



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0913752-1 B1



(22) Data do Depósito: 21/09/2009

(45) Data de Concessão: 17/09/2019

(54) Título: MÉTODO, DISPOSITIVO, E, ESTRUTURA

(51) Int.Cl.: H01L 33/00; H01L 33/08; H01L 33/62; H01L 27/15; H01L 33/12; (...).

(30) Prioridade Unionista: 24/09/2008 US 12/236,853.

(73) Titular(es): LUMILEDS HOLDING B.V..

(72) Inventor(es): MELVIN B. MCLAURIN; MICHAEL R. KRAMES.

(86) Pedido PCT: PCT IB2009054134 de 21/09/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/035211 de 01/04/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/03/2011

(57) Resumo: DISPOSITIVOS EMISSORES DE LUZ SEMICONDUTORES CRESCIDOS EM SUBSTRATOS COMPOSTOS Uma pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III, cada uma compreendendo uma camada emissora de luz disposta entre uma região do tipo-n e uma região do tipo-p, é crescida em um substrato composto. O substrato composto inclui uma pluralidade de ilhas de material de nitreto-III conectado a um hospedeiro pela camada de ligação. A pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III é c~Kida nas ilhas de nitreto-III. O substrato composto pode ser formado de maneira tal que cada ilha de material de nitreto-III é relaxada pelo menos parcialmente. Como resultado, a camada emissora de luz de cada estrutura semicondutora é dotada de uma constante de rede-a maior do que 3, 19 angstroms .

MÉTODO, DISPOSITIVO, E, ESTRUTURA

ANTECEDENTESDESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

Dispositivos emissores de luz semicondutores incluindo diodos emissores de luz (LEDs), diodos emissores de luz de cavidade ressonante (RCLEDs), diodos a laser de cavidade vertical (VCSELs), e lasers emissores de aresta estão entre as fontes emissoras de luz mais eficientes atualmente disponíveis. Sistemas de materiais atualmente de interesse na fabricação de dispositivos emissores de luz de alto brilho capazes de operação através do espectro da luz visível incluem semicondutores do grupo III-V, particularmente ligas binárias, terciárias e quaternárias de gálio, alumínio, índio, e nitrogênio, também referidas como materiais de nitreto-III. Tipicamente, dispositivos emissores de luz de nitreto-III são fabricados ao crescer epitaxialmente uma pilha de camadas de semicondutores de diferentes composições e concentrações dopantes em um substrato de safira, carbeto de silício, nitreto-III, ou outro substrato adequado por deposição de vapor químico de organometálicos (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 ou mais camadas emissoras de luz em uma região ativa formada sobre a camada ou camadas do tipo-n, e uma ou mais camadas dopadas do tipo-p com, por exemplo, Mg, formadas sobre a região ativa. Contatos elétricos são formados nas regiões do tipo-n e do tipo-p.

Uma vez que os substratos de nitreto-III nativos são em geral antieconômicos e não amplamente disponíveis, dispositivos de nitreto-III são com frequência crescidos em substratos de safira ou SiC. Os referidos substratos de não-nitreto-III são menos do que ótimos pelo fato de que os

mêsmos apresentam diferentes constantes de rede do que as camadas de nitreto-III crescidas nas mesmas, o que ocasiona tensão e defeitos de cristal nas camadas de dispositivo de nitreto-III, o que pode causar pobre desempenho e problemas de confiabilidade.

DESCRIÇÃO RESUMIDA

De acordo com realizações da presente invenção, uma pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III, cada uma das quais compreendendo uma camada emissora de luz disposta entre uma região do tipo-n e uma região do tipo-p, são crescidas em um substrato composto. O substrato composto inclui uma pluralidade de ilhas de material de nitreto-III conectadas a um hospedeiro por uma camada de ligação. A pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III é crescida nas ilhas de nitreto-III. O substrato composto pode ser formado de maneira tal que cada ilha de material de nitreto-III é pelo menos parcialmente relaxada. Como resultado, a camada emissora de luz de cada estrutura semicondutora é dotada de uma constante de rede-a maior do que 3,19 angstroms, que pode reduzir tensão no dispositivo.

Estruturas semicondutoras individuais de nitreto-III podem ser conectadas eletricamente conectadas por um material condutor, por exemplo, formado nas estruturas semicondutoras em si ou em um suporte na qual as estruturas semicondutoras de nitreto-III são conectadas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 ilustra uma estrutura semicondutora de nitreto-III crescida em um substrato composto.

A figura 2 é uma vista em seção transversal de uma porção de um dispositivo de nitreto-III incluindo estruturas semicondutoras de nitreto-III crescidas nas ilhas de material de camada semente em um substrato composto.

A figura 3 é uma vista plana de uma superfície

superior de uma porção de um dispositivo ilustrado em seção transversal na figura 2.

A figura 4 é uma vista plana de uma superfície superior de um suporte na qual a estrutura ilustrada na figura 3 pode ser montada.

A figura 5 é uma vista em seção transversal de uma porção de um dispositivo de nitreto-III incluindo estruturas semicondutoras de nitreto-III crescidas em ilhas de material de camada semente em um substrato composto, incluindo conexões elétricas entre ilhas adjacentes.

A figura 6 ilustra formação de um metal espesso sobre os contatos-p formados em um dispositivo incluindo estruturas semicondutoras de nitreto-III crescidas em ilhas de material de camada semente em um substrato composto.

A figura 7 ilustra a estrutura da figura 6 após tornar plana a camada de metal espessa, ligando a estrutura a um suporte, e removendo o substrato composto.

A figura 8 ilustra a estrutura da figura 7 após texturizar a superfície exposta por remoção do substrato composto e formar contatos-n.

DESCRIÇÃO DETALHADA

De acordo com realizações da presente invenção, um dispositivo emissor de luz de nitreto-III inclui um grupo de estruturas de nitreto-III separadas por sulcos. As estruturas podem ser conectadas eletricamente para formar um dispositivo de alto desempenho. Os referidos dispositivos podem ser crescidos em substratos compostos, onde sulcos são formados entre as ilhas de material de camada semente, cujos sulcos podem incrementar o alívio de tensão proporcionado pelo substrato.

Substratos compostos são descritos em mais detalhes na Publicação de pedido de patente norte-americana n°. 2007/0072324, intitulada "Substrate for Growing III-V Light

Emitting Device" e se encontra aqui incorporada a título de referência. Um exemplo de um substrato composto é ilustrado na figura 1. O substrato 10 inclui um substrato hospedeiro 12, uma camada semente 16, e a camada de ligação 14 que liga a camada hospedeira 12 à camada semente 16. Cada uma das camadas em substrato 10 é formada a partir de materiais que podem resistir às condições de processamento necessárias para crescer as camadas semicondutoras no dispositivo. Por exemplo, no caso de um dispositivo de nitreto-III crescido por MOCVD, cada uma das camadas no substrato 10 deve ser capaz de tolerar um ambiente de H_2 em temperaturas acima de $1000^{\circ}C$; no caso de um dispositivo de nitreto-III crescido por MBE, cada uma das camadas em substrato 10 deve ser capaz de tolerar temperaturas acima de $600^{\circ}C$ em vácuo.

