



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

**(21) PI 0721111-2 A2**



(22) Data de Depósito: 20/12/2007  
(43) Data da Publicação: 05/03/2014  
(RPI 2252)

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

**(54) Título:** DISPOSITIVO EMISSOR DE LUZ  
SEMICONDUTOR

**(57) Resumo:**

**(30) Prioridade Unionista:** 22/12/2006 US 11/615601

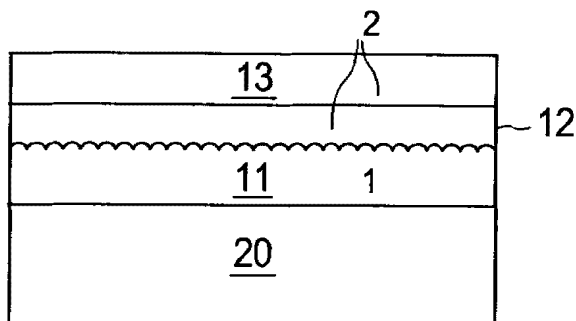
**(73) Titular(es):** KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.,  
PHILIPS LUMILEDS LIGHTING COMPANY, LLC

**(72) Inventor(es):** James C. Kim, Sungsoo Yi

**(74) Procurador(es):** DAVID DO NASCIMENTO  
ADVOGADOS ASSOCIADOS

**(86) Pedido Internacional:** PCT IB2007055262 de 20/12/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2008/078297 de  
03/07/2008



## “DISPOSITIVO EMISSOR DE LUZ SEMICONDUTOR”

A presente invenção refere-se a técnicas de crescimento de estruturas de dispositivos para dispositivos emissores de luz semicondutores.

Os dispositivos emissores de luz semicondutores, incluindo diodos emissores de luz (LEDs), diodos emissores de luz de cavidade ressonante (RCLEDs), diodos laser de cavidade vertical (VCSELs) e lasers emissores de borda, estão entre as fontes de luz mais eficientes atualmente disponíveis. Os sistemas de materiais atualmente de interesse na manufatura de dispositivos emissores de luz de alto brilho, capazes de operação através do espectro visível, incluem semicondutores do Grupo III V, particularmente ligas binárias, ternárias e quaternárias de gálio, alumínio, índio e nitrogênio, também referidas como materiais de nitreto III. Tipicamente, os dispositivos emissores de luz de nitreto III são fabricados desenvolvendo-se epitaxialmente uma pilha de camadas semicondutoras de diferentes composições e concentrações de dopante em um substrato adequado por deposição de vapor química orgânica de metal (MOCVD), epitaxia de feixe molecular (MBE) ou outras técnicas epitaxiais. A pilha com frequência inclui uma ou mais camadas do tipo-n dopadas com, por exemplo, Si, formadas sobre o substrato, uma região emissora de luz ou ativa formada sobre a camada ou camadas tipo-n e uma ou mais camadas tipo-p dopadas com, por exemplo, Mg, formada sobre a região ativa. Os dispositivos de nitreto-III, formados sobre 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.

De acordo com formas de realização da invenção, uma estrutura de nitreto-III inclui uma pluralidade de postes de material semicondutor, correspondendo às aberturas de uma camada de máscara. Cada poste inclui uma camada emissora de luz. Cada camada emissora de luz é

disposta entre uma região tipo-n e uma região tipo-p. Uma primeira camada emissora de luz disposta em um primeiro poste é configurada para emitir luz em um diferente comprimento de onda do da segunda camada emissora de luz disposta em um segundo poste. Em algumas formas de realização, o comprimento de onda emitido por cada camada emissora de luz é controlado controlando-se o diâmetro dos postes, de modo que um dispositivo que emite luz sem conversão de fósforo pode ser formado.

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

15 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 postes de material semicondutor.

20 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 postes de material semicondutor.

25 As Figs. 6 e 7 ilustra partes de dispositivos emissores de luz com camadas emissoras de luz desenvolvidas sobre grupos de postes de material semicondutor e com regiões eletricamente isolantes de material resistivo de material do tipo-n e p.

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

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

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

O desempenho de um dispositivo emissor de luz semicondutor pode ser aferido medindo-se o rendimento quantitativo, que mede o número de fótons gerados no dispositivo por elétron suprido ao dispositivo. Quando a densidade de corrente aplicada em 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 de corrente (por exemplo, a cerca de 10 A/cm<sup>2</sup> para alguns dispositivos). Quando a densidade da corrente aumenta além do pico, o rendimento quantitativo interno inicialmente cai rapidamente, em seguida a diminuição torna-se lenta em densidade de corrente mais elevada (por exemplo, além de 200 A/cm<sup>2</sup> para alguns dispositivos).

Uma técnica para reduzir ou reverter a queda do rendimento quantitativo em elevada densidade de corrente é formar camadas emissores de luz mais espessas. Por exemplo, uma camada emissora de luz, configurada para emitir luz a 450 nm, é preferivelmente mais espessa do que 50 Å. A densidade da portadora de carga em uma camada emissora de luz mais espessa pode ser menor do que a densidade da portadora de carga de um poço quântico, o que pode reduzir o número de portadoras perdidas para recombinação não-radiativa e, desse modo, aumentar o rendimento quantitativo externo. Entretanto, o desenvolvimento das camadas emissoras de luz de nitreto-III espessas é difícil por causa da tensão nas camadas de dispositivo de nitreto-III.

