corriente lateral. Debido a la elevada resistividad del GaN de tipo p, se emplea una película metálica delgada como un electrodo semitransparente 12 para la difusión de la corriente sobre el GaN de tipo p, es deseable que la transparencia del electrodo semitransparente 12 fuera del 100%; sin embargo, su valor para electrodos de metal delgados usados en los LED basados en GaN es del 70% como máximo. Más aún, debería formarse el electrodo 10 para la unión de los hilos, lo que oscurece la luz emitida desde el interior del LED; en consecuencia, la eficiencia de extracción se espera que sea bastante baja.

La FIG. 2 es una sección transversal esquemática de una estructura de LED de tipo chip vuelto ("flip-chip" en inglés), que incluye un sustrato de zafiro transparente 24, capa de tipo n 26, electrodo de tipo n 28, región activa 30, capa de tipo p 32, electrodo de tipo p 34, soldadura 36 y submontaje de alojamiento 38. Para mejorar la eficiencia externa, la luz puede extraerse a través del sustrato de zafiro transparente 24 de la estructura del LED de tipo chip vuelto. Este método tiene una ventaja sobre los LED convencionales con respecto a una reducción de la absorción de luz por la película metálica delgada y el electrodo. Sin embargo, la mayor parte de la luz emitida desde la región activa sería reflejada en la interfaz entre el sustrato 24 y la capa de tipo n 26, y la interfaz entre el sustrato 24 y el aire.

Un método que permite la separación de la película de GaN de un sustrato de zafiro se denomina técnica de despegue por láser ("laser lift off" (LLO) en inglés). Mediante la aplicación de este método a unos LED basados en GaN de tipo chip vuelto, pueden realizarse unos LED de GaN libres del sustrato de zafiro. Suponiendo que la superficie de GaN resultante se modifica a una orientación no planar, se espera una mejora significativa de la eficiencia de extracción.

Otra aproximación al incremento de la eficiencia de extracción es hacer rugosa la superficie de los LED [5], lo que desfavorece la reflexión de la luz interna y dispersa la luz hacia arriba. Sin embargo, los LED con superficie rugosa se han mencionado solamente en el contexto de la familia de materiales del fosforo de galio (GaP), debido a que el GaN es un material muy duradero y un método de grabado húmedo ordinario no tiene mucho efecto. Por ello, aunque la idea de hacer rugosa la superficie semiconductor por razones de dispersión de la luz se consideró primero en la década de los 70 del siglo XX, se ha creído que es difícil y costosa la producción de esta clase de estructura de LED.

Sin embargo, como se hecho observar anteriormente, los LED basados en GaN típicos están compuestos de una delgada película GaN-p/capa activa/GaN-n sobre un sustrato de zafiro o carburo de silicio (SiC). Aunque la producción de una superficie rugosa requiere un cierto grosor de capa de GaN [6], el crecimiento de GaN-p grueso no es deseable debido a la resistividad relativamente alta del GaN-p, lo que requiere un contacto semitransparente sobre la superficie del GaN-p si la luz se extrae a través del GaN-p y algunos tratamientos tales como el grabado seco [7] para hacer rugosa la superficie podría producir deterioro eléctrico. El crecimiento de una estructura inferior en el lado p por deposición química metal-orgánica en fase de vapor (MOCVD) es también indeseable, debido al efecto de memoria del magnesio (Mg) [8], que deteriora la capa activa.

Recientemente, se ha usado un método de despegue por láser (LLO) para separar un sustrato de zafiro de una película de GaN crecida sobre el sustrato [9-11]. Adicionalmente, se ha usado LLO para fabricar LED basados en GaN [12, 13]. Sin embargo, no hubo referencia al efecto de esta técnica sobre la morfología superficial o eficiencia de extracción.

Por otro lado, en realizaciones de la presente invención, utilizando de la tecnología de chip vuelto [14] y el método LLO, puede fabricarse una estructura de LED libre de sustrato con nitrógeno (N) hacia arriba basado en GaN. Posteriormente, puede usarse un proceso de grabado anisotrópico para hacer rugosa la superficie del LED con N hacia arriba basado en GaN. Esto da como resultado una superficie "similar a conos", que es beneficiosa para la extracción de luz. La eficiencia de extracción de un LED de superficie hecha rugosa óptimamente muestra un incremento en más del 100% en comparación con un LED antes de hacerse rugoso.

Obsérvese cómo, durante algún tiempo, se ha considerado que el GaN era difícil de grabar anisotrópicamente. Esto es verdad debido a que el GaN es un material químicamente estable en comparación con otros materiales semiconductores. Es posible el uso de grabado seco para hacer una superficie texturada, pero requiere un procesamiento extra, tal como fotolitografía, y es imposible de realizar una superficie similar a conos finos sobre el GaN.

Cuando se usa el grabado químico fotomejorado (PEC) sobre GaN en la cara de galio (cara Ga), se forman pequeños pozos sobre la superficie. Esto es a diferencia del grabado por PEC del GaN en la cara de nitrógeno (cara N), lo que da como resultado distintas características de tipo cono. Aunque hay pocos informes que traten sobre los LED basados en GaN fabricados usando la técnica LLO, en realizaciones de la presente invención se fabrican

estructuras de tipo conos sobre la superficie del GaN cara-N del LED basado en GaN usando un método de grabado anisotrópico.

Sumario de la invención

5 La presente invención proporciona un diodo emisor de luz (LED) tal como se expone en la reivindicación 1. La presente invención también proporciona un método de creación de un LED tal como se expone en la reivindicación 9.

10 La superficie de la cara N puede hacerse rugosa mediante un grabado anisotrópico. El grabado anisotrópico puede comprender un grabado seco o un grabado químico fotomejorado (PEC).

15 En una realización, el GaN de cara-N se prepara mediante una técnica de despegue por láser (LLO), en otra realización, el LED se hace crecer sobre una oblea de GaN plano c, una superficie de la capa de tipo p es una cara de galio (cara Ga), y la superficie de la capa de tipo n es una cara de nitrógeno (cara N).

Breve descripción de los dibujos

20 Con referencia ahora a los dibujos en los que números de referencia iguales representan a todo lo largo partes correspondientes:

la FIG. 1 es una sección transversal esquemática de una estructura de LED convencional;
 la FIG. 2 es una sección transversal esquemática de una estructura de LED de tipo chip vuelto;
 la FIG. 3 es un esquema de un LED con superficie hecha rugosa;
 25 la FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas del procesamiento usado en la realización preferida de la presente invención;
 las FIGS. 5(a)-(f) ilustran adicionalmente las etapas de fabricación para los LED con superficie hecha rugosa;
 la FIG. 6(a) muestra un LED con una capa de bloqueo de corriente, mientras que la FIG. 6(b) muestra un LED con un marco de confinamiento de corriente;
 30 las FIGS. 7(a) y 7(b) son micrografías de vista en planta de un LED por LLO con un electrodo n en forma de cruz;
 las FIGS. 8(a) y 8(b) son imágenes de micrografía de barrido electrónico (SEM) de la cara N del GaN después del grabado por PEC para diferentes tiempos de grabado;
 las FIGS. 9(a) y 9(b) muestra un espectro electroluminiscente (EL) a partir de un LED de superficie plana y un LED de superficie hecha rugosa, respectivamente; y
 35 la FIG. 10 es un gráfico de las características de la potencia de salida EL hacia arriba respecto a la corriente de inyección en CC (L-I) para los LED con diferentes tiempos de grabado a temperatura ambiente.