O substrato hospedeiro 12 proporciona suporte mecânico ao substrato 10 e à camada de dispositivo semicondutor 18 crescida sobre o substrato 10. O substrato hospedeiro 12 é em geral entre 3 e 500 microns de espessura e é com frequência mais espesso do que 100 microns. Em realizações onde o substrato hospedeiro 12 permanece parte do dispositivo, o substrato hospedeiro 12 pode ser pelo menos parcialmente transparente se a luz for extraída a partir do dispositivo através do substrato hospedeiro 12. O substrato hospedeiro 12 em geral não precisa ser um único material de cristal uma vez que as camadas de dispositivo 18 não são crescidas diretamente no substrato hospedeiro 12. Em algumas realizações, o material do substrato hospedeiro 12 é selecionado para ser dotado de um coeficiente de expansão térmica (CTE) que corresponde ao CTE das camadas de dispositivo 18 e ao CTE de camada semente 16. Qualquer material capaz de resistir às condições de processamento das camadas epitaxiais 18 pode ser adequado em realizações da presente invenção, incluindo semicondutores, cerâmicas, e

metais.

A camada semente 16 é a camada na qual as camadas de dispositivo 18 são crescidas, assim a mesma deve ser um material no qual cristais de nitreto-III pode nuclear. A
 5 camada semente 16 pode ser entre cerca de 50 Å e 1 µm de espessura. Uma a camada semente de nitreto-III pode ser, por exemplo, entre 50 e 200 nm de espessura, e é com frequência entre 75 e 125 nm de espessura. Em algumas realizações a
 10 camada semente 16 é dotada de CTE correspondida ao material de camadas de dispositivo 18. A camada semente 16 é em geral de um único material de cristal que tem uma correspondência de rede razoavelmente próxima às camadas de dispositivo 18. Com frequência a orientação cristalográfica da superfície superior da camada semente 16 na qual as camadas de
 15 dispositivo 18 são crescidas é a wurtzita [0001] eixo-c. Em realizações onde a camada semente 16 permanece como parte do dispositivo acabado, a camada semente 16 pode ser transparente ou delgada se a luz é extraída a partir do dispositivo através da camada semente 16.

20 Uma ou mais camadas de ligação 14 ligam o substrato hospedeiro 12 a camada semente 16. A camada de ligação 14 pode estar entre cerca de 100 Å e 1 µm de espessura. Exemplos adequados de camadas de ligação incluem vidro tal como vidro de boro-fósforo-silicato (BPSG), SiO_x tal como SiO₂, SiN_x tal
 25 como Si₃N₄, HfO₂, misturas dos mesmos, metais tais como Mo, Ti, TiN, outras ligas, e outros semicondutores ou dielétricos. Uma vez que a camada de ligação 14 conecta o substrato hospedeiro 12 a camada semente 16, o material formando a camada de ligação 14 é selecionado para
 30 proporcionar boa aderência entre a camada hospedeira 12 e a camada semente 16. Em algumas realizações, a camada de ligação 14 é uma camada de liberação formada de um material que pode ser gravado por uma gravação que não ataca as

camadas de dispositivo 18, deste modo liberando as camadas de dispositivo 18 e a camada semente 16 a partir do substrato hospedeiro 12. Por exemplo, a camada de ligação 14 pode ser SiO_2 que pode ser gravada em solução aquosa por HF sem causar dano às camadas de nitreto-III do dispositivo 18. Em realizações onde a camada de ligação 14 permanece parte do dispositivo acabado, a camada de ligação 14 é preferivelmente transparente ou muito delgada. Em algumas realizações, a camada de ligação 14 pode ser omitida, e a camada semente 16 pode ser aderida diretamente ao substrato hospedeiro 12.

Camadas de dispositivo 18 são camadas convencionais de nitreto-III de dispositivo crescidos por técnicas de crescimento conhecidas na técnica. A composição da camada adjacente para a camada semente 16 pode ser escolhida por sua constante de rede ou outras propriedades, e/ou por sua habilidade de nuclear no material de camada semente 16.

As camadas epitaxiais 18 crescidas sobre a camada semente 16 são com frequência tensionadas em virtude da divergência de rede entre as camadas epitaxiais 18 e a camada semente 16, assim para limitar a tensão, a composição de camada semente pode ser escolhida para ser com rede razoavelmente em correspondência com as camadas epitaxiais 18. Adicionalmente, a composição de camada semente 16 e o substrato hospedeiro 12 podem ser selecionados para serem dotados de CTEs que são próximas ao CTE das camadas epitaxiais 18. Em algumas realizações, o substrato hospedeiro e os materiais de camada semente são selecionados de maneira tal que o CTE da camada hospedeira é pelo menos 90% do CTE de pelo menos uma das camadas do dispositivo, tal como a camada emissora de luz. A composição do substrato hospedeiro 12 é em geral selecionada para ser dotada de um CTE maior do que aquele das camadas epitaxiais 18, de maneira tal que as camadas epitaxiais 18 estão sob tensão compressiva, em vez do

que de tensão de ruptura.

Em algumas realizações, os materiais para a camada semente 16 e a primeira camada epitaxial 18 crescidos sobre a camada semente são selecionados de maneira tal que a
5 diferença entre a constante de rede de camada semente 16 e a constante de rede da primeira camada epitaxial crescida na camada semente é menos do que 1%. Limitando a diferença entre as constantes de rede da camada semente e a primeira camada crescida pode reduzir a quantidade de tensão no dispositivo,
10 potencialmente reduzindo o número de deslocamentos formados nas camadas epitaxiais 18 do dispositivo. Em alguns dispositivos, a constante de rede em camadas epitaxiais 18 tal como a primeira camada crescida pode ser maior do que a constante de rede em camada semente 16 de maneira tal que as
15 camadas epitaxiais estão sob tensão compressiva, não tensão de ruptura.

