



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(21) PI 0720931-2 A2**



(22) Data de Depósito: 20/12/2007  
(43) Data da Publicação: 11/03/2014  
(RPI 2253)

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

**(54) Título:** DISPOSITIVO

**(57) Resumo:**

**(30) Prioridade Unionista:** 22/12/2006 US 11/615479

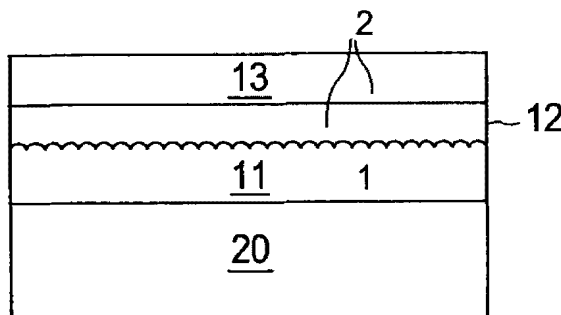
**(73) Titular(es):** Koninklijke Philips Electronics N.V., PHILIPS  
LUMILEDS LIGHTING COMPANY LLC

**(72) Inventor(es):** Aurelien J. F. David, Linda T. Romano, Michael  
R. Krames, Nathan F. Gardner, Sungsoo Yi

**(74) Procurador(es):** Momsen, Leonardos & CIA.

**(86) Pedido Internacional:** PCT IB2007055263 de 20/12/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2008/078298de  
03/07/2008



## “DISPOSITIVO”

A presente invenção refere-se à técnicas de desenvolvimento e estruturas de dispositivo para dispositivos semicondutores emissores de luz.

Os dispositivos semicondutores emissores de luz, incluindo diodos emissores de luz (LEDs), diodos emissores de luz de cavidade ressonante (RCLEDs), diodos de leiser de cavidade vertical (VCSELs) e leiseres emissores de borda, estão entre as fontes de luz mais eficientes atualmente disponíveis. Sistemas de materiais atualmente de interesse na manufatura dos dispositivos emissores de luz de elevado brilho capazes de operarem através do espectro visível, incluem os semicondutores do Grupo III-V, particularmente ligas de gálio, alumínio, índio e nitrogênio, binárias, ternárias e quaternárias, também referidas como materiais de nitreto-III. Tipicamente, os dispositivos emissores de luz de nitreto-III são fabricados epitaxialmente desenvolvendo-se uma pilha de camadas semicondutoras de diferentes composições e concentrações de dopantes em um substrato adequado, por deposição de vapor químico orgânico-metálico (MOCVD), epitaxia de feixe molecular (MBE) ou outras técnicas epitaxiais. A pilha frequentemente inclui uma ou mais camadas tipo-n dopadas, por exemplo, com Si, formadas sobre o substrato, uma região ativa ou emissora de luz formada sobre a camada ou camadas tipo-n, e uma ou mais camadas tipo-p dopadas, por exemplo, com Mg, formadas sobre a região ativa. Os dispositivos de nitreto-III formados em substratos condutivos podem ter os contatos-p e n formados em lados opostos do dispositivo. Com frequência, os dispositivos de nitreto-III são fabricados em substratos isolantes com ambos os contatos do mesmo lado do dispositivo.

Em formas de realização da invenção, um dispositivo emissor de luz de nitreto-III inclui uma camada aliviada de tensão projetada para reduzir tensão no dispositivo, particularmente na camada emissora de luz. Reduzir a tensão no dispositivo emissor de luz pode melhorar o desempenho

do dispositivo. A superfície em que a camada aliviada de tensão é desenvolvida é configurada de modo que a camada aliviada de tensão desenvolva-se apenas em partes da superfície, fornecendo espaço para a camada aliviada de tensão expandir-se lateralmente e, pelo menos parcialmente, relaxar. Em algumas formas de realização da invenção, a camada aliviada de tensão é desenvolvida sobre uma camada semicondutora texturizada ou uma camada de máscara. Em algumas formas de realização da invenção, a camada aliviada de tensão é um grupo de colunas de material semicondutor.

10                   A Fig. 1 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz com uma camada emissora de luz aliviada de tensão desenvolvida em uma camada texturizada.

                    A Fig. 2 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz com uma camada emissora de luz desenvolvida sobre uma camada aliviada de tensão desenvolvida em uma camada texturizada.

                    A Fig. 3 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz com uma camada emissora de luz desenvolvida sobre uma máscara.

                    A Fig. 4 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz com uma camada emissora de luz desenvolvida dentro de um grupo de colunas de material semicondutor.

                    A Fig. 5 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz com uma camada emissora de luz desenvolvida sobre uma camada coalescida desenvolvida sobre um grupo de colunas de material semicondutor.

                    As Figs. 6 e 7 ilustram partes dos dispositivos emissores de luz com camadas emissoras de luz desenvolvidas sobre grupos de colunas de material semicondutor e com regiões isolantes de material eletricamente resistivo de material tipo-p e n.

                    A Fig. 8 ilustra uma parte de um dispositivo emissor de luz chip flip em que o substrato de desenvolvimento foi removido.

A Fig. 9 é uma vista explodida de um dispositivo emissor de luz adensado.

As Figs. 10 e 11 ilustram partes de dispositivos emissores de luz com camadas emissoras de luz conformais desenvolvidas sobre poliedros desenvolvidos sobre as aberturas em uma máscara.

O desempenho de um dispositivo emissor de luz semicondutor pode ser estimado medindo-se o rendimento quantitativo interno, que mede o número de fótons gerados no dispositivo por elétron fornecido ao dispositivo. À medida que a densidade da corrente aplicada a um dispositivo emissor de luz de nitreto-III convencional aumenta, o rendimento quantitativo interno do dispositivo inicialmente aumenta, em seguida diminui. Quando a densidade da corrente aumenta além de zero, o rendimento quantitativo interno aumenta, alcançando um pico em uma dada densidade da corrente (por exemplo, a cerca de  $10 \text{ A/cm}^2$  para alguns dispositivos). Quando a densidade da corrente aumenta além do pico, o rendimento quantitativo interno inicialmente baixa rapidamente, em seguida a queda diminui em densidade de corrente mais elevada (por exemplo, além de  $200 \text{ A/cm}^2$  para alguns dispositivos).

Uma técnica para reduzir ou inverter a queda do rendimento quantitativo em densidade de corrente elevada é formar camadas emissoras de luz mais espessas. Por exemplo, uma camada emissora de luz configurada para emitir luz a  $450 \text{ nm}$  é preferivelmente mais espessa do que  $50 \text{ \AA}$ . A densidade do veículo de carga em uma camada emissora de luz mais espessa pode ser menor do que a densidade do veículo de carga em um poço quântico, que pode reduzir o número de veículos perdidos para recombinação não radioativa e assim aumentar o rendimento quantitativo externo. Entretanto, o desenvolvimento de camadas emissoras de luz de nitreto-III é difícil, por causa da tensão nas camadas do dispositivo de nitreto-III.