Descripción detallada de la invención

40 En la siguiente descripción de la realización preferida, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman parte de la misma, y en los que se muestra a modo de ilustración una realización específica en la que puede ponerse en práctica la invención. Se ha de entender que pueden utilizarse otras realizaciones y pueden realizarse cambios estructurales sin apartarse del alcance de la presente invención.

45 Visión general

La realización preferida proporciona un medio para incrementar la eficiencia de extracción por medio de hacer rugosa la superficie de los LED basados en GaN. Específicamente, la aplicación de un método de grabado PEC anisotrópico a una superficie de GaN cara N plano-c da como resultado la fabricación de características superficiales con forma de cono. Esta superficie hecha rugosa reduce las reflexiones de la luz que tienen lugar repetidamente dentro del LED, y de ese modo extrae más luz fuera del LED. Más aún, el método de la presente invención es simple, repetible y no debería dañar el material, a diferencia de otros métodos para hacer rugosa la superficie que pueden comprometer la calidad del material, todo lo cual hace a la presente invención más adecuada para la fabricación de los LED.

55 Estructura del LED

La FIG. 3 es un esquema de una superficie de LED hecha rugosa, que incluye un electrodo de tipo n 40, una capa de tipo n 42, región activa 44, capa de tipo p 46 y electrodo de tipo p 48 que se ha unido como chip vuelto a través de una capa de soldadura 50 a un submontaje 52 de silicio (Si) que incluye un electrodo de tipo n 54. La capa de tipo n 42, región activa 44 y capa de tipo p 46 están compuestas de una aleación (B, Al, Ga, In)N. Se usa un método de grabado seco o PEC para hacer rugosa la superficie de la capa de tipo n 42. Necesitan establecerse las condiciones apropiadas, tales como químicas de plasma y potencia de plasma para el grabado seco, y electrolitos y potencia de lámpara para el grabado PEC, de modo que pueda obtenerse una superficie deseable. Es importante que este LED basado en GaN debiera crecer a lo largo de su eje c y esta superficie de GaN de tipo n debería ser de cara N debido a que el grabado anisotrópico puede observarse sobre el GaN cara N mucho más fácilmente que el

GaN cara Ga.

5 Obsérvese que la GaN plano c es la estructura en donde el plano que contiene solo átomos de Ga y el plano que contiene solo átomos de N se amontonan o apilan alternativamente. Si una superficie es cara Ga, entonces la superficie opuesta es cara N. Debido al hecho de que se prefiere en general GaN plano c cara Ga desde el punto de vista del crecimiento cristalino y rendimiento del dispositivo, el GaN cara N necesita prepararse mediante la técnica LLO o, alternativamente, la estructura del LED podría crecer sobre la oblea GaN en bruto plano c.

10 La luz emitida desde la región activa 44 hacia la superficie 42 de GaN tipo n hecha rugosa es dispersada por la superficie, lo que no refleja la luz de vuelta a la región activa. Se desea que el electrodo 48 de tipo p tenga una propiedad de elevada reflexión para disminuir la absorción de luz y para incrementar la reflexión de luz hacia la superficie 42 del GaN de tipo n. En resultados experimentales, se ha determinado que la presente realización incrementa la potencia de salida de la luz hacia arriba para el LED con una superficie hecha rugosa dos o tres veces en comparación con un LED con una superficie plana.

15 Etapas de procesamiento

20 La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de procesamiento usadas en la realización preferida de la presente invención.

El bloque 56 representa la etapa de crecimiento de capas epitaxiales de cara Ga sobre un sustrato de zafiro plano c mediante MOCVD, creando de ese modo una muestra.

25 El bloque 58 representa la etapa de recocido de la muestra para activación del tipo p, después de la MOCVD.

El bloque 60 representa la etapa de realización de un proceso de metalización de tipo p sobre la muestra, incluyendo, pero sin limitarse a, plata (Ag) o aluminio (Al), para crear un contacto p-GaN altamente reflectante.

30 El bloque 62 representa la etapa de deposición de capas de oro (Au) gruesas sobre la muestra, seguido por capas de estaño (Sn) como un metal de soldadura por evaporación de Sn en un evaporador térmico.

35 El bloque 64 representa la etapa de voltear la muestra y unirla a un sustrato/submontaje de Si autorrecubierto a una temperatura por encima de 280 °C, en la que se forma una aleación Au/Sn que contribuye a la adhesión de la muestra al sustrato de Si.

40 El bloque 66 representa la etapa de realización de un proceso LLO mediante irradiación del sustrato de zafiro transparente de la muestra usando una luz láser excimer de cloruro de criptón (KrF) (248 nm) a través del lado posterior del sustrato de zafiro, dando como resultado la descomposición local del GaN en la interfaz GaN/sustrato de zafiro. Específicamente, mediante el barrido del punto de láser excimer de KrF sobre la muestra, la membrana del LED basado en GaN se transfiere al sustrato/submontaje de Si.

El bloque 68 representa la etapa de desunión del sustrato de zafiro de la muestra, después del barrido del láser de KrF sobre la muestra.

45 El bloque 70 representa la etapa de eliminar cualquier gota de Ga residual sobre la superficie de GaN desprendida de la muestra usando una solución de hidrócloruro (HCl).

50 El bloque 72 representa la etapa de adelgazamiento del GaN transferido hasta que se expone sobre la muestra del GaN cara N dopado con Si.

El bloque 74 representa la etapa de deposición de un electrodo de titanio/aluminio/titanio/oro (Ti/Al/Ti/Au) como un contacto o electrodo de tipo n sobre el GaN cara N de la muestra.

55 El bloque 76 representa la etapa de grabado por PEC mediante la inmersión de la muestra en una solución de electrolito de hidróxido de potasio (KOH) y la irradiación de la superficie de GaN cara N usando una lámpara de xenón/mercurio (Xe/Hg), de tal manera que la superficie superior se haga rugosa. Los detalles del grabado por PEC se describen en [15].

60 El bloque 78 representa la etapa de separación de cada dispositivo del sustrato de Si de la muestra usando un método de grabado seco, troceado o cortado.

65 Las FIGS. 5(a)-(f) ilustran adicionalmente las etapas de fabricación para los LED con superficie hecha rugosa, en la que la estructura del LED incluye un electrodo de tipo p 80, una membrana LED 82 basada en GaN, sustrato de zafiro 84, metal de soldadura 86, submontaje (portador) 88 y electrodo de tipo n 90. Específicamente, la FIG. 5(a) muestra los resultados después de la deposición del electrodo de tipo p 80, la FIG. 5(b) muestra los resultados después de que se una el LED sobre el submontaje de alojamiento 88, la FIG. 5(c) muestra los resultados después

de la eliminación del sustrato de zafiro 84 mediante LLO, la FIG. 5(d) muestra los resultados después de la deposición del electrodo de tipo n 90, la FIG. 5(e) muestra los resultados después de hacer rugosa la superficie de GaN 82 y la FIG. 5(f) muestra los resultados después del aislamiento del dispositivo.

