(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5420419号
(P5420419)

(45)発行日　平成26年2月19日(2014.2.19)　(24)登録日　平成25年11月29日(2013.11.29)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 33/32 (2010.01)　　H01L 33/00 １８６
H01L 33/12 (2010.01)　　H01L 33/00 １４０

請求項の数 10　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2009-542380 (P2009-542380)
(86)(22)出願日　平成19年12月20日 (2007.12.20)
(65)公表番号　特表2010-514191 (P2010-514191A)
(43)公表日　平成22年4月30日 (2010.4.30)
(86)国際出願番号　PCT/IB2007/055263
(87)国際公開番号　WO2008/078298
(87)国際公開日　平成20年7月3日 (2008.7.3)
審査請求日　平成22年12月17日 (2010.12.17)
(31)優先権主張番号　11/615,479
(32)優先日　平成18年12月22日 (2006.12.22)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　500507009
フィリップス　ルミレッズ　ライティング　カンパニー　リミテッド　ライアビリティ　カンパニー
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９５１３１　サン　ホセ　ウェスト　トリンブル　ロード　３７０
(73)特許権者　590000248
コーニンクレッカ　フィリップス　エヌ　ヴェ
オランダ国　５６５６　アーエー　アインドーフェン　ハイテック　キャンパス　５
(74)代理人　110001690
特許業務法人M&Ｓパートナーズ

最終頁に続く

(54)【発明の名称】歪みが低減された発光層を備えるＩＩＩ－窒化物発光デバイス

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ｎ型領域とｐ型領域との間に配置された発光層と前記発光層の１０００オングストローム以内に配置されたテクスチャ面とを備えたＩＩＩ－窒化物半導体構造体を含み、
前記テクスチャ面が前記半導体構造体内に配置された絶縁体材料の層の面を含み、複数の開口部が前記絶縁体材料中に配置されることを特徴とするデバイス。
【請求項２】
前記発光層が前記テクスチャ面に隣接することを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項３】
前記テクスチャ面がｎ型領域の上面に配置されることを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項４】
前記絶縁体材料が少なくとも１つのシリコン窒化物を含むことを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項５】
前記開口部のうちの１つの最大横方向範囲が２００ｎｍ未満であることを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項６】
前記開口部のうちの１つの最大横方向範囲が１００ｎｍ未満であることを特徴とする請

求項１に記載のデバイス。
【請求項７】
前記発光層が、前記発光層と同じ組成の自立した材料の格子定数に対応するバルク格子定数$a_{バルク}$を有し、前記発光層が、前記構造体中で成長したときの前記発光層の格子定数に対応する面内格子定数$a_{面内}$を有し、（$a_{面内}$－$a_{バルク}$）／$a_{バルク}$が１％未満であることを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項８】
前記発光層が５０オングストロームを上回る厚さを有することを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項９】
前記発光層が、シリコンで$1\times10^{18}cm^{-3}$～$1\times10^{20}cm^{-3}$のドーパント濃度までドープされていることを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【請求項１０】
前記ｎ型領域及び前記ｐ型領域に電気的に接続したコンタクトと、前記ＩＩＩ－窒化物半導体構造体の上に配置されたカバーとをさらに含むことを特徴とする請求項１に記載のデバイス。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、半導体発光デバイスのための成長技術及びデバイス構造体に関する。
【背景技術】
【０００２】
発光ダイオード（ＬＥＤ）、共振空洞発光ダイオード（ＲＣＬＥＤ）、垂直共振器レーザ・ダイオード（ＶＣＳＥＬ）、及び端面発光型レーザを含む半導体発光デバイスは、現在利用可能な光源の中でもとりわけ効率的である。可視スペクトルにわたって作動可能な高輝度発光デバイスの製造において現在注目されている材料系は、ＩＩＩ－Ｖ族半導体、特に、ＩＩＩ－窒化物材料とも呼ばれる、ガリウム、アルミニウム、インジウム、及び窒素の２成分系、３成分系、及び４成分系の合金を含む。典型的には、ＩＩＩ－窒化物発光デバイスは、異なる組成及びドーパント濃度の半導体層のスタックを金属・有機化学気相成長（ＭＯＣＶＤ）、分子線エピタキシ（ＭＢＥ）、又はその他のエピタキシャル技術によって適切な基板上にエピタキシャル成長させることによって製造される。スタックはしばしば、基板の上に形成された、例えばＳｉでドープされた１つ又はそれ以上のｎ型層と、ｎ型層（単層又は複層）の上に形成された発光又は活性領域と、活性領域の上に形成された、例えばＭｇでドープされた１つ又はそれ以上のｐ型層とを含む。導電性基板上に形成されたＩＩＩ－窒化物デバイスは、デバイスの対向する側に形成されたｐ－コンタクト及びｎ－コンタクトを有することができる。しばしば、ＩＩＩ－窒化物は、両方のコンタクトをデバイスの同じ側に設けて絶縁体基板上に作製される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】米国特許第６，２７４，９２４号明細書
【発明の概要】
【０００４】
本発明の実施形態において、ＩＩＩ－窒化物発光デバイスは、デバイス内の、特に発光層内の歪みを減らすように設計された歪み軽減層を含む。発光デバイス内の歪みを減らすことで、デバイスの性能を向上させることができる。歪み軽減層をその上に成長させる面は、歪み軽減層をその面の一部の上にのみ成長させて、歪み軽減層が横方向に拡がり少なくとも部分的に緩和するような空間を提供するように構成される。本発明の幾つかの実施形態において、歪み軽減層は、テクスチャ構造を有する（ｔｅｘｔｕｒｅｄ）半導体層又はマスク層の上で成長する。本発明の幾つかの実施形態において、歪み軽減層は半導体材