Em algumas realizações, alívio de tensão adicional em camadas epitaxiais 18 pode ser proporcionado ao formar a camada semente como tiras ou uma grade sobre a camada de
20 ligação 14, em vez de uma única camada ininterrupta. Alternativamente, a camada semente pode ser formada como uma única camada ininterrupta, e então removida em lugares, por exemplo, ao formar sulcos, para proporcionar alívio de tensão. Uma única camada ininterrupta semente 16 pode ser
25 fixada ao substrato hospedeiro 12 através da camada de ligação 14, então padronizada por técnicas de litografia convencionais para remover porções da camada semente para formar tiras. As bordas de cada uma das tiras de camadas semente podem proporcionar alívio de tensão adicional ao
30 concentrar deslocamentos dentro de camadas epitaxiais 18 nas bordas das tiras de camada semente. A composição de camada semente 16, a camada de ligação 14, e a camada de nucleação podem ser selecionadas de maneira tal que o material da

camada de nucleação gera um núcleo preferencialmente na camada semente 16, não nas porções de camada de ligação 14 expostas pelos espaços entre as porções de camada semente 16.

Em algumas realizações, tal como aquelas incluindo
5 materiais de camada semente de nitreto-III, a camada semente é crescida tensionada em um substrato de crescimento. Quando a camada semente 16 é conectada a um substrato hospedeiro 12 e liberada a partir do substrato de crescimento, se a conexão entre a camada semente 16 e o substrato hospedeiro 16 é
10 complacente, por exemplo, a camada de ligação complacente 14, a camada semente 16 pode pelo menos parcialmente relaxar. Assim, embora a camada semente seja crescida como uma camada tensionada, a composição pode ser selecionada de maneira tal que a constante de rede da camada semente, após a camada
15 semente ser liberada a partir do substrato de crescimento e relaxar, é razoavelmente próxima ou correspondente à constante de rede das camadas epitaxiais 18 crescidas sobre a camada semente.

Por exemplo, quando um dispositivo de nitreto-III é
20 convencionalmente crescido em Al_2O_3 , a primeira camada crescida no substrato é em geral uma camada tampão de GaN com uma constante de rede de cerca de 3,19 angstroms. A camada tampão de GaN ajusta a constante de rede para todas as camadas do dispositivo crescidas sobre a camada tampão,
25 incluindo a camada emissora de luz que é com frequência InGaN. Uma vez relaxada, InGaN livre é dotado de uma maior constante de rede-a do que GaN, a camada emissora de luz é tensionada quando crescida sobre a camada tampão de GaN. De modo diferente, em realizações da presente invenção, uma
30 camada semente de InGaN pode ser crescida tensionada em um substrato convencional, então ligada a um hospedeiro e liberada a partir do substrato de crescimento de maneira tal que a camada semente de InGaN relaxa pelo menos parcialmente.

Após relaxamento, a camada semente de InGaN é dotada de uma constante de rede-a maior do que GaN. Como tal, a constante de rede-a da camada semente de InGaN está a uma correspondência mais próxima do que GaN para a constante de rede-a da camada livre relaxada da mesma composição que a camada emissora de luz de InGaN. As camadas do dispositivo crescidas sobre a camada semente de InGaN, incluindo a camada emissora de luz de InGaN, irá replicar a constante de rede-a da camada semente de InGaN, que é pelo menos parcialmente relaxada e portanto é dotada de uma constante de rede-a maior do que 3,19 angstroms. Deste modo, uma camada emissora de luz de InGaN com uma constante de rede-a de camada semente de InGaN relaxada é menos tensionada do que uma camada emissora de luz de InGaN com uma constante de rede-a de camada tampão de GaN. Reduzindo a tensão na camada emissora de luz se pode incrementar o desempenho do dispositivo.

Quando o material de camada semente é um material de nitreto-III crescido tensionado em um substrato de crescimento, a parte do substrato composto, com frequência a camada de ligação 14, deve agir como uma camada complacente que acomoda relaxamento elástico da camada semente de nitreto-III. A camada complacente pode ou ser uma camada sólida com uma rigidez suficientemente baixa que pode acomodar o relaxamento da camada semente de nitreto-III por meio de sua própria deformação elástica, ou um material viscoso que pode acomodar o relaxamento na camada semente de nitreto-III por meio de cisalhamento. Em algumas realizações, a camada de ligação 14 é BPSG, um tipo de vidro que se funde a uma temperatura abaixo de 700 °C, e que dotado de uma viscosidade que varia grandemente com a temperatura. Uma camada semente de InGaN 16, crescida tensionada em um substrato de crescimento, é ligada a um substrato hospedeiro revestido com BPSG a uma baixa temperatura, onde o BPSG é

sólido. O substrato de safira de crescimento de camada semente de InGaN 16 é removido, por exemplo, por fusão a laser. O substrato composto é então recozido a uma temperatura na qual oBPSG se liquefaz, deste modo permitindo
5 que a camada semente de InGaN relaxe.

A camada semente de InGaN se expande lateralmente, mas também pode liberar a tensão ao encurvar o plano do substrato. Uma vez que o encurvamento ocorre em todos os lugares na camada semente de InGaN de uma vez e o relaxamento
10 lateral deve se propagar para dentro a partir da borda de um filme de relaxamento, as camadas semente com dimensões laterais maiores do que o comprimento de onda do encurvamento tendem encurvar em todos os lugares exceto nas bordas.

Os materiais de camada semente de nitreto-III podem
15 ~~necessitar de etapas de ligação=~~adicionais de modo a formar um substrato composto com a camada semente de nitreto-III em uma orientação desejada. As camadas de nitreto-III crescidas em substratos de crescimento de safira ou SiC são tipicamente crescidas como wurtzita de plano-c. As referidas estruturas
20 de wurtzita de nitreto-III são dotadas de uma face de gálio e uma face de nitrogênio. Materiais de nitreto-III crescidos por MOCVD comerciais convencionais preferivelmente se crescem de maneira tal que a superfície superior da camada crescida é a face de gálio, enquanto a superfície inferior (a superfície
25 adjacente ao substrato de crescimento) é a face de nitrogênio. Simplesmente crescer material de camada semente convencionalmente em safira ou SiC e então conectar o material de camada semente a um hospedeiro e remover o substrato de crescimento resultaria em um substrato composto
30 com uma camada semente de nitreto-III com a face de nitrogênio exposta. Como descrito acima, nitreto-III preferivelmente se cresce na face de gálio, isto é com a face de gálio como a superfície superior. O crescimento

convencional na face de nitrogênio pode introduzir de modo indesejável defeitos no cristal, ou resultar em um material de qualidade pobre na medida em que a orientação do cristal alterna a partir de uma orientação com a face de nitrogênio como a superfície superior para uma orientação com a face de gálio como a superfície superior. Estruturas de nitreto-III com face de nitrogênio podem ser crescidas por MBE ou MOCVD com condições de crescimento modificadas, que podem ser dispendiosas e podem complicar a fabricação de um dispositivo.