5 Posibles modificaciones

Aunque se ha descrito una estructura básica anteriormente, son posibles un cierto número de modificaciones y variaciones.

10 La FIG. 6(a) muestra un LED con una capa de bloqueo de corriente, mientras que la FIG. 6(b) muestra un LED con una marco de contención de corriente, en el que los LED incluyen un electrodo de tipo n 92, una capa de tipo n 94, capa activa 96, capa de tipo p 98, electrodo de tipo p 100, capa de bloqueo de corriente 102 y marco de confinamiento de la corriente 104.

15 En la FIG. 6(a), el LED tiene una capa de bloqueo de corriente 102 alineada bajo el electrodo de tipo n 92. Esta capa de bloqueo de corriente 102 impide la concentración de la corriente por debajo del electrodo de tipo n 92 de modo que puede evitarse la absorción de la emisión de luz bajo el electrodo 92 y puede incrementarse la eficiencia de extracción. Es adecuado que se localice un aislante tal como SiO₂ sobre la capa de GaN tipo p 98 debido a que la difusión de la corriente difícilmente tiene lugar en la capa de GaN-p resistivo 98.

20 En la FIG. 6(b), el LED tiene un marco de confinamiento de corriente 104 hecho de aislante. Si se usa un método de grabado seco o un troceado para separar los dispositivos, las paredes laterales de los dispositivos podrían conducir una corriente de fuga, si se dañaran las superficies. Dicha corriente de fuga disminuye tanto la eficiencia como la vida útil del LED. El marco de confinamiento de corriente 104 contribuye a la restricción de la corriente de fuga a través de las paredes laterales del LED y no disminuye significativamente el área de emisión, si el ancho del marco se elige apropiadamente.

25 Aunque se ha descrito un sustrato de Si como submontaje de alojamiento en el proceso LLO, pueden usarse materiales de sustrato alternativos para la puesta en práctica de la presente invención. Aunque el Si es más barato y tiene una conductividad térmica más elevada que el zafiro, pueden encajar para su uso otros sustratos, tales como SiC, diamante, AlN, o diversos metales tales como CuW, desde el punto de vista de la conductividad térmica.

30 Hasta el momento, los dispositivos de GaN pueden también crecer directamente sobre sustrato de SiC y Si. Si un LED basado en GaN se hace crecer sobre SiC o Si, el grabado seco convencional o el grabado húmedo pueden eliminar el sustrato. Mediante la utilización de un sustrato de GaN en bruto, puede eliminarse el proceso de LLO.

35 El tamaño de la muestra es también un punto importante para la fabricación del LED. Hoy en día, los LED con gran tamaño están atrayendo la atención para satisfacer la demanda de LED de alta potencia. Incluso aunque la resistividad del GaN de tipo n es más baja que la del GaN-p, el tamaño afecta a la geometría del electrodo de tipo n para la finalidad de difusión de la corriente.

Resultados experimentales

45 En experimentos realizados por los presentes inventores, se hicieron crecer capas epitaxiales de cara Ga sobre un sustrato de zafiro plano c mediante MOCVD. La estructura se compuso de capas de GaN de 4 μm de grueso sin dopar y dopadas con Si, un pozo cuántico múltiple (MQW) de 5 periodos GaN/InGaN, una capa de Al_{0,2}Ga_{0,8}N de 20 nm de grueso dopada con Mg y GaN de 0,3 μm de grueso dopada con Mg. Después de la MOCVD, la muestra se recoció para la activación de tipo p y a continuación se realizó un proceso de metalizado de tipo p. Se adoptó un electrodo basado en Ag como un contacto p-GaN altamente reflector. Se depositó Au grueso sobre la muestra seguida por evaporación de Sn en un evaporador térmico. La oblea se volteó y unió a un submontaje de Si recubierto de Au a una temperatura de 280 °C, dando como resultado una aleación de Au y Sn, que contribuyó a la adhesión firme de la oblea al submontaje. Se usó un láser KrF (248 nm) para el proceso LLO, en donde el láser se iluminó a través del sustrato de zafiro transparente, provocando la descomposición local del GaN en los límites entre GaN y zafiro. Después del barrido del láser KrF sobre la muestra, se desunió el sustrato de zafiro. Las gotas de Ga restantes sobre la superficie de GaN transferida se eliminaron mediante una solución de HCl. A continuación, el GaN transferido se adelgazó hasta que se expuso el GaN dopado con Si. Se formó un contacto n sobre el GaN-n cara N expuesta y cada dispositivo se dividió de sus contiguos mediante un grabado iónico mediante un grabado iónico reactivo (RIE). Finalmente, para hacer rugosa la parte superior de la superficie, se usó grabado por PEC. Se usaron una solución de KOH y lámpara de Xe/Hg como electrolito y fuente de luz, respectivamente. La potencia de salida del LED se midió con un detector de Si fijado a una altura de 7 mm sobre el chip de LED.

65 Las FIGS. 7(a) y 7(b) son micrografías de vista en planta de un LED LLO con un electrodo en forma de cruz, en el que el LED se une sobre un sustrato de Si. La FIG. 7(a) muestra la superficie antes de hacerse rugosa y la FIG. 7(b) muestra la superficie después de hacerse rugosa. Debido a que el electrodo n bloquea la luz UV durante el grabado por PEC, el GaN por debajo de él no se graba y el electrodo permanece sobre el GaN después de hacerse rugoso. Puede emplearse un electrodo transparente tal como óxido de indio y estaño (ITO) como un electrodo de difusión de

corriente.

Las FIGS. 8(a) y 8(b) son imágenes de micrografía de barrido electrónico (SEM) del GaN cara N después del grabado por PEC para diferentes tiempos de grabado. Obsérvese que las superficies de GaN cara N grabadas por PEC incluyen una pluralidad de conos de forma hexagonal, que son distintas a las superficies de GaN grabadas por PEC notificadas por Youtsey et ál. [16]. Esta diferencia se considera que es debida a la polaridad superficial del GaN. En la comparación de la superficie grabada 2 minutos (min) de la FIG. 8(a) y la superficie grabada 10 min de la FIG. 8(b), el tamaño de las características se incrementa y las caras de los conos hexagonales se hacen más definidas.

La superficie con forma de cono parece muy efectiva para la extracción de luz desde el LED. Más aún, los resultados experimentales sugieren que una forma de cono puede extraer más luz. Por ejemplo, la longitud de onda de un LED azul en un cristal de GaN es de aproximadamente 200 nm. Si el tamaño de la forma del cono es mucho más pequeño que ese valor, entonces la luz podría no estar afectada por la rugosidad. Por otro lado, si el tamaño de la forma del cono está próximo a ese valor, la luz podría dispersarse o difractarse.