Uma vez que os substratos de desenvolvimento de nitreto-III nativos são geralmente caros, não largamente disponíveis e impráticos para o

desenvolvimento de dispositivos comerciais, os dispositivos de nitreto-III são com frequência desenvolvidos em substratos de safira ou SiC. Tais substratos não-nativos têm diferentes constantes de rede do que as constantes de rede em volume das camadas de dispositivo de nitreto-III desenvolvidas no substrato, resultando em tensão nas camadas de nitreto-III desenvolvidas no substrato. Como aqui usado, uma constante de rede “em-plano” refere-se à constante de rede real de uma camada dentro do dispositivo, e uma constante de rede “em volume” refere-se à constante de rede do material de posicionamento livre, relaxado de uma dada composição. A quantidade de tensão em uma camada é a diferença entre a constante de rede em plano do material formando uma camada particular e a constante de rede em volume da camada no dispositivo, dividida pela constante de rede em volume da camada.

Quando um dispositivo de nitreto-III é convencionalmente desenvolvido em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a primeira camada desenvolvida no substrato é geralmente uma camada tampão de GaN com uma constante de rede-a em plano de cerca de  $3.1885 \text{ \AA}$ . A camada tampão de GaN serve como um padrão de constante de rede para a região emissora de luz, pelo fato de que ela ajusta a constante de rede para todas as camadas de dispositivo desenvolvidas sobre a camada tampão, incluindo a camada emissora de luz de InGaN. Visto que a constante de rede em volume de InGaN é maior do que a constante de rede em plano da camada tampão de GaN padrão, a camada emissora de luz é tensionada quando desenvolvida sobre uma camada tampão de GaN. Por exemplo, uma camada emissora de luz configurada para emitir luz de aproximadamente  $450 \text{ nm}$  pode ter uma composição  $\text{In}_{0,16}\text{Ga}_{0,84}\text{N}$ , uma composição com uma constante de rede em volume de  $3,242 \text{ \AA}$ . Quando a composição InN da camada emissora de luz aumenta, como nos dispositivos emitindo luz em mais longos comprimentos de onda, a tensão na camada emissora de luz também aumenta.

Se a espessura da camada tensionada aumentar além de um

valor crítico, deslocamentos ou outros defeitos formam-se dentro da camada para reduzir a energia associada com a tensão. Os defeitos tornam-se centros de recombinação não-radioativos que podem reduzir consideravelmente o rendimento quantitativo do dispositivo. Como resultado, a espessura da camada emissora de luz deve ser mantida abaixo desta espessura crítica. Quando a composição InN e o comprimento de onda de pico aumentam, a tensão na camada emissora de luz aumenta, assim, a espessura crítica de uma camada emissora de luz diminui.

Mesmo se a espessura da camada emissora de luz for mantida abaixo da espessura crítica, ligas de InGaN serão termodinamicamente instáveis em certas composições e temperaturas. Por exemplo, em temperaturas tipicamente usadas para o desenvolvimento de InGaN, a liga pode exibir decomposição espinodal, onde uma camada InGaN composicionalmente uniforme transforma-se em uma camada com regiões de composição InN mais elevada do que a média e regiões de composição InN mais baixa do que a média. A decomposição espinodal em uma camada emissora de luz de InGaN cria centros de recombinação não-radioativos que podem reduzir o rendimento quantitativo do dispositivo. O problema da decomposição espinodal piora quando a espessura da camada emissora de luz aumenta, quando a composição InN média da camada emissora de luz aumenta e/ou quando a tensão na camada emissora de luz aumenta. Por exemplo, no caso de uma camada emissora de luz desenvolvida sobre um substrato de safira e configurada para emitir luz a 450 nm, a combinação de uma composição InN de 16 % e a espessura preferida de mais do que 50 Å excedem a decomposição espinodal limite.

Portanto, como descrito acima, é desejável aumentar-se a espessura da camada emissora de luz para reduzir ou eliminar a queda do rendimento quantitativo que ocorre quando a densidade da corrente aumenta. É necessário reduzir a tensão da camada emissora de luz, a fim de

desenvolver uma camada emissora de luz mais espessa, para manter o número de defeitos dentro de uma faixa aceitável, aumentando-se a espessura crítica e para aumentar a espessura da qual a camada pode ser desenvolvida sem a decomposição espinodal. As formas de realização da invenção são destinadas a reduzir a tensão nas camadas de dispositivo de um dispositivo de nitreto-III, particularmente na camada emissora de luz.

De acordo com as formas de realização da invenção, pelo menos um alívio na tensão parcial, em uma camada emissora de luz de um dispositivo emissor de luz de nitreto-III, é fornecido, configurando-se a superfície em que pelo menos uma camada do dispositivo desenvolve-se, de modo que a camada expanda-se lateralmente e assim, pelo menos parcialmente, relaxe. Esta camada é referida como a camada aliviada de tensão. Em um dispositivo convencional, todas as camadas do dispositivo são desenvolvidas bastante finas, a fim de que fiquem tensionadas, de modo que a primeira camada de monocristal desenvolvida sobre o substrato de desenvolvimento ajuste a constante de rede para cada camada tensionada do dispositivo. Em formas de realização da invenção, a camada aliviada de tensão pelo menos parcialmente relaxa, de modo que a constante de rede da camada aliviada de tensão seja maior do que a constante de rede da camada desenvolvida antes da camada aliviada de tensão. A camada aliviada de tensão, assim, expande a constante de rede para as camadas desenvolvidas subsequentes à camada aliviada de tensão.

Em algumas formas de realização, a própria camada emissora de luz é a camada aliviada de tensão, significando que a camada emissora de luz é desenvolvida em uma superfície que permite a camada emissora de luz expandir lateralmente a tensão de alívio. Em algumas formas de realização, uma camada desenvolvida antes da camada emissora de luz é a camada aliviada de tensão. Em um primeiro grupo de formas de realização, a camada aliviada de tensão é desenvolvida em uma superfície texturizada. Em um

segundo grupo de formas de realização, a camada aliviada de tensão é desenvolvida dentro ou sobre colunas de material de nitreto-III, frequentemente referidos como nanoarames ou nanocolunas.

5 Nas formas de realização descritas abaixo, o dispositivo emissor de luz de nitreto-III inclui uma região tipo-n tipicamente desenvolvida primeiro sobre um substrato de desenvolvimento adequado. A região tipo-n pode incluir múltiplas camadas de diferentes composições e concentração de dopante, incluindo, por exemplo, camadas de preparação, tais como camadas tampão ou camadas de nucleação, que podem ser tipo-n ou  
10 não intencionalmente dopadas, camadas de liberação destinadas a facilitar a posterior liberação do substrato de desenvolvimento ou afinamento da estrutura semicondutora após remoção do substrato, e camadas de dispositivo tipo-n, projetadas por propriedades ópticas ou elétricas particulares desejáveis para a região emissora de luz emitir luz eficientemente.

15 Uma região emissora de luz é desenvolvida sobre a região tipo-n. Embora as formas de realização abaixo possam referir-se a uma única camada emissora de luz, deve ser entendido que quaisquer das formas de realização abaixo podem incluir uma região emissora de luz com uma ou mais camadas emissoras de luz espessas ou finas. Exemplos de regiões emissoras  
20 de luz adequadas incluem uma única camada emissora de luz espessa ou fina e uma região emissora de luz de poço quântico múltiplo, incluindo múltiplas camadas emissoras de luz de poço finas ou espessas, separadas por camadas barreira.