Para formar um substrato composto com uma camada semente de nitreto-III com a face de gálio como a superfície superior, o material de camada semente pode ser crescido convencionalmente em um substrato de crescimento, ligado a qualquer primeiro substrato hospedeiro adequado, e então separado a partir do substrato de crescimento, de maneira tal que o material de camada semente é ligado ao primeiro substrato hospedeiro através da face de gálio, deixando a face de nitrogênio exposta por remoção do substrato de crescimento. A face de nitrogênio do material de camada semente é então ligada ao segundo substrato hospedeiro 10, o substrato hospedeiro do substrato composto de acordo com as realizações da presente invenção. Após ligar ao segundo substrato hospedeiro, o primeiro substrato hospedeiro é removido por uma técnica apropriada ao substrato de crescimento. No substrato composto final, a face de nitrogênio do material de camada semente 16 é ligada ao substrato hospedeiro 12 (o segundo substrato hospedeiro) através da camada de ligação opcional 14, de maneira tal que a face de gálio da camada semente de nitreto-III 16 é exposta para crescimento das camadas epitaxiais.

Por exemplo, a camada tampão de GaN é convencionalmente crescida em um substrato de safira, seguido

por uma camada de InGaN que irá formar a camada semente de um substrato composto. Após o crescimento, a camada de InGaN pode ser padronizada para formar sulcos, tal como descrito acima. A camada de InGaN padronizada é ligada ao primeiro

5 substrato hospedeiro com uma camada BPSG de ligação. O substrato de safira de crescimento é removido por fusão a laser da camada tampão de GaN adjacente à safira, então o restante da camada tampão de GaN exposta ao remover a safira é removida por gravação, resultando em uma camada de InGaN

10 ligada ao primeiro substrato hospedeiro. A estrutura pode ser aquecida de maneira tal que a viscosidade da camada de SPSG é reduzida e a camada de InGaN relaxa pelo menos parcialmente. A camada de InGaN pode ser implantada com um material tal como hidrogênio, deutério, ou hélio a uma profundidade

15 correspondendo à espessura desejada da camada semente no substrato composto final. A camada de InGaN pode opcionalmente ser processada para formar uma superfície suficientemente plana para a ligação. A camada de InGaN é então ligada com ou sem a camada de ligação (por exemplo, com

20 a camada de ligação de SiO_2) para o segundo substrato hospedeiro (por exemplo, Al_2O_3), que irá formar a camada hospedeira no substrato composto final. O primeiro substrato hospedeiro, a camada de InGaN, e o segundo substrato hospedeiro são então aquecidos, o que delamina a porção de

25 camada semente delgada da camada de InGaN a partir do resto da camada de InGaN e o primeiro substrato hospedeiro na profundidade implantada, resultando em um substrato composto acabado como descrito acima com ilhas de camada de material semente InGaN ligada a um substrato hospedeiro. A superfície

30 de InGaN resultando a partir da delaminação pode ser opcionalmente processada para formar uma superfície adequado para crescimento epitaxial. Em algumas realizações, a camada de InGaN pode ser crescida para a espessura desejada, ou pode

ser gravada para a espessura desejada, eliminando a necessidade para as etapas de implantação.

Como uma alternativa à ligação do material de camada semente duas vezes, a um primeiro substrato hospedeiro e então a um segundo substrato hospedeiro de modo a duas vezes alternar a orientação do cristal do material de camada semente, o material de camada semente pode ser crescido em um substrato de crescimento com a face de nitrogênio para cima. Quando a face de nitrogênio do material de camada semente é conectada a um substrato hospedeiro tal como descrito acima, a face de gálio da camada semente é exposta para crescimento de camadas epitaxiais. Filmes de face de nitrogênio podem ser crescidas, por exemplo, por epitaxia de fase de vapor ou MOCVD, tal como descrito em mais detalhes em "Morphological and structure characteristics of homoepitaxial GaN grown by metalorganic chemical vapour deposition (MOCVD)," Journal of Crystal Growth 204 (1999) 419-428 e "Playing with Polarity", Phys. Stat. Sol. (b) 228, No. 2, 505-512 (2001), ambos os quais estão aqui incorporados a título de referência.

Em algumas realizações, o material de camada semente é crescido como um material de plano-m ou de plano-a, em vez do material de plano-c tal como descrito acima. Materiais de plano-m e de plano-r de nitreto-III são de orientações não polares, isto é, os mesmos não são dotados de uma face de gálio e de uma face de nitrogênio. Deste modo, orientações de camada semente não-polares não precisam ser ligadas duas vezes, tal como descrito acima. A camada semente não-polar pode ser ligada duas vezes, entretanto, se o material complacente usado para facilitar o relaxamento não for compatível com o crescimento do dispositivo, ou para evitar o processamento da superfície resultando a partir da remoção do substrato de crescimento para tornar a superfície

adequada para crescimento epitaxial.

A figura 2 ilustra uma porção de um dispositivo de acordo com realizações da presente invenção. No dispositivo ilustrado na figura 2, um substrato composto inclui ilhas de material de camada semente (não mostradas) conectadas a um substrato hospedeiro 12 por camada de complacência/ligação 14. As ilhas 30 de uma estrutura de dispositivo de nitreto-III 18 são crescidas sobre as ilhas de material de camada semente sob condições de crescimento que favorecem o crescimento vertical em vez do lateral, de maneira tal que sulcos 34 são mantidos entre as ilhas 30 de material de nitreto-III. Camadas de dispositivo 18 incluem uma região do tipo-n 20, uma região emissora de luz 22, e uma região do tipo-p 24. Camadas de dispositivo 18 podem ser dotadas de uma espessura total entre um e cinco microns.

Em um dispositivo emitindo luz azul, a camada semente pode ser, por exemplo, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,03 e 0,07. A região do tipo-n 20 pode incluir uma camada $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre 0,03 e 0,07, crescida sobre a camada semente. A região emissora de luz 22 pode incluir uma única camada emissora de luz ou uma região emissora de luz com múltiplos poços quânticos com múltiplas camadas emissoras de luz de poços quânticos delgadas e camadas de barreira dispostas entre poços quânticos adjacentes. As camadas emissoras de luz da região emissora de luz 22 podem ser $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,16 e 0,18. A região do tipo-p 24 pode incluir uma ou mais camadas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre 0,03 e 0,07.

Em um dispositivo emitindo luz ciano, a camada semente pode ser, por exemplo, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,08 e 0,13. A região do tipo-n 20 pode incluir uma camada $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre

0,08 e 0,13, crescida sobre a camada semente. A região emissora de luz 22 pode incluir uma única camada emissora de luz ou uma região emissora de luz com múltiplos poços quânticos com múltiplas camadas emissoras de luz de poços quânticos delgadas e camadas de barreira dispostas entre poços quânticos adjacentes. As camadas emissoras de luz de região emissora de luz 22 podem ser $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,19 e 0,22. A região do tipo-p 24 pode incluir uma ou mais camadas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre 0,08 e 0,13.