En resultados experimentales, se ha determinado que la superficie hecha rugosa está compuesta de muchos conos de forma hexagonal que tienen un ángulo igual a o más pequeño que:

$$2 \operatorname{sen}^{-1}(n_{\text{aire}} / n_s) \approx 47,2^\circ$$

para GaN, en la que n_{aire} es un índice de refracción del aire y n_s es un índice de refracción del GaN. De modo similar, se ha determinado que la superficie hecha rugosa está compuesta de muchos conos de forma hexagonal que tienen un ángulo igual a o más pequeño que:

$$2 \operatorname{sen}^{-1}(n_{\text{enc}} / n_s)$$

para epoxi, en la que n_{enc} es un índice de refracción del epoxi y n_s es un índice de refracción del GaN.

Es posible que la superficie pueda no tener que ser con forma de cono, y que debiera considerarse una estructura de enrejado y cristal fotónico. Estas podrían ser estructuras mejores para extracción de luz. Sin embargo, la fabricación de cristales fotónicos requiere un diseño y procesamiento precisos, lo que es más costoso que la fabricación de una rugosidad superficial con forma de cono.

La superficie "similar a espejo" antes del grabado por PEC queda descolorida según se incrementa el tiempo de grabado. Si se deposita un metal altamente reflectante sobre el otro lado de la película de GaN, la superficie aparece como blanca; en caso contrario, es más oscura. Se cree que es debido a la restricción de la reflexión de la luz en los límites aire/GaN, y si hay un metal altamente reflectante sobre el lado posterior del GaN, la luz que pasa al interior del GaN sale al exterior de nuevo, dispersándose en la superficie hecha rugosa.

Los espectros electroluminiscentes (EL) de un LED de superficie plana y un LED de superficie hecha rugosa se muestran en las FIGS. 9(a) y 9(b), respectivamente. La medición se realizó con una densidad de corriente continua de 25 A/cm² CC a temperatura ambiente (RT). El espectro del LED superficie plana tenía emisiones con picos múltiples, tal como se muestra en la FIG. 9(a), sugiriendo que la luz emitida desde la región activa fue interferida en la cavidad de GaN vertical emparedada entre espejos hechos de GaN/metal y GaN/aire. Por el contrario, como se muestra en la FIG. 9(b), no se observó ningún modo longitudinal sobre el LED de superficie hecha rugosa. Esto significa que la interfaz GaN/aire hecha rugosa dispersó la luz, dando como resultado la supresión de la resonancia.

La FIG. 10 es un gráfico característico de la potencia de salida EL hacia arriba respecto a la corriente de inyección en CC (L-I) para los LED con diferentes tiempos de grabado a temperatura ambiente. Estos datos se obtuvieron a partir del mismo dispositivo antes y después del grabado por PEC, de modo que pudiera despreciarse cualquier factor que provocara esta diferencia excepto la morfología superficial. Cualquiera de las curvas L-I mostró características lineales hasta 50 mA. Debido a la conductividad térmica relativamente más alta del Si que la del zafiro, estos dispositivos son ventajosos para funcionamiento a alta potencia. La potencia de salida con una corriente dada se incrementó con el incremento del tiempo de grabado por PEC. Tal como se compara con la potencia de salida para un LED de superficie plana y el LED con superficie grabada 10 min, este tratamiento de rugosidad dio como resultado un incremento en la potencia de salida en un factor de 2,3. A partir otras mediciones sobre dispositivos diferentes, la potencia también mostró un incremento en dos a tres veces después del proceso de rugosidad. Debido a que el LED de superficie plana tiende a emitir más luz desde las paredes laterales del chip de LED que el LED de superficie hecha rugosa debido a la propagación lateral de la luz, la diferencia de la potencia de salida sería menor si la potencia total se midiera en una esfera de integración. En cualquier caso, esta mejora de la eficiencia de extracción mediante técnica de grabado anisotrópico mostró una mejora significativa.

En conclusión, se ha aplicado un método de grabado anisotrópico a un LED basado en GaN con la finalidad de incrementar la eficiencia de extracción. Los ensayos de rendimiento del LED han indicado que, presumiblemente debido a la disminución en la propagación de la luz en la película de GaN, hay una relación entre la aparición de

rugosidad y la eficiencia de extracción. Aunque no se ha medido la potencia óptica integrada total, el mayor incremento en la eficiencia de extracción fue mayor del 100%. Es notable que la técnica descrita en el presente documento sea simple y no requiera procesos complicados, lo que indica que será adecuada para la fabricación de LED basados en GaN con la superficie hecha rugosa.

5

Referencias

Se hace referencia a las siguientes referencias en el presente documento:

- 10 1. <http://www.cree.com/News/news175.asp>
 2. Y. Kawakami, Y. Narukawa, K. Omae, S. Fujita, y S. Nakamura, Phys. Stat. Sol. (a) 178, 331 (2000).
 3. T. Nishida, H. Saito, y N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 79, 711(2001).
 4. A. Billeb, W. Grieshaber, D. Stocker, E. F. Schubert, R. F. Karlicek, Jr., Appl. Phys. Lett. 70, 2790 (1997).
 15 5. A. A. Bergh, M. Hill, R. H. Saul, y S. Plains, patente de Estados Unidos N.º 3.739.217 (1973), titulada "Surface Roughening Of Electroluminescent Diodes."
 6. Chul Huh et ál., Appl. Phys. Lett. 93, 9383 (2003).
 7. X. A. Cao, S. J. Pearton, A. P. Zhang, G. T. Dang, F. Ren, R. J. Shul, L. Zhang, R. Hickman, y J. M. Van Hove, Appl. Phys. Lett. 75, 2569 (1999).
 8. Y. Ohba y A. Hatano, J. Crystal. Growth 145, 214 (1994).
 20 9. W. S. Wong, T. Sands, N.W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, y N. M. Johnson, Appl. Phys. Lett. 72, 1999 (1998).
 10. P. R. Tavernier y D. R. Clarke, J. Appl. Phys. 89, 1527 (2001).
 11. C. F. Chu, C. C. Yu, H. C. Cheng, C. F. Lin, y S. C. Wang, Jpn. J. Appl. Phys. 42, L147 (2003).
 12. W.S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson,
 25 "Fabrication of thin-film InGaN light-emitting diode membranes by laser lift off", Appl. Phys. Lett., 75 (10) 1360 (1999).
 13. W.S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson, "InXGa1-XN light emitting diodes on Si substrates fabricated by Pd-In metal bonding and laser lift-off", Appl. Phys. Lett., 77 (18) 2822 (2000).
 30 14. J. J. Wierer, D. A. Steigerwald, M. R. Krames, J. J. O'Shea, M. J. Ludowise, N. F. Gardner, R. S. Kern, y S. A. Stockman, Appl. Phys. Lett. 78, 3379 (2001).
 15. M. S. Minsky, M. White, y E. L. Hu, Appl. Phys. Lett. 68,1531 (1996).
 16. C. Youtsey, L. T. Romano, y I. Adesida, Appl. Phys. Lett. 73, 797 (1998).