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

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

Quando um dispositivo nitreto-III é convencionalmente desenvolvido sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a primeira camada desenvolvida sobre o substrato é geralmente uma camada tampão GaN, com uma constante de treliça no plano a de cerca de 3,1885 Å. A camada tampão GaN serve como um padrão de constante de treliça para a região emissora de luz, pelo fato de que ela ajusta a constante de treliça para todas as camadas de dispositivo desenvolvidas sobre a camada tampão, incluindo a camada emissora de luz InGaN. Uma vez que a constante de treliça de massa de InGaN é maior do que a constante de treliça em plano do padrão de camada tampão GaN, a camada emissora de luz é tensionada quando desenvolvida sobre uma camada tampão GaN. Por exemplo, uma camada emissora de luz configurada para emitir luz de cerca de 450 nm pode ter uma composição  $\text{In}_{0,16}\text{Ga}_{0,84}\text{N}$ , uma composição com uma constante de treliça de massa de 3,242 Å. Quando a composição InN da camada emissora de luz aumenta, como nos dispositivos emitindo luz em comprimentos de onda mais longos, 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-radioativa, que podem consideravelmente reduzir o rendimento quantitativo do dispositivo. Como resultado, a espessura da  
5 camada emissora de luz deve ser mantida abaixo desta espessura crítica. Quando a composição InN e o comprimento de onda pico aumenta, a tensão na camada emissora de luz aumenta, deste modo a espessura crítica de uma camada emissora de luz diminuindo.

Mesmo se a espessura da camada emissora de luz for mantida  
10 abaixo da espessura crítica, as ligas InGaN são termodinamicamente instáveis em certas composições e temperaturas. Por exemplo, em temperaturas tipicamente usadas para desenvolvimento InGaN, a liga pode exibir decomposição espinodal, onde uma camada InGaN uniforme em termos de composição transforma-se em uma camada com regiões de composição InN  
15 mais elevada do que a média e regiões de composição InN mais baixas do que a média. A decomposição espinodal de uma camada emissora de luz InGaN cria centros de recombinação não radiativa, 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  
20 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 [0001] substrato de safira e configurada para emitir luz a 450 nm, a combinação de uma composição InN de 16% e a espessura preferida maior do que 50 Å excede o limite da  
25 decomposição espinodal.

Portanto, como descrito acima, é desejável aumentar 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 pelo aumento da espessura crítica e para aumentar a espessura em que a camada pode ser desenvolvida sem decomposição espinodal. As formas de realização da invenção são projetadas para reduzir a tensão nas camadas de dispositivo de um dispositivo de nitreto-III, em particular na camada emissora de luz.

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

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

um segundo grupo de formas de realização, a camada aliviada em tensão é cultivada dentro de ou sobre postes de material de nitreto-III, com frequência referido 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 concentrações 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 projetadas para facilitar a liberação posterior do substrato de desenvolvimento ou afinamento da estrutura semicondutora após remoção do substrato e camadas de dispositivo tipo-n projetadas para particulares propriedades ópticas ou elétricas, desejáveis para a região emissora de luz, para eficientemente emitir luz.

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 qualquer uma das formas de realização abaixo pode incluir uma região emissora de luz, com uma ou mais camada emissora de luz espessas ou finas. Exemplos de regiões emissoras de  
20 luz adequadas incluem uma única camada emissora de luz espessa ou fina e uma região emissora de luz de múltiplos poços quânticos, incluindo camadas emissoras de luz de múltiplos poços quânticos finos ou espessos separados por camadas barreira.

25 Em algumas formas de realização, a espessura de cada uma das camadas emissoras de luz do dispositivo é preferivelmente maior 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 dos defeitos na 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 a 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 treliça em plano da 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 composição, espessura e concentração de dopante, incluindo 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 em 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 treliça 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 AlInGaN, é texturizada. Uma camada emissora de luz aliviada em tensão 12, 20 tendo uma constante de treliça em plano  $a_2$ , é então desenvolvida sobre a superfície texturizada. Uma região tipo-p 13, que também tem uma constante de treliça 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 seccional cruzado de picos alternando-se 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 para a base de um vale pode ser menor do que 200 nm, mais preferivelmente menor do que 100 nm. Característicos de apropriados 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 a elevada  
5 pressão. Quando os característicos são apropriadamente dimensionados, o material InGaN da camada emissora de luz 12 preferencialmente desenvolve-se nos picos como um grupo de ilhas. Uma vez que inicialmente as ilhas não cobrem a inteira superfície da região tipo-n texturizada 11, as ilhas podem expandir-se lateralmente, de modo que a camada emissora de luz 12 relaxa  
10 pelo menos parcialmente. A constante de treliça em plano  $a_2$  da camada emissora de luz aliviada em tensão 12 é maior do que a constante de treliça em plano  $a_1$  da região tipo-n 11.