Em um dispositivo emitindo luz verde, a camada semente pode ser, por exemplo, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,1 e 0,16. A região do tipo-n 20 pode incluir uma camada $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre 0,1 e 0,16, crescida sobre a camada semente. A região emissora de luz 22 pode incluir uma única camada emissora de luz ou a região emissora de luz com múltiplos poços quânticos com múltiplas camadas emissoras de luz de poços quânticos delgadas e camadas de barreira dispostas entre poços quânticos adjacentes. As camadas emissoras de luz de região emissora de luz 22 pode ser $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ onde x fica compreendido entre 0,23 e 0,25. A região do tipo-p 24 pode incluir uma ou mais camadas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, onde x fica compreendido entre 0,1 e 0,16.

O tamanho apropriado para as ilhas 30 é ditado por diversos fatores. Primeiramente, em algumas realizações, a camada semente de InGaN pode ser padronizada em ilhas que são menores do que o comprimento de onda do encurvamento (descritos acima), que pode ser, por exemplo, da ordem de poucos microns. Em segundo lugar, o tempo e as condições de processamento podem favorecer ilhas menores. Por exemplo, ilhas maiores necessitam de mais tempo para relaxar lateralmente para liberar os encurvamentos que podem ter se

formado no centrô da ilha. Adicionalmente, a temperatura de recozimento necessária para alcançar o achatamento aceitável dos encurvamentos pode causar a degradação do material de camada semente com o tempo. Ilhas menores necessitam de menos tempo de recozimento, o que limita a quantidade de degradação. Em terceiro lugar, com os encurvamentos crescidos em tamanho, a aderência entre a camada complacente e o material de camada semente pode começar a falhar. Limitar o tamanho das ilhas permite a expansão lateral da ilha para alcançar o centro da ilha para reduzir o tamanho do encurvamento antes que os encurvamentos se cresçam suficientemente grandes para separar a partir da camada complacente. Quarto, grandes encurvamentos podem ser difíceis de achatar a partir do relaxamento lateral. Como descrito acima, limitar o tamanho das ilhas pode reduzir o tamanho dos encurvamentos no material de camada semente.

Cada ilha pode ser arbitrariamente grande ou pequena, mas ilhas tipicamente ficam compreendidas entre décimos de microns e poucos milímetros de comprimento. Em algumas realizações, as ilhas ficam compreendidas entre 50 e 500 microns de comprimento; em algumas realizações, as ilhas ficam compreendidas entre 100 e 300 microns de comprimento. Por exemplo, cada ilha pode ser dotada de uma área entre 100 microns por 100 microns e 300 microns por 300 microns. Embora ilhas quadradas sejam ilustradas na figura 3, as ilhas podem ser de qualquer formato. Para formar um dispositivo com uma área da ordem de 1 mm de região ativa, 100 ilhas cada uma com uma área de 100 microns por 100 microns podem ser formadas. Deste modo, embora os exemplos abaixo ilustrem apenas poucas ilhas, deve ser entendido que um único dispositivo pode ser dotado de muitas ilhas, por exemplo, entre 10 e 200 ilhas. Os sulcos que separam ilhas vizinhas podem ser arbitrariamente grande e tão pequenos

quanto permitir a técnica usada para formar as ilhas. Em algumas realizações, os sulcos ficam compreendidos entre 5 e 50 microns de largura; em algumas realizações, os sulcos ficam compreendidos entre 20 e 30 microns de largura.

5 No dispositivo ilustrado na figura 2, em cada ilha 30, uma porção de região do tipo-p 24 e um região emissora de luz 22 são gravadas para revelar uma porção de região do tipo-n 20. Um contato-p 26 é formado na porção restante de região do tipo-p 24. Um contato-n 28 é formado na porção
10 exposta de região do tipo-n 20. Na estrutura ilustrada na figura 2, a área onde o contato-n 28 contata a região do tipo-n 20 é estreita, por exemplo, entre um e cinco microns de largura, e contato-n 28 se estende sobre o topo da região do tipo-p 24. Um material dielétrico 25, tal como um óxido de
15 silício ou um nitreto de silício pode proporcionar isolamento elétrico entre o tipo-p e as regiões emissoras de luz da estrutura semicondutora e contato-n 28.

A figura 3 é uma vista plana de uma superfície superior de uma estrutura incluindo nove ilhas 30 tais como
20 as ilhas ilustradas em seção transversal na figura 2. A área de contato-p 26 pode ser maior do que a área de contato-n 28, uma vez que a corrente se espalha mais prontamente em material de nitreto-III do tipo-n do que em material de nitreto-III do tipo-p. Um anel de contato-n 36, não mostrado
25 na figura 2, pode ser formado em torno da borda de cada ilha.

A figura 4 é uma vista plana de uma superfície superior de um suporte na qual a estrutura da figura 3 pode ser montada de maneira tal que a superfície ilustrada na
figura 3 conecta a superfície ilustrada na figura 4.
30 Contatos-n 28 nas ilhas ilustradas na figura 3 são conectados a blocos de contato-n 42 no suporte ilustrada na figura 4. Contatos-p 26 são conectados a blocos de contato-p 44. Conexões elétricas 46 entre ilhas adjacentes são formadas no

suporte 40, em vez de na estrutura semicondutora ilustrada na figura 3. Corrente é fornecida a estrutura pelos blocos de contato 48 e 49. Na estrutura ilustrada na figura 4, as ilhas 30 da figura 3 são conectadas em série. Outros arranjos elétricos entre as ilhas são possíveis e estão dentro do âmbito da presente invenção. Após o suporte da estrutura da figura 3 no suporte da figura 4, o substrato composto pode ser opcionalmente removido por uma técnica apropriada ao substrato, tal como por gravação ou trituração.