Conclusión

Esto concluye la descripción de la realización preferida de la presente invención. A continuación se describen algunas realizaciones alternativas para llevar a cabo la presente invención.

40 Podrían usarse un cierto número de métodos de crecimiento diferentes distintos al MOCVD en la presente invención.

Además, podrían emplearse sustratos distintos al zafiro o el carburo de silicio.

45 También, podrían crearse asimismo estructuras de LED diferentes. Por ejemplo, LED de cavidad resonante (RCLED) o LED de microcavidad (MCLED).

50 La descripción precedente de una o más realizaciones de la invención se ha presentado con las finalidades de ilustración y descripción, no se pretende que sean exhaustivas o que limiten la invención a la forma precisa divulgada. Son posibles muchas modificaciones y variaciones a la luz de las enseñanzas anteriores. Se pretende que el alcance de la invención esté limitado no por la presente descripción detallada, sino por el contrario por las reivindicaciones adjuntas a la misma.

REIVINDICACIONES

1. Un diodo emisor de luz de (Al, Ga, In)_N compuesto de:

5 al menos una capa de tipo n (42), una capa de emisión (44) y una capa de tipo p (46);
 en el que la luz desde la capa de emisión (44) se extrae a través de una superficie de cara de nitrógeno,
 denominada en lo que sigue "superficie de cara N", del diodo emisor de luz y la superficie de cara N del diodo
 emisor de luz está compuesta de una rugosidad superficial con forma de cono que incrementa la eficiencia de
 10 extracción de la luz desde la capa de emisión (44) fuera de la superficie de cara N del diodo emisor de luz; y
 en el que las formas de cono de la rugosidad superficial de la superficie de cara N tienen un tamaño próximo a
 una longitud de onda de la luz dentro del diodo emisor de luz, de modo que la luz dentro del diodo emisor de luz
 se disperse o difracte para reducir las reflexiones de luz que tienen lugar repetidamente en el interior del diodo
 emisor de luz, mejorando de ese modo la extracción de la luz desde la capa de emisión (44) fuera de la
 superficie de cara N en comparación con un diodo emisor de luz que tenga una superficie plana.

15 2. El diodo emisor de luz de la reivindicación 1, en el que la luz procedente de la capa de emisión se extrae a través
 de la superficie de cara N de una capa (42) distinta de la capa de emisión (44) del diodo emisor de luz.

20 3. El diodo emisor de luz de la reivindicación 2, en el que la luz procedente de la capa de emisión (44) se extrae a
 través de la superficie de cara N de la capa de tipo n (42) del diodo emisor de luz.

4. El diodo emisor de luz de la reivindicación 3, en donde el diodo emisor de luz está compuesto adicionalmente de
 un electrodo de tipo p (48) sobre la capa de tipo p (46), y el electrodo de tipo p (48) tiene una propiedad de alta
 reflexión para incrementar la reflexión de la luz hacia la superficie de cara N de la capa de tipo n (42).

25 5. El diodo emisor de luz de la reivindicación 3, en donde el diodo emisor de luz está compuesto adicionalmente de
 un electrodo de tipo n (92) sobre la capa de tipo n (94), y bajo el electrodo de tipo n (92) se alinea una capa de
 bloqueo de corriente (102) para impedir que la corriente se concentre por debajo del electrodo de tipo n (92), de
 modo que se evite la absorción de la luz bajo el electrodo de tipo n (92) y se incremente la eficiencia de extracción
 30 de la luz.

6. El diodo emisor de luz de la reivindicación 1, en el que la luz no muestra ningún modo longitudinal.

35 7. El diodo emisor de luz de la reivindicación 1, en donde el diodo emisor de luz incluye un marco de confinamiento
 de corriente (104) hecho de un aislante para restringir la corriente de fuga a través de las paredes laterales del diodo
 emisor de luz sin disminuir significativamente un área de emisión.

8. El diodo emisor de luz de la reivindicación 1, en donde el diodo emisor de luz está montado (52) sobre un material
 de alta conductividad térmica de silicio, zafiro, SiC, diamante, AlN o varios metales tales como CuW.

40 9. Un método de creación de un diodo emisor de luz de (Al, Ga, In)_N, que comprende:

45 fabricar al menos una capa de tipo n (42), una capa de emisión (44) y una capa de tipo p (46) del diodo emisor
 de luz de (Al, Ga, In)_N sobre o por encima de un sustrato;
 exponer una superficie de cara de nitrógeno, denominada en lo que sigue "superficie de cara N", del diodo
 emisor de luz mediante la eliminación del sustrato de al menos dichas capas (42, 44, 46); y
 fabricar rugosidad superficial con forma de cono sobre la superficie de cara N expuesta del diodo emisor de luz
 para incrementar la eficiencia de extracción de la luz desde la capa de emisión (44) fuera de la superficie de cara
 N del diodo emisor de luz;

50 en el que las formas de cono de la rugosidad superficial de la superficie de cara N tienen un tamaño próximo a una
 longitud de onda de la luz dentro del diodo emisor de luz, de modo que la luz dentro del diodo emisor de luz se
 disperse o difracte para reducir las reflexiones de luz que tienen lugar repetidamente en el interior del diodo emisor
 de luz, mejorando de ese modo la extracción de la luz desde la capa de emisión (44) fuera de la superficie de cara N
 55 en comparación con un diodo emisor de luz que tenga una superficie plana.

10. El método de la reivindicación 9, en el que las formas de cono de la rugosidad superficial de la superficie de cara
 N del diodo emisor de luz se fabrican usando un grabado anisotrópico, el grabado anisotrópico puede comprender
 un grabado seco o un grabado químico fotomejorado, grabado "PEC".

60 11. El método de las reivindicaciones 9 o 10, en el que el diodo emisor está de acuerdo con una cualquiera de las
 reivindicaciones 1 a 8.