A fig. 2 ilustra uma variação do dispositivo da Fig. 1, onde a camada desenvolvida sobre a superfície texturizada, a fim de prover alívio de  
15 tensão, não é a camada emissora de luz 12, mais exatamente é uma camada tipo-n 21, desenvolvida sobre a região tipo-n 11 antes da camada emissora de luz 12. Como no dispositivo da Fig. 1, uma região tipo-n 11, tendo uma constante de treliça em plano  $a_1$ , é desenvolvida sobre um substrato de desenvolvimento 20. A superfície de topo da região tipo-n 11 é texturizada,  
20 como descrito com 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 nitreto-III da região tipo-n 21 preferencialmente desenvolve-se nos picos da superfície texturizada da região tipo-n 11 como  
25 um grupo de ilhas. As ilhas de material podem expandir-se lateralmente e pelo menos parcialmente relaxar, de modo que a constante de treliça em plano  $a_2$  da região tipo-n 21 é maior do que a constante de treliça em plano  $a_1$  da região tipo-n 11. As camadas desenvolvidas sobre a região aliviada em tensão 21, incluindo a camada emissora de luz 12 e a região tipo-p 13, replicam a

constante de treliça em plano maior  $a_2$  da região aliviada em tensão 21.

A Fig. 3 ilustra uma forma de realização da invenção, em que uma camada aliviada em tensão é desenvolvida sobre uma máscara. No dispositivo da Fig. 3, uma região tipo-n 14, tendo uma constante de treliça  $a_1$ ,  
5 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 é parcialmente coberta com material de nitreto de silício  $\text{SiN}_x$  e parcialmente exposto em pequenas aberturas do nitreto de silício, criando uma máscara. As regiões expostas podem ter uma extensão  
10 lateral de 10 a 200 nm, mais preferivelmente 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 do material de máscara 15, na superfície  
15 exposta da região tipo-n 14. As ilhas do material de camada emissora de luz podem expandir-se lateralmente e pelo menos parcialmente relaxar, de modo que a constante de treliça em plano  $a_2$  da região emissora de luz 17 seja maior do que a constante de treliça em plano  $a_1$  da região tipo-n 14. Uma região tipo-p 18, também tendo uma constante de treliça em plano  $a_2$ , é desenvolvida  
20 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, GaN, InGaN, AlGaN ou AlInGaN, podendo ser desenvolvidas primeiro sobre a máscara, seguido pela região emissora de luz 17.

25 Nas formas de realização ilustradas nas Figs. 1, 2 e 3, onde 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 próxima à 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 postes de material semiconductor. 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  $\text{SiN}_x$  descrita acima, é formada. Nas aberturas entre as ilhas do material de máscara, postes de material semiconductor são desenvolvidos. Em algumas formas de realização, a temperatura de desenvolvimento dos postes do material semiconductor é mantida abaixo de uma temperatura em que o material GaN entre as ilhas do material mascarado começa a decompor-se, 100°C em algumas aplicações. Os postes de material semiconductor podem ser desenvolvidos 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 favoreçam o desenvolvimento lento, a fim de formar postes de material semiconductor, em vez da camada substancialmente plana da Fig. 3. Por exemplo, os postes podem ser desenvolvidos 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, em taxas de desenvolvimento mais rápidas e em diferentes relações de precursor. Os postes 26 de um material tipo-n são desenvolvidos primeiro, seguido pelos postes 28 de material da região emissora de luz, seguido por postes 30 do de material tipo-p.

Após os postes tipo-p 30 serem desenvolvidos, as condições de desenvolvimento são mudadas, por exemplo, introduzindo-se ou aumentando-se o fluxo de um precursor dopante, tal como um precursor dopante-Mg, diminuindo-se o fluxo do precursor de nitrogênio (geralmente  $\text{NH}_3$ ) e aumentando-se a taxa de crescimento, de modo que pirâmides invertidas sejam formadas sobre os postes, pirâmides estas eventualmente coalescendo

para formar uma camada plana 32 sobre os postes e espaços 25 entre os postes.

As dimensões dos postes de material de nitreto-III são selecionadas de modo que os postes possam expandir-se lateralmente, para acomodar a diferença da constante de treliça entre as camadas de diferente composição dentro dos postes. Por exemplo, o diâmetro dos postes 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 dos postes possam, pelo menos parcialmente, relaxar, e bastante grande para que haja um fator de enchimento aceitavelmente elevado do material da camada emissora de luz. Os postes não precisam ter uma diâmetro constante, como ilustrado na Fig. 4. Por exemplo, os postes podem ser pirâmides truncadas. Em algumas formas de realização, o fator de enchimento é de pelo menos 90%, significando que, quando desenvolvidos, os postes ocupam pelo menos 90% da extensão lateral da estrutura semicondutora do dispositivo. O fator de enchimento é determinado por tanto o diâmetro dos postes como pelo espaçamento entre os postes. Se o diâmetro dos postes for reduzido, a densidade numérica dos postes deve aumentar para manter um dado fator de enchimento. Em algumas formas de realização, a densidade numérica dos postes é de pelo menos  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ .

A altura dos postes pode variar de 50 nm a 3  $\mu\text{m}$ . Em um dispositivo com uma única camada emissora de luz, as 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, as alturas entre 200 nm e 1  $\mu\text{m}$ , por exemplo, de 500 nm, são prováveis. A região emissora de luz dentro dos postes podem ser pelo menos parcialmente relaxadas.

Em algumas formas de realização, no dispositivo ilustrado na

Fig. 4, as regiões emissoras de luz de diferentes postes de um único dispositivo podem ser formadas para emitir diferentes comprimentos de onda de luz. Por exemplo, alguns dos postes do dispositivo podem ser configurados para emitir luz avermelhada, alguns dos postes do dispositivo podem ser configurados para emitir luz esverdeada e alguns dos postes do dispositivo podem ser configurados para emitir luz azulada, de modo que a luz vermelha, verde e azul combinadas parecem brancas.

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

Os inventores desenvolveram estruturas com postes incluindo pelo menos uma camada InGaN. As estruturas foram caracterizadas por fotoluminescência, que mostrou que o comprimento de onda de emissão do material InGaN era significativamente mudado para vermelho pelo desenvolvimento plano convencional. Comprimentos de onda de emissão entre 430 nm e 750 nm, representando cores de azul a vermelho, incluindo

verde e amarelo, fora conseguidos.

Em algumas formas de realização, a composição de InN em postes individuais é controlada controlando-se o diâmetro dos postes. Quanto menor o diâmetro de um poste, mais relaxado o material do poste, de maneira que mais InN é incorporado durante o desenvolvimento da região emissora de luz. Por exemplo, em um dispositivo com postes variando de diâmetro de cerca de 10 nm a cerca de 150 nm, os postes com diâmetros na faixa de 10 nm são esperados serem os mais relaxados, tendo região emissora de luz com as mais elevadas composições de InN, e emitem o mais longo comprimento de onda, na maior parte luz vermelha. Os postes com diâmetros na faixa de 150 nm são esperados serem menos relaxados, têm regiões emissoras de luz com mais baixas composições de InN e emitem comprimento de onda mais curto, mais luz azul.

A fim de produzir um dispositivo que emite luz branca, deve haver um número controlado de postes emitindo luz em cada região do espectro visível. Como descrito acima, o comprimento de onda de luz emitida por cada poste pode ser controlado controlando-se o diâmetro do poste. Para assegurar que haja suficientes números de cada poste de um dado diâmetro e correspondente comprimento de onda de emissão, 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 desejados diâmetros. Embora um dispositivo emissor de luz branca seja usado como um exemplo, deve ser entendido que o espectro de emissão do dispositivo pode ser adaptado a outras cores de luz padronizando-se a máscara 24 com aberturas de apropriado tamanho.

Um dispositivo em que diferentes postes emitem diferentes cores de luz, de modo que a luz combinada pareça branca, pode oferecer benefícios em relação a um dispositivo de luz branca convencional, em que um dispositivo emissor de luz semiconductor emitindo azul é combinado com

um ou mais conversores de comprimento de onda, tais como fósforo, de modo que a luz convertida por fósforo combine com a luz azul não convertida escapando através do fósforo para formar luz branca. Um dispositivo com postes emitindo diferentes cores de luz pode reduzir a complexidade de

5 manufatura, uma vez que ele não requer a formação de camadas conversoras de comprimento de onda, após formar o dispositivo; pode oferecer melhorado controle da cromaticidade, temperatura de cor e transmissão de cor, uma vez que o espectro de emissão é potencialmente mais facilmente controlado; pode ser mais eficiente, por exemplo, eliminando ineficiências associadas com

10 materiais conversores de comprimento de onda; pode ser de manufatura menos cara, uma vez que materiais de conversão de comprimento de onda dispendiosos não são mais necessários; e pode oferecer maior flexibilidade de adaptação do espectro de emissão.

No dispositivo da Fig. 5, uma camada emissora de luz

15 reduzida em tensão é desenvolvida sobre uma camada coalescida sobre um grupo de postes semicondutores. Uma região tipo-n 22, tendo uma constante de treliça em plano  $a_1$ , é desenvolvida sobre um substrato 20. Sobre a região tipo-n plana 22, uma camada de máscara 24, tal como a máscara  $\text{SiN}_x$  descrita acima, é formada. Nas aberturas entre ilhas do material de máscara, postes de

20 material tipo-N 26 são desenvolvidos. Os postes são desenvolvidos de modo que o diâmetro seja bastante pequeno, de modo que os postes possam expandir-se lateralmente e, assim, pelo menos parcialmente relaxar, como descrito acima. Quando as condições de desenvolvimento são alteradas, de modo que uma região tipo-n 34 coalesça sobre os postes 26, a região tipo-n 34

25 retém a constante de treliça em plano dos postes pelo menos parcialmente relaxados e, assim, tem uma constante de treliça em plano  $a_2$  que é maior do que a constante de treliça em plano  $a_1$  da região tipo-n 22. Uma região emissora de luz 36 e região tipo-p 38, ambas replicando a constante de treliça em plano  $a_2$ , são desenvolvidas sobre a região tipo-n 34.