A estrutura ilustrada nas figuras 2-4 pode ser fabricada e montada de maneira tal que a luz é extraída a partir do dispositivo através do substrato composto (mostrado na figura 2 como camada de ligação 14 e o substrato hospedeiro 12), ou através de uma superfície de região do tipo-n 20 se o substrato composto for removido. Nos referidos dispositivos, contatos-p e -n 26 e 28 podem ser refletivos. Em algumas realizações, a estrutura ilustrada nas figuras 2-4 pode ser montada de maneira tal que a luz é extraída a partir do dispositivo através do suporte 40. Nos referidos dispositivos, contatos-p e -n 26 e 28 podem ser transparentes. Adicionalmente, o suporte 40, os blocos de contato-n e -p 42 e 44, e as conexões elétricas 46 podem ser transparentes, ou formadas para absorver o mínimo de luz possível. Por exemplo, se o suporte 40 pode ser mantida delgada. Os blocos de absorção de contato-n e -p 42 e 44 e as conexões elétricas 46 podem ser produzidas o menor possível, para reduzir a quantidade de luz absorvida. Em um exemplo do referido dispositivo, o suporte 40 é uma cerâmica incluindo um material de conversão de comprimento de onda tal como um fósforo, descrito em mais detalhes na patente norte-americana n°. 7.361.938, que se encontra aqui incorporada a título de referência. Blocos de contato-n e -p 42 e 44 e as conexões elétricas 46 podem ser um óxido transparente, condutor tal

como óxido de índio estanho.

A figura 5 ilustra um dispositivo onde as interconexões entre as ilhas são formadas na estrutura semicondutora, em vez de em um suporte como mostrado na figura 4. No dispositivo ilustrado na figura 5, de mesmo modo que no dispositivo ilustrado na figura 2, em cada ilha, uma porção de região do tipo-p 24 e a região emissora de luz 22 são retiradas por gravação para revelar uma porção de região do tipo-n 20 na qual o contato-n 28 é formado. Interconexão formada nas estruturas semicondutoras de nitreto-III conecta eletricamente em ilhas individuais 30. Especificamente, uma interconexão condutora 27, em geral de metal, conecta o contato-n 28 ao contato-p 26 da ilha adjacente 30. Isolamento elétrico é proporcionado, onde apropriado, por camadas dielétricas 25, que podem ser, por exemplo, nitretos de silício ou óxidos de silício. As duas ilhas ilustradas na figura 5 são conectadas em série. Outros arranjos elétricos entre as ilhas são possíveis e estão dentro do âmbito da presente invenção. A interconexão entre as ilhas pode ser formada por processos de litogravura de nível de pastilha convencional.

A formação da interconexão na estrutura de nitreto-III, tal como ilustrado na figura 5, complica o processo litográfico, uma vez que uma configuração de máscara litográfica separada é necessária para cada permutação de interconexão, mas simplifica e padroniza a configuração do suporte na qual a estrutura é montada. De modo diferente, formando a interconexão no suporte, tal como ilustrado nas figuras 2-4, se simplifica e padroniza o processo litográfico necessário para formar a estrutura de nitreto-III ilustrada na figura 2, mas complica a configuração e processos litográficos necessários para formar o suporte ilustrada na figura 4.

As figuras 6, 7, e 8 ilustram a fabricação de uma estrutura que não requer gravação a mesa para expor a região do tipo-n, de acordo com realizações da presente invenção. Na figura 6, a região do tipo-n 20, a região emissora de luz 22, e a região do tipo-p 24 são crescidas em ilhas 30 sobre um substrato composto, tal como descrito acima. Um dielétrico 52 é formado o qual eletricamente isola as ilhas adjacentes 30. Aberturas no dielétrico 52 permitem que os contatos-p 26 sejam formados em uma porção de região do tipo-p 24 em cada ilha. Uma camada de metal de espessura ôhmica 54 é então formada sobre contatos-p 26 por meio de qualquer processo adequado tal como galvanização.

Na figura 7, a camada de metal espessa 54 é tornada plana, por exemplo, por polimento eletroquímico ou mecânico, para formar uma superfície plana que é então conectada a um suporte 56. O suporte 56 é em geral eletricamente e termicamente condutora. Por exemplo, o suporte 56 pode ser uma bolacha de metal, uma bolacha semicondutora com contatos de metal ôhmico na parte superior e inferior, ou, tal como ilustrado na figura 7, uma bolacha eletricamente isolante 57, tal como AlN sinterizado, com vias preenchidas de metal 58 conectando contatos de metal ôhmico na parte superior e inferior. A estrutura de nitreto-III pode ser conectada a um suporte 56 por qualquer técnica adequada incluindo, por exemplo, solda ou ligação termosônica. O substrato composto 10, mostrado na figura 6, é então removido por qualquer técnica adequada incluindo, por exemplo, trituração mecânica, gravação química, laser, ou gravação de uma camada epitaxial de sacrifício. Ao se remover o substrato composto 10, a região do tipo-n 20 é exposta.

Na figura 8, a superfície de região do tipo-n 20 é tornada plana, por exemplo, por polimento mecânico ou por gravação em solução aquosa ou seca. A superfície tornada

plana de região do tipo-n 20 pode ser opcionalmente tornada áspera ou padronizada, por exemplo, por gravação ou por enrugamento mecânico ou eletroquímico, para incrementar a extração de luz a partir do dispositivo. Contatos-n 60 são
5 formados sobre os sulcos entre as ilhas, onde não há região emissora de luz, de maneira tal que os contatos-n 60 não absorvem uma quantidade significativa de luz emitida. Os contatos-n 60 conecta eletricamente à região do tipo-n 20 nas bordas 61. Por exemplo, as bordas 61 podem estar entre um e
10 cinco microns de largura. Um filme opcional opticamente transparente mas eletricamente condutor (não mostrado na figura 8) pode ser formado sobre as porções expostas de região do tipo-n 20, para incrementar a disseminação da corrente na região do tipo-n 20 a partir de contato-n 60. Os
15 exemplos de materiais adequados incluem óxidos condutores transparentes tais como óxido de índio estanho ou óxido de estanho e semicondutores de amplo gap de banda tais como óxido de zinco ou nítreto de índio alumínio.

Em algumas realizações, um material de conversão de
20 comprimento de onda tal como uma cerâmica ou pó de fósforo, e/ou óticos secundários conhecidos na técnica tais como um filtro dicróico, são formados sobre a região do tipo-n 20. Por exemplo, um fósforo cerâmico 70, tal como descrito acima, pode ser posicionado acima da região do tipo-n 20, no trajeto
25 da luz extraída a partir do dispositivo. Um material condutor transparente 72 tal como, por exemplo, um óxido condutor transparente tal como óxido de índio estanho, pode ser formado no fósforo cerâmico em contato com qualquer ou todas as regiões do tipo-n 20 e contatos-n 60 e 62, para
30 incrementar a disseminação da corrente na região do tipo-n 20 entre contatos-n 60 e 62. Em algumas realizações, um ou mais sulcos amplos 33 são formados no substrato composto. Os contatos-n 62 formados sobre os referidos sulcos amplos podem

servir como um bloco de ligação. O bloco de ligação de espaçamento 62 periodicamente, em vez de dotado de cada contato-n 60 atua como um bloco de ligação, pode simplificar a formação e a colocação de uma camada de conversão de comprimento de onda ou de óticos secundários tais como, por exemplo, uma bolacha cerâmica de fósforo sinterizado.