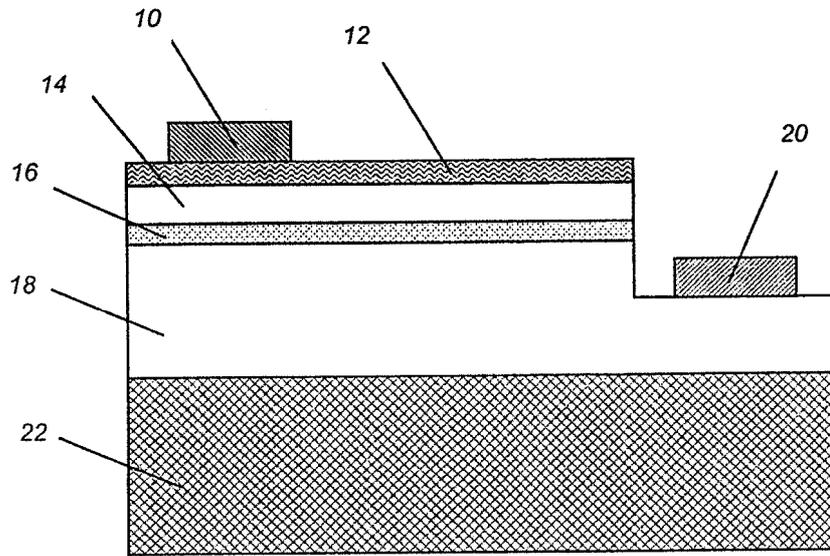


FIG. 1

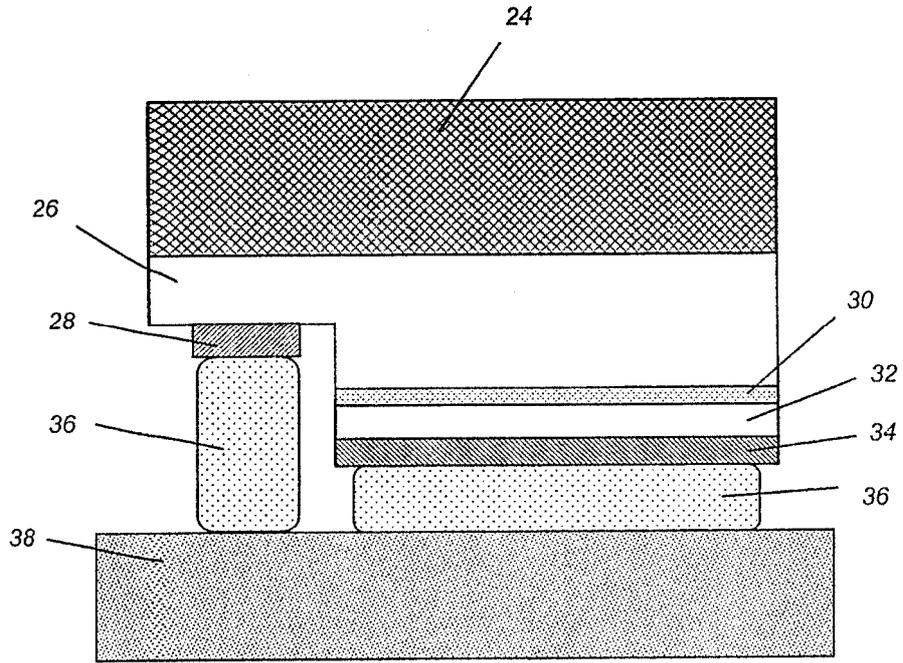


FIG. 2

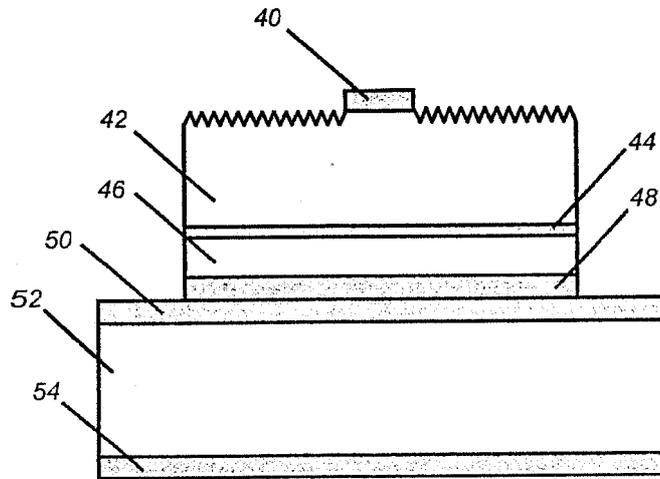


FIG. 3

