(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4850324号
(P4850324)
(45)発行日　平成24年1月11日(2012.1.11)　(24)登録日　平成23年10月28日(2011.10.28)

(51)Int.Cl.　　F I
HO1L 33/32 (2010.01)　　HO1L 33/00 186
HO1S 5/323 (2006.01)　　HO1S 5/323 610

請求項の数 14　(全 11 頁)

(21)出願番号　特願平11-203930
(22)出願日　平成11年7月16日(1999.7.16)
(65)公開番号　特開2001-44497(P2001-44497A)
(43)公開日　平成13年2月16日(2001.2.16)
審査請求日　平成18年7月18日(2006.7.18)

(73)特許権者　506200186
アバゴ・テクノロジーズ・イーシービーユー・アイピー（シンガポール）プライベート・リミテッド
シンガポール国シンガポール７６８９２３，イーシュン・アベニュー・７・ナンバー１
(74)代理人　100087642
弁理士　古谷　聡
(74)代理人　100076680
弁理士　溝部　孝彦
(74)代理人　100121061
弁理士　西山　清春

最終頁に続く

(54)【発明の名称】窒化物半導体素子および窒化物半導体レーザ素子

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
100 nm以下の厚みを有し且つ$Al_yGa_{1-y}N$（0＜y≦1）である低温堆積窒化物半導体材料の緩衝層と、
前記緩衝層上に順次成長させた$Al_xGa_{1-x}N$からなる単結晶窒化物半導体材料の二層構造とを含み、
前記二層構造が、前記緩衝層に隣接する第一の窒化物半導体単結晶層と、該第一の窒化物半導体単結晶層上の第二の窒化物半導体単結晶層とからなり、前記第二の窒化物半導体単結晶層が少なくとも600 nmの厚みを有し、
前記第一の窒化物半導体単結晶層が第一のAlNモル分率を、前記第二の窒化物半導体単結晶層が第二のAlNモル分率を有し、該第一のAlNモル分率が、少なくとも0.01であり、該第二のAlNモル分率ｘが、0.05＜ｘ≦1の範囲にあり且つ前記第一のAlNモル分率より0.1以下だけ大きいことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。
【請求項２】
第一の付加的な窒化物半導体単結晶層及び第二の付加的な窒化物半導体単結晶層を含む単結晶窒化物半導体材料の付加的な二層構造と、
前記二層構造と前記付加的な二層構造との間の活性層とをさらに含み、
前記第二の付加的な窒化物半導体単結晶層が、前記第一の付加的な窒化物半導体単結晶層よりも前記活性層に近接し、
前記第一の付加的な窒化物半導体単結晶層が第一の付加的なAlNモル分率を、前記第二

の付加的な窒化物半導体単結晶層が第二の付加的なAlNモル分率を有し、該第二の付加的なAlNモル分率が該第一の付加的なAlNモル分率より大きいことを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項３】

前記第二のAlNモル分率が、前記第一のAlNモル分率と0.03以下だけ異なることを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項４】

前記緩衝層の下にサファイア基板をさらに含むことを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項５】

SiC及びGaNの一方を含む基板を前記緩衝層の下にさらに含むことを特徴とする請求項１の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項６】

前記緩衝層の低温堆積半導体材料、並びに前記第一の窒化物半導体単結晶層及び前記第二の窒化物半導体単結晶層の単結晶窒化物半導体材料が、同じドーパントをドープされていることを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項７】

前記緩衝層の低温堆積窒化物半導体材料が、少なくとも0.01のAlNモル分率を有することを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項８】

前記第一の窒化物半導体単結晶層及び前記第二の窒化物半導体単結晶層の単結晶窒化物半導体材料が、少なくとも0.03のAlNモル分率を有することを特徴とする請求項５記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項９】

前記第二の窒化物半導体単結晶層上の光導波路層と、

前記光導波路層上の活性層をさらに含むことを特徴とする請求項１に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項１０】

前記第二の窒化物半導体単結晶層の厚み及び前記第二のAlNモル分率の少なくとも一方が、前記レーザ素子が単峰性を示す遠視野像を有する光を発生する際の値を有することを特徴とする請求項９記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項１１】

前記第二の窒化物半導体単結晶層上の光導波路層と、

前記光導波路層上の活性層をさらに含むことを特徴とする請求項２に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項１２】

前記第二の窒化物半導体単結晶層が厚みを有し、

前記第二の窒化物半導体単結晶層の厚み及び前記第二のAlNモル分率の少なくとも一方が、前記レーザ素子が単峰性を示す遠視野像を有する光を発生する際の値を有することを特徴とする請求項１１記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項１３】

前記前記第二の窒化物半導体単結晶層上の光導波路層と、

前記光導波路層上の活性層をさらに含むことを特徴とする請求項４に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項１４】