Em algumas realizações, o metal espesso 54 da figura 6 é afilado de maneira tal que os espaços 55 entre as ilhas 30 são mantidos. Em vez de um único contato elétrico contínuo 54 entre regiões do tipo-p 24 e o suporte 56 como ilustrado nas figuras 7 e 8, ilhas individuais podem ser conectadas eletricamente a um suporte através de blocos de ligação eletricamente isolados. Em algumas realizações, as conexões entre as regiões do tipo-p 24 e o suporte 56 não são condutoras. Nas referidas realizações, as vias podem ser gravadas através da estrutura semicondutora para fazer contato elétrico com a região do tipo-p embutida.

Um material de conversão de comprimento de onda tal como um fósforo pode ser disposto no bloco de luz extraída a partir de qualquer uma das realizações e dos exemplos descritos acima. Por exemplo, um único fósforo que emite luz amarela, ou múltiplos fósforos que emitem luz vermelha e verde ou amarela, podem ser combinados com um dispositivo que emite luz azul. A luz combinada a partir do dispositivo e do(s) fósforo(s) aparece como branca. Outras estruturas tais como polarizadores ou filtros podem ser dispostas no trajeto da luz extraída a partir de qualquer uma das realizações e dos exemplos descritos acima, em adição a ou em lugar do material de conversão de comprimento de onda(s) descrito acima.

Dispositivos incluindo muitas ilhas de material de nitreto-III podem apresentar vantagens em relação aos dispositivos monolíticos da mesma área. Dispositivos de

acordo com realizações da presente invenção são dotados de uma área agregada arbitrária. A densidade da corrente, corrente de direcionamento, e tensão direta pode ser pelo menos parcialmente desacoplada. Por exemplo, ilhas

5 individuais em um dispositivo podem ser conectadas em uma combinação de conexões em série e paralela, que podem permitir que o dispositivo seja direcionado em uma tensão mais elevada e menor corrente total, na mesma densidade de corrente que um dispositivo monolítico. Finalmente, as ilhas

10 podem ser conectadas em série, de maneira tal que a corrente de direcionamento é reduzida e a tensão direta aumentada em um fator de N , onde N é o número total de ilhas, em comparação com um dispositivo monolítico da mesma área. Uma vez que reguladores de corrente de maior tensão/menor

15 corrente - são - tipicamente - mais econômicos - do - que - os reguladores de corrente de maior corrente/menor tensão, o custo total do sistema de um dispositivo com ilhas pode ser menos do que um dispositivo monolítico de área equivalente.

Tendo sido descrita a presente invenção em

20 detalhes, os técnicos no assunto observarão que, com a presente descrição, modificações podem ser feitas na presente invenção sem se desviar do caráter do conceito inventivo aqui descrito. Elementos a partir de diferentes exemplos e realizações podem ser combinados. Por exemplo, em algumas

25 realizações, algumas interconexões entre as ilhas são formadas na estrutura semicondutora, e algumas interconexões são formadas no suporte. Portanto, não é pretendido que o âmbito da presente invenção seja limitado às realizações específicas ilustradas e descritas.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO, caracterizado por compreender:

o crescimento de uma pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) em um substrato 1(2, 14),
5 em que:

cada estrutura semicondutora compreende uma camada emissora de luz (22) disposta entre uma região do tipo-n (20) e uma região do tipo-p (24);

o substrato compreende um hospedeiro (12), uma
10 pluralidade de ilhas de material de nitreto-III separadas por sulcos (34), e uma camada de ligação (14) disposta entre a camada hospedeira e a pluralidade de ilhas de material de nitreto-III; e

a camada emissora de luz de cada estrutura
15 semicondutora é dotada de uma constante de rede-a maior do que 3,19 angstroms; e

a formação de um material condutor (46, 27, 54, 58) que conecta eletricamente duas das estruturas semicondutoras de nitreto-III.

20 2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela formação de um material condutor (46, 27, 54, 58) compreender a formação de uma camada de metal (27, 54) em pelo menos uma porção das duas estruturas conectadas semicondutoras de nitreto-III (30).

25 3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pela camada de metal (54, 58) conectar eletricamente as regiões do tipo-p (24) das duas estruturas semicondutoras de nitreto-III (30).

30 4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pela camada de metal (27) conectar eletricamente a região do tipo-p (24) de uma das duas estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) à região do tipo-n (20) da outra das duas estruturas semicondutoras de

nitreto-III (30).

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela formação de um material condutor (46, 27, 54, 58) compreender a formação de uma camada de metal (46, 58) em um suporte (40, 56) e a conexão da pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) ao suporte de maneira tal que a camada de metal eletricamente conecte duas estruturas semicondutoras de nitreto-III.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por compreender adicionalmente a remoção do hospedeiro (12) depois de conectar a pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) ao suporte (40, 56).

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada estrutura semicondutora de nitreto-III (30) ser dotada de um comprimento menor do que 500 microns.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada sulco (34) ser dotado de uma largura entre 5 e 50 microns.

9. DISPOSITIVO, compreendendo:

uma pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) conectadas a um suporte (40, 56), em que:

cada estrutura semicondutora compreende uma camada emissora de luz (22) disposta entre uma região do tipo-n (20) e uma região do tipo-p (24);

estruturas semicondutoras adjacentes são separadas por sulcos (34); e

um material condutor (46, 27, 54, 58) disposto entre duas das estruturas semicondutoras, em que o material condutor conecta eletricamente duas das estruturas semicondutoras de nitreto-III;

e caracterizado por cada sulco (34) ser dotado de uma largura entre 5 e 50 microns;

e a camada emissora de luz de cada estrutura semicondutora é dotada de uma constante de rede-a maior do que 3,19 angstroms.

10. ESTRUTURA, conforme definida na reivindicação 5 9, caracterizada pelo material condutor (46, 27, 54, 58) compreender uma camada de metal (27, 54) disposta em pelo menos uma porção das duas estruturas conectadas semicondutoras de nitreto-III (30).

11. ESTRUTURA, de acordo com a reivindicação 10, 10 caracterizada pela camada de metal (54, 58) conectar eletricamente as regiões do tipo-p (24) das duas estruturas semicondutoras de nitreto-III (30).

12. ESTRUTURA, de acordo com a reivindicação 10, 15 caracterizada pela camada de metal (27) conectar eletricamente a região do tipo-p (24) de uma das duas estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) à região do tipo-n (20) da outra das duas estruturas semicondutoras de nitreto-III (30).