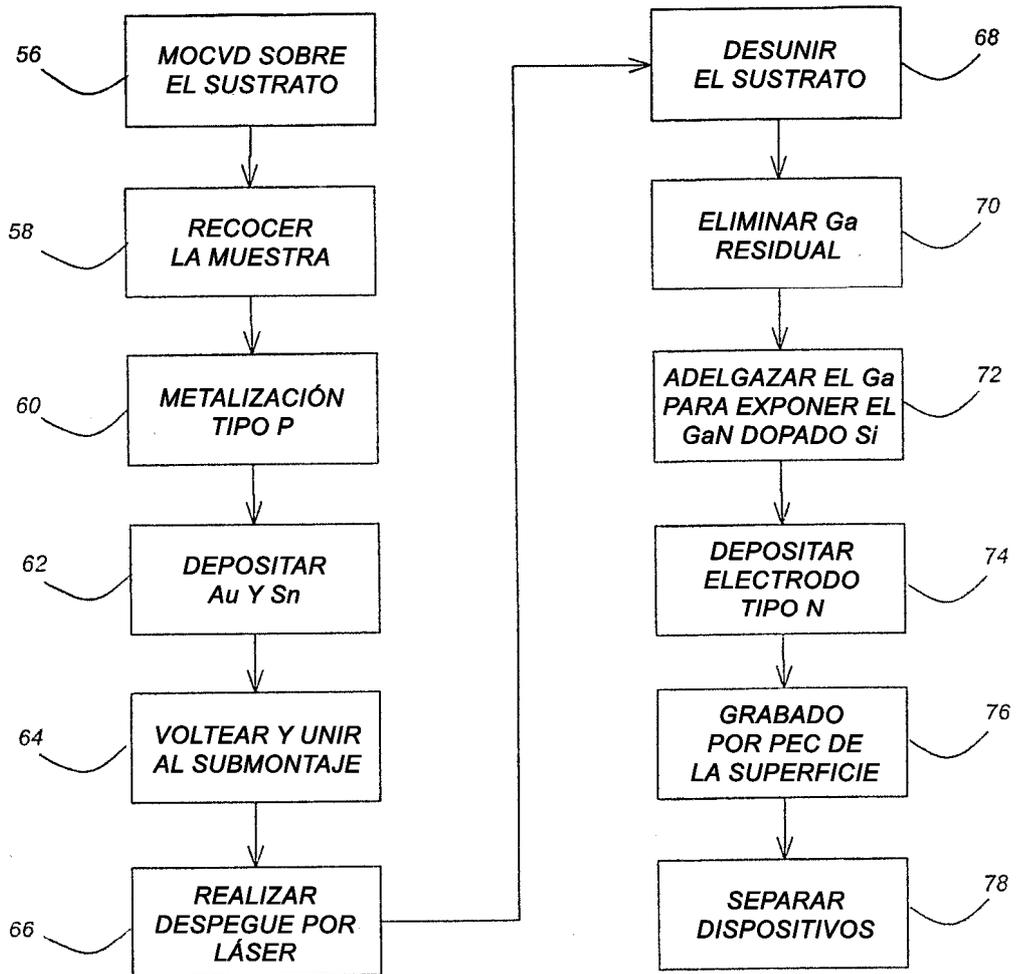


FIG. 4

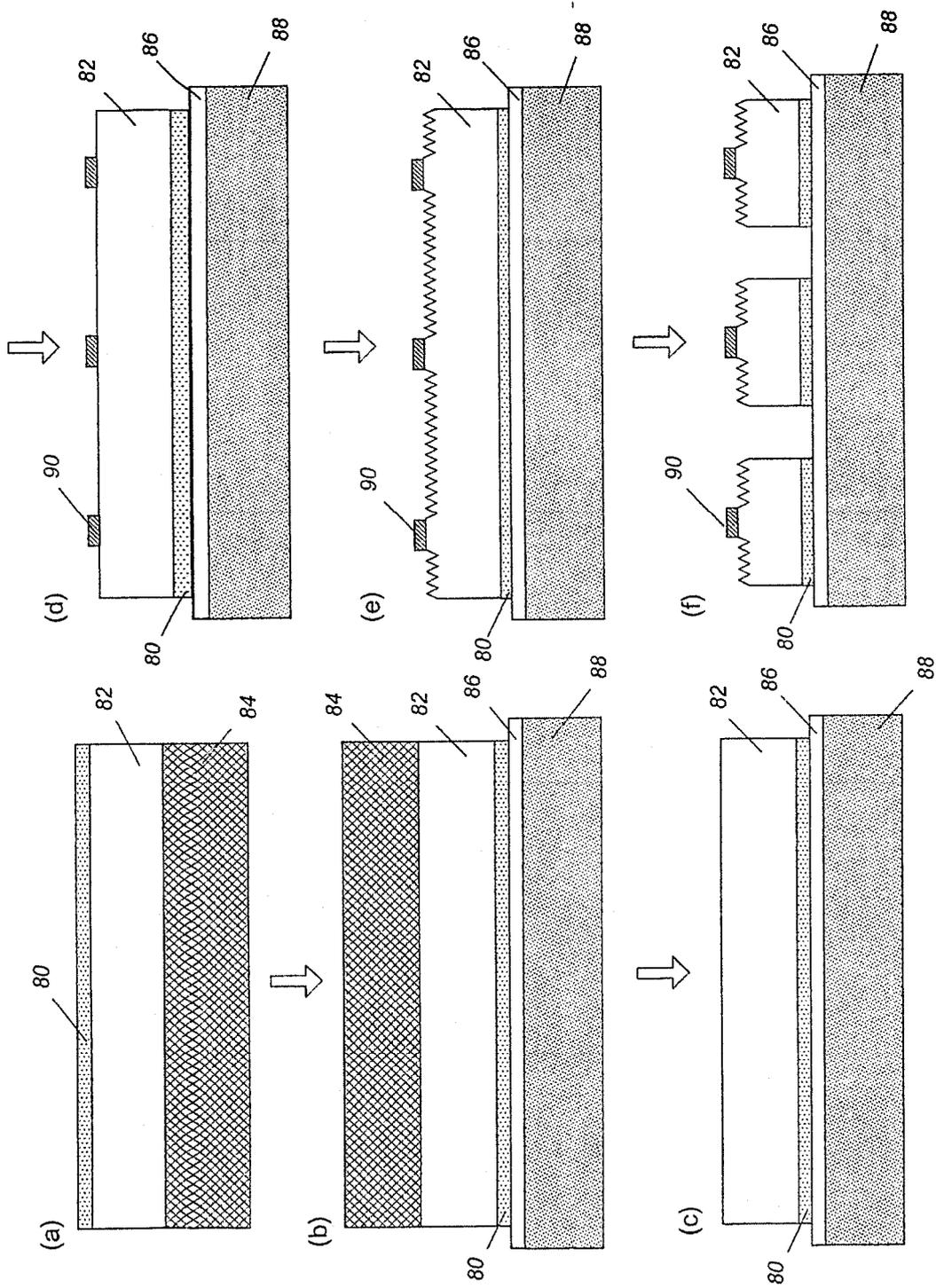


FIG. 5

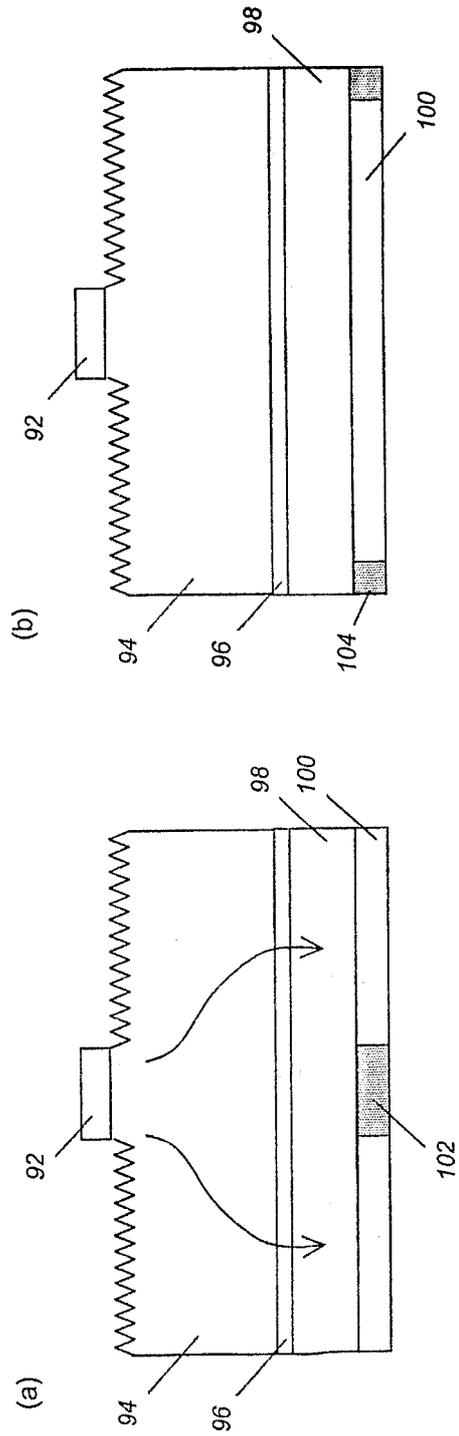


FIG. 6

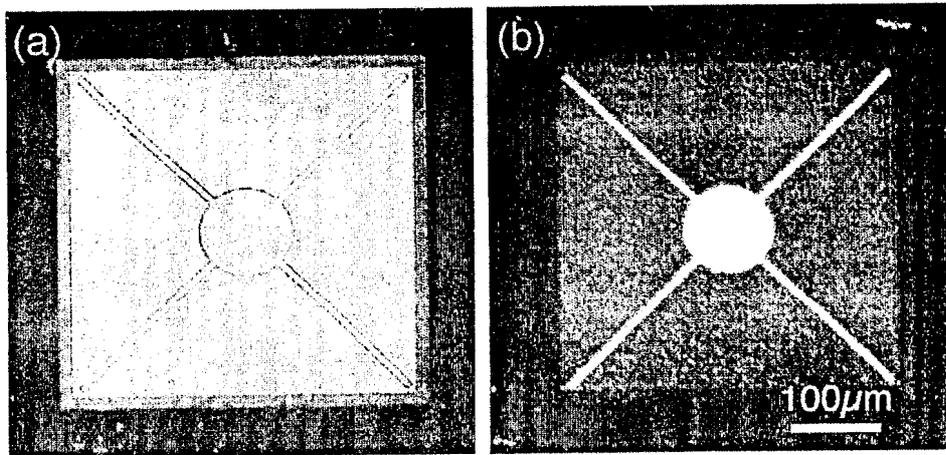