前記第二の窒化物半導体単結晶層の厚み及び前記第二のAlNモル分率の少なくとも一方が、前記レーザ素子が単峰性を示す遠視野像を有する光を発生する際の値を有することを特徴とする請求項１３記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】
本発明は窒化物半導体素子に関し、特に低温堆積緩衝層上に成長させた比較的厚いAlN含有層を備えた窒化物半導体素子に関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来、III族窒化物半導体（一般構造式はアルミニウムAl,ガリウムGa,インジュウムIn,,窒素N、組成比ｘ、ｙを用いて$Al_xGa_{1-x-y}In_yN$である。）を用いた窒化物半導体素子は光学素子として有望である。例えばそれらを用いた短波長レーザの発振が報告されている。しかしながら、近視野像のフーリエ変換である遠視野像は単峰性を示さず（D.Hofstetter et al., Appl. Phys. Lett. 70(1997)1650.参照）、実用上大きな問題となっている。
【０００３】
遠視野像が単峰性を示さず多峰性となるのは活性層への光閉じ込めが充分でないため、意図的に設けた光導波路構造の下に存在する電流注入のためのコンタクト層が意図しない導波路となり、コンタクト層に結合する高次モードのレーザ発振が生じるためである。光閉じ込めを充分にするためにはクラッド層の厚さを所定値以上に増したり、活性層との光の屈折率差を大きくしたりする方法が試みられている。
【０００４】
図１には電極部分を省略した典型的なGaN系レーザ素子１０の構造が示されている。サファイア基板１１上にGaN低温堆積緩衝層１２、n型GaN：Si層（ｎ型GaNコンタクト層；膜厚：４μｍ）１３、ｎ型AlGaN：Si層（ n型AlGaNクラッド層；膜厚：0.6μｍ）１４、n型GaN：Si層（n型GaN光導波層；膜厚：0.1μｍ）１５、GaInN/GaInN活性層１６、p型AlGaN：Mg層（p型AlGaN電子ブロック層；膜厚：15ｎｍ）１７、p型GaN：Mg層（ｐ型GaN光導波層；膜厚：0.1μｍ）１８、p型AlGaN：Mg層（p型AlGaNクラッド層；膜厚：0.5μｍ）１９およびp型GaN：Mg層（p型GaNコンタクト層；膜厚：0.1μｍ）２０が順次成長形成されている。
【０００５】
本願出願人に譲渡され平成１０年１０月１６日に出願された特許出願：特願平１０－３１３９９３号の明細書には従来のGaN系レーザ素子を改良して良好な遠視野像を得る発明（以下「前の発明」と称する。）が開示されている。前の発明の窒化物半導体レーザ素子は、図１の層１７を有しないものの、n型GaN層１３とn型AlGaNクラッド層１４の間にAlNを含む低温堆積緩衝層を備える。低温堆積緩衝層直上に成長した比較的厚いAlNを含む窒化物半導体単結晶層は、クラック発生なく有効に光を閉じ込めができる構造を有する。そして、出射レーザ光の遠視野における強度分布である遠視野像が単峰性を示すように前記窒化物半導体単結晶層の厚さとAlNモル分率の少なくとも一方を調整できる特徴を有する。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
前の発明の実施により窒化物半導体レーザ素子の出射レーザ光の遠視野像が単峰性を示しかつ効率の良いレーザ素子とすることなどの効果が得られた。しかしながら、さらに素子品質を高め、構造を簡易化することが望まれる。
したがって、本発明の目的は比較的厚いAlN含有層を備える窒化物半導体素子をクラック発生無くかつ簡単な構造で形成することである。
そして、このAlN含有層を有する窒化物半導体レーザ素子により遠視野像が単峰性を示す出射レーザ光を効率の良く発生する該窒化物半導体レーザ素子の構成とその製造方法とを与えることにある。
さらに、上記目的を達成するための層構造が他の光電気素子や光導波路の性能向上やコスト削減に役立つ光閉じ込めのための層構造とすることも本発明の目的である。
【０００７】
【課題を解決するための手段】
発明者等は前の発明の知見に基づき、さらに検討を行ったところ、十分な厚さで所望のAlNモル分率を有する光閉じ込め層構造を備える窒化物半導体素子を得た。すなわち、該素

子は基板上に形成した低温堆積緩衝層直上に順次成長した第一のAlNモル分率でAlNを含む第一の窒化物半導体単結晶層と第二のAlNモル分率でAlNを含む第二の窒化物半導体単結晶層とをそなえる。光閉じ込めのため、第二のAlNモル分率が第一のAlNモル分率より大きい。この構成は第一、第二の窒化物半導体単結晶層をクラック無しで安定に形成し、抵抗をあまり大きくせずに光閉じ込めを行うのに効果がある。隣合う層間のAlNモル分率の差はクラックを避けて厚く成長させる観点から0.1以下であることが望ましく、好もしくは0.０３以下であるのが良い。

【０００８】

光閉じ込めを一の層の両側から行う場合は次のように成る。素子は、低温堆積緩衝層直上に成長したAlNを含む第一の窒化物半導体単結晶層と第二の窒化物半導体単結晶層とAlNを含む第三の窒化物半導体単結晶層とを含み、第一、第三の窒化物半導体単結晶層のAlNモル分率は前記第二の窒化物半導体単結晶層に近い側でより大きい。

【０００９】

本発明をレーザ素子に用いた場合は大きな効果が得られる。特に遠視野像が容易に単峰性を示し効率の良いレーザ素子がえられる。該窒化物半導体レーザ素子は、AlNを含む低温堆積緩衝層と、該低温堆積緩衝層上に順次成長したAlNを含む下部窒化物半導体単結晶層と光導波層と発光層とを含み、前記下部窒化物半導体単結晶層のAlNモル分率が前記発光層側でより大きいことを特徴としている。レーザ素子の形成のための低温堆積緩衝層や窒化物半導体単結晶層の成長は有機金属気相成長法によって成長させるのがよい。

下部窒化物半導体単結晶層がAlNを含む第一、第二の窒化物半導体単結晶層とするばあいは、第二の窒化物半導体単結晶層のAlNモル分率を第一の窒化物半導体単結晶層のAlNモル分率より大きくし、光閉じ込めを大きくしつつ両層の抵抗の合計を合理的な値としている。

【００１０】

前記窒化物半導体レーザ素子の出射レーザ光の遠視野における強度分布が単峰性を示すようにするため、第二の窒化物半導体単結晶層の厚さとAlNのモル分率の少なくとも一方を調整することができる。好ましくは第一の窒化物半導体層の厚さとAlNのモル分率の少なくとも一方をも調整するのがよい。

【００１１】

これらのレーザ素子は、サファイア基板やGaN層、GaN基板あるいはSiC基板に成長させることができる。第一、第二の窒化物半導体単結晶層にドーパントをドープしてこれらの層の低抵抗化を行うのが良い。ドーパントはｎ型かｐ型かに応じてSiかMgのいずれかであることが好ましい。導電性基板を用いる場合は、第一、第二の窒化物半導体単結晶層にドープしたと同種のドーパントを低温堆積緩衝層にもドープして低抵抗化を図るのがよい。

【００１２】

本発明の一実施例の窒化物レーザ素子では、厚さ１００ｎｍ以下のAlyGa1-yN(0<y≦1)層を低温堆積緩衝層とし厚さ0.6μm以上のAlxGa1-xN(0.05<x≦1)層を第二の窒化物半導体単結晶層としている。低温堆積緩衝層のAlNモル分率は１％以上であり、第一、第二の窒化物半導体単結晶層のAlNモル分率が0.03以上である。AlNモル分率が大きいと層の抵抗は大きくなり同時に光閉じ込め係数も大きくなる。抵抗と光閉じ込め係数の案配をして設計することができる。

【００１３】

低温堆積緩衝層と窒化物半導体単結晶層の成長は有機金属気相成長法によって成長させるのが好ましい。

【００１４】

【発明の実施の形態】

図１に示す従来技術によるレーザ素子１０のクラックはAlGaNクラッド層であるｎ型AlGaN層１４と電流注入用ｎ型GaN層１３との格子不整合により発生し、レーザ素子製造における歩留まりを大きく下げていた。クラックが発生しないためにはAlGaNクラッド層はAlNモル分率0.06、膜厚0.6μmが限界であった。この限界値でも、図１に示すレーザ素子の出射

レーザ光の遠視野像は図５の（a）に示すとおり多峰性をしめす。また近視野像からも光閉じ込めが充分でなく、n型GaN層１３にも光が存在していることがわかる。図１のレーザ素子では光閉じ込め係数は2.7%であった。

【００１５】

そこで、前の発明では、ｎ型AlGaNクラッド層１４の直下に低温堆積緩衝層（膜厚：30ｎｍ）を挿入することによってクラック発生を防止し、AlGaNクラッド層のAlNモル分率と膜厚とを１０％、1μｍと大きく向上した。

ところで、コンタクト層として作用する電流注入用ｎ型GaN層１３をｎ型AlGaNクラッド層１４を延伸して置換すれば、ｎ型AlGaNクラッド層１４の直下に設けた低温堆積緩衝層を挿入することなく、光の閉じ込めを向上できることが推察された。このようにすれば、製造工程も簡素化されることも推察された。

一方n型AlGaN層はAlNモル分率が増えるにしたがって、そのバルク抵抗や接触比抵抗が増大する。したがって、低温堆積層上に成長したｎ型AlGaN層にｎ電極を形成して横方向電流注入層とすると、AlNモル分率の高いn型AlGaN層の高抵抗により駆動電圧が上昇し、素子特性の悪化を招く。

【００１６】

そこで本発明では、コンタクト層として作用するｎ型AlGaN層を低抵抗で電流注入可能なAlNモル分率が小さく膜厚が厚い層と、充分な光閉じ込めのためのAlNモル分率が大きく膜厚が薄い層の二層構造を採用した。この二層構造にすることで、レーザ素子の端子間抵抗を十分低減させつつ、構成層にクラックを発生せずに光閉じ込め係数を増大させることが可能となった。

レーザ素子のクラックを避けるためには低温堆積緩衝層直上のn型AlGaN層即ちn型AlGaNコンタクト層のAlNモル分率は少なくとも0.01であり、レーザ素子の駆動電圧を下げつつ素子層のクラックの発生を防ぐためには、この層上に存在する光閉じ込め用ｎ型AlGaN層即ちn型AlGaNクラッド層のAlNモル分率よりAlNモル分率の大きさに応じて0.03~0.10低いAlNモル分率が好ましい。また、n側電極形成のために、この層までRIE（反応性イオンエッチング）等により上部層をエッチングする必要がある。この層の上のｎ型AlGaNクラッド層は光閉じ込めのための層であり、AlNモル分率は少なくとも0.05以上である。

本発明の一実施例では低温堆積緩衝層直上のAlNモル分率の小さいｎ型AlGaNコンタクト層の膜厚は３μｍでAlNモル分率は0.03、AlNモル分率が大きいｎ型AlGaNクラッド層の膜厚は１μｍでAlNモル分率は0.06である。図２に示す構造で２インチ基板においてクラックが数本観察されるのみであった。

【００１７】

（実施例１）

図２に本発明の一実施例のレーザ素子４０の構造を示す。該レーザ素子４０の電流（mA）対電圧（V）特性を図３の曲線ｂで示し、電流（A）対出射光強度（任意単位）特性を図４の曲線ｂで示す。またその出射レーザ光の遠視野像を図５の（ｂ）に示す。図５の(a)、（ｂ）のそれぞれにおいて、横軸は出射（レーザ）光の出射方向が光検出素子の光軸に対してなす角度で、縦軸はそれに対する出射光強度（任意単位）である。本発明の一実施例の遠視野像は、図５の（ｂ）に示されており、単峰性で、光閉じ込め係数も3.2%以上と大幅に増大することがわかる。

【００１８】

図２に示すように、有機金属気相成長法（MOVPE法)によりサファイア基板４１のC面上に、AlGaN低温堆積緩衝層４２（５００℃、膜厚：３０ｎｍ、モル分率：0.03）、Siドープn型AlGaN層４３（１０５０℃、膜厚：３μｍ、Alモル分率：０．０３）、Siドープｎ型AlGaNクラッド層４４（１０５０℃、膜厚：１μｍ、Alモル分率：０．０６）、Siドープn型GaN光導波層４５（１０５０℃、膜厚：0.10μｍ）、$\{Ga_{0.9}Ina_{0.1}N(3nm)/Ga_{0.97}In_{0.03}N(6nm)\}^{5}$活性層４６（８００℃、膜厚：45nm）、Mgドープp型$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$電子ブロック層４７（１０５０℃、膜厚：１５ｎｍ）、Mgドープp型GaN光導波層４８（１０５０℃、膜厚：0.10μｍ）、Mgドープp型$Al_{0.06}Ga_{0.94}N$クラッド層４９（１０５０℃、膜厚：０．５μ

ｍ）およびMgドープp型GaNコンタクト層５０（１０５０℃、膜厚：0.１μｍ）が順次成長形成され、本発明の一実施例のレーザ素子４０が組み立てられる。以下に形成工程を例示する。

【００１９】

（基板の洗浄）： まずレーザ素子４０を成長させる（０００１）C面を備えたサファイア基板（２インチ基板）４１をフッ酸および王水にそれぞれ５分間ずつ浸してエッチングを行い、純水にて５分間リンスする。その後、メタノール、アセトンにて５分間ずつ有機洗浄した後、再度純水にて５分間リンスする。

【００２０】

（基板のクリーニング）： 上記工程を室温で経たサファイア基板４１をMOVPE（有機金属気相成長法）装置の反応炉内に搬送する。反応炉内を窒素にて充分置換して酸素および水分を取り除いた後に、水素を導入して1100℃で１０分間サファイア基板の加熱クリーニングを行う。

【００２１】

（AlGaN低温堆積緩衝層４２の形成）：その後、サファイア基板４１の温度を500℃に設定しTMAl（トリメチルアルミニウム）、TMGa（トリメチルガリウム）とアンモニアを炉内に約３分間供給してサファイア基板４１上に30nmのAlGaN低温堆積緩衝層４２を成長させる。

【００２２】

GaN基板やGaN層、SiC基板のように基板が導電性の場合はこのAlGaN低温堆積緩衝層４２に、より優れたn型伝導性を持たせるために同時にシランを供給してSiを濃度$5x10^{17}$～$5x10^{19}cm^{-3}$程の範囲でドープすることも可能である。その場合、別の実施例ではドーパントSiの濃度を$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$とした。これによりAlGaN低温堆積緩衝層４２の抵抗率が充分小さくなり、レーザ素子４０の駆動に必要な電流が流せる。

緩衝層の成長終了後、TMAl、TMGa（基板が導電性の場合で、シランが供給されている場合はシランも）のすべての供給を停止し、約５分でサファイア基板２１の温度を1050℃に上げる。

【００２３】

（ n型AlGaNコンタクト層４３の形成）： サファイア基板４１の温度が1050℃になったら、TMAl、TMGaおよびシランの供給を開始してn型AlGaNコンタクト層４３の成長を開始する。ここでは直下にAlGaN低温堆積緩衝層４２があるため、0.03のAlNモル分率で膜厚３μｍのAlGaNコンタクト層４３がクラックの導入無しで成長する。ドーパントSiを濃度$5x10^{17}$～$1x10^{19}cm^{-3}$程の範囲でドープすることが可能である。本実施例ではドーパントSiの濃度を$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$とした。層の導電率は周知のように、ドーパント濃度とキャリアの易動度の積に左右されるので、ドーパント濃度を単に大きくするだけでは層の抵抗は低下せず、層の抵抗が最小となる適正な濃度を選ぶのがよい。

【００２４】

（ n型AlGaNクラッド層４４の形成）： サファイア基板４１の温度を1050℃に保ったままで、TMAl、TMGaおよびシランの供給を変更してn型AlGaNクラッド層４４の成長を開始する。0.06のAlNモル分率で膜厚1μｍのAlGaNクラッド層４４がクラックの導入無しで成長する。ドーパントSiを濃度$5x10^{17}$～$1x10^{19}cm^{-3}$程の範囲でドープすることが可能である。本実施例ではn型AlGaNコンタクト層４３の形成の場合と同様にドーパントSiの濃度を$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$とした。

【００２５】

（n型GaN光導波層４５の形成）： クラッド層４４成長後、サファイア基板４１の温度を1050℃に保持したままTMAlの供給のみを停止して、引き続き100nmのn型GaN光導波層４５の成長を開始する。毎分４０ｎｍの成長速度で１００ｎｍ成長したところで、TMGaおよびシランの供給を止める。またサファイア基板の温度も８00℃にまで下げる。この間アンモニアの供給は続けたままである。

成長したｎ型GaN層４５のドーパントSiの濃度は$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$である。Siの濃度を高

く選べばn型GaN層２３の比抵抗は低くなるが結晶性が劣化する。そこで、Siの濃度は２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$でを中心に５×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$から１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$での範囲で選ばれる。上記AlGaNコンタクト層４３、n型AlGaNクラッド層４４およびn型GaN光導波層４５のドーパント濃度は互いに異なってもよいし、その中のいくつかが同じでも良いが、全て略同じに設計すれば工程が簡素化される。

【００２６】

（活性層４６の形成）： 次にサファイア基板４１の温度を800℃にしてTMGa,TMIn（トリメチルインジウム）を供給して発振波長に依存するInNモル分率（すなわち本実施例では発振波長４００ｎｍに対応するモル分率）で、$Ga_{0.9}In_{0.1}N$（３ｎｍ）/$Ga_{0.97}In_{0.03}N$（６ｎｍ）対を5対成長させて多重量子井戸層からなる活性層４６を成長させる。毎分３～６ｎｍの成長速度でよいが、ここでは毎分5nm で４５ｎｍ成長させた。

【００２７】

（p型AlGaN電子ブロック層４７の形成）：ついでTMInの供給を止め、TMAlおよびＣｐ$_2$Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を供給してp型AlGaN電子ブロック層４７を１５ｎｍ成長させた。Mgの濃度の値はは$1x10^{18}$～$1x10^{20}cm^{-3}$の範囲でよいが、約$5x10^{19}cm^{-3}$のが好ましい。Mgの濃度についても前述のSiの濃度の場合と同様に上限下限が決められる。

【００２８】

（p型GaN光導波層４８の形成）：p型AlGaN電子ブロック層層４７の成長終了後、TMAlの供給を停止し、サファイア基板２１の温度を1050℃まで上げて、TMGaおよびＣｐ$_2$Mgを供給して層厚100nmのp型GaN光導波層４８を毎時２μｍで０．１μｍ成長させた。Mgの濃度の値はは$1x10^{18}$～$1x10^{20}cm^{-3}$の範囲でよいが、約$5x10^{19}cm^{-3}$のが好ましい。Siの場合と同様にMgの濃度も高すぎれば結晶性を劣化させうるので注意が必要である。

【００２９】

（p型AlGaNクラッド層４９の形成）：ついでTMAlを供給してp型AlGaNクラッド層４９を0.5μｍ成長させた。Mgの濃度の値はは$1x10^{18}$～$1x10^{20}cm^{-3}$の範囲でよいが、約$5x10^{19}cm^{-3}$のが好ましい。p型GaN光導波層４８とp型AlGaNクラッド層４９のドーパントMgの濃度は異なってもよいが、同じにすれば作業工程はより簡単になる。濃度の値はは$1x10^{18}$～$1x10^{20}cm^{-3}$の範囲でよいが、約$5x10^{19}cm^{-3}$が好ましい。

【００３０】

（p型GaNコンタクト層５０の形成）： ｐ型クラッド層４９の成長後、サファイア基板４１の温度を1050℃に保持したまま、TMAlの供給を停止して、毎時２．５μｍでp型GaNコンタクト層５０を１００ｎｍ成長させた。ドーパントMgの濃度は約$1x10^{20}cm^{-3}$のが好ましい。

【００３１】

（成長表面の観察）：サファイア基板４１の温度を下げて100℃以下になった時点でアンモニアの供給を停止し、反応炉内から上記各層が積層されたサファイア基板を取り出す。成長表面を微分干渉顕微鏡にて観察しクラック発生のないことが確認される。

【００３２】

（ｎ側電極形成－図示せず）： ｎ側電極の形成のため、エッチングにてn型AlGaNコンタクト層４３の面を露出させて電極を蒸着させる。本実施例では従来どおりにTi/Al（チタン－アルミニウム）電極を形成した。

【００３３】

（ｐ側電極形成－図示せず）：電流狭窄を行うためリッジ構造を導入する。 Mgドープした層のｐ型化を促すため、従来技術による熱的なアニールや電子線照射処理を行った後にp型GaNコンタクト層２９に幅５μｍで長さ500 μｍのp側電極をNi/Auで形成した。アニール処理はＮ側電極の形成前におこなっても良い。本実施例では該形成後に行った。アニール処理に付いては、本願出願人による特許出願：特願平９－３７７０５号明細書に記載の方法が用いられる。

【００３４】

（レーザ素子の形成）両電極形成後、劈開を行って共振器構造を形成しレーザ素子とした。
このレーザ素子の電圧電流特性は図3に示す曲線ｂでしめされる。
また、発光光強度の電流特性は図４の曲線ｂで示され、その遠視野像は図5の（ｂ）で示される。なお、図５の横軸はレーザ素子の光検出素子に対する回転角で縦軸は光強度をしめし、点線は設計値を実線は実験値を示す。

【００３５】

（比較例１）
実施例１において形成したレーザ素子の形成過程でｎ型AlGaNコンタクト層４３のAlNモル分率を0.06と変更した比較例１のレーザ素子を作成した（AlGaN低温堆積緩衝層４２のAlNモル分率も0.03へ変更した）。該レーザ素子の電圧電流特性は図3の曲線aに示すとおりである。実施例１のレーザ素子の電圧電流特性である図3の曲線bと比較してｎ型AlGaNコンタクト層４３のAlNモル分率による違いが明瞭である。実施例１の端子間電圧が低減されている。

【００３６】

（比較例２）
上記実施例１においてｎ型AlGaNコンタクト層４３をｎ型GaN層１３、４μｍとし、その上のｎ型AlGaNクラッド層を膜厚0.６μｍとしてレーザ素子（以下「比較素子」と称する。）を組立てた。光導波層、活性層、コンタクト層、および電極は実施例１におけると同様に形成された。この図1のレーザ素子１０では閾値電流が約３００mAであった。また出射レーザ光の遠視野像は図５の（a）に示すように多峰性をしめすことがわかった。図５の横軸はレーザ素子の光検出素子に対する回転角で縦軸は出射光強度を任意単位でしめし、点線は設計値を実線は実験値を示す。

【００３７】

（比較例２と実施例１の比較）
実施例１のレーザ素子を測定したところ、レーザ発振の閾値電流が比較例のレーザ素子の３００mAに対し２００mAになった。また、出射光の遠視野像は図５の（ｂ）に示すようにきれいな単峰性をしめすことがわかった。

【００３８】

レーザ素子形成のための基板として、サファイア基板はよく研究されておりかつ廉価であり、SiC基板は高価であるが比抵抗値が低く安定であり、劈開性に優れる。また、GaN基板も導電性基板として性能がすぐれる。その他の使用可能な基板としてスピネル、MgO、GaAs、Si等の基板がある。

【００３９】

（実施例の変形実施例）
上述の実施例において、AlGaNクラッド層やAlGaNコンタクト層のAlNモル分率と厚さとを変えて光閉じ込め係数の向上、出射レーザ光の遠視野像の改良や閾値電流を低下を調和させて実現させるには前の発明が参考になる。
上記においては、ｎ型AlGaNコンタクト層及びｎ型AlGaNクラッド層の構成を有するレーザ素子について説明したが、ｐ型AlGaNコンタクト層及びｐ型AlGaNクラッド層の構成を有するレーザ素子についても同様な構造がかのうであるし、ｎ型、p型の双方について同様の二層構造を用いることもできる。

【００４０】

上述の実施例ではp型GaN光導波層４８とp型AlGaNクラッド層４９の間にAlGaN低温堆積緩衝層を用いなかったが、さらなるクラックの低減を目指してAlGaN低温堆積緩衝層を再度用いてもよい。その際、AlGaN低温堆積緩衝層をp型にするため、Mgを$1x10^{18}$～$1x10^{20}cm^{-3}$程度ドープしても良い。たとえば$1x10^{20}m^{-3}$が選択できる。

【００４１】

上記実施例で用い製造方法は有機金属気相成長法（MOVPE法)が好ましいが分子線エピタキシャル成長法（MBE法）やハイドライド気相成長法（HVPE法）であっても良い。

また、上記実施例等で用いる基板はサファイア基板やSiC基板のほかにスピネルあるいはGaN基板等を用いてもかまわないし本願出願人が平成9年11月０７日に出願した特願平９－３０６２１５号の明細書に記載の基板が使用できる。

【００４２】

上述の実施例において、AlGaNクラッド層やAlGaNコンタクト層のAlNモル分率と厚さとを変える方法としてAlNモル分率を直線状あるいは放物線状に変化させた傾斜組成AlGaN層とすることもできる。ヘテロギャップの低減による素子抵抗の低減が期待される。

【発明の効果】

本発明の実施により、クラックの発生を防ぎ、かつ光閉じ込めの観点において充分な膜厚およびAlNモル分率のｎ型あるいはｐ型のAlGaN層を持つレーザ構造が簡易な構成で得られる。その際、AlGaN層をAlNモル分率の多い光閉じ込め層（クラッド層）とAlNモル分率が少なく低抵抗である電流注入層（コンタクト層）の二層にわけることで、(1)クラックがなく歩留まりが高い、(2)光閉じ込めが充分で遠視野像が単峰性になる、さらに(3)駆動電圧が充分低い、レーザ素子を実現する方法もえられる。

レーザビームが単峰性であるため、光情報記録装置への組み込みが極めて容易になる。また、駆動電圧が大幅に低減されたため、消費電力が押さえられるとともに、素子内部で余分な熱の発生が押さえられ、素子の寿命が大幅に改善される。

【００４３】

本方法のクラッド層形成方法の適用によりクラック等の欠陥の少ない厚いAlGaN膜を低抵抗で形成できるので、レーザダイオード等の光素子のみならず、III族窒化物半導体のヘテロ構造を用いたあらゆる素子構造（フォトダイオード、発光ダイオード、面発光レーザ、HEMT、FETなど）において、本方法を活用して特性の向上がはかられる。

【図面の簡単な説明】

【図１】典型的な従来技術のGaN系レーザ素子の構造図である。

【図２】本発明の一実施例のレーザ素子の構造図である。

【図３】AlGaN層の違いによるレーザ素子の電流電圧特性の違いを示すためのグラフである。

【図４】図1，2のレーザ素子の出射光強度の対電流特性を比較して示す図である。

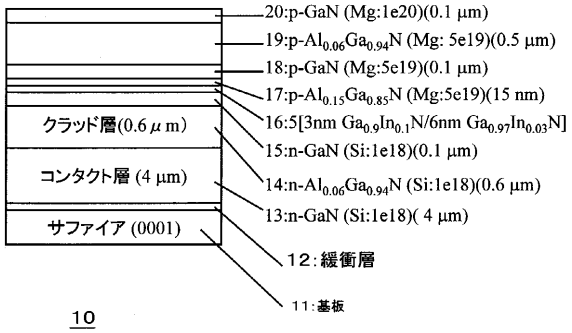
【図５】図1，2のレーザ素子の出射光の遠視野像を比較して示す図である。

【符号の説明】

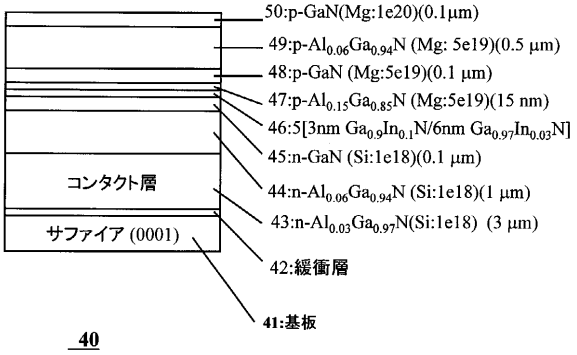
以下略

１０、４０　窒化物半導体レーザ素子、
１１、４１　基板
１２、４２　低温堆積緩衝層
１３　n型GaN層（ｎ型GaNコンタクト層）
１４、４４　ｎ型AlGaN層（ n型AlGaNクラッド層）
１５、４５　n型GaN光導波層
１６、４６　活性層
１７、４７　ｐ型電子ブロック層
１８，４８　p型GaN光導波層
１９、４９　p型AlGaN層（p型AlGaNクラッド層）
２０、５０　p型GaN層（p型GaNコンタクト層）
４３　n型AlGaN層（ｎ型AlGaNコンタクト層）

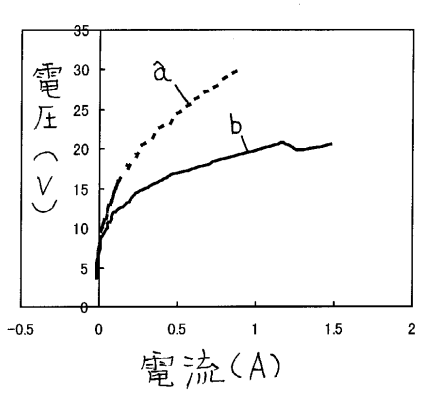
【図１】


20:p-GaN (Mg:1e20)(0.1 μm)
19:p-Al0.06Ga0.94N (Mg: 5e19)(0.5 μm)
18:p-GaN (Mg:5e19)(0.1 μm)
17:p-Al0.15Ga0.85N (Mg:5e19)(15 nm)
16:5[3nm Ga0.9In0.1N/6nm Ga0.97In0.03N]
15:n-GaN (Si:1e18)(0.1 μm)
14:n-Al0.06Ga0.94N (Si:1e18)(0.6 μm)
13:n-GaN (Si:1e18)(4 μm)
12:緩衝層
11:基板
クラッド層(0.6μm)
コンタクト層 (4 μm)
サファイア (0001)
10

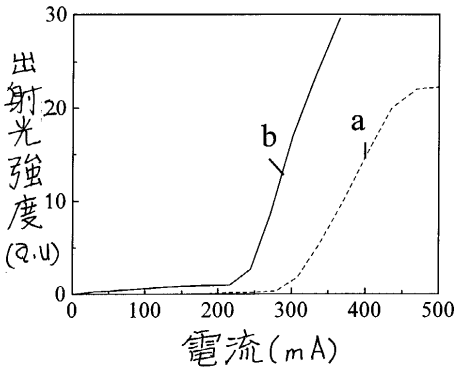
【図２】


50:p-GaN(Mg:1e20)(0.1μm)
49:p-Al0.06Ga0.94N (Mg: 5e19)(0.5 μm)
48:p-GaN (Mg:5e19)(0.1 μm)
47:p-Al0.15Ga0.85N (Mg:5e19)(15 nm)
46:5[3nm Ga0.9In0.1N/6nm Ga0.97In0.03N]
45:n-GaN (Si:1e18)(0.1 μm)
44:n-Al0.06Ga0.94N (Si:1e18)(1 μm)
43:n-Al0.03Ga0.97N(Si:1e18) (3 μm)
42:緩衝層
41:基板
コンタクト層
サファイア (0001)
40

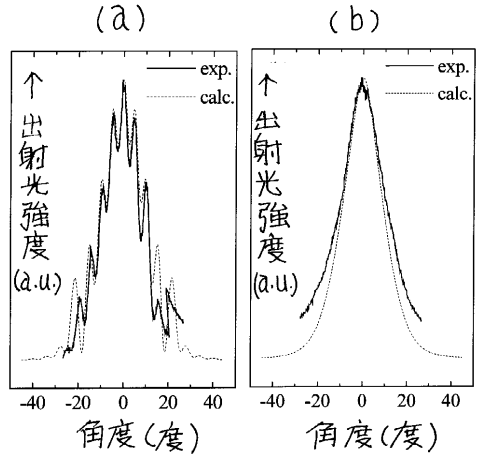
【図３】


電圧(V)
a
b
電流(A)

【図４】


出射光強度(a.u)
b
a
電流(mA)

【図５】


(a)
(b)
exp.
calc.
出射光強度(a.u.)
角度(度)

フロントページの続き

(72)発明者　竹内　哲也
神奈川県川崎市高津区坂戸３丁目２番２号　ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンインク内
(72)発明者　渡辺　　智
神奈川県川崎市高津区坂戸３丁目２番２号　ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンインク内
(72)発明者　金子　　和
神奈川県川崎市高津区坂戸３丁目２番２号　ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンインク内
(72)発明者　山田　　範秀
神奈川県川崎市高津区坂戸３丁目２番２号　ヒューレット・パッカードラボラトリーズジャパンインク内
(72)発明者　天野　浩
愛知県名古屋市名東区山の手２丁目１０４番
(72)発明者　赤▲崎▼　勇
愛知県名古屋市西区浄心１丁目１番３８－８０５

審査官　高椋　健司

(56)参考文献　特開平０９－２９３９３５（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２３２６８０（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－１８１０７７（ＪＰ，Ａ）

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