13. ESTRUTURA, conforme definida na reivindicação 20 9, caracterizada pelo material condutor (46, 27, 54, 58) compreender uma camada de metal (46, 58) disposta no suporte (40), em que a camada de metal conecta a pluralidade de estruturas semicondutoras de nitreto-III (30) ao suporte de maneira tal que a camada de metal conecta eletricamente duas 25 estruturas semicondutoras de nitreto-III.

14. ESTRUTURA, conforme definida na reivindicação 9, caracterizada por cada estrutura semicondutora de nitreto-III (30) ser dotada de um comprimento menor do que 500 microns.

15. ESTRUTURA, conforme definida na reivindicação 30 9, caracterizada por compreender adicionalmente um material de cerâmica (70) adaptado para absorver a primeira luz emitida pela camada emissora de luz (22) e emite uma segunda

luz dotada de um pico de comprimento de onda diferente do que aquele da primeira luz, em que o material de cerâmica é disposto em um lado da pluralidade de estruturas semicondutoras (30) oposto ao suporte (56).

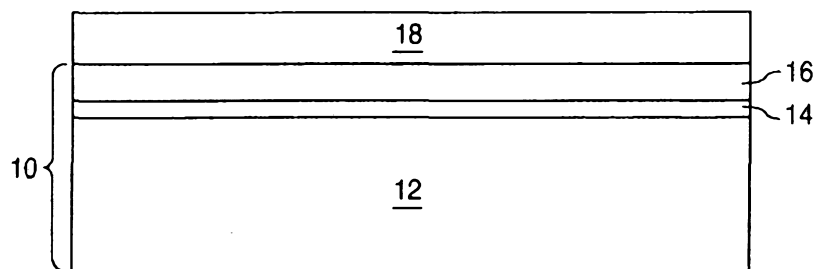


FIG. 1

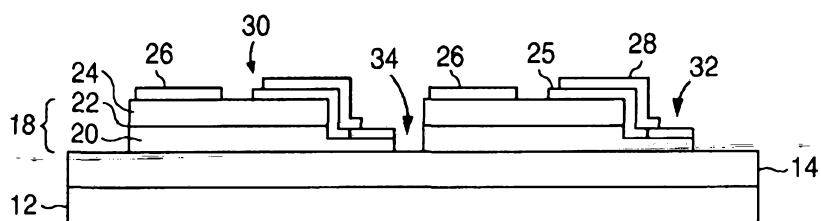


FIG. 2

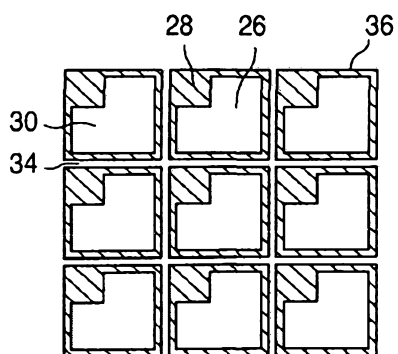


FIG. 3

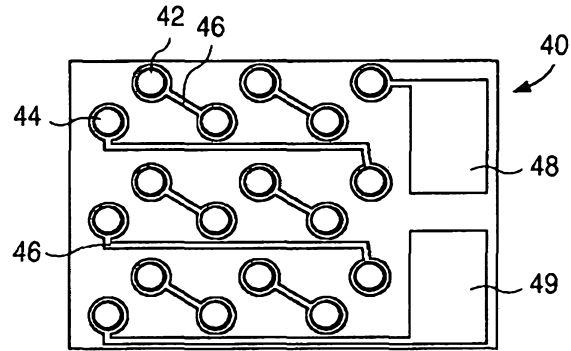


FIG. 4

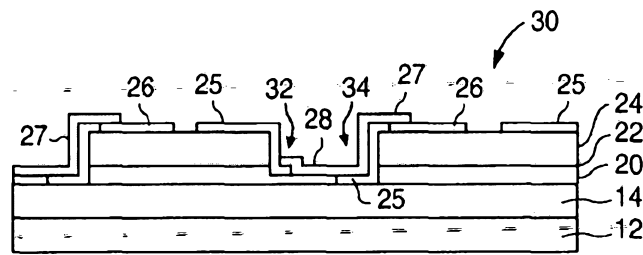


FIG. 5

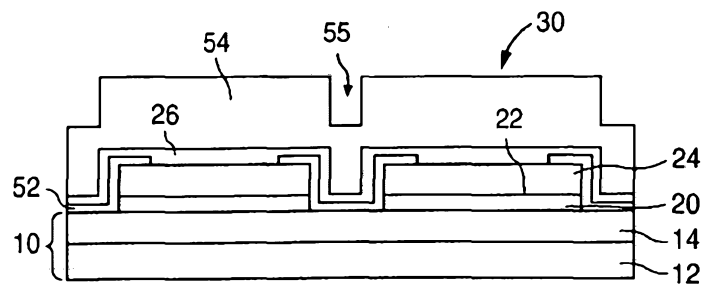


FIG. 6

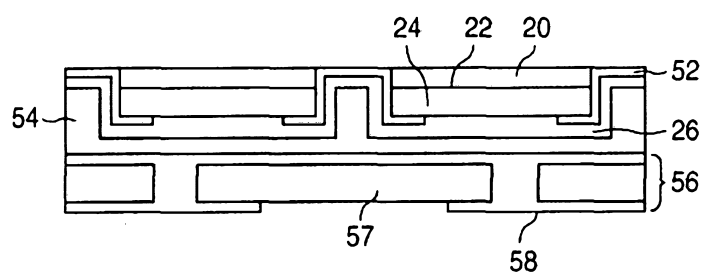


FIG. 7

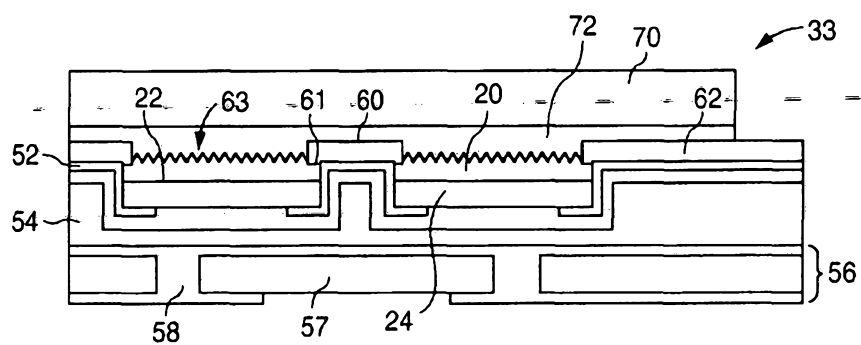


FIG. 8