25 Em algumas formas de realização, a espessura de cada uma das camadas emissoras de luz do dispositivo é preferivelmente mais espessa do que 50 Å. Em algumas formas de realização, a região emissora de luz do dispositivo é uma única camada emissora de luz espessa, com uma espessura entre 50 e 600 Å, mais preferivelmente entre 100 e 250 Å. A espessura ótima pode depender do número de defeitos dentro da camada emissora de luz. A

concentração de defeitos da região emissora de luz é preferivelmente limitada a menos do que  $10^9 \text{ cm}^{-2}$ , mais preferivelmente, limitada a menos do que  $10^8 \text{ cm}^{-2}$ , mais preferivelmente, limitada a menos do que  $10^7 \text{ cm}^{-2}$ , e mais preferivelmente, limitada a menos do que  $10^6 \text{ cm}^{-2}$ .

5                    Em algumas formas de realização, pelo menos uma camada emissora de luz do dispositivo é dopada com um dopante, tal como Si, para uma concentração de dopante entre  $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$  e  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ . A dopagem Si pode influenciar a constante de rede em plano da camada emissora de luz, reduzindo mais potencialmente a tensão na camada emissora de luz.

10                   Uma região tipo-p é desenvolvida sobre a região emissora de luz. Como a região tipo-n, a região tipo-p pode incluir múltiplas camadas de diferentes composições, espessuras e concentração de dopante, incluindo as camadas que não são intencionalmente dopadas ou camadas tipo-n.

15                   A Fig. 1 ilustra uma forma de realização da invenção em que uma camada emissora de luz aliviada de tensão é desenvolvida sobre a superfície texturizada de uma camada semicondutora. No dispositivo da Fig. 1, uma região tipo-n 11, tendo uma constante de rede em plano  $a_1$  é desenvolvida sobre um substrato de desenvolvimento 20. A superfície de topo da região tipo-n 11, que pode ser, por exemplo, GaN, InGaN, AlGaN ou  
20                   AlInGaN, é texturizada. Uma camada emissora de luz aliviada de tensão 12, tendo uma constante de rede em plano  $a_2$ , é então desenvolvida sobre a superfície texturizada. Uma região tipo-p 13, que também tem uma constante de rede em plano  $a_2$ , é desenvolvida sobre a camada emissora de luz 12.

25                   A superfície da região tipo-n 11 é texturizada com uma superfície áspera, controlada, tal como, por exemplo, com características tendo um perfil de seção transversal de picos alternados com vales. A distância entre os picos adjacentes pode ser de 50 a 200 nm, mais preferivelmente de 50 a 100 nm. A profundidade do topo de um pico ao fundo de um vale pode ser menor do que 200 nm, mais preferivelmente menor do

que 100 nm. Característicos de apropriado tamanho, profundidade e espaçamento podem ser formados, por exemplo, por cauterização fotolitográfica convencional, cauterização por sublimação catódica, cauterização fotoeletroquímica ou por um processo *in situ*, em que o material cristalino é desenvolvido texturizado, tal como por desenvolvimento em elevada pressão. Quando os característicos são dimensionados apropriadamente, o material InGaN da camada emissora de luz 12 preferivelmente desenvolve-se nos picos como um grupo de ilhas. Visto que, inicialmente as ilhas não cobrem a superfície inteira da região tipo-n 11 texturizada, as ilhas podem expandir-se lateralmente, de modo que a camada emissora de luz 12 pelo menos parcialmente relaxe. A constante de rede em plano  $a_2$  da camada emissora de luz aliviada de tensão 12 é maior do que a constante de rede em plano  $a_1$  da região tipo-n 11.

A Fig. 2 ilustra uma variação do dispositivo da Fig. 1, em que a camada desenvolvida na superfície texturizada, a fim de prover alívio de tensão, não é a camada emissora de luz 12, de preferência ela é uma camada tipo-n 21 desenvolvida sobre a região tipo-n 11, à frente da camada emissora de luz 12. Como no dispositivo da Fig. 1, uma região tipo-n 11, tendo uma constante de rede em plano  $a_1$ , é desenvolvida sobre um substrato de desenvolvimento 20. A superfície de topo da região tipo-n 11 é texturizada, como descrito na referência à Fig. 1. Uma segunda região tipo-n 21, que pode ser GaN, InGaN, AlGaN ou AlInGaN, é desenvolvida sobre a superfície texturizada da região tipo-n 11. Quando a região tipo-n 21 começa a desenvolver-se, o material de nitreto-III da região tipo-n 21 preferencialmente desenvolve-se nos picos da superfície texturizada da região tipo-n 11 como um grupo de ilhas. As ilhas de material podem expandir-se lateralmente e, pelo menos parcialmente, relaxarem, de modo que a constante de rede em plano  $a_2$  da região tipo-n 21 seja maior do que a constante de rede em plano  $a_1$  da região tipo-n 11. As camadas desenvolvidas sobre a região aliviada de

tensão 21, incluindo a camada emissora de luz 12 e a região tipo-p 13, replicam a constante de rede em plano  $a_2$  da região aliviada de tensão 21.

A Fig. 3 ilustra uma forma de realização da invenção em que uma camada aliviada de tensão é desenvolvida sobre uma máscara. No dispositivo da Fig. 3, uma região do tipo-n 14, tendo uma constante de rede  $a_1$ , é desenvolvida sobre um substrato de desenvolvimento 20. A superfície da região tipo-n 14 é tratada com um precursor de silício, tal como silano, de modo que a superfície seja parcialmente revestida com material de nitreto de silício  $\text{SiN}_x$  e parcialmente exposta em pequenas aberturas de nitreto de silício, criando uma máscara. As regiões expostas podem ter uma extensão lateral de 10 a 200 nm, mais preferivelmente de 50 a 150 nm e mais preferivelmente menor do que 100 nm.

Uma região emissora de luz 17 é desenvolvida sobre a máscara. O material da região emissora de luz 17 preferencialmente desenvolve-se sobre as aberturas 16 dentro do material de máscara 15, na superfície exposta da região tipo-n 14. As ilhas de material da camada emissora de luz podem expandir-se lateralmente e, pelo menos parcialmente, relaxarem, de modo que a constante de rede em plano  $a_2$  da região emissora de luz 17 seja maior do que a constante de rede em plano  $a_1$  da região tipo-n 14. Uma região tipo-p 18, tendo também uma constante de rede em plano  $a_2$ , é desenvolvida sobre a região emissora de luz 17. Como nos dispositivos mostrados nas Figs. 1 e 2, a região emissora de luz 17 não precisa ser desenvolvida diretamente sobre a máscara, de preferência uma segunda região tipo-n, por exemplo, de GaN, InGaN, AlGaN ou AlInGaN, pode ser desenvolvida primeiro na máscara, em seguida na região emissora de luz 17.

Nas formas de realização ilustradas nas Figs. 1, 2 e 3, em que a camada emissora de luz é desenvolvida sobre uma interface texturizada, tal como as camadas texturizadas das Figs. 1 e 2 ou a camada de máscara da Fig. 3, a interface texturizada é geralmente localizada nas proximidades da camada

emissora de luz. Em algumas formas de realização, a interface texturizada está dentro de 1000 Å de pelo menos uma parte da camada emissora de luz.

As Figs. 4, 5, 6 e 7 ilustram dispositivos incluindo colunas de material semiconductor. Na Fig. 4, uma região tipo-n 22 é desenvolvida sobre um substrato 20. Sobre a região tipo-n plana 22, é formada uma camada de máscara 24, tal como a máscara de SiN<sub>x</sub> descrita acima. Nas aberturas entre as ilhas de material de máscara, são desenvolvidos colunas de material semiconductor. Em algumas formas de realização, a temperatura de desenvolvimento das colunas do material semiconductor é mantida abaixo de uma temperatura em que o material de GaN, entre as ilhas de material mascarado, começa a decompor-se, 1000°C em algumas aplicações. As colunas de material semiconductor podem ser desenvolvidas dentro de uma faixa de temperatura mais estreita do que uma camada plana desenvolvida sobre uma máscara, como na Fig. 3, e sob condições que favorecem o desenvolvimento lento, a fim de formar colunas de material semiconductor, em vez de a camada substancialmente plana da Fig. 3. Por exemplo, as colunas podem ser desenvolvidas em uma temperatura de desenvolvimento entre 900 e 1000°C, em uma taxa de desenvolvimento menor do que 0,5 Å/s, e em uma relação dos precursores do grupo V para os precursores do grupo III maior do que 4000. O material plano pode ser desenvolvido em temperaturas maiores do que 1000°C e menores do que 900 C, taxas de desenvolvimento mais rápidas e em diferentes relações de precursores. As colunas 26 do material tipo-n são desenvolvidas primeiro, seguidas pelas colunas 28 de material da região emissora de luz, seguido pelas colunas 30 de material tipo-p.

Após as colunas tipo-p 30 serem desenvolvidas, as condições de desenvolvimento são mudadas, por exemplo, introduzindo-se ou aumentando-se o fluxo de um precursor de dopante, tal como um precursor de dopante-Mg, diminuindo-se o fluxo de precursor de nitrogênio (geralmente NH<sub>3</sub>) e aumentando-se a taxa de desenvolvimento, de modo que pirâmides

invertidas sejam formadas sobre as colunas, cujas pirâmides eventualmente coalescem-se para formar uma camada plana 32 sobre as colunas e espaços 25 entre as colunas.

As dimensões das colunas de material de nitreto-III são selecionadas de modo que as colunas possam expandir-se lateralmente para acomodar a diferença da constante de rede entre as camadas de composição diferente dentro das colunas. Por exemplo, o diâmetro das colunas pode ser limitado a menos do que 500 nm, mais preferivelmente, menos do que 200 nm. Diâmetros tão pequenos quanto 10 nm podem ser possíveis. Diâmetros entre 50 e 150 nm, por exemplo, na área de 100 nm, são prováveis. O diâmetro é selecionado para ser bastante pequeno, de modo que o material dentro das colunas possa, pelo menos parcialmente, relaxar, e bastante grande, a fim de que haja um fator de enchimento de material da camada emissora de luz aceitavelmente elevado. As colunas não precisam ter um diâmetro constante, como ilustrado na Fig. 4. Por exemplo, as colunas podem ser pirâmides truncadas. Em algumas formas de realização, o fator de enchimento é de pelo menos 90 %, significando que quando desenvolvidos, as colunas ocupam pelo menos 90 % da extensão lateral da estrutura semicondutora do dispositivo. O fator de enchimento é determinado tanto pelo diâmetro das colunas como pelo espaçamento entre as colunas. Se o diâmetro das colunas for reduzido, a densidade numérica das colunas deve aumentar para manter um dado fator de enchimento. Em algumas formas de realização, a densidade numérica das colunas é de pelo menos  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ .

A altura das colunas pode variar de 50 nm a 3  $\mu\text{m}$ . Em um dispositivo com uma única camada emissora de luz, alturas entre 50 e 150 nm, por exemplo, de 100 nm, são prováveis. Em um dispositivo com uma região emissora de luz de poço quântico múltiplo, alturas entre 200 nm e 1  $\mu\text{m}$ , por exemplo, de 500 nm, são prováveis. A região emissora de luz 28, dentro das colunas, pode ser, pelo menos parcialmente, relaxada.

Em algumas formas de realização, do dispositivo ilustrado na Fig. 4, as regiões emissoras de luz de diferentes colunas de um único dispositivo podem ser formadas para emitir diferentes comprimentos de onda de luz. Por exemplo, alguns das colunas do dispositivo podem ser configurados para emitir luz avermelhada, alguns das colunas do dispositivo podem ser configurados para emitir luz esverdeada e alguns das colunas do dispositivo podem ser configurados para emitir luz azulada, de modo que as luzes vermelha, verde e azul combinadas parecem brancas.

O comprimento de onda de emissão de umas regiões emissoras de luz depende da composição InN: quanto mais InN em uma camada emissora de luz de InGaN, mais longo o comprimento de onda de emissão. Em dispositivos convencionais com camadas emissoras de luz ininterruptas, planas, a tensão na camada emissora de luz limita a quantidade de InN que pode ser incorporado dentro de uma camada emissora de luz. Em geral, as camadas emissoras de luz de InGaN planas que emitem luz azul podem ser desenvolvidas em qualidade mais elevada do que as camadas emissoras de luz de InGaN planas que emitem luz verde. É extremamente difícil desenvolver uma camada emissora de luz de InGaN plana de qualidade bastante elevada, que emita luz em um comprimento de onda mais longo do que o verde. Visto que uma região emissora de luz desenvolvida dentro de uma coluna, como ilustrado na Fig. 4, pode, pelo menos parcialmente, relaxar, mais InN pode ser incorporado durante o desenvolvimento do que em uma camada plana tensionada convencional. Quanto mais relaxado o material dentro da coluna, mais InN pode ser incorporado na camada emissora de luz.

Os inventores desenvolveram estruturas com colunas incluindo pelo menos uma camada de InGaN. As estruturas foram caracterizadas por fotoluminescência, que mostrou que o comprimento de onda de emissão do material InGaN era significativamente mudado de vermelho pelo desenvolvimento plano convencional. Comprimentos de onda de emissão

entre 430 nm e 750 nm, representando cores do azul ao vermelho, incluindo o verde e amarelo, foram obtidos.

Em algumas formas de realização, a composição InN em colunas individuais é controlada controlando-se o diâmetro das colunas.

5 Quanto menor o diâmetro de uma coluna, mais relaxado o material dentro da coluna, assim, mais InN é incorporado durante o desenvolvimento da região emissora de luz. Por exemplo, em um dispositivo com colunas variando em diâmetro de cerca de 10 nm a cerca de 150 nm, espera-se que as colunas com diâmetros na faixa de 10 nm sejam os mais relaxados, terem regiões  
10 emissoras de luz com composições InN mais elevadas e emitirem o mais longo comprimento de onda, na maior parte luz vermelha. Espera-se que as colunas com diâmetros na faixa de 150 nm sejam menos relaxadas, tenham regiões emissoras de luz com composições InN menores e emitam comprimento de onda menores, mais luz azul.

15 A fim de produzir um dispositivo que emita luz branca, deve haver um número controlado de colunas emitindo luz em cada região do espectro visível. Como descrito acima, o comprimento de onda da luz emitida por cada coluna pode ser controlado controlando-se o diâmetro da coluna. Para assegurar que haja números suficientes de cada coluna de um dado  
20 diâmetro e o comprimento de onda de emissão correspondente, a camada de máscara 24 pode ser padronizada, por exemplo, por uma técnica litográfica de nano-impressão, para formar uma pluralidade de aberturas com os diâmetros desejados. Embora, um dispositivo emissor de luz branca seja usado como um exemplo, deve ser entendido que o espectro de emissão do dispositivo pode  
25 ser adaptado a outras cores da luz, padronizando-se a máscara 24 com aberturas do tamanho apropriado.

Um dispositivo em que diferentes colunas emitem diferentes cores de luz, de modo que a luz combinada pareça branca, pode oferecer benefícios sobre um dispositivo de luz branca convencional, onde um

dispositivo emissor de luz semiconductor emitindo azul é combinado com um ou mais materiais conversores de comprimento de onda, tal como fósforo, de modo que a luz convertida por fósforo combine-se com a luz azul não convertida escapando através do fósforo para formar luz branca. Um

5 dispositivo com colunas emitindo diferentes cores de luz pode reduzir a complexidade da fabricação, visto que ele não requer a formação de camadas conversoras de comprimento de onda após formar o dispositivo; pode oferecer melhorado controle de cromaticidade, temperatura de cor e transmissão de cor, visto que o espectro de emissão é potencialmente mais facilmente

10 controlado; pode ser mais eficiente, por exemplo, eliminarem-se ineficiências associadas com materiais conversores de comprimento de onda; pode ser menos dispendioso de produzir, visto que os materiais conversores de comprimento de onda caros não mais são requeridos; e podem oferecer maior flexibilidade na adaptação do espectro de emissão.

15 No dispositivo da Fig. 5, uma camada emissora de luz reduzida de tensão é desenvolvida sobre uma camada coalescida sobre um grupo de colunas semicondutores. Uma região tipo-n 22, tendo uma constante de rede em plano  $a_1$ , é desenvolvida sobre um substrato 20. Sobre a região tipo-n plana 22, é formada uma camada de máscara 24, tal como a máscara de

20  $\text{SiN}_x$  descrita acima. Nas aberturas entre as ilhas de material de máscara, colunas de material tipo-n 26 são desenvolvidos. As colunas são desenvolvidas de modo que o diâmetro seja bastante pequeno, a fim de que as colunas possam expandir-se lateralmente e assim, pelo menos parcialmente, relaxar, como descrito acima. Quando as condições de desenvolvimento são

25 alteradas, de modo que uma região tipo-n 34 coalesça sobre as colunas 26, a região tipo-n 34 mantém a constante de rede em plano das colunas pelo menos parcialmente relaxadas e, assim, tem uma constante de rede em plano  $a_2$  que é maior do que a constante de rede em plano  $a_1$  da região tipo-n 22. Uma região emissora de luz 36 e a região tipo-p 38, ambas das quais replicam

a constante de rede em plano  $a_2$ , são desenvolvidas sobre a região tipo-n 34.

Quando a região tipo-n 34 coalesce sobre as colunas 26, defeitos de sutura 27 podem formar-se onde o material desenvolvendo-se sobre as duas colunas une-se. Os defeitos 27 podem ser replicados através da região emissora de luz 36 e da região tipo-p 38 e podem reduzir a eficiência ou causar problemas de confiabilidade. As Figs. 6 e 7 ilustram formas de realização da invenção destinadas a eliminar defeitos de sutura ou reduzir o número de defeitos de sutura.

No dispositivo da Fig. 6, uma região tipo-n 22 é desenvolvida sobre o substrato 20, em seguida uma máscara 24 é formada e colunas tipo-n 26 são desenvolvidas, como descrito acima, de modo que as colunas 26, pelo menos parcialmente, relaxam. Uma camada conformal de material resistivo 40 é formada sobre as colunas 26. A camada resistiva 40 pode ser, por exemplo, GaN resistivo desenvolvido epitaxialmente, tal como GaN dopado com Zn ou Fe, ou um óxido resistivo, tal como um óxido de silício. As camadas resistivas formadas sobre os topos das colunas 26 são então removidas por litografia convencional, de modo que o material resistivo 40 permaneça somente nos espaços entre as colunas 26. As regiões emissoras de luz 42 são então desenvolvidas como colunas sobre os topos expostos das colunas 26, seguidas por uma região tipo-p 44 que coalesce sobre as regiões emissoras de luz 42. As regiões resistivas 40 isolam eletricamente as regiões tipo-n 22 e 26 da região tipo-p 44.

No dispositivo da Fig. 7, uma região tipo-n 22 é desenvolvida sobre o substrato 20, então uma máscara 24 é formada e colunas tipo-n 26 são desenvolvidas como descrito acima, de modo que as colunas 26, pelo menos parcialmente, relaxem. Uma camada conformal de InGaN não-dopado 46 é desenvolvida sobre as colunas 26, em seguida, as condições de desenvolvimento são trocadas para condições favorecendo o desenvolvimento de colunas, a fim de desenvolver colunas da região emissora de luz dopada 48

sobre os topos das regiões da camada conformal 46 sobre as colunas 26. Uma região tipo-p 52 é então desenvolvida, que coalesce sobre as regiões emissoras de luz 48. A dopagem das ilhas da região emissora de luz 48 resulta em uma menor tensão de ruptura do que as regiões InGaN não-dopadas 46 entre as colunas 26, assim as regiões tipo-n 22 e 26 são eletricamente isoladas da região tipo-p 52.

Em algumas formas de realização, após o desenvolvimento das ilhas da região emissora de luz 48, uma etapa de implantação de íon torna as regiões 50 entre as colunas 26 não-condutivas. Após a implantação, as regiões InGaN 46 de avariadas por íon sobre os topos das colunas 26, podem ser removidas por cauterização. Em tais formas de realização, ilhas da região emissora de luz 48 são desenvolvidas diretamente sobre as colunas 26.

Em formas de realização ilustradas nas Figs. 10 e 11, como na Fig. 4, uma região tipo-n 22 é desenvolvida sobre um substrato 20. Sobre a região tipo-n plana 22, uma camada de máscara 24, tal como a máscara de  $\text{SiN}_x$  descrita acima, é formada. Nas aberturas 80 entre as ilhas do material de máscara, são desenvolvidos poliedros 82 de material semiconductor. Igual às colunas mostradas nas Figs. 4 e 5, visto que poliedros 82 são desenvolvidos nas aberturas 80 entre as ilhas do material de máscara, poliedros 82 são capazes de expandir-se lateralmente e são, portanto, pelo menos parcialmente, relaxados. Os poliedros 82, desse modo, têm uma constante de rede  $a_2$  maior do que a constante de rede  $a_1$  da camada plana 22. Em algumas formas de realização, o diâmetro das aberturas 80 pode ser limitado a menos do que 500 nm, mais preferivelmente menos do que 200 nm. Diâmetros tão pequenos quanto 10 nm podem ser possíveis. Diâmetros entre 50 e 150 nm, por exemplo, em área de 100 nm, são apropriados. O diâmetro das aberturas 80 é selecionado para ser bastante pequeno, de modo que o material dos poliedros 82 possa, pelo menos parcialmente, relaxar. Como na Fig. 4, a máscara 24 pode ser formada, de modo que o fator de enchimento seja pelo menos de 90 %, significando que, quando desenvolvidas, as bases de poliedros 82 ocupam

pelo menos 90 % da extensão lateral da estrutura semicondutora do dispositivo.

Pelo menos uma camada emissora de luz 84 é desenvolvida sobre os poliedros 82, de modo que o material da camada emissora de luz 84 replica a constante de rede  $a_2$  expandida dos poliedros 82. Uma região tipo-p é então desenvolvida sobre a camada emissora de luz 84. No dispositivo ilustrado na Fig. 10, a região tipo-p 86 preferencialmente desenvolve-se sobre os poliedros 82. O desenvolvimento é parado antes de a região entre poliedros adjacentes, revestidos pela máscara 24, ser preenchida. Uma camada metálica grossa (não mostrada) pode ser depositada sobre os poliedros para formar uma superfície plana. A camada de máscara isolante 24 fornece isolamento elétrico entre o metal contatando o material tipo-p e a região tipo-n do semicondutor nas regiões entre as aberturas 80. No dispositivo ilustrado na Fig. 11, o desenvolvimento da região tipo-p 88 continua até as regiões entre os poliedros adjacentes serem preenchidas, resultando em uma camada tipo-p plana.

As camadas emissoras de luz nas formas de realização descritas acima podem ter maiores constantes de rede- $a$  em plano do que as camadas emissoras de luz desenvolvidas em padrões GaN convencionais, que tipicamente têm constantes de rede- $a$  em plano não maiores do que 3.1885 Å. O desenvolvimento da camada emissora de luz como ou sobre uma camada aliviada em tensão, pode aumentar a constante de rede em plano para mais do que 3.189 Å e pode, assim, reduzir suficientemente a tensão na camada emissora de luz, para permitir que camadas emissoras de luz mais espessas sejam desenvolvidas com densidades de defeito aceitáveis e com reduzida decomposição espinodal. Em algumas formas de realização, a constante de rede- $a$  em plano da camada emissora de luz pode ser aumentada para pelo menos 3,195 Å, mais preferivelmente para pelo menos 3,2 Å. Por exemplo, uma camada InGaN que emite luz azul pode ter a composição  $\text{In}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{N}$ , uma composição com uma constante de rede em volume de 3,23 Å. A tensão

da camada emissora de luz é a diferença entre a constante de rede em plano da camada emissora de luz (aproximadamente 3,189 Å para a camada emissora de luz desenvolvida em uma camada tampão de GaN convencional) e a constante de rede em volume, assim a tensão podendo ser expressa como  $(a_{\text{em-plano}} - a_{\text{volume}}) / a_{\text{volume}}$ . No caso de uma camada  $\text{In}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{N}$  convencional a tensão é  $(3,189 \text{ \AA} - 3,23 \text{ \AA}) / 3,23 \text{ \AA}$ , aproximadamente 1,23 %. Se uma camada emissora de luz da mesma composição for desenvolvida de acordo com as formas de realização descritas acima, a tensão pode ser reduzida ou eliminada. Em algumas formas de realização da invenção, a tensão da camada emissora de luz de um dispositivo emissor de luz entre 430 e 480 nm pode ser reduzida para menos do que 1 %, e mais preferivelmente, para menos do que 0,5%. Uma camada InGaN que emite luz ciano pode ter a composição  $\text{In}_{0,16}\text{Ga}_{0,84}\text{N}$ , uma composição com tensão de aproximadamente 1,7 % quando desenvolvida em uma camada tampão GaN convencional. Em algumas formas de realização da invenção, a tensão na camada emissora de luz de um dispositivo emitindo luz entre 480 e 520 nm pode ser reduzida para menos do que 1,5 % e, mais preferivelmente, para menos do que 1 %. Uma camada InGaN que emite luz verde pode ter a composição  $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ , uma composição com uma constante de rede de posicionamento livre de 3,26 Å, resultando na tensão de cerca de 2,1 %, quando desenvolvida em uma camada tampão GaN convencional. Em algumas formas de realização da invenção, a tensão na camada emissora de luz de um dispositivo emitindo luz entre 520 e 560 nm, pode ser reduzida para menos do que 2 % e mais preferivelmente, para menos do que 1,5 %.

As estruturas semicondutoras ilustradas e descritas acima podem ser incluídas em qualquer configuração adequada de um dispositivo emissor de luz, tal como um dispositivo com contatos formados em lados opostos do dispositivo ou um dispositivo com ambos contatos formados no mesmo lado do dispositivo. Quando ambos contatos são dispostos no mesmo

lado, o dispositivo pode ser formado com contatos transparentes e fixados de modo que a luz seja extraída através do mesmo lado em que os contatos são formados ou com contatos reflexivos e fixados como um flip chip, onde a luz é extraída do lado oposto ao lado em que os contatos são formados.

5                   A Fig. 8 ilustra uma parte de um exemplo de uma configuração adequada, um dispositivo flip chip de que o substrato de desenvolvimento foi removido. Uma parte da região tipo-p 66 e a região emissora de luz 64 é removida para formar uma mesa que expõe uma parte da região tipo-n 62. Embora uma via expondo a região tipo-n 62 é mostrada na  
10 Fig. 8, deve ser entendido que múltiplas vias podem ser formadas em um dispositivo único. Contatos N e p 70 e 68 são formados nas partes expostas da região tipo-n 62 e região tipo-p 66, por exemplo, por evaporação ou galvanização. Os contatos 68 e 70 podem ser eletricamente isolados entre si por ar ou uma camada dielétrica. Após os metais de contato 68 e 70 serem  
15 formados, uma pastilha dos dispositivos pode ser cortada em cubos formando dispositivos individuais, em seguida cada dispositivo é arremessado em relação à direção de desenvolvimento e montado em uma montagem 73, em cujo caso a montagem 73 pode ter uma extensão lateral maior do que aquela do dispositivo. Alternativamente, uma pastilha dos dispositivos pode ser  
20 conectada a uma pastilha de montagem, então cortada em cubos formando dispositivos individuais. A montagem 73 pode ser, por exemplo, semicondutor, tal como Si, metal ou cerâmica, tal como AlN, e pode ter pelo menos uma almofada de metal 71, que se conecta eletricamente a contatos-p 68 e pelo menos uma almofada de metal 72, que se conecta eletricamente aos  
25 contatos-n 70. Interconexões (não mostradas), tais como ressaltos de botões de solda ou ouro, conectam o dispositivo semicondutor à montagem 73.

Após montar, o substrato de desenvolvimento (não mostrado) é removido por um processo adequado ao material do substrato, tal como cauterização ou fusão leiser. Um subcarregamento rígido pode ser fornecido

entre o dispositivo e a montagem 73, antes ou após montar-se ao suporte das camadas semicondutoras e evitar o craqueamento durante a remoção do substrato. Uma parte da estrutura semicondutora pode ser removida por afinamento, após remoção do substrato. A superfície exposta da região tipo-n 62 pode ser tornada áspera, por exemplo, por um processo de cauterização, tal como cauterização fotoeletroquímica ou por um processo mecânico, tal como moagem. Tornar áspera a superfície de que luz é extraída, pode melhorar a extração de luz do dispositivo. Alternativamente, uma estrutura de cristal fotônico pode ser formada na superfície de topo da região tipo-n 62 exposta, removendo-se o substrato de desenvolvimento. Uma estrutura 74, tal como uma camada de fósforo ou ótica secundária conhecida na técnica, tal como dicróicos ou polarizadores, pode ser aplicada à superfície emissora.

A Fig. 9 é uma vista explodida de um dispositivo emissor de luz adensado, como descrito em mais detalhes na Patente U.S. 6.274.924. Um lingote dissipador de calor 100 é colocado dentro de uma armação de chumbo moldada na inserção. A armação de chumbo moldada na inserção é, por exemplo, um material plástico carregado 105 moldado em torno de uma armação metálica 106 que fornece uma trajetória elétrica. O lingote 100 pode incluir um copo refletor opcional 102. A matriz do dispositivo emissor de luz 104, que pode ser qualquer um dos dispositivos descritos nas formas de realização acima, é montada diretamente ou indiretamente, via um submontagem termicamente condutivo 103, ao lingote 100. Uma cobertura 108, que pode ser uma lente óptica, pode ser adicionada.

Tendo descrito a invenção em detalhes, aqueles hábeis na técnica observarão, dada a presente descrição, que modificações podem ser feitas à invenção sem fugir do espírito da concepção inventiva descrito aqui. Portanto, não se pretende que o escopo da invenção seja limitado às formas de realização específicas ilustradas e descritas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo, caracterizado pelo fato de compreender uma estrutura semicondutora de nitreto-III consistindo de:

5 uma camada emissora de luz (12) disposta entre uma região tipo-n (11) e uma região tipo-p (13); e uma superfície texturizada disposta dentro de 1000 angstroms da camada emissora de luz.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da camada emissora de luz (12) ser adjacente à superfície texturizada.

10 3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da superfície texturizada ser disposta dentro da região tipo-n (11).

4. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da superfície texturizada compreender características litograficamente formadas em uma camada de nitreto-III, de modo que as  
15 características tenham um perfil de seção transversal parecendo-se com picos separados por vales.

5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de uma extensão lateral maior entre dois picos adjacentes ser menor do que 200 nm.

20 6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da camada texturizada compreender uma camada de material isolante (15), disposta dentro da estrutura semicondutora, em que uma pluralidade de aberturas (16) são dispostas no material isolante.

7. Dispositivo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado  
25 pelo fato do material isolante (15) compreender pelo menos um nitreto de silício.

8. Dispositivo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de uma extensão lateral maior de uma das aberturas (16) ser menor do que 200 nm.

9. Dispositivo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de uma extensão lateral maior de uma das aberturas ser menor do que 100 nm.

5 10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de:

a camada emissora de luz (12) ter constante de rede em volume  $a_{\text{volume}}$  correspondendo a uma constante de rede de um material de posicionamento livre de uma mesma composição que a da camada emissora de luz; a camada emissora de luz ter uma constante de rede em plano  $a_{\text{em-plano}}$  correspondendo a uma constante de rede da camada emissora de luz, como desenvolvida na estrutura; e  $(a_{\text{em-plano}} - a_{\text{volume}}) / a_{\text{volume}}$  ser menor do que 1%.

10

11. Dispositivo, caracterizado pelo fato de compreender: uma camada de máscara (24) tendo uma pluralidade de aberturas; uma estrutura de nitreto-III compreendendo: uma pluralidade de colunas (26) de material semicondutor correspondendo às aberturas na camada de máscara, em que pluralidade de colunas são separados por um material isolante (25), e em que pelo menos 90 % de uma seção transversal da pluralidade de colunas em um plano paralelo à uma superfície da camada de máscara, é ocupado por colunas; uma camada emissora de luz disposta entre uma região tipo-n e uma região tipo-p.

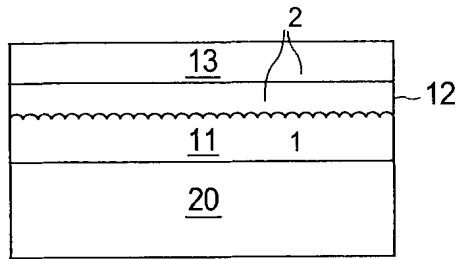
15

20 12. Dispositivo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de cada uma das colunas (26) ter um diâmetro menor do que 150 nm.

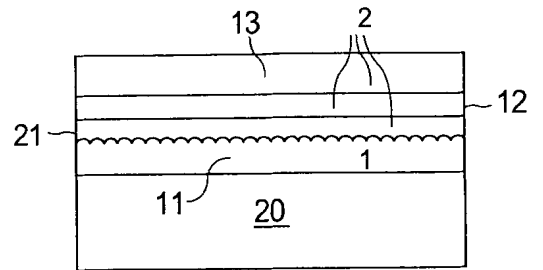
25 13. Dispositivo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato da camada emissora de luz (28) ser disposta dentro de colunas.

14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato das colunas serem poliedros truncados.

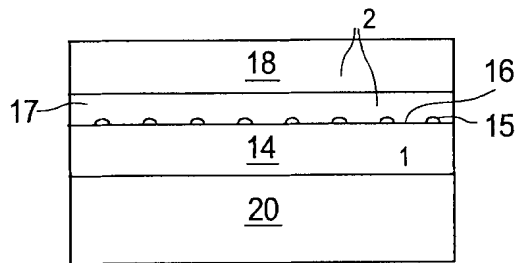
15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato das colunas serem poliedros (82).