料の柱状部の群である。
【図面の簡単な説明】
【０００５】
【図１】テクスチャ層上で成長させた歪み緩和発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図２】テクスチャ層上で成長させた歪み緩和層の上で成長させた発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図３】マスク上で成長させた発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図４】半導体材料の柱状部の群の中で成長させた発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図５】半導体材料の柱状部の群の上に成長させた結合層の上に成長させた発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図６】半導体材料の柱状部の群の上に成長させた発光層と、ｎ型及びｐ型材料の領域を電気的に隔離する抵抗性材料とを有する、発光デバイスの部分を示す。
【図７】半導体材料の柱状部の群の上に成長させた発光層と、ｎ型及びｐ型材料の領域を電気的に隔離する抵抗性材料とを有する、発光デバイスの部分を示す。
【図８】成長基板が除去された、フリップチップ発光デバイスの部分を示す。
【図９】パッケージングされた発光デバイスの組立分解図を示す。
【図１０】マスク内の開口部の上に成長させた多角形の上に成長させた共形発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【図１１】マスク内の開口部の上に成長させた多角形の上に成長させた共形発光層を有する発光デバイスの部分を示す。
【発明を実施するための形態】
【０００６】
半導体発光デバイスの性能は、デバイスに供給される１電子当たりのデバイス内で発生する光子の数を測る内部量子効率を測定することによって評価される。従来のＩＩＩ－窒化物発光デバイスに対して印加される電流密度が増大するにつれ、デバイスの内部量子効率は最初に増大し、その後、減少する。電流密度が増大してゼロを越えると、内部量子効率は増大して、所与の電流密度（例えば、あるデバイスでは約１０Ａ／ｃｍ^2）でピークに達する。電流密度がピークを越えて増大すると、内部量子効率は最初に急速に降下し、次にもっと高い電流密度において（例えば、あるデバイスでは２００Ａ／ｃｍ^{2}を越えると）緩やかに減少する。
【０００７】
高電流密度における量子効率の降下を減少又は反転させるための１つの技術は、より厚い発光層を形成することである。例えば、４５０ｎｍで発光するように構成された発光層は、５０Åよりも厚いことが好ましい。より厚い発光層内の電荷担体密度は量子井戸内の電荷担体密度よりも低くなることができるので、これにより、非発光再結合（ｎｏｎｒａｄｉａｔｉｖｅ　ｒｅｃｏｍｂｉｎａｔｉｏｎ）で失われる担体の数を減らすことができ、それにより外部量子効率を高めることができる。しかしながら、厚いＩＩＩ－窒化物発光層の成長は、ＩＩＩ－窒化物デバイス層内の歪みのせいで困難である。
【０００８】
天然の（ｎａｔｉｖｅ）ＩＩＩ－窒化物成長基板は一般に高価であり、広く入手可能ではなく、商用のデバイスの成長のためには実際的ではないので、ＩＩＩ－窒化物デバイスはしばしばサファイア又はＳｉＣ基板の上で成長させる。このような非天然の基板は、基板上で成長させたＩＩＩ－窒化物デバイス層のバルクの格子定数とは異なる格子定数を有するので、その結果、基板上で成長させたＩＩＩ－窒化物層内に歪みが生じる。ここで用いられる場合、「面内（ｉｎ－ｐｌａｎｅ）」格子定数は、デバイス内の層の実際の格子定数のことを指し、「バルク」格子定数は、所与の組成の、緩和した、自立した（ｆｒｅｅ　ｓｔａｎｄｉｎｇ）材料の格子定数のことを指す。層における歪みの量は、特定の層を形成する材料の面内格子定数とデバイス内の層のバルク格子定数との差を、その層のバ

ルク格子定数で除したものである。

【０００９】

ＩＩＩ－窒化物デバイスを従来通りAl_2O_3上で成長させる場合、基板上で最初に成長させる層は通常、面内ａ格子定数が約３．１８８５ÅのＧａＮ緩衝層である。ＧａＮ緩衝層は、ＩｎＧａＮ発光層を含めて緩衝層の上で成長する全てのデバイス層の格子定数を設定するという点で、発光領域のための格子定数のテンプレートとして働く。ＩｎＧａＮのバルク格子定数はＧａＮ緩衝層テンプレートの面内格子定数よりも大きいので、ＧａＮ緩衝層の上に成長する場合、発光層は歪むことになる。例えば、約４５０ｎｍの光を放出するように構成される発光層は、組成$In_{0.16}Ga_{0.84}N$を有することができ、この組成のバルク格子定数は３．３４２Åの組成である。より長波長の光を放出するデバイスの場合のように、発光層におけるＩｎＮ組成が増大するにつれて、発光層内の歪みも増大する。

【００１０】

歪み層の厚さが臨界値を超えると、転位又は他の欠陥が層内に形成され、歪みに関連したエネルギーを減少させる。欠陥は非発光再結合中心となり、これはデバイスの量子効率をかなり低下させることがある。結果として、発光層の厚さはこの臨界厚さを下回るように保持されなければならない。ＩｎＮ組成及びピーク波長が増大するにつれて発光層内の歪みは増大するので、そのため発光層の臨界厚さは減少する。

【００１１】

発光層の厚さを臨界厚さ未満に維持したとしても、ＩｎＧａＮ合金は、特定の組成及び温度において熱力学的に不安定である。例えば、ＩｎＧａＮ成長のために典型的に用いられる温度において、合金はスピノーダル分解を呈することがあり、その場合、均一な組成のＩｎＧａＮは、平均より高いＩｎＮ組成の領域と平均より低いＩｎＮ組成の領域とを有する層へと変質する。ＩｎＧａＮ発光層におけるスピノーダル分解は、非発光再結合中心を生じさせ、これはデバイスの量子効率を低下させることがある。スピノーダル分解の問題は、発光層の厚さが増大するにつれて、発光層内の平均ＩｎＮ組成が増大するにつれて、及び／又は発光層内の歪みが増大するにつれて、悪化する。例えば、発光層をサファイア基板上で成長させて、４５０ｎｍの光を放出するように構成する場合、１６％のＩｎＮ組成と５０Åを上回る好ましい厚さとの組合せは、スピノーダル分解の限界を超える。