Quando a região tipo-n 34 coalesce sobre os postes 26, os defeitos de sutura 27 podem formar-se onde o material desenvolvendo-se sobre dois postes juntam-se. Os defeitos 27 podem ser replicados através da região emissora de luz 36 e 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 projetadas para eliminar os 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 postes tipo-n 26 são desenvolvidos como descrito acima, de modo que os postes 26, pelo menos parcialmente, relaxam. Uma camada de conformação de material resistivo 40 é formada sobre os postes 26. A camada resistiva 40 pode ser, por exemplo, GaN resistivo epitaxialmente desenvolvido, tal como GaN dopado com Z ou Fe, ou um óxido resistivo, tal como um óxido de silício. As camadas resistivas formadas sobre os topos dos postes 26 são então removidas por litografia convencional, de modo que material resistivo 40 permanece somente nos espaços entre os postes 26. As regiões emissoras de luz 42 são então desenvolvidas como postes sobre os topos de postes expostos 26, seguido 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, em seguida uma máscara 24 é formada e postes tipo-n 26 são desenvolvidos como descrito acima, de modo que os postes 26, pelo menos parcialmente, relaxam. Uma camada de conformação de InGaN não dopado 46 é desenvolvida sobre os postes 26, em seguida condições de desenvolvimento são mudadas para condições favorecendo o desenvolvimento do poste, a fim de desenvolver postes da região emissora de luz dopada 48 sobre os topos das regiões de camada de conformação 46 sobre

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

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

Nas 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  $\text{SiN}_x$  descrita acima, é formada. Nas aberturas 80 entre ilhas de material de máscara, poliedros 82 de material semiconductor são desenvolvidos. Como os postos mostrados nas Figs. 4 e 5, uma vez que os poliedros 82 são cultivados nas aberturas 80 entre ilhas de material de máscara, os poliedros 82 são capazes de expandir-se lateralmente e são, portanto, pelo menos parcialmente, relaxados. Os poliedros 82 assim têm uma constante de treliça  $a_2$  maior do que a constante de treliça  $a_1$  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, na área de 100 nm, são prováveis. O diâmetro das aberturas 80 é selecionado para ser bastante pequeno 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 desenvolvido, as bases dos poliedros 82 ocupem

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 treliça expandida  $a_2$  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-n 86 preferencialmente desenvolve-se sobre os poliedros 82. O desenvolvimento é parado antes da região entre poliedros adjacentes, coberta pela máscara 24, ser enchida. Uma camada metálica espessa (não mostrada) pode ser depositada sobre os poliedros, para formar uma superfície plana. A camada de máscara isolante 24 provê isolamento elétrico entre o metal contatando o material tipo-p e a região tipo-n do semicondutor das regiões entre as aberturas 80. No dispositivo ilustrado na Fig. 11, o desenvolvimento da região tipo-p 88 continua até as regiões entre poliedros adjacentes serem enchidas, resultando em uma superfície substancialmente plana.

As camadas emissoras de luz das formas de realização descritas acima podem ter constantes de treliça em plano-a maiores do que as camadas emissoras de luz desenvolvidas em gabaritos GaN convencionais, que tipicamente têm constantes de treliça-em-plano-a não maiores do que 3,1885 Å. O desenvolvimento da camada emissora de luz como ou sobre uma camada aliviada em tensão aumenta a constante de treliça em plano a mais do que 3,189 Å e pode, assim, suficientemente reduzir 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 treliça em plano-a 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 treliça de massa de 3,23 Å. A tensão da camada emissora de luz é a diferença entre a constante de treliça em plano da camada emissora de luz (cerca de 3,189 Å para camada emissora de luz desenvolvida em uma camada tampão de GaN convencional) e a constante de treliça de massa da camada emissora de luz, assim a tensão podendo ser expressa como  $(a_{\text{em-plano}} - a_{\text{massa}}) / a_{\text{massa}}$ . No caso de uma camada  $\text{In}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{N}$ , a tensão é  $(3,23 \text{ Å} - 3,189 \text{ Å}) / 3,23 \text{ Å}$ , cerca de 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 emitindo luz entre 430 e 480 nm, pode ser reduzida a menos do que 1% e, mais preferivelmente, a 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 cerca de 1,7%, quando desenvolvida sobre uma camada tampão de GaN convencional. Em algumas formas de realização da invenção, a tensão da 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, a 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 treliça de posicionamento livre de 3,26 Å, resultando em tensão de cerca de 2,1 % quando desenvolvida em uma camada tampão GaN convencional. Em algumas formas de realização da invenção, a tensão da camada emissora de luz, de um dispositivo emitindo luz entre 520 e 560 nm, pode ser reduzida a menos do que 2% e, mais preferivelmente, a 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 os contatos formados no

mesmo lado do dispositivo. Quando ambos os 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.