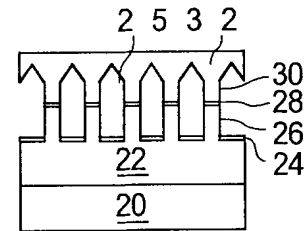
**FIG. 1**



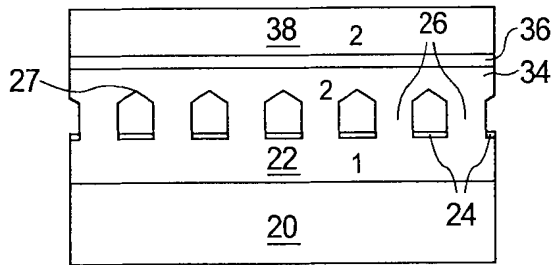
**FIG. 2**



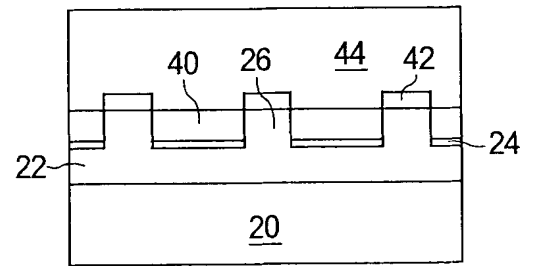
**FIG. 3**



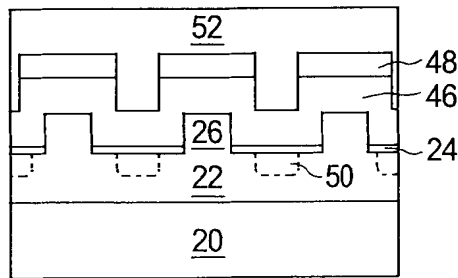
**FIG. 4**



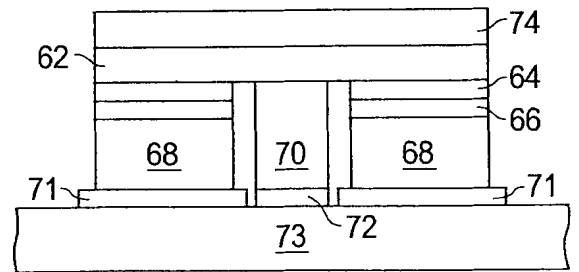
**FIG. 5**



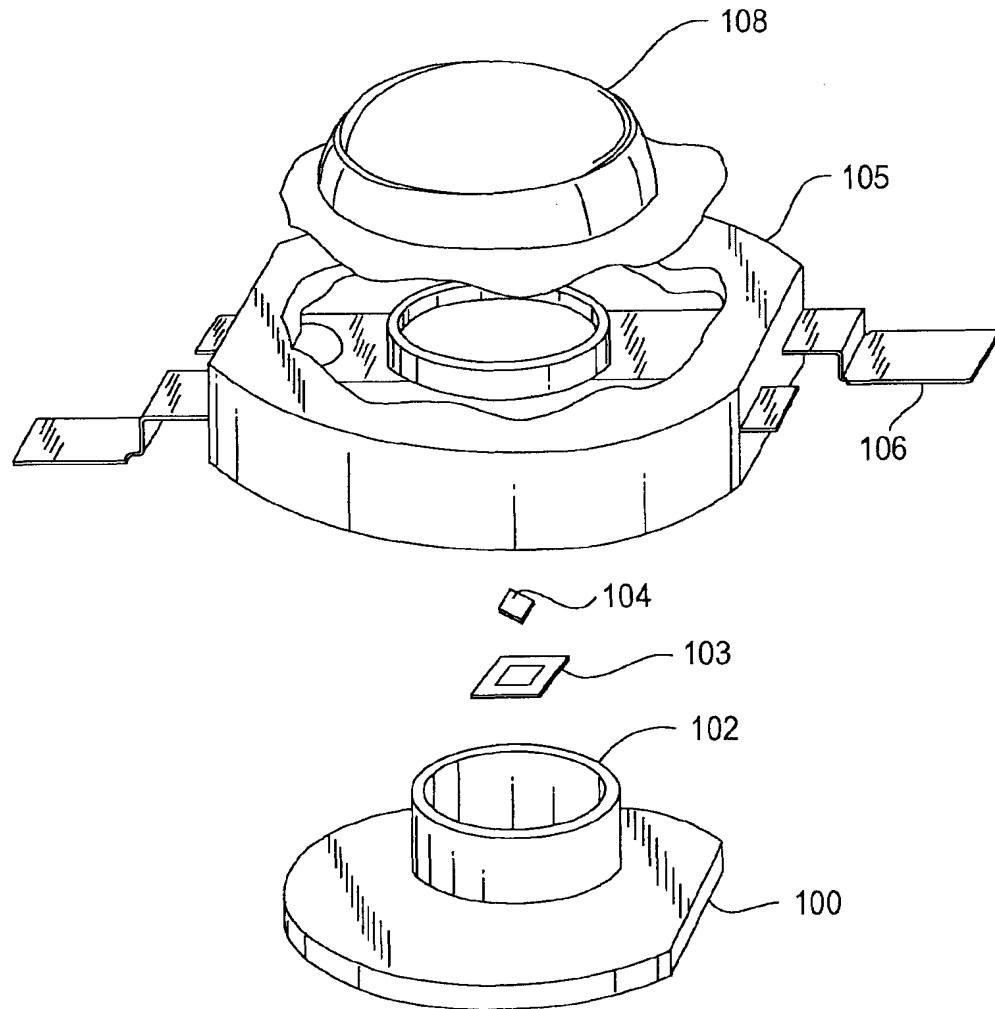
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**

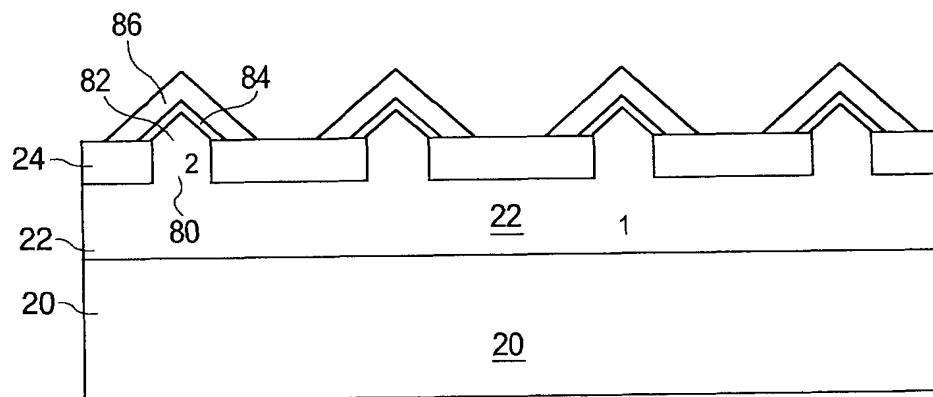


FIG. 10

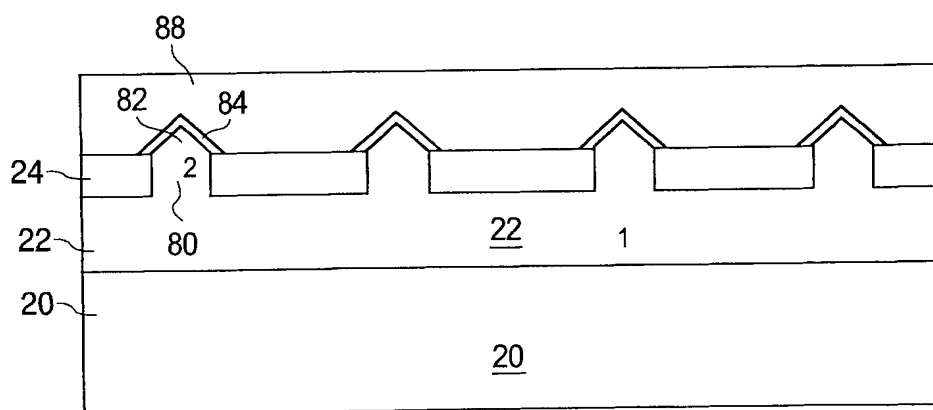


FIG. 11

RESUMO  
“DISPOSITIVO”

De acordo com as formas de realização da invenção, a tensão é reduzida na camada emissora de luz de um dispositivo de nitreto-III, incluindo-se uma camada aliviada de tensão no dispositivo. A superfície em que a camada aliviada de tensão é desenvolvida é configurada de modo que a camada aliviada de tensão possa expandir-se lateralmente e, pelo menos parcialmente, relaxar. Em algumas formas de realização da invenção, a camada aliviada de tensão é desenvolvida sobre uma camada semicondutora texturizada ou uma camada de máscara. Em algumas formas de realização da invenção, a camada aliviada de tensão é um grupo de colunas de material semicondutor.