【００１２】

従って、上記のように、電流密度が増大したときに生じる量子効率の降下を低減又は排除するためには発光層の厚さを増大することが望ましい。より厚い発光層を成長させるために、臨界厚さを増大させることによって許容範囲内に欠陥数を維持するために、及びスピノーダル分解なしに層が成長することができる厚さを増大させるために、発光層内の歪みを低減させることが必要である。本発明の実施形態は、ＩＩＩ－窒化物デバイスのデバイス層内の、特に発光層内の歪みを減らすように設計される。

【００１３】

本発明の実施形態によれば、ＩＩＩ－窒化物発光デバイスの発光層における少なくとも部分的な歪みの軽減は、デバイスの少なくとも１つの層がその上に成長する面を、その層が横方向に拡がり、それにより少なくとも部分的に緩和するように構成することによって提供される。この層を歪み軽減層と呼ぶ。従来のデバイスにおいては、デバイス内の全ての層をそれらが歪むのに十分なほど薄く成長させるので、基板の上で成長させる最初の単結晶層がデバイス内の各々の歪み層の格子定数を定めることになる。本発明の実施形態においては、歪み軽減層が少なくとも部分的に緩和し、その結果、歪み軽減層における格子定数は歪み軽減層の前に成長させた層の格子定数よりも大きくなる。歪み軽減層はこのように、歪み軽減層の後に成長させる層の格子定数を拡大する。

【００１４】

幾つかの実施形態において、発光層自体が歪み軽減層であり、これは、発光層を横方向に拡げて歪みを軽減させることができる面の上で発光層を成長させることを意味する。幾つかの実施形態において、発光層の前に成長させる層が歪み軽減層である。第１のグループの実施形態において、歪み軽減層をテクスチャ面上で成長させる。第２のグループの実

施形態において、歪み軽減層を、しばしばナノワイヤ又はナノカラムと呼ばれるＩＩＩ－窒化物材料の柱状部の中又は上で成長させる。

【００１５】

以下で説明される実施形態において、ＩＩＩ－窒化物発光デバイスは、適切な成長基板上に典型的には最初に成長させるｎ型領域を含む。ｎ型領域は、例えば、ｎ型の又は意図的に非ドープの緩衝層又は核形成層のような調製層、後で成長基板を剥離すること又は基板を除去した後で半導体構造体を薄くすることを容易にするように設計された剥離層、及び発光領域が効率的に光を放出するために望ましい特定の光学的又は電気的特性に対して設計されたｎ型デバイス層を含む、異なる組成及びドーパント濃度の複数の層を含むことができる。

【００１６】

発光層をｎ型領域の上で成長させる。以下の実施形態は単一の発光層について言及しているかもしれないが、以下の実施形態のいずれも、１つ又はそれ以上の厚い又は薄い発光層を備えた発光領域を含むことができることを理解されたい。適切な発光領域の例は、単一の厚い又は薄い発光層、及び障壁層で分離された複数の厚い又は薄い量子井戸発光層を含む多重量子井戸発光領域を含む。

【００１７】

幾つかの実施形態において、デバイス内の各々の発光層の厚さは好ましくは５０Åよりも厚い。幾つかの実施形態において、デバイスの発光領域は、厚さが５０Å～６００Å、より好ましくは１００Å～２５０Åの単一の厚い発光層である。最適な厚さは、発光層内の欠陥の数に依存し得る。発光層における欠陥の濃度は、好ましくは$10^{9}cm^{-2}$未満に制限され、より好ましくは$10^{8}cm^{-2}$未満に制限され、より好ましくは$10^{7}cm^{-2}$未満に制限され、より好ましくは$10^{6}cm^{-2}$未満に制限される。

【００１８】

幾つかの実施形態において、デバイス内の少なくとも１つの発光層は、Ｓｉのようなドーパントで$1\times10^{18}cm^{-3}$～$1\times10^{20}cm^{-3}$のドーパント濃度までドープされる。Ｓｉドーピングは発光層における面内ａ格子定数に影響を与えることがあり、潜在的に発光層における歪みをさらに低減させる。

【００１９】

ｐ型領域を発光層の上で成長させる。ｎ型領域と同様に、ｐ型領域も、意図的に非ドープの層又はｎ型層を含めて、異なる組成、厚さ、及びドーパント濃度の複数の層を含むことができる。

【００２０】

図１は、歪み軽減発光層を半導体層のテクスチャ面の上に成長させた本発明の実施形態を示す。図１のデバイスにおいて、面内格子定数a_1を有するｎ型領域１１を成長基板２０の上に成長させる。例えばＧａＮ、ＩｎＧａＮ、ＡｌＧａＮ、又はＡｌＩｎＧａＮとすることができるｎ型領域１１の上面にはテクスチャ構造が設けられる。次に、面内格子定数a_2を有する歪み軽減発光層１２をテクスチャ面の上に成長させる。これもまた面内格子定数a_2を有するｐ型領域１３を、発光層１２の上に成長させる。

【００２１】

ｎ型領域１１の表面には、例えばピークと谷とが交互する断面プロファイルを有する構造部（ｆｅａｔｕｒｅ）のような制御された粗い表面を有するテクスチャ構造が設けられる。隣接するピーク間の距離は５０ｎｍから２００ｎｍまでとすることができ、より好ましくは５０ｎｍから１００ｎｍまでとすることができる。ピークの頂上から谷の底までの深さは２００ｎｍ未満とすることができ、より好ましくは１００ｎｍ未満とすることができる。適切な大きさ、深さ、及び間隔の構造部は、例えば、従来のフォトリソグラフィ・エッチング、スパッタ・エッチング、光電気化学エッチングによって、又は結晶性材料がテクスチャ構造を持って成長するようなインサイチュ・プロセスによって、例えば高圧での成長によって形成することができる。構造部が適切な大きさである場合、発光層１２のＩｎＧａＮ材料は、島構造（ｉｓｌａｎｄ）の群としてピーク上で優先的に成長する。初

期には島構造はテクスチャ構造が設けられたｎ型領域１１の表面全体を覆わないので、島構造は、発光層１２が少なくとも部分的に緩和するように横方向に拡がることができる。歪み軽減発光層１２の面内格子定数a_2は、ｎ型領域１１の面内格子定数a_1よりも大きい。

【００２２】

図２は、歪み軽減を提供するためにテクスチャ面上に成長させる層が発光層１２ではなく、発光層１２の前にｎ型領域１１の上に成長させたｎ型層２１である、図１のデバイスのバリエーションを示す。図１のデバイスの場合のように、面内格子定数a_1を有するｎ型領域１１を基板２０の上に成長させる。ｎ型領域１１の上面には、図１を参照して説明されたようにテクスチャ構造が設けられている。第２のｎ型領域２１は、ＧａＮ、ＩｎＧａＮ、ＡｌＧａＮ、又はＡｌＩｎＧａＮとすることができ、ｎ型領域１１のテクスチャ面上に成長させる。ｎ型領域２１が成長し始めるとき、ｎ型領域２１のＩＩＩ－窒化物材料は、ｎ型領域１１のテクスチャ面のピーク上で優先的に島構造の群として成長する。材料の島構造は横方向に拡がり、少なくとも部分的に緩和することができ、その結果、ｎ型領域２１の面内格子定数a_2はｎ型領域１１の面内格子定数a_1よりも大きくなる。歪み軽減領域２１の上で成長させる発光層１２及びｐ型領域１３を含めた層は、歪み軽減領域２１の、より大きい面内格子定数a_2を複製する。

【００２３】

図３は、歪み軽減層をマスクの上で成長させる本発明の実施形態を示す。図３のデバイスにおいて、格子定数a_1を有するｎ型領域１４を成長基板２０の上に成長させる。ｎ型領域１４の表面は、その表面が一部は窒化シリコン材料SiN_xで覆われ、一部は窒化シリコン内の小さい開口部内で露出されるように、シランのようなシリコン前駆体で処理され、マスクが形成される。露出された領域は１０ｎｍから２００ｎｍまで、より好ましくは５０ｎｍから１５０ｎｍまで、より好ましくは１００ｎｍより小さい横方向範囲を有することができる。

【００２４】

発光領域１７をマスクの上で成長させる。発光領域１７の材料は、マスク材料１５内の開口部上でｎ型領域１４の露出された表面上に優先的に成長する。発光層材料の島構造は横方向に拡がり、少なくとも部分的に緩和することができ、その結果、発光領域１７の面内格子定数a_2はｎ型領域１４の面内格子定数a_1よりも大きくなる。これもまた面内格子定数a_2を有するｐ型領域１８を、発光領域１７の上に成長させる。図１及び図２に示されるデバイスの場合のように、発光領域１７は必ずしもマスクの上に直接成長させる必要はなく、例えばＧａＮ、ＩｎＧａＮ、ＡｌＧａＮ、又はＡｌＩｎＧａＮなどの第２のｎ型領域を最初にマスク上で成長させ、その後で発光領域１７を成長させることができる。

【００２５】

発光層を図１及び図２のテクスチャ層又は図３のマスク層のようなテクスチャ界面の上で成長させる図１、図２、及び図３に示される実施形態において、テクスチャ界面は一般に発光層に近接して位置する。幾つかの実施形態において、テクスチャ界面は、発光層の少なくとも一部の１０００Å以内にある。

【００２６】

図４、図５、図６、及び図７は、半導体材料の柱状部を含むデバイスを示す。図４において、ｎ型領域２２を基板２０の上に成長させる。平面のｎ型領域２２の上に、上記のSiN_xマスクのようなマスク層２４を形成させる。マスク材料の島構造の間の開口部内で、半導体材料の柱状部を成長させる。幾つかの実施形態において、半導体材料の柱状部の成長温度は、マスク材料の島構造の間のＧａＮ材料が分解し始める温度、幾つかの応用では１０００℃よりも下に維持される。図３の実質的に平面の層ではなく半導体材料の柱状部を形成するために、半導体材料の柱状部は、図３の場合のようにマスクの上に成長する平面層よりも狭い温度範囲内で、かつ、よりゆっくりとした成長に適した条件下で成長させることができる。例えば、柱状部は、９００℃～１０００℃の成長温度で、０．５Å／ｓ未満の成長速度で、４０００より大きいＶ族前駆体のＩＩＩ族前駆体に対する比におい

て成長させることができる。平面材料は、１０００℃を超える温度及び９００℃未満の温度で、より速い成長速度で、異なる前駆体比率で成長させることができる。ｎ型材料の柱状部２６を最初に成長させ、次に発光領域材料の柱状部２８を成長させ、その次にｐ型材料の柱状部３０を成長させる。

【００２７】

ｐ型柱状部３０を成長させた後、例えば、Ｍｇドーパント前駆体のようなドーパント前駆体のフローを導入するか又は増加させること、窒素前駆体（通常NH_3）を減少させること、又は成長速度を増大させることによって成長条件を変更して、柱状部の上に倒立した角錐が形成されるようにさせ、この角錐が徐々に合体して柱状部と柱状部間の空間２５との上に平面層３２を形成する。

【００２８】

ＩＩＩ－窒化物材料の柱状部の寸法は、柱状部が横方向に拡がって柱状部内の異なる組成の層間の格子定数の違いを適合させることができるように選択される。例えば、柱状部の直径は、５００ｎｍ未満、より好ましくは２００ｎｍ未満に制限されることができる。１０ｎｍという小さい直径が可能であり得る。５０ｎｍ～１５０ｎｍの直径、例えば１００ｎｍの領域がふさわしい。直径は、柱状部内の材料が少なくとも部分的に緩和できるのに十分なほど小さく、かつ発光層材料の充填率が許容可能な高さとなるのに十分に大きくなるように選択される。柱状部は、必ずしも図４に示されているように一定の直径を有している必要はない。例えば、柱状部は切頭角錐とすることができる。幾つかの実施形態において、充填率は少なくとも９０％であり、これは成長したときに柱状部がデバイスの半導体構造体の横方向の範囲の少なくとも９０％を占めることを意味する。充填率は、柱状部の直径と柱状部間の間隔の両方によって決定される。柱状部の数を減らす場合、所定の充填率を維持するためには柱状部の数密度を高めなければならない。幾つかの実施形態において、柱状部の数密度は少なくとも$10^{10}cm^{-2}$である。

【００２９】

柱状部の高さは５０ｎｍから３μｍまでの範囲とすることができる。単一発光層を有するデバイスにおいて、５０ｎｍ～１５０ｎｍの高さ、例えば１００ｎｍがふさわしい。多重量子井戸発光領域を有するデバイスにおいては、２００ｎｍ～１μｍの高さ、例えば５００ｎｍがふさわしい。柱状部内の発光層２８は、少なくとも部分的に緩和することができる。

【００３０】

幾つかの実施形態において、図４に示されるデバイスにおいて、単一のデバイス内の異なる柱状部内の発光領域を異なる波長の光を放出するように形成することができる。例えば、赤、緑、及び青色の光の組合せが白色に見えるように、デバイス内の幾つかの柱状部は赤色光を放出するように構成することができ、デバイス内の幾つかの柱状部は緑色光を放出するように構成することができ、デバイス内の幾つかの柱状部は青色光を放出するように構成することができる。

【００３１】

発光領域の発光波長はＩｎＮ組成に依存し、ＩｎＧａＮ発光層中のＩｎＮが多いほど、発光波長は長くなる。中断されていない平面の発光層を有する従来のデバイスでは、発光層内の歪みが、発光層内に取り込まれることができるＩｎＮの量を制限する。一般に、青色光を放出する平面ＩｎＧａＮ発光層は、緑色光を放出する平面ＩｎＧａＮ発光層よりも高品質で成長する。緑色よりも長波長で発光する十分に高品質の平面ＩｎＧａＮ発光層を成長させることは、非常に困難である。図４に示されるような柱状部内で成長する発光領域は少なくとも部分的に緩和することができるので、従来の歪んだ平面層よりも成長中により多くのＩｎＮが取り込まれることができる。柱状部内の材料が緩和するほど、より多くのＩｎＮが発光層内に取り込まれることができる。

【００３２】

本発明者らは、少なくとも１つのＩｎＧａＮ層を含む柱状部を有する構造体を成長させた。構造体は光ルミネセンスによって特徴付けられ、ＩｎＧａＮ材料からの発光波長が従

来の平面成長よりも有意に赤方偏位したことを示した。青から緑及び黄色を含めて赤までの色を表す４３０ｎｍ～７５０ｎｍの発光波長が達成された。

【００３３】

幾つかの実施形態において、個別の柱状部の中のＩｎＮ組成は、柱状部の直径を制御することによって制御される。柱状部の直径が小さいほど、柱状部内の材料はより緩和するので、従って発光領域の成長中により多くのＩｎＮが取り込まれる。例えば、直径が約１０ｎｍから約１５０ｎｍまで様々である柱状部を有するデバイスにおいて、１０ｎｍの範囲の直径を有する柱状部が最も緩和し、最も高いＩｎＮ組成を有する発光層を有し、最も長波長の最も赤色の光を放出することが予想される。１５０ｎｍの範囲の直径を有する柱状部は緩和が少なく、より低いＩｎＮ組成の発光層を有し、より短波長のより青色の光を放出することが予想される。

【００３４】

白色光を放出するデバイスを作るためには、可視スペクトルの各領域の光を放出する制御された数の柱状部が存在しなければならない。上記のように、各柱状部によって放出される光の波長は、柱状部の直径を制御することによって制御することができる。所与の直径及び対応する発光波長の各々の柱状部が十分な数で存在することを保証するために、マスク層２４を例えばナノインプリント・リソグラフィ法によってパターン形成して、所望の直径の複数の開口部を形成することができる。白色光を放出するデバイスを例として用いるが、デバイスからの発光スペクトルは、適切なサイズの開口部を有するマスク２４をパターン形成することによって、他の色の光に合わせることができることを理解されたい。

【００３５】

異なる柱状部が異なる色の光を放出して、組み合わされた光が白色に見えるようするデバイスは、従来の、青色発光半導体光発光デバイスを蛍光体のような１つ又は複数の波長変換材料と組み合わせ、蛍光体で変換された光が蛍光体から漏出した未変換の青色光と組み合わされて白色光を形成する白色光デバイスと比べて、優れた利点を提供することができる。異なる色の光を放出する柱状部を有するデバイスは、デバイスを形成した後に波長変換層を形成する必要がないので製造の複雑さを低減することができ、発光スペクトルが潜在的により容易に制御されるので、色度、色温度、及び演色の制御の向上を提供することができ、例えば波長変換材料に関連した非効率性を排除することにより、より高い効率にすることができ、高価な波長変換材料がもはや必要ないのでより安価に製造することができ、発光スペクトルの調整においてより高い自由度を提供することができる。

【００３６】

図５のデバイスにおいて、歪み軽減発光層は、半導体柱状部の群の上で合体した層の上で成長する。面内格子定数a_1を有するｎ型領域２２を、基板２０の上に成長させる。平面ｎ型領域２２の上に、上記のSiN_xマスクのようなマスク層２４が形成される。マスク材料の島構造の間の開口部内で、ｎ型材料の柱状部２６を成長させる。上記のように、柱状部が横方向に拡がって、それにより少なくとも部分的に緩和することができるのに十分なほど直径が小さくなるように、柱状部を成長させる。ｎ型領域３４が柱状部２６の上で合体するように成長条件が変更された場合、ｎ型領域３４は少なくとも部分的に緩和した柱状部の面内格子定数を保持するので、ｎ型領域２２の面内格子定数a_1よりも大きい面内格子定数a_2を有する。どちらも面内格子定数a_2を複製する発光領域３６及びｐ型領域３８を、ｎ型領域３４の上で成長させる。

【００３７】

ｎ型領域３４が柱状部２６の上で合体するとき、２つの柱状部の上で成長した材料が一緒になるところに縫合欠陥２７が形成されることがある。欠陥２７は発光領域３６及びｐ型領域３８を通して複製されることがあり、効率を低下させ、又は信頼性の問題を引き起こすことがある。図６及び図７は、縫合欠陥を排除し、又は縫合欠陥の数を減らすように設計された本発明の実施形態を示す。

【００３８】

図６のデバイスにおいて、ｎ型領域２２を基板２０の上に成長させ、次にマスク２４を形成させ、柱状部２６が少なくとも部分的に緩和するように、上記のようにｎ型柱状部２６を成長させる。抵抗性材料の共形層４０を柱状部２６の上に形成させる。抵抗層４０は、例えば、Ｚｎ又はＦｅでドープされたエピタキシャル成長させた抵抗性ＧａＮ、又はシリコン酸化物のような抵抗性酸化物とすることができる。柱状部２６の頂部の上に形成された抵抗層はその後、抵抗性材料４０が柱状部２６の間の空間内にのみ残るように従来のリソグラフィによって除去される。次に発光領域４２を露出された柱状部の頂部の上に柱状部として成長させ、その次にｐ型領域４４を成長させこれが発光領域４２の上に合体する。抵抗性領域４０はｎ型領域２２及び２６をｐ型領域４４から電気的に隔離する。

【００３９】

図７のデバイスにおいて、ｎ型領域２２を基板２０の上に成長させ、次にマスク２４を形成させ、柱状部２６が少なくとも部分的に緩和するように、上記のようにｎ型柱状部２６を成長させる。非ドープのＩｎＧａＮの共形層４６を柱状部２６の上に成長させ、次に、ドープされた発光領域４８を柱状部２６の上の共形層４６の領域の頂部の上に成長させるために、成長条件を柱状部の成長に適した条件に切り換える。次にｐ型領域５２を成長させ、これが発光領域４８の上に合体する。発光領域の島構造４８のドーピングは、柱状部２６の間の非ドープのＩｎＧａＮ領域４６よりも低い破壊電圧をもたらし、それゆえ、ｎ型領域２２及び２６はｐ型領域５２から電気的に隔離される。

【００４０】

幾つかの実施形態において、発光領域の島構造４８が成長した後で、イオン注入ステップが柱状部２６の間の領域５０を非導電性にする。注入の後、柱状部２６の頂部の上のイオンでダメージを受けたＩｎＧａＮ領域４６をエッチングによって除去することができる。このような実施形態において、発光領域の島構造４８は、柱状部２６の上で直接成長させることができる。

【００４１】

図１０及び図１１で示される実施形態において、図４の場合のように、ｎ型領域２２を基板２０の上に成長させる。平面ｎ型領域２２の上に、上記のようなSiN_xマスクのようなマスク層２４を形成する。マスク材料の島構造間の開口部８０内で、半導体材料の多角体８２を成長させる。図４及び図５の柱状部のように、多角体８２をマスク材料の島構造間の開口部８０内で成長させるので、多角体８２は横方向に拡がることができ、従って、少なくとも部分的に緩和することができる。それゆえ多角体８２は、平面層２２の格子定数a_1よりも大きい格子位定数a_2を有する。幾つかの実施形態において、開口部８０の直径は、５００ｎｍ未満、より好ましくは２００ｎｍ未満に制限されることができる。１０ｎｍという小さい直径が可能であり得る。５０ｎｍ～１５０ｎｍの直径、例えば１００ｎｍの領域がふさわしい。開口部８０の直径は、多角体８２内の材料が少なくとも部分的に緩和できるのに十分なほど小さくなるように選択される。図４の場合のように、マスク２４は、充填率が少なくとも９０％となるように形成することができ、これは、成長したときに、多角体８２の基部がデバイスの半導体構造体の横方向の範囲の少なくとも９０％を占めることを意味する。

【００４２】

少なくとも１つの発光層８４を、発光層８４内の材料が多角体８２の拡がった格子定数a_2を複製するように、多角体８２の上に成長させる。次にｐ型領域を発光層８４の上に成長させる。図１０に示されるデバイスにおいて、ｐ型領域８６は優先的に多角体８２の上で成長する。成長は、マスク２４で覆われた隣接する多角体間の領域が充填される前に停止される。厚い金属層（図示せず）を多角体の上に堆積させて、平らな表面を形成することができる。絶縁マスク層２４は、ｐ型材料に接する金属と開口部８０の間の領域内の半導体のｎ型領域との間に、電気的な隔離を提供する。図１１に示されるデバイスにおいて、ｐ型領域８８の成長は隣接する多角体間の領域が充填されるまで続けられ、実質的に平らなｐ型層がもたらされる。

【００４３】

上記の実施形態における発光層は、典型的には３．１８８５Åを超えない面内ａ格子定数を有する従来のＧａＮテンプレート上で成長させた発光層よりも、大きい面内ａ格子定数を有することができる。発光層を歪み軽減層として又は歪み軽減層の上で成長させることで、面内格子定数を３．１８９Åよりも大きくさせることができるので、欠陥密度が許容可能でスピノーダル分解が低減されたより厚い発光層を成長させるのに十分なほど発光層内の歪みを減少させることができる。幾つかの実施形態において、発光層における面内ａ格子定数は、少なくとも３．１９５Åまで、より好ましくは少なくとも３．２Åまで増大させることができる。例えば、青色光を放出するＩｎＧａＮ層は組成$In_{0.12}Ga_{0.88}N$を有することができ、この組成のバルク格子定数は３．２３Åである。発光層内の歪みは、発光層における面内格子定数（従来のＧａＮ緩衝層上で成長させた発光層について約３．１８９Å）と発光層のバルク格子定数との差であり、従って、歪みは$（a_{面内}－a_{バルク}）／a_{バルク}$として表すことができる。従来の$In_{0.12}Ga_{0.88}N$層の場合、歪みは（３．１８９Å－３．２３Å）／３．２３Åであり、約１．２３％である。同じ組成の発光層を上記の実施形態に従って成長させた場合、歪みを低減又は排除することができる。本発明の幾つかの実施形態において、４３０ｎｍ～４８０ｎｍの光を放出するデバイスの発光層内の歪みは、１％未満まで、より好ましくは０．５％未満まで減らすことができる。シアン光を放出するＩｎＧａＮ層は、$In_{0.16}Ga_{0.84}N$の組成を有することができ、従来のＧａＮ緩衝層の上で成長させた場合、この組成の歪みは約１．７％である。本発明の幾つかの実施形態において、４８０ｎｍ～５２０ｎｍの光を放出するデバイスの発光層内の歪みは、１．５％未満まで、より好ましくは１％未満まで減らすことができる。緑色光を放出するＩｎＧａＮ層は$In_{0.2}Ga_{0.8}N$の組成を有することができ、この組成の自立した格子定数は３．２６Åであり、従来のＧａＮ緩衝層の上で成長させた場合、約２．１％の歪みを生じる。本発明の幾つかの実施形態において、５２０ｎｍ～５６０ｎｍの光を放出するデバイスの発光層内の歪みは、２％未満まで、より好ましくは１．５％未満まで減らすことができる。

【００４４】

上記で図示及び説明した半導体構造体は、デバイスの対向する側にコンタクトが形成されたデバイス又はデバイスの同じ側に両方のコンタクトが形成されたデバイスのような、どのような適切な構成の発光デバイスにも含めることができる。両方のコンタクトが同じ側に配置される場合、デバイスは、透明なコンタクトを用いて形成され、コンタクトが形成されている同じ側を通って光がいずれも抽出されるようにマウントされるか、又は反射コンタクトを用いて形成されてフリップチップとしてマウントされ、光はコンタクトが形成されている側の反対側から抽出されるかの、いずれかである。

【００４５】

図８は、成長基板が除去されたフリップチップである適切な構成の一例の一部を示す。ｐ型領域６６及び発光領域６４の一部が除去されて、ｎ型領域６２を露出するメサを形成する。図８にはｎ型領域６２を露出する１つのビアを図示しているが、単一のデバイス内に複数のビアを形成することができることを理解されたい。ｎ－コンタクト７０及びｐ－コンタクト６８は、ｎ型領域６２及びｐ型領域６６の露出された部分の上に、例えば蒸着又はめっきによって形成される。コンタクト６８及び７０は、空気又は誘電体層によって互いに電気的に隔離されてもよい。コンタクト金属６８及び７０が形成された後で、デバイスのウェファをダイシングして個別のデバイスにすることができ、次に各デバイスは成長方向に対して裏返されてマウント７３の上にマウントされ、この場合マウント７３はデバイスよりも横方向に大きい範囲を有することができる。あるいは、デバイスのウェファをマウントのウェファに接続して、次にダイシングして個別のデバイスとすることができる。マウント７３は、Ｓｉのような半導体、金属、又はＡｌＮのようなセラミックとすることができ、ｐ－コンタクト６８に電気的に接続する少なくとも１つの金属パッド７１及びｎ－コンタクト７０に電気的に接続する少なくとも１つの金属パッド７２を有することができる。はんだ又は金スタッドバンプのような相互接続（図示せず）が、半導体デバイスをマウント７３に接続する。

【００４６】
マウントした後、成長基板（図示せず）をエッチング又はレーザ溶融のような基板材料に適したプロセスによって除去する。半導体層を支持し、基板の除去の間のひび割れを防止するために、マウントの前又は後にデバイスとマウント７３との間に剛直なアンダーフィルを設けることができる。基板を除去した後、薄層化（ｔｈｉｎｎｉｎｇ）によって半導体構造体の一部を除去することができる。ｎ型領域６２の露出された表面を、例えば、光電気化学的エッチングのようなエッチングプロセスによって、又は研削のような機械的プロセスによって粗面化することができる。光が抽出される面の粗面化は、デバイスからの光抽出を向上させることができる。あるいは、フォトニック結晶構造体を、成長基板を除去することによって露出されたｎ型領域６２の上面に形成することができる。蛍光体層又はダイクロイック若しくは偏光子のような当該分野で公知の二次光学素子などの構造体７４を、発光面に取り付けることができる。

【００４７】
図９は、より詳細には特許文献１に記載されているようなパッケージングされた発光デバイスの組立分解図である。放熱スラグ１００が、インサート成形されたリードフレームの中に配置される。インサート成形されたリードフレームは、例えば、電気パスを提供する金属フレーム１０６の周囲の充填されたプラスチック材料１０５である。スラグ１００は、任意に反射カップ１０２を含むことができる。発光デバイスのダイ１０４は上記の実施形態で説明されたいずれのデバイスとすることもでき、これが直接、又は熱伝導性サブマウント１０３を介して間接的に、スラグ１００にマウントされる。カバー１０８を追加することができ、これは光学レンズとすることができる。

【００４８】
本発明を詳細に説明してきたが、当業者は、本開示が与えられれば、ここに記載された発明の概念の精神から逸脱することなく本発明に対して改変を行うことができることを認識するであろう。従って、本発明の範囲は、図示され説明された特定の実施形態に限定されることを意図するものではない。

【符号の説明】

【００４９】
１１、１４、２１、２２、３４、６２：ｎ型領域
１２、１７、２８、３６、４２、４８、６４、８４：発光層、発光領域
１３、１８、３２、３８、４４、５２、６６、８６、８８：ｐ型領域
１５、２５：絶縁体材料
１６、８０：開口部
２０：基板
２４：マスク層
２６：柱状部
４０：抵抗層
６８、７０：コンタクト
７１、７２：金属パッド
７３：マウント
８２：多角体
１００：放熱シンク
１０４：発光デバイス・ダイ
１０８：カバー

【図１】

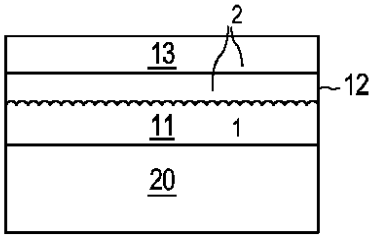


FIG. 1

【図２】

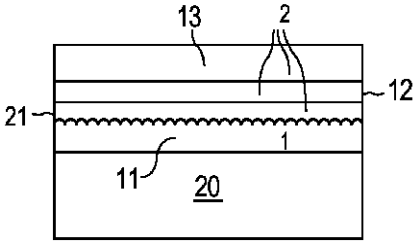
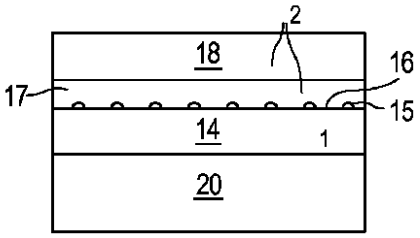


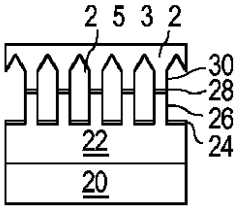
FIG. 2

【図３】



F I 3G

【図４】



F . I G . 4

【図５】

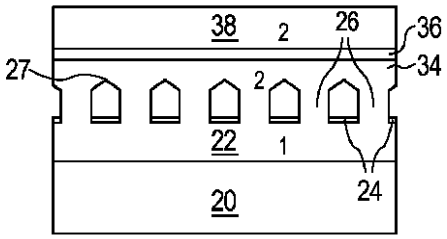


FIG. 5

【図６】

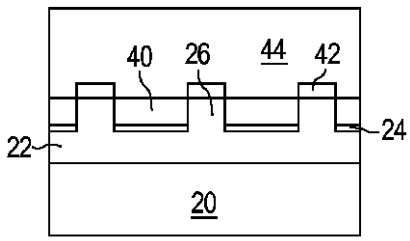


FIG. 6

【図７】

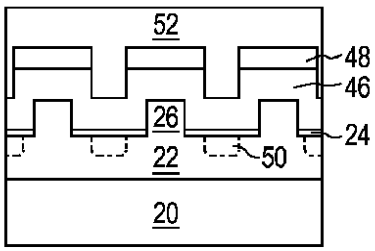


FIG. 7

【図８】

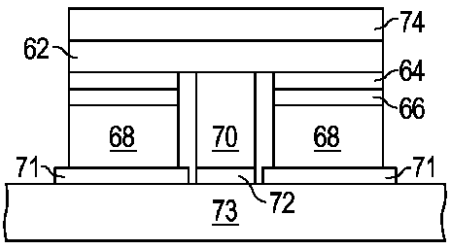


FIG. 8

【図９】

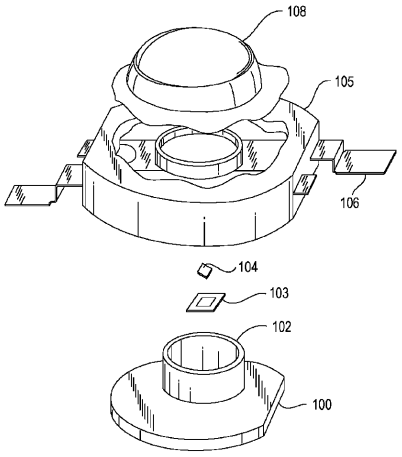


FIG. 9

【図１０】

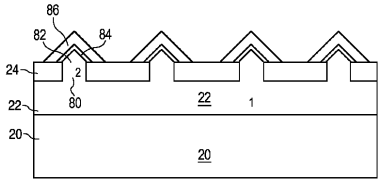


FIG. 10

【図１１】

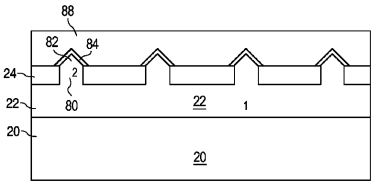


FIG. 11

フロントページの続き

(72)発明者 イー スンスー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３１ サン ホセ ウェスト トリンブル ロード ３７０ エムエス ９１／エムジー
(72)発明者 ダヴィッド オレリアン ジ エフ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３１ サン ホセ ウェスト トリンブル ロード ３７０ エムエス ９１／エムジー
(72)発明者 ガードナー ネイサン エフ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３１ サン ホセ ウェスト トリンブル ロード ３７０ エムエス ９１／エムジー
(72)発明者 クレイムズ マイケル アール
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３１ サン ホセ ウェスト トリンブル ロード ３７０ エムエス ９１／エムジー
(72)発明者 ロマーノ リンダ ティ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３１ サン ホセ ウェスト トリンブル ロード ３７０ エムエス ９１／エムジー

審査官 村井 友和

(56)参考文献 特開平１１－２２０１６９（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－２３５１７０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ ３３／００－３３／６４
Ｈ０１Ｓ ５／００－ ５／５０