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 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 seja mostrada na Fig. 8, deve ser entendido que múltiplas vias podem ser formadas em um único dispositivo. Os 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 contato, os metais 68 e 70 são formados, uma pastilha de dispositivos pode ser cortadas em cubos em dispositivos individuais, em seguida cada dispositivo é arremessado em relação à direção de desenvolvimento e engastado em um engaste 73, em cujo caso o engaste 73 pode ter uma extensão lateral maior do que aquela do dispositivo. Alternativamente, uma pastilha de dispositivos pode ser conectada a uma pastilha de engastes, então transformada em cubos em dispositivos individuais. O engaste 73 pode ser, por exemplo, um semicondutor tal como Si, metal ou cerâmica tal como AlN e pode ter pelo menos uma almofada metálica 71, que eletricamente conecta-se com os contatos-p 68 e pelo menos uma almofada metálica 72, que eletricamente conecta-se aos contatos-n 70. Interconexões (não mostradas), tais como ressaltos de botão de solda ou ouro, conectam o dispositivo semicondutor no engaste 73.

Após engastar, o substrato de desenvolvimento (não mostrado) é removido por um processo adequado ao material de substrato, tal como por fusão por cauterização ou laser. Um sub-enchimento rígido pode ser provido entre o dispositivo e o engaste 73 antes ou após a montagem, para suportar as camadas semicondutoras e evitar rachamento durante a remoção do substrato. Uma parte da estrutura semicondutora pode ser removida afinando-se e removendo-se o 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 esmerilhamento. Tornar áspera a superfície de que a 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 desenvolvido. Uma estrutura 74, tal como uma camada de fósforo ou óptica secundária conhecida na arte, tal como dicróicos ou polarizadores, pode ser aplicada na superfície de emissão.

A Fig. 9 é uma vista explodida de um dispositivo emissor de luz adensado, como descrito mais detalhadamente na Patente US No. 6.274.924. Um lingote dissipador de calor 100 é colocado dentro de uma armação de chumbo moldada por inserção. A armação de chumbo moldada por inserção é, por exemplo, um material plástico enchido 105, moldado em torno de uma armação metálica 106, que provê um trajeto elétrico. 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 fixada direta ou indiretamente, via um subengaste 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 arte apreciarão que, dada a presente descrição, modificações podem ser feitas na invenção sem desvio do espírito da concepção inventiva descrita ali. Portanto,

não se pretende que o escopo da invenção seja limitado a formas de realização específicas ilustradas e descrita.

.

.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo emissor de luz semicondutor caracterizado pelo fato de que compreende: uma camada de máscara 24, tendo uma pluralidade de aberturas; uma estrutura de nitreto-III compreendendo: uma pluralidade de  
5 postes de material semicondutor correspondendo às aberturas da camada de máscara, cada poste compreendendo uma camada emissora de luz 28, em que a pluralidade de postes é separada por um material isolante 25; em que: cada camada emissora de luz é disposta entre uma região tipo-n 26 e uma região tipo-p 30; uma primeira camada emissora de luz, disposta em um primeiro  
10 poste é configurada para emitir luz em um diferente comprimento de onda do que o da segunda camada emissora de luz disposta em um segundo poste; e o primeiro poste tem um diâmetro diferente daquele do segundo poste.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura de nitreto-III compreende ainda uma camada  
15 plana de material semicondutor 32, disposto sobre a pluralidade de postes.

3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que pelo menos 90%, de uma seção transversal da pluralidade de postes em um plano paralelo a uma superfície da camada de máscara, são ocupados por postes.

20 4. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma parte dos postes é configurada para emitir luz azul, uma parte dos postes é configurada para emitir luz verde e uma parte dos postes é configurada para emitir luz vermelha.

5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado  
25 pelo fato de que a primeira camada emissora de luz 28 tem uma composição InN diferente daquela da segunda camada emissora de luz 28.

6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a camada de máscara 24 compreende silício e nitrogênio.

7. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que cada poste tem um diâmetro menor do que 150 nm.

8. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os postes têm uma altura entre 50 nm e 3  $\mu$ m.

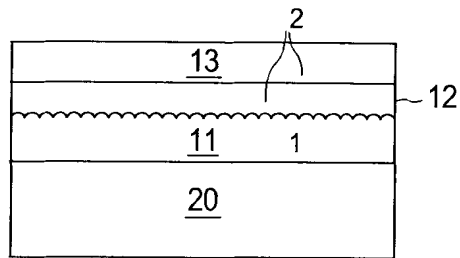
5 9. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material isolante 25 é ar.

10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a camada emissora de luz 28 tem uma espessura maior do que 50 angstroms.

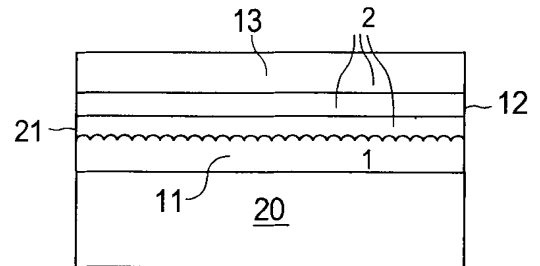
10 11. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a camada emissora de luz 28 é dopada com silício em uma concentração de dopante entre  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  e  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

15 12. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda: contatos 68, 70 eletricamente conectados à região tipo-n e à região tipo-p; e uma cobertura 108 disposta sobre a estrutura semicondutora de nitreto-III.