FIG. 7

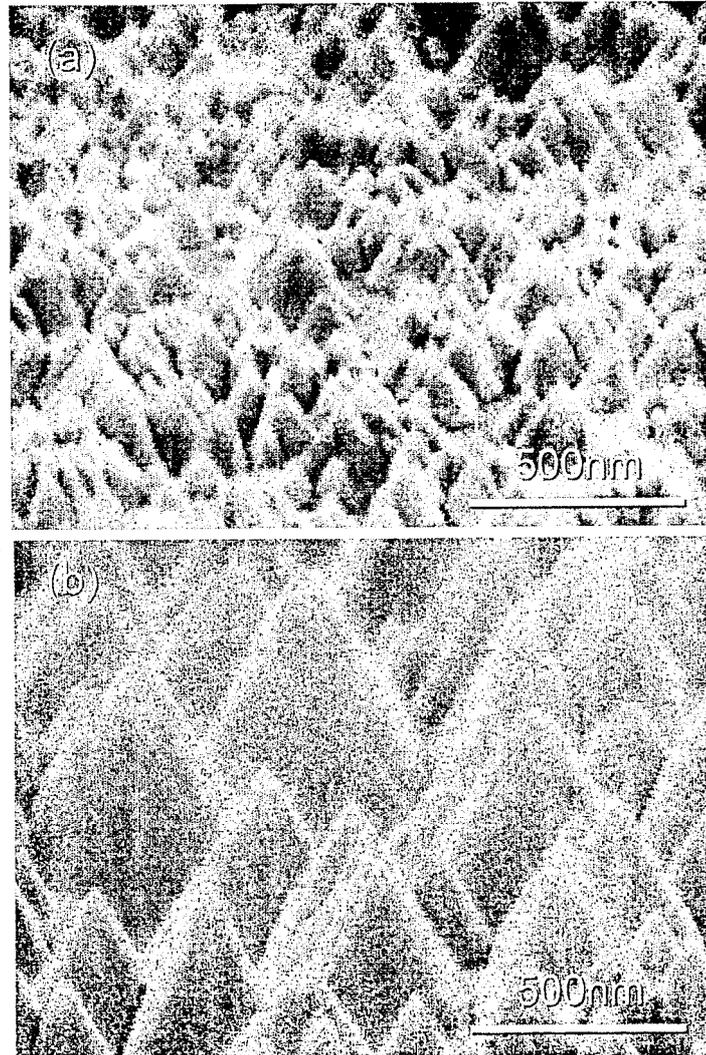


FIG. 8

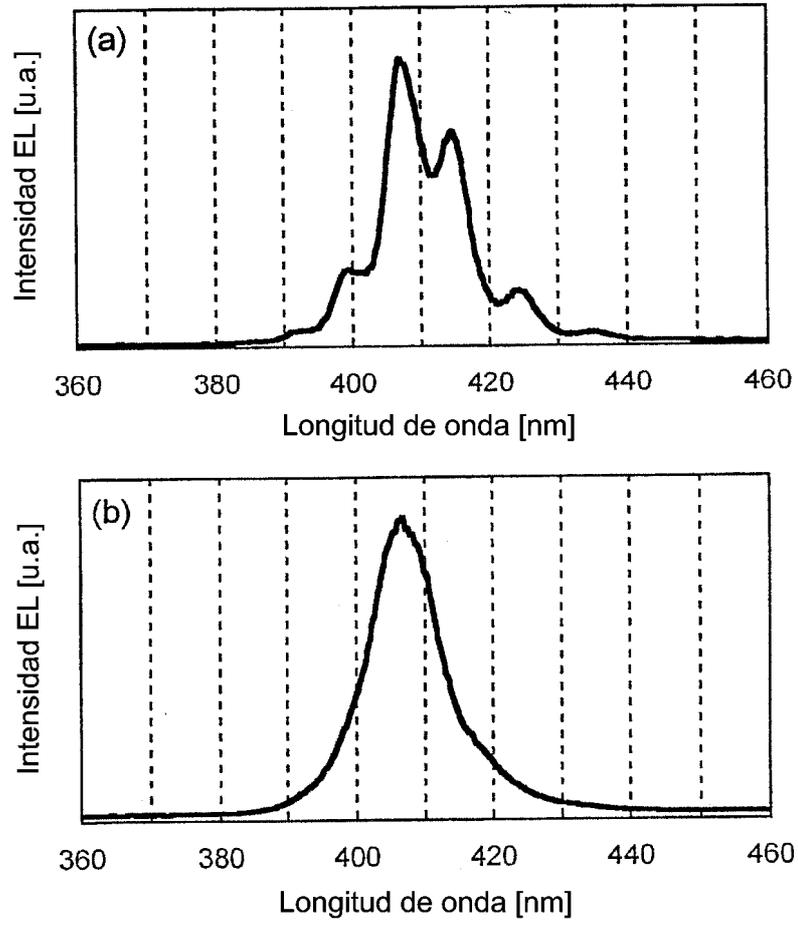


FIG. 9

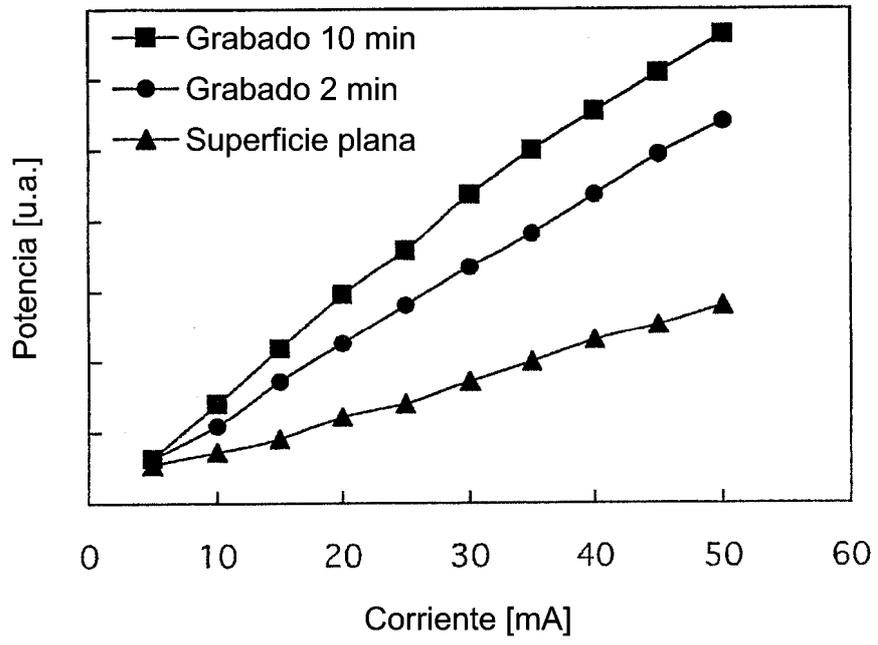


FIG. 10