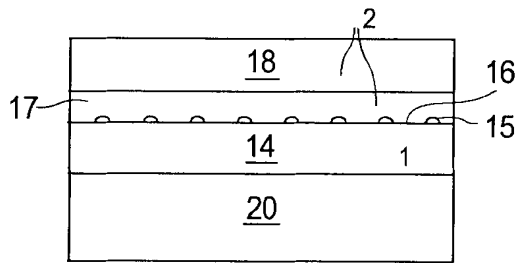
13. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura de cristal na primeira camada emissora de luz é menos tensionada do que uma estrutura de cristal na segunda camada emissora de luz.



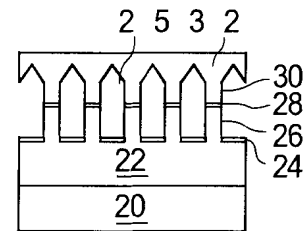
**FIG. 1**



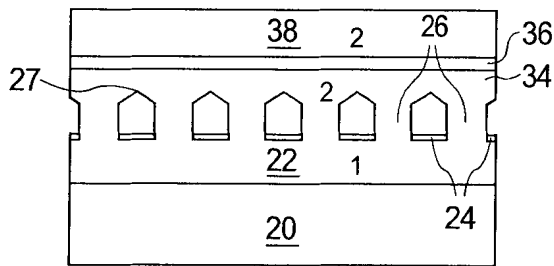
**FIG. 2**



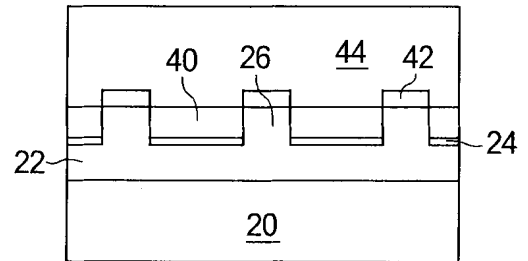
**FIG. 3**



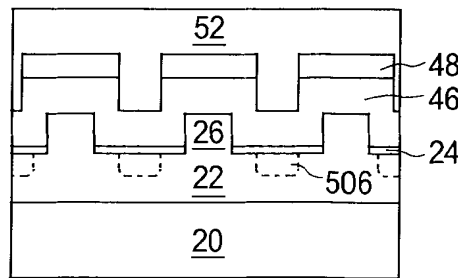
**FIG. 4**



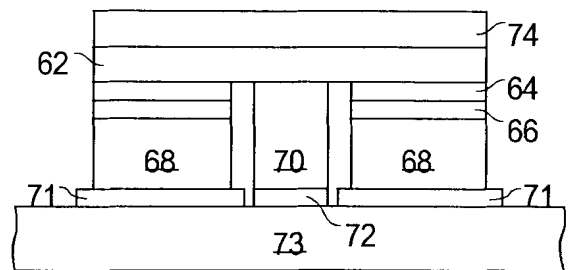
**FIG. 5**



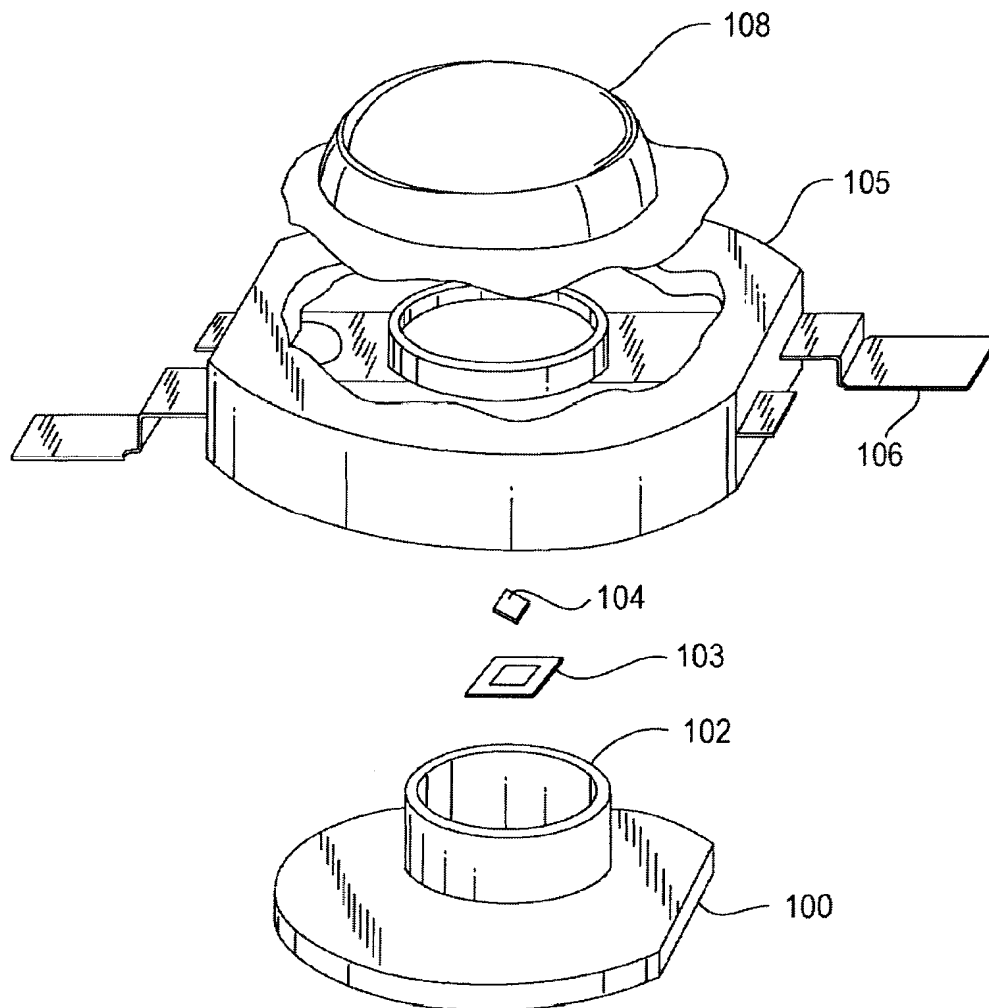
**FIG. 6**



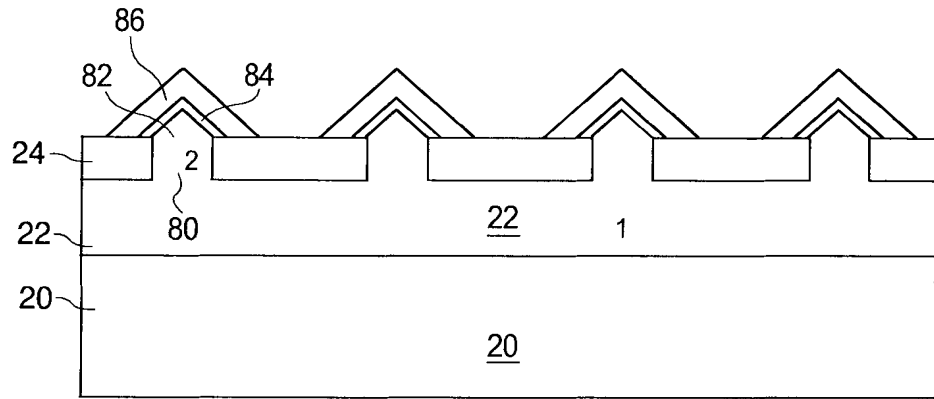
**FIG. 7**



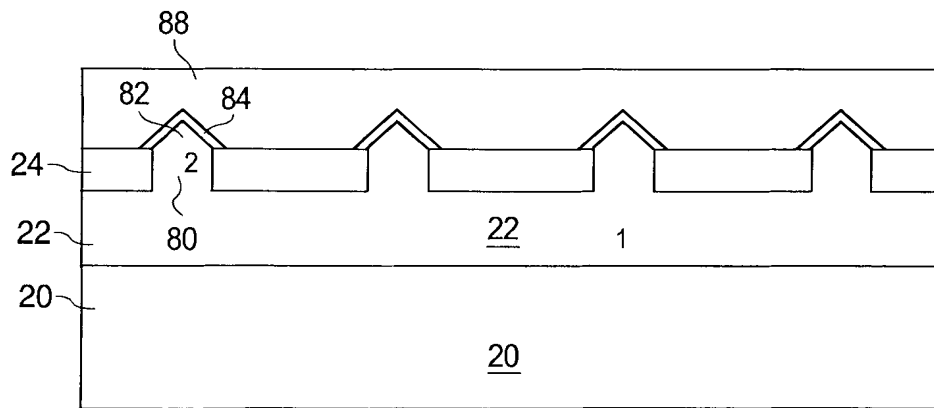
**FIG. 8**



**FIG.9**



**FIG.10**



**FIG.11**

RESUMO

## “DISPOSITIVO EMISSOR DE LUZ SEMICONDUTOR”

De acordo com formas de realização da invenção, uma estrutura de nitreto III inclui uma pluralidade de postes de material  
5 semicondutor, correspondendo às aberturas de uma camada de máscara (24). Cada poste inclui uma camada emissora de luz (28). Cada camada emissora de luz é disposta entre uma região tipo-n (26) e uma região tipo-p (30). Uma primeira camada emissora de luz (28) disposta em um primeiro poste é configurada para emitir luz em um diferente comprimento de onda do que  
10 uma segunda camada emissora de luz (28) disposta em um segundo poste. Em algumas formas de realização, o comprimento de onda emitido por cada camada emissora de luz (28) é controlado controlando-se o diâmetro dos postes, de modo que um dispositivo que emite luz sem conversão de fósforo pode